Il Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica

Gentilissimo Presidente,

trasmetto, in allegato alla presente, il IX Rapporto al Parlamento sugli effetti per l'ecosistema marino dell'utilizzo della tecnica dell'airgun, ai sensi dell'art. 25, comma 3, del D.Lgs 145/2015.

Il Rapporto in parola è stato elaborato dal Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, con il contributo scientifico dell'ISPRA e dei maggiori enti nazionali di ricerca scientifica.

Cordialmente

Gilberto Pichetto Fratin

Onorevole Lorenzo FONTANA
Presidente della Camera dei deputati

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo

MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

IX 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 2025

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

INDICE

Sintesi del IX Rapporto *"airgun"* ***3***

Le differenti strumentazioni di generazione di onde acustiche in ambiente sottomarino ***5***

Matrice acustica del rischio delle diverse strumentazioni **10**

Evoluzione del quadro normativo internazionale e comunitario sul rumore sottomarino di origine antropica ***12***

Il Quadro normativo comunitario **18**

Registro nazionale del rumore subacqueo (Strategia Marina) **19**

Consistenza delle attività di prospezione e ricerca idrocarburi nei mari italiani ***22***

Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero **22**

Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi **23**

Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA **23**

Consistenza delle attività di prospezione con airgun per fini scientifici ***24***

Attività di ricerca sull'impatto delle emissioni da airgun **24**

JPI Oceans e Progetto SONORA 24

Collaborazione OGS-INFN per lo studio della propagazione a lunga distanza di segnale di airguns 25

PNRR-iNEST 26

Acquisizione *Sparker R/V Meteor* 26

Monitoraggio delle emissioni del rumore subacqueo **27**

Attività di monitoraggio condotte da INFN-LNS 27

Avanzamento dello stato delle conoscenze degli effetti per gli ecosistemi marini della tecnica dell'airgun ***31***

Gli impatti su macroinvertebrati bentonici **32**

Effetti sullo zooplancton **33**

Effetti sui pesci **34**

Effetti sui Mammiferi marini **35**

Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali ***37***

Nuovi sviluppi tecnologici 38

Misure operative 38

Tecniche di contenimento 38

Approcci innovativi 39

Modellazione e monitoraggio 39

Proposta delle principali misure di mitigazione da indicare nelle procedure autorizzative di prospezione con airgun nei mari italiani **40**

Criticità connesse alle procedure autorizzative di prospezioni a fini scientifici ***42***

Spunto di riflessione per una proposta di modifica procedurale dell'iter autorizzativo dell'impiego dell'airgun **44**

Riferimenti bibliografici ***46***

Sitografia ***52***

Crediti ***53***

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Sintesi del IX Rapporto "*airgun*"

Il presente IX 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 nelle acque territoriali italiane. Il documento riporta anche gli sviluppi di studi in ambito scientifico, come in ambito normativo nazionale, europeo e internazionale vigente in materia. Il periodo di riferimento si riferisce al tempo trascorso dalla pubblicazione del precedente rapporto ad oggi.

Come ormai prassi consolidata, a questo Rapporto hanno contribuito i principali enti nazionali di ricerca scientifica che operano nel settore di interesse (CNR, CoNISMa, INFN, INGV, ISPRA, OGS). La redazione è stata curata dalla Direzione Generale per la Tutela della Biodiversità e del Mare (DG TBM) del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Al fine di assicurare una trattazione più esaustiva, il presente rapporto prende in considerazione anche altri equipaggiamenti idonei a produrre rumori impulsivi che spesso possono essere utilizzati in alternativa all'*airgun* (vedi cap. *Le differenti strumentazioni di generazione di onde acustiche in ambiente sottomarino*).

In ambito internazionale, l'attenzione sul tema del rumore sottomarino generato dall'uomo è aumentata in tutti i *fora* competenti; un esempio è la risoluzione 8.17 "*Anthropogenic noise*" adottata 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) per prevenire gli impatti sul *biota* marino del rumore sottomarino di origine antropica; particolare attenzione a questo tema è stata attribuita anche in ambito UNEA (*United Nations Environment Assembly*) (vedi cap. *Evoluzione del quadro normativo internazionale e comunitario sul rumore sottomarino di origine antropica*).

Nell'Unione Europea, di recente adozione sono i valori soglia (*threshold values*) per il rumore di tipo impulsivo nell'ambito del "TG*Noise*" (*Technical Group Underwater Noise*) della CIS (*Common Implementation Strategy*) della Direttiva Quadro Strategia Marina 2008/56/CE (vedi par. *Il Quadro normativo comunitario*).

Di particolare interesse è l'implementazione del "registro nazionale del rumore subacqueo" (https://registrorumoresubacqueo.isprambiente.it/), derivante dalla Direttiva Quadro Strategia Marina, al momento disponibile su *server* ISPRA/MASE con accesso riservato. Il Registro contiene informazioni georeferenziate sulle attività umane che producono rumore impulsivo e per le quali è stata chiesta autorizzazione al MASE. In prospettiva di un miglioramento dell' *iter* autorizzativo all'impiego della tecnica *airgun*, l'aggiornamento dei dati nel registro potrebbe essere reso obbligatorio per tutte le operazioni di prospezioni *offshore* che prevedano l'impiego di *airgun* (vedi par. *Registro nazionale del rumore subacqueo (Strategia Marina)*).

Come indicato nei precedenti "rapporti", con la legge 11 febbraio 2019 n. 12 erano state sospese le attività di prospezione con *airgun* in attesa del "Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee" (PiTESAI). Il PiTESAI, pur approvato dal D.M del 28 dicembre 2021 (MiTE), è stato annullato dal TAR di Roma nel 2024 (Sentenze n. 2858 e n. 2872). Tale annullamento ha ripristinato lo *status quo ante*, consentendo la ripresa delle procedure autorizzative precedentemente sospese.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Si rileva tuttavia che l'avanzamento di tali *iter* è attualmente lento (vedi cap. *Consistenza delle attività di prospezione e ricerca idrocarburi nei mari italiani*).

Lo studio della letteratura scientifica e tecnica resa disponibile nel corso del biennio 2024-2025, come illustrato nell'apposito capitolo di questo rapporto (vedi cap. *Avanzamento dello stato delle conoscenze degli effetti per gli ecosistemi marini della tecnica dell'airgun*), mostra la consueta numerosità di dati e osservazioni acquisite con esperimenti e studi su specie marine carismatiche o d'interesse commerciale ma anche un crescente interesse dei ricercatori sugli effetti a livelli ecologici superiori alla specie.

Di particolare interesse il capitolo dedicato alle possibili azioni di mitigazione già applicate o consigliate a livello internazionale che potrebbero essere richieste all'operatore nell'atto di approvazione di prospezioni *offshore* mediante l'uso di *airgun,* allo scopo di mitigarne gli effetti (vedi cap. *Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali*).

Sul tema delle procedure amministrative, il Rapporto evidenzia le criticità che gli Enti scientifici incontrano nei processi autorizzativi di attività di prospezione del sottosuolo in ambiente marino per fini scientifici, come lo studio del clima, del paleo-clima e della pericolosità naturale; ciò determina una situazione di difficoltà per il sistema della ricerca e della formazione in Italia. Tali difficoltà derivano dal fatto che l'*iter* autorizzativo di attività scientifiche con *airgun* (o altre sorgenti di rumore impulsivo) è attualmente equiparato a quello per la ricerca di giacimenti di idrocarburi. Questo comporta la dispersione di una componente importante del patrimonio di conoscenza del sottosuolo italiano, del sistema universitario e della ricerca scientifica. In realtà, le prospezioni per scopi scientifici prevedono un *asset* di *airgun* che produce una potenza energetica di gran lunga inferiore rispetto a quella prodotta in occasione di ricerche di giacimenti petroliferi. A tale proposito, nel presente Rapporto viene proposta una soluzione a dette criticità che prevede innanzitutto la definizione di una matrice acustica del rischio, grazie alla quale sarà possibile distinguere scenari a basso, medio e alto rischio, consentendo di sviluppare strategie di mitigazione proporzionate e mirate. Inoltre, si suggerisce di realizzare un archivio condiviso delle applicazioni di *airgun* in ambiente marino per facilitare la fruibilità e il riutilizzo dei dati storici di sismica a riflessione già acquisiti nel passato, con una riduzione degli impatti economici e ambientali (vedi par. *Criticità connesse alle procedure autorizzative di prospezioni a fini scientifici)*.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Le differenti strumentazioni di generazione di onde acustiche in ambiente sottomarino

Le prospezioni sismiche in ambiente marino e lacustre hanno come obiettivo la comprensione della struttura del sottosuolo. Queste prospezioni non vengono utilizzate solo per la ricerca di idrocarburi ma anche per la sicurezza delle installazioni sul fondale e per la ricerca scientifica. Le finalità più comuni sono la comprensione della struttura interna della Terra, lo studio della pericolosità indotta dalla sismicità, dagli ambienti vulcanici, dall'instabilità dei pendii sottomarini e dalle emissioni di fluidi dal fondale, e infine lo studio del paleo-clima e la paleoceanografia. La profondità dell'indagine può variare da alcune decine di metri a diversi chilometri a seconda delle sorgenti utilizzate e degli obiettivi delle indagini.

Le sorgenti acustiche per le prospezioni sismiche sono impulsi di onde di compressione generate con varie tecniche che escludono l'esplosivo, caratterizzate da spettri di frequenza e ampiezza molto differenti, scalati all'obiettivo della prospezione.

Le sorgenti comunemente utilizzate sono:

- *Airgun*
- *Water gun*
- *Sparker*
- *Boomer*
- *Marine Vibroseis*

Airgun

Gli *airgun* vengono utilizzati per caratterizzare la composizione e la struttura del fondale marino (Borsani & Farchi, 2011) sia con strumenti singoli che in serie di strumenti multipli (*array*). Possono soddisfare tutte le necessità rispetto a obiettivi superficiali o profondi a seconda delle loro caratteristiche. Queste sorgenti acustiche trovano impiego nella ricerca geologica, nell'esplorazione di gas e petrolio, nelle analisi ambientali e di rischio, nella progettazione di canali, nelle fasi preliminari di costruzione dei parchi eolici *offshore* e nell'individuazione dei siti per la posa di cavi e condotte sottomarine (Gisiner, 2016).

L'impulso generato da un *airgun* proviene dall'azione di un pistone che si muove all'interno di una camera d'aria compressa. La bolla d'aria che fuoriesce dalla camera di compressione genera un suono attraverso la sua espansione e contrazione in acqua. L'energia acustica si irradia in tutte le direzioni, ma lo strumento viene calibrato per focalizzare l'energia principalmente verso il fondale in direzione approssimativamente verticale. Questa energia viene riflessa e trasmessa dagli strati del sottosuolo. Le riflessioni vengono captate da idrofoni trainati dalla nave e i segnali vengono elaborati quindi in immagini ecografiche del sottosuolo permettendo la ricostruzione della struttura geologica (Gisiner, 2016) (Figura 1).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

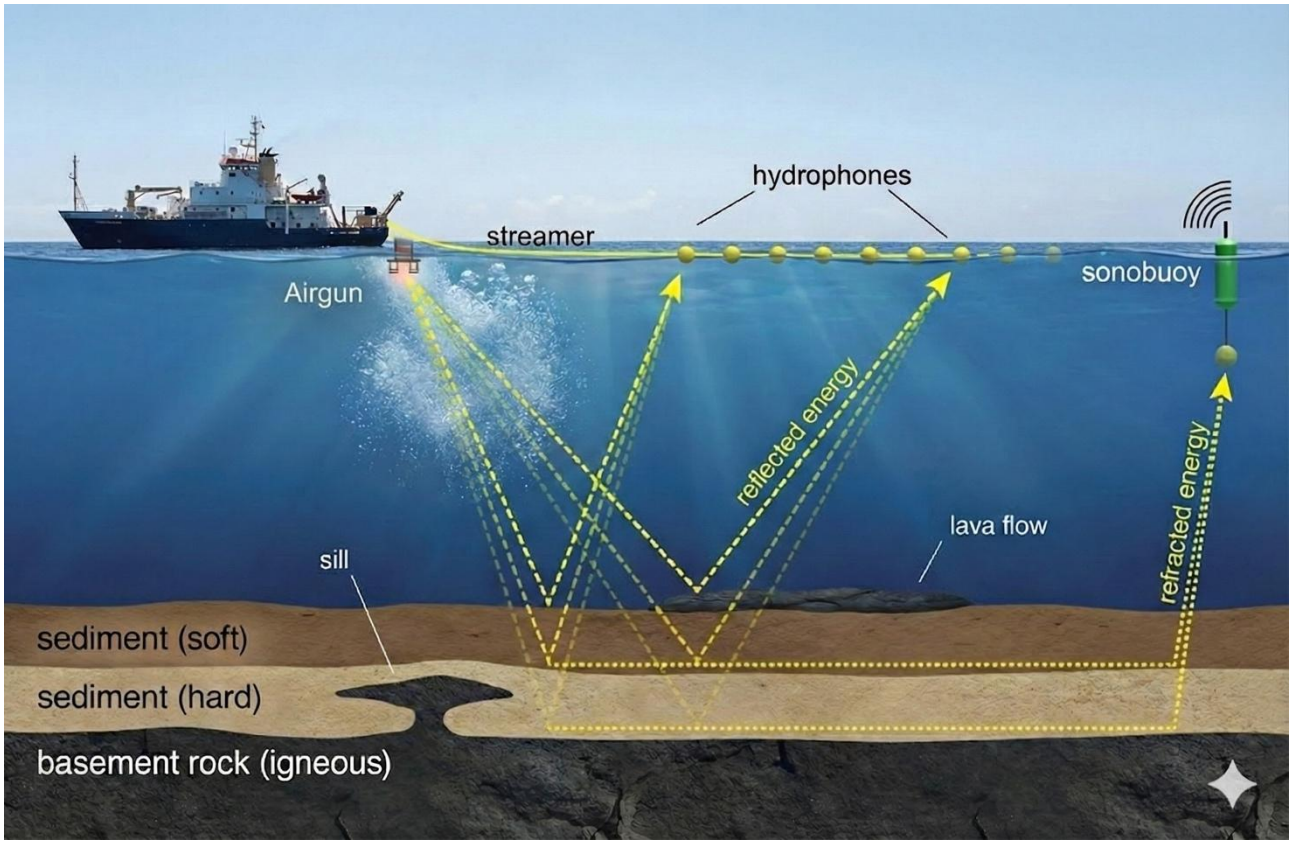


Figura 1. Funzionamento della tecnica dell'airgun

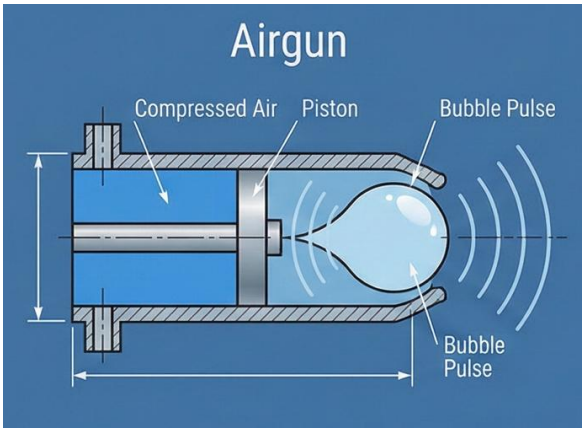


Figura 2. Schema di produzione del rumore impulsivo con la tecnica dell'airgun

Water gun

Il *water gun* è una sorgente sismica ad alta risoluzione (quindi adatta a obiettivi superficiali), ampiamente utilizzata sia dall'industria dell'esplorazione petrolifera (Lugg, 1979) che da gruppi di ricerca accademici. Si tratta di una sorgente a bassa energia che genera un impulso compressivo breve e a banda larga. Il suo funzionamento è di tipo implosivo. I *water gun* possono essere alimentati pneumaticamente o idraulicamente (Hutchinson & Detrick, 1984).

L'aria ad alta pressione nella camera di generazione spinge il pistone ad alta velocità verso la camera inferiore, espellendo l'acqua. Successivamente, il pistone rallenta, creando una cavità implosiva

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

dietro l'acqua espulsa che genera il principale impulso acustico. Poiché non viene rilasciata aria, non si forma alcun impulso di bolla.

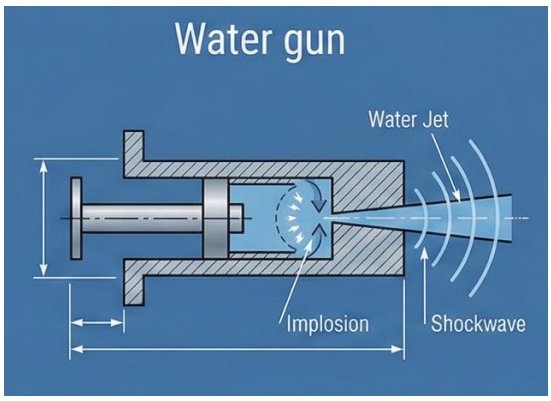


Figura 3. Schema di produzione del rumore impulsivo con la tecnica del water gun

Sparker

Uno *sparker* genera un impulso acustico rilasciando una scarica elettrica tra elettrodi e un punto di messa a terra in acqua. Si tratta di una sorgente di tipo impulsivo (Wang *et al*., 2019) anche se la ripetitività del segnale non è paragonabile a quella di un *airgun* e di un *watergun*. Poiché gli *sparker* producono segnali a banda larga altamente ripetibili, vengono generalmente utilizzati per indagini sismiche marine ad alta o ultra-alta risoluzione, per la valutazione di *geohazard* e stratigrafia, nonché per i rilievi preliminari dei parchi eolici *offshore*.

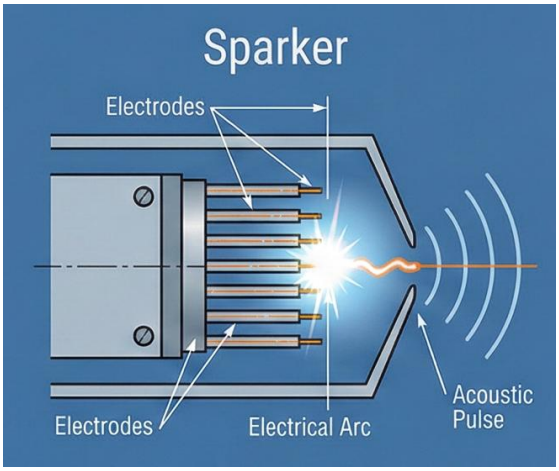


Figura 4. Schema di produzione del rumore impulsivo con la tecnica dello sparker

Boomer

I *boomer* sono impiegati principalmente per indagare con elevata precisione gli strati più superficiali del fondale marino, metri o decine di metri di profondità. Questi strumenti possono essere utilizzati non solo in ambiente marino, ma anche in acque dolci, laghi ed estuari (ad es. https://www.marine-seismic-equipments.net/methods/sparker-or-boomer/; Müller *et al.*, 2002). La deformazione di trasduttori piezoelettrici consente ai *boomer* di generare un impulso acustico, scaricando energia elettrica in una bobina e producendo correnti parassite in una piastra trasduttrice. Viene così

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

accelerata una massa d'acqua, generando segnali acustici ad alta frequenza, caratterizzati però da una limitata capacità di penetrazione nel fondale.

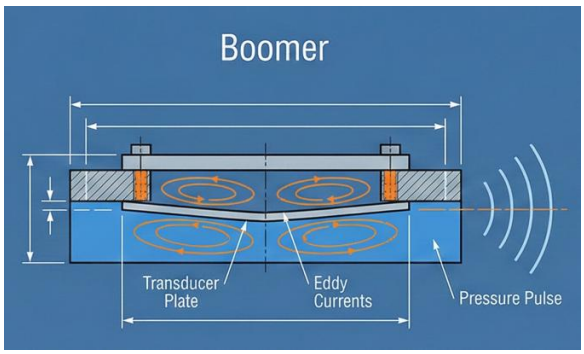


Figura 5. Schema di produzione del rumore impulsivo con la tecnica del boomer

Marine Vibroseis

I *marine vibroseis* (anche detti *marine vibrators*) sono sorgenti relativamente nuove, considerate un'alternativa alle sorgenti sismiche tradizionali e sviluppate per mitigare i potenziali impatti sugli ecosistemi marini (Matthews *et al*., 2020). La tecnologia è mutuata da sistemi di acquisizione sismica in ambiente terrestre ampiamente utilizzati per sostituire l'antico impiego di esplosivi. Il *vibroseis* distribuisce nel tempo l'energia che con metodi impulsivi viene concentrata in alcuni millisecondi. L'energia di picco tipica delle sorgenti impulsive viene quindi molto diminuita. I *vibroseis* marini consentono di controllare lo spettro energetico della sorgente attraverso lo spostamento di volume dell'acqua, ottenuto mediante una piastra o una struttura vibrante. A differenza degli *airgun*, producono segnali acustici a banda larga senza il collasso di una bolla d'aria espulsa in acqua (Laws *et al*., 2018).

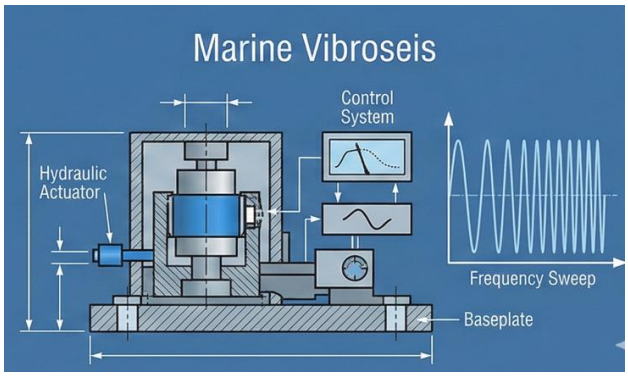


Figura 6. Schema di produzione del rumore impulsivo con la tecnica del Marine Vibroseis

Gli sforzi per mitigare i danni hanno portato allo sviluppo di sorgenti sismiche alternative, come i già citati *marine vibrators* (MV) e gli *airgun* a banda limitata (*bandwidth-limited airguns*, *eSource*) (Days *et al.* 2025)**.**

Queste nuove sorgenti mirano a spostare lo spettro sonoro verso frequenze più basse, tipicamente sotto i 200 Hz (utili per l'*imaging* geofisico) e a ridurre il tempo di salita e le pressioni di picco (Southall *et al*., 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

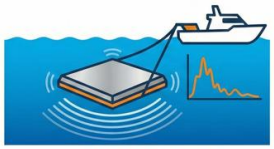
I test con *airgun* a banda limitata (*eSource*) hanno dimostrato che possono ridurre l'energia potenzialmente dannosa senza compromettere la qualità dell'*imaging* geofisico, mantenendo un'energia simile nella banda 5-100 Hz (Semmens *et al.* 2025). Tuttavia, sorgono nuove domande per le specie che fanno affidamento sui suoni a bassa frequenza, come le grandi balene (misticeti).

Per quanto riguarda i *marine vibrators*, che hanno una solida base di ricerca, ci sono progetti attivi, esperimenti di campo in corso e studi preliminari che mostrano differenze rispetto agli *airgun* tradizionali; tuttavia, non è ancora dimostrato in modo conclusivo che siano "molto meno dannosi" per tutti gli organismi marini, specie per i cetacei misticeti (balene). Gli studi comportamentali (*Controlled Exposure Experiments* - CEE) sono in corso ma mancano ancora dati su effetti a lungo termine, su scala di popolazione o su impatti cumulativi. Ad esempio, lo studio di McQueen *et al.* (2024) riporta che le reazioni comportamentali del merluzzo atlantico (*Gadus morhua*) ai *marine vibrators* (i.e. diminuzione dei livelli di attività e aumento della profondità di nuoto) possono essere più pronunciate rispetto alle reazioni agli *airgun* a parità di livelli di esposizione. Tuttavia, date le limitazioni relative alle dimensioni del campione analizzato in questo studio, sono necessari ulteriori studi sui *marine vibrators* per comprenderne appieno l'impatto e il significato biologico.

Le simulazioni recenti di propagazione mostrano che anche rumori "mitigati" potrebbero essere rilevabili a grande distanza; questo è particolarmente importante per le balene che viaggiano su lunghe distanze. Vista l'incertezza, è cruciale che le autorità regolatorie e l'industria mantengano un dialogo stretto con la comunità scientifica. I test pilota (come quelli dei CEE) devono essere trasparenti e validati *peer-review*, anche al fine di sviluppare linee guida ambientali basate su evidenze robuste (Goertz *et al.*, 2025; McNamara & Dunlop, 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Tabella 1. Confronto delle differenti tecniche per produrre rumori impulsivi in ambiente marino

Tecnologia	Meccanismo	Caratteristiche	Target
 Airgun	Pneumatico	Bassa frequenza, alta energia	Sismica profonda, Oil&Gas
 Water gun	Pneumatico o idraulico	Banda larga, bassa energia	Sismica profonda, Oil&Gas
 Sparker	Elettrico	Alta frequenza, impulso breve	Geo-ingegneria
 Boomer	Elettromagnetico	Altissima risoluzione	Primi metri fondale
 Marine Vibroseis	Vibrazione meccanica	Segnale continuo, no bolla	Ricerca scientifica

Matrice acustica del rischio delle diverse strumentazioni

Le prospezioni sismiche rappresentano una fonte crescente di rumore impulsivo nel Mediterraneo, in particolare nei bacini Ionico e Tirreno, dove spesso si sovrappongono ad *habitat* sensibili e corridoi migratori. L'impatto ecologico di queste sorgenti dipende dal tipo e dall'intensità del rumore, dal contesto ambientale e dalla vulnerabilità delle specie presenti. Le normative attuali prevedono misure generali di mitigazione, come zone di esclusione fisse, procedure standard di *ramp-up* e restrizioni stagionali, che possono risultare insufficienti per proteggere specie e *habitat* sensibili. È quindi necessario sviluppare un approccio più mirato e basato sul rischio per definire strategie di mitigazione proporzionate ed efficaci.

In collaborazione con ISPRA, OGS sta lavorando alla definizione di una Matrice acustica del rischio, uno strumento utile per valutare in modo sistematico e semi-quantitativo l'impatto delle sorgenti sismiche sulle diverse specie marine. La matrice acustica del rischio permette di considerare non solo l'intensità e la tipologia del rumore, ma anche la vulnerabilità biologica, il comportamento e le esigenze stagionali delle specie presenti.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Grazie a questa matrice, è possibile distinguere scenari a basso, medio e alto rischio, consentendo di sviluppare strategie di mitigazione proporzionate e mirate. In pratica, fornisce una base scientifica per adottare misure più efficaci rispetto ai protocolli generici attualmente in uso, riducendo l'impatto sulle specie e sugli *habitat* più sensibili, ottimizzando allo stesso tempo le operazioni delle attività sismiche.

La matrice si basa su tre componenti principali utilizzate per valutare il rischio acustico:

- Caratteristiche delle sorgenti sismiche.
- Sensibilità ed ecologia della fauna marina.
- Parametri ambientali

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Evoluzione del quadro normativo internazionale e comunitario sul rumore sottomarino di origine antropica

Si conferma, a livello internazionale, l'attenzione della comunità scientifica e delle istituzioni competenti nel considerare il rumore di origine antropica, e quindi le sue sorgenti, come un fenomeno determinante per il disturbo dell'ecosistema, la cui gestione, ai fini della prevenzione ambientale e delle implicazioni a livello di sviluppo, riveste grande interesse.

Il rumore subacqueo di origine antropica (*Anthropogenic underwater noise* - AUN) continua a rappresentare una preoccupazione crescente per i governi e le istituzioni internazionali di tutto il mondo e solleva interrogativi sull'applicabilità ed efficacia degli strumenti attuali. Recenti analisi dottrinali (es. Maruf *& Chang,* 2023 a) evidenziano come la Convenzione delle Nazioni Unite sul Diritto del Mare (UNCLOS), pur non citando direttamente il rumore, presenta alcune disposizioni, in particolare la Parte XII relativa alla protezione dell'ambiente marino che possano essere applicate al problema. L'UNCLOS definisce l'inquinamento dell'ambiente marino come: *"Introduzione da parte dell'uomo, direttamente o indirettamente, di sostanze o energia nell'ambiente marino, compresi gli estuari, che produce o può produrre effetti deleteri come danni alle risorse viventi e alla vita marina, pericoli per la salute umana, intralcio alle attività marine, compresa la pesca e altri usi legittimi del mare, compromissione della qualità per l'uso dell'acqua di mare e riduzione dei servizi*". Ne deriva che anche il rumore sottomarino di origine antropogenica è considerato un inquinante.

L'articolo propone tre possibili opzioni per rafforzare la regolamentazione dell'AUN nell'ambito dell'UNCLOS:

- Sviluppare un nuovo accordo internazionale legalmente vincolante specifico per l'AUN.
- Integrare l'AUN nell'Accordo sulla Biodiversità oltre la Giurisdizione Nazionale (BBNJ), adottato a giugno del 2023 e divenuto il terzo accordo attuativo sotto la UNCLOS.
- Utilizzare regole e standard stabiliti da altre organizzazioni competenti, come l'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO).

L'articolo sottolinea l'importanza di una valutazione ambientale globale (GEA) sull'AUN per colmare le lacune conoscitive e supportare il processo decisionale nel campo della governance ambientale internazionale. Le GEA, prodotte da organizzazioni internazionali come l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), l'IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*) e il GESAMP (*the Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution*), sarebbero innovazioni significative nell'organizzazione di conoscenze e consulenze rilevanti per le politiche relative a problemi ambientali per i governi, per la definizione e la manutenzione degli accordi ambientali multilaterali. In queste circostanze, la formazione di un'istituzione o di un gruppo di lavoro di esperti *ad hoc* (WG), con il mandato specifico di fornire una GEA sulle AUN, rappresenterebbe un'opportunità significativa per colmare le attuali lacune di conoscenza formulando raccomandazioni per il proseguimento dei lavori, da sottoporre all'Assemblea generale delle Nazioni Unite.

Sempre in ambito di *governance* internazionale, di collaborazione e coordinamento tra le varie istituzioni e organismi coinvolti nella gestione e nella conservazione delle specie marine, un altro articolo di Maruf & Chang (2023) esamina il quadro normativo per la protezione dei cetacei e delle

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

specie migratorie marine dagli impatti del rumore subacqueo antropogenico, in particolare sull'applicabilità della “Convenzione sulla conservazione delle specie migratorie di animali selvatici” (*Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals* - CMS) e dei suoi accordi associati, comprese le “Linee guida” per la valutazione dell'impatto ambientale (*Environmental Impact Assessment* - EIA) per le attività che generano rumore marino.

A parere degli autori queste forniscono una guida completa su varie tecniche e misure di mitigazione per ridurre al minimo gli impatti del rumore. In particolare, il documento evidenzia alcuni obiettivi per rendere veramente efficace l’attuazione delle linee guida della “Convenzione sulla conservazione delle specie migratorie di animali selvatici” (CMS).

- Renderle giuridicamente vincolanti.
- Dovrebbero contenere indicazioni specifiche per ogni tipo di attività antropica.
- È necessario creare un meccanismo formale per monitorare l'attuazione delle linee guida o per imporne il rispetto.

Nelle pagine seguenti vengono riportate e tradotte in italiano le tabelle riepilogative del quadro normativo internazionale così come proposte da Maruf & Chang (2023).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

NORMATIVA INTERNAZIONALE	
Atto /Istituzione	**Misure di mitigazione/Programmi/Iniziative**
United Nations Convention on the Law of the Sea	• L'UNCLOS funge da quadro fondamentale per la regolamentazione di tutte le attività marine, compresa la protezione dell'ambiente marino dalle AUN. La questione delle AUN è stata ampiamente discussa durante le tre riunioni annuali degli Stati parte dell'UNCLOS
Convention on Migratory Marine Species	• La risoluzione 12.14 sugli impatti negativi del rumore antropico sui cetacei e altre specie migratorie è stata adottata alla COP-12 come CMS, insieme al suo allegato sulle linee guida per la valutazione dell'impatto ambientale delle attività che generano rumore marino (UNEP/CMS/COP12/Inf.11/Rev.1). • Migliori tecnologie disponibili (BAT) e migliori pratiche ambientali (BET) per tre fonti di rumore: Shipping, Seismic Surveys, and Pile Driving, 2019 (UNEP/CMS/COP13/Inf.9).
International Maritime Organization	• Risoluzione MEPC.1-Circ.833 sulle Linee guida per la riduzione del rumore subacqueo prodotto dal trasporto marittimo commerciale per affrontare gli impatti negativi sulla vita marina (Linee guida IMO).
Convention on Biological Diversity	• La CBD non ha adottato un programma o un'iniziativa specifica per affrontare l'AUN. Tuttavia, ha discusso in modo esaustivo la questione dell'AUN e incoraggia gli Stati e gli attori non statali ad applicare misure di mitigazione pertinenti per affrontare l'AUN. - Decisione CBD XII/23: Biodiversità marina e costiera: Impatti del rumore subacqueo di origine antropica sulla biodiversità marina e costiera. - VIII/28. Valutazione d'impatto: Linee guida volontarie sulla valutazione d'impatto che tenga conto della biodiversità (UNEP/CBD/COP/DEC/VIII/28). Fornisce indicazioni dettagliate su se, quando e come considerare la biodiversità nelle valutazioni sia a livello di progetto che a livello strategico (compresa l'AUN).
International Whaling Commission	• IWC, Risoluzione 2018-4 sul rumore antropico sottomarino. Questa risoluzione incarica il Comitato per la conservazione di esaminare i progressi compiuti nell'attuazione delle Raccomandazioni IWC sulla mitigazione e la gestione del rumore subacqueo di origine antropica e, sulla base di tale esame, di elaborare un parere sulle azioni prioritarie da attuare per affrontare gli impatti del rumore subacqueo di origine antropica sui cetacei.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

ACCORDI E INIZIATIVE REGIONALI	
Atto /Istituzione	**Misure di mitigazione/Programmi/Iniziative**
EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD or Directive)	• Descrittore MSFD 11 su Energia e rumore (D11): Il descrittore 11 della DMS riguarda l'introduzione di energia, compreso il rumore subacqueo, per garantire che non abbia effetti negativi sull'ambiente marino. La Decisione della Commissione 2017/848 specifica ulteriormente gli elementi dei criteri per il D11, concentrandosi sul suono impulsivo antropogenico e sul suono continuo antropogenico a bassa frequenza in acqua. • "Considerando" n.12 della Direttiva 2014/52/UE: La Direttiva 2014/52/UE, che riguarda la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati, riconosce l'importanza dell'ambiente marino. Sottolinea la necessità di procedure di VIA e di screening per i progetti in ambiente marino, in particolare per quelli che riguardano tecnologie come le indagini sismiche che utilizzano sonar attivi. Anche l'Allegato III e l'Allegato IV della direttiva sottolineano la considerazione dell'ambiente marino, compresi il rumore e le vibrazioni. • Direttiva Habitat e Direttiva Uccelli: La Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE del Consiglio) e la Direttiva Uccelli (Direttiva 2009/147/CE del Consiglio e del Parlamento europeo) svolgono un ruolo fondamentale nella protezione delle specie e degli habitat nell'Unione europea. Queste direttive richiedono misure volte a prevenire perturbazioni significative delle specie all'interno dei siti Natura 2000 (aree designate di elevata importanza per la biodiversità). L'articolo 6, paragrafo 2, delle direttive specifica l'obbligo di valutare le attività umane che possono avere un impatto significativo sugli obiettivi di conservazione di questi siti, comprese le potenziali perturbazioni causate da AUN. • Linee guida al monitoraggio del rumore subacqueo nei mari europei, Parte I: Sintesi, Relazione scientifica e politica del CCR EUR 26557 IT, 2014. • Linee guida per il monitoraggio del rumore subacqueo nei mari europei, Parte II: Approfondimento per la guida al monitoraggio, Relazione scientifica e politica del JRC (Joint Research Centre) EUR 26555 EN, 2014. • Linee guida per il monitoraggio del rumore subacqueo nei mari europei, Parte III: Informazioni di base e allegati, 2014.
The Convention for the Protection of the Marine Environment of the Northeast Atlantic (Ospar Convention)	• Strategia della Commissione OSPAR per la protezione dell'ambiente marino dell'Atlantico nord-orientale 2030 [(Accordo 2021-01: Strategia per la protezione dell'ambiente marino nell'Atlantico nord-orientale (che sostituisce l'Accordo 2010-03)], 2021. • Accordo 2015-05 sulla strategia di monitoraggio OSPAR per il rumore ambientale subacqueo. • Commissione OSPAR, Linee guida CEMP per il monitoraggio e la valutazione delle sorgenti sonore impulsive ad alta, bassa e media frequenza nella regione marittima OSPAR. Regione. Accordo OSPAR 2017-07, 2017

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

ACCORDI E INIZIATIVE REGIONALI (continua)	
Atto /Istituzione	**Misure di mitigazione/Programmi/Iniziative**
The Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Areas (Helsinki Convention)	• Il Piano d'azione per il Mar Baltico 2021 della HELCOM, in particolare nella Parte IV dedicata alle "Attività marittime", include l'obiettivo di garantire la sostenibilità ambientale delle attività marittime. Uno degli obiettivi ecologici di questa parte è garantire che "non si arrechi alcun danno o un danno minimo alla vita marina a causa del rumore prodotto dall'uomo". Per raggiungere tale obiettivo, il Piano d'azione stabilisce l'obiettivo di gestione di "ridurre il rumore a livelli che non abbiano effetti negativi sulla vita marina". Inoltre, il Piano d'azione delinea nove piani d'azione specifici per affrontare l'AUN. • Roadmap regionale 2015-2017 sul rumore sottomarino nel Mar Baltico, adottata nel 2016 (HELCOM 37-2016).
The Convention for the Protection of the Marine Environment of the Mediterranean (Barcelona Convention)	• Programma d'azione strategico per la conservazione della diversità biologica nella regione mediterranea (2003). • Piano d'azione per la conservazione dei cetacei nel Mar Mediterraneo, 2016. • Programma integrato di monitoraggio e valutazione e relativi criteri di valutazione (IMAP). Monitoraggio dell'obiettivo ecologico 11: energia, incluso il rumore sottomarino.
The Convention on the Protection of the Black Sea (Bucharest Convention)	• Programma integrato di monitoraggio e valutazione del Mar Nero per gli anni 2017-2022 (BSIMAP). Il BSIMAP ha l'obiettivo di rispondere alla domanda politica: "Qual è il livello di inquinamento acustico nel Mar Nero e come è possibile ridurlo per prevenire danni ai pesci e ai cetacei?".

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

ACCORDI E INIZIATIVE REGIONALI (continua)	
Atto /Istituzione	**Misure di mitigazione/Programmi/Iniziative**
The Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, the Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area (ACCOBAMS)	• ACCOBAMS, Risoluzione 2.16 sulla valutazione e l'impatto del rumore prodotto dall'uomo (ACCOBAMS-MOP2/2004/Res.2.16), 2004. • ACCOBAMS, Risoluzione 3.10 sulle Linee guida per affrontare l'impatto del rumore antropico sottomarino sui mammiferi marini nell'area ACCOBAMS (ACCOBAMS-MOP3/2007/Res.3.10), 2007. • ACCOBAMS, Allegato Linee guida per affrontare l'impatto del rumore antropico sui cetacei nell'area ACCOBAMS (ACCOBAMS-MP4/2010/Res.4.17), 2010. • ACCOBAMS, Risoluzione 5.15, Affrontare l'impatto del rumore antropico sottomarino, (ACCOBAMS-MOP5/2013/Res.5.15), 2013. • ACCOBAMS, Risoluzione 6.17 sul rumore antropico (ACCOBAMS-MOP6/2016/Res.6.17), 2016. • ACCOBAMS, Risoluzione 7.13 sul rumore antropico (ACCOBAMS-MOP7/2019/Doc38/Annex15/Res.7.13), 2019.
Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas (ASCOBANS)	• ASCOBANS, Risoluzione n. 4 sul disturbo, adottata alla terza sessione della MOP, Bristol, Regno Unito, 26-28 luglio 2000. • ASCOBANS, Risoluzione n. 05 sugli effetti del rumore e delle navi, adottata in occasione della quarta riunione delle Parti di Esbjerg, Danimarca, 19-22 agosto 2003. • ASCOBANS, Risoluzione n. 11 su “linee guida della famiglia CMS sulla valutazione dell'impatto ambientale per le attività che generano rumore marino”, adottata in occasione dell'ottava riunione delle Parti di ASCOBANS, Helsinki, Finlandia, 30 agosto-1° settembre 2016. • ASCOBANS, Risoluzione 8.11 su “linee guida della famiglia CMS sulla valutazione dell'impatto ambientale per le attività che generano rumore marino”, in occasione della 9a riunione della MOP, online, 7-11 settembre 2020.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Il Quadro normativo comunitario

Come noto e già espresso nei precedenti "rapporti", la Direttiva Quadro sulla Strategia Marina dell'Unione Europea (MSFD) (Direttiva 2008/56/CE) fornisce un importante quadro di riferimento per un uso sostenibile dei mari all'interno dell'Unione Europea che include esplicitamente gli effetti del rumore subacqueo (descrittore D11) in una valutazione dello stato dell'ambiente marino; la Direttiva obbliga gli stati membri dell'UE a raggiungere e mantenere un buono stato ambientale (*Good Environmental Status* - GES) e dal 2022 l'UE ha introdotto per la prima volta valori soglia quantitativi legati alla MSFD per il rumore subacqueo, compreso il rumore impulsivo (D11C1).

Viene riportato nel seguito un *focus* sugli esiti del lavoro del *Technical Group on Underwater Noise and other forms of Energy* (TG*Noise*) (Borsani JF *et al*., 2023).

La Direttiva Quadro sulla Strategia Marina dell'Unione Europea (MSFD), con riferimento al rumore subacqueo, propone il raggiungimento del buono stato ambientale, identificato come segue: "*l'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino*". Limitatamente al rumore impulsivo, che comprende l'inquinamento acustico determinato dall'uso di *airgun*, la decisione (UE) 2017/848 della commissione del 17 maggio 2017, definisce il buono stato ambientale (GES) del "D11C1" come segue: "*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*".

Il TG*Noise* propone un approccio graduale, guidato dai dati (*data-driven*), per l'implementazione di una metodologia di valutazione compatibile con la MSFD, dalla quale si possono estrapolare alcune raccomandazioni generali:

- **Implementare un approccio di valutazione del rumore basato sull'*habitat***: questo metodo si concentra sulla quantificazione dell'area di *habitat* esposta al rumore e tiene conto della sensibilità delle specie. L'approccio potrebbe essere adattato anche ad altri ambienti e tipi di rumore per valutare l'impatto su diverse specie e *habitat* (*risk-based approach*).
- **Stabilire soglie di rumore per specie e *habitat***: sulla base di una valutazione approfondita della sensibilità delle specie e degli *habitat* a diversi livelli di rumore, si potrebbero stabilire soglie specifiche (*threshold values* - TVs) per limitare l'esposizione al rumore e mitigare gli impatti negativi, che definiscono il livello di inizio di effetti biologici (LOBE - *Level of Onset of Biological Effects*).
- **Raccogliere dati più dettagliati sugli eventi di rumore**: le carenze informative nei registri del rumore sottolineano la necessità di raccogliere dati più completi e accurati sulle caratteristiche del rumore, compresi i parametri che descrivono gli eventi di rumore impulsivo.
- **Armonizzare le metodologie di valutazione del rumore**: la mancanza di coerenza tra i diversi approcci di valutazione ostacola la comparazione dei dati e l'implementazione di misure di gestione efficaci.
- **Applicare il principio di precauzione**: in assenza di dati completi sulla sensibilità delle specie e degli *habitat* al rumore, è fondamentale adottare un approccio precauzionale per limitare l'esposizione al rumore e prevenire potenziali impatti negativi.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

In ambito del Tg*Noise* sono state, quindi, definite e adottate le soglie (*threshold values - TVs*) del rumore sottomarino. Le principali attività hanno riguardato la definizione dei criteri di valutazione del rumore prodotto da sorgenti impulsive e continue. Nel corso del 2023 la Commissione Europea ha adottato i criteri per definire i valori soglia per il buono stato ambientale (GES) anche per il rumore impulsivo ("D11C1") (Juretzek *et al.* 2024).

In ogni caso i presupposti da considerare sono i seguenti:

- 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).

I valori soglia (TVs) per il rumore impulsivo sono stati stabiliti 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 (≤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 (≤10%).

Per quanto riguarda l'attuazione della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina è stato avviato il percorso per l'implementazione, a livello di Stato membro, delle soglie di rumore adottate a livello europeo, stabilendo anche gli habitat e le specie indicatrici da considerare.

I valori soglia sono stati formalmente pubblicati (Comunicazione della Commissione sui valori di soglia fissati dalla direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino 2008/56/CE e dalla decisione (UE) 2017/848 della Commissione (C/2024/2078), GU UE dell'11.3.2024 IT pp.5.) e sono pertanto vincolanti per gli stati membri. Tali valori devono essere, quindi in considerazione nelle procedure di autorizzazione di attività di prospezioni geofisiche in mare per scopi scientifici e per la ricerca di idrocarburi.

Registro nazionale del 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 è stato creato per raccogliere dati sulle attività antropiche che generano suoni impulsivi nel mare, quali gli *airgun.* Tali informazioni vengono comunicate in fase autorizzativa dagli *stakeholders*.

Il registro è considerato uno strumento chiave per la valutazione e il monitoraggio dello stato dell'ambiente marino, con riferimento al Descrittore 11 (rumore subacqueo). 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);

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

- durata (data inizio – data fine) operazioni;
- proprietà della sorgente acustica:
  - essenziale (minimo): livello sonoro sorgente (Ls) o *proxy*, in (dB re 1µPa);
  - 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.

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

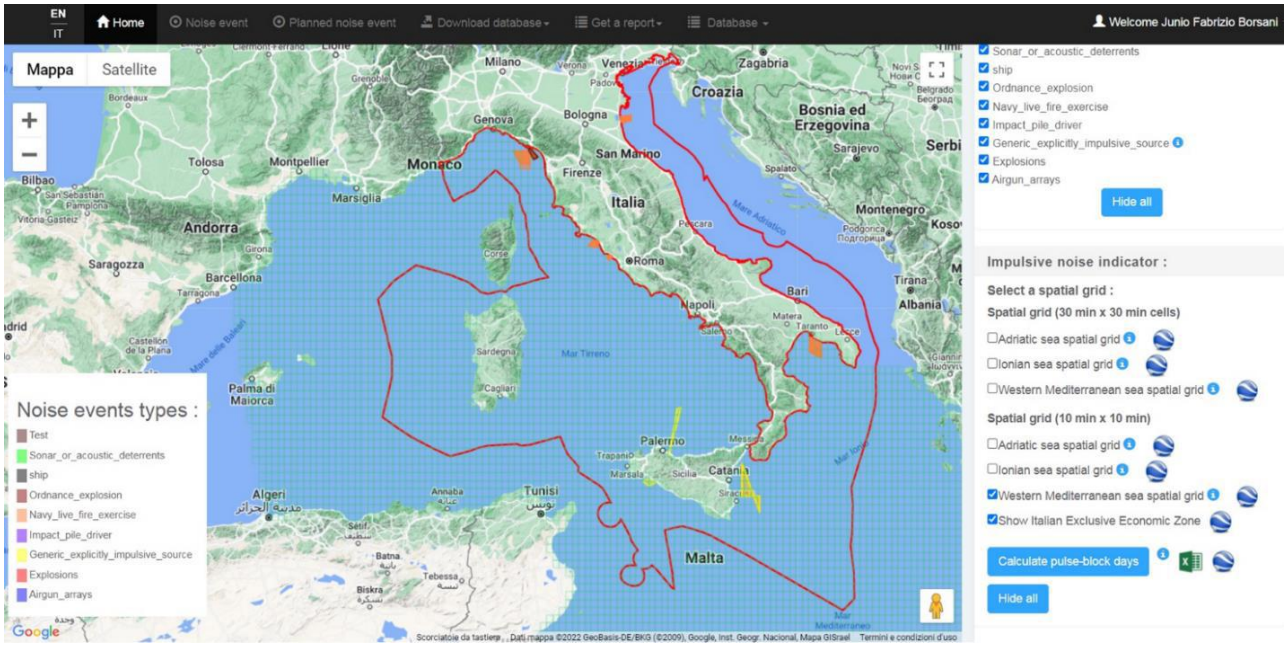


Figura 7. Schermata di accesso al registro nazionale rumore subacqueo con eventi tipo in esempio

L'implementazione del registro può costituire uno strumento cruciale nelle procedure autorizzative di prospezioni subacquee con l'impiego di *airgun*. 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

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

lo spostamento temporale delle operazioni per tutelare le specie sensibili nei periodi fondamentali della loro vita, quali ad esempio, quello riproduttivo o quello migratorio.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Consistenza delle attività di prospezione e ricerca idrocarburi nei mari italiani

Nel precedente rapporto, elaborato per il periodo 01.11.2023 - 01.11.2024, 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 erano state archiviate/sospese in forza delle disposizioni contenute nel PiTESAI.

Con sentenze n.2858 e 2872 del 2024, il TAR di Roma ha annullato il PITESAI, comportando un ritorno allo *status quo ante*. Allo stato attuale, quindi, le procedure autorizzative, prima sospese, possono proseguire il loro *iter* che però al momento si stanno avviando lentamente.

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

Non vi sono aggiornamenti rispetto a quanto già rappresentato nei precedenti "Rapporti". Ai sensi del Protocollo VAS della Convenzione sulla valutazione dell'impatto ambientale in un contesto transfrontaliero (*Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context* - ESPOO), la procedura di VAS è avviata dallo Stato che elabora un piano/programma, la cui attuazione può determinare impatti rilevanti sull'ambiente di un altro Stato, mediante notifica a seguito della quale lo Stato coinvolto può esprimere il proprio interesse a partecipare alla procedura di VAS avendo così l'opportunità di trasmettere le proprie osservazioni e pareri, sia come Autorità pubblica sia come pubblico, entro termini ragionevoli previamente concordati tra gli Stati interessati.

Anche nell'anno di riferimento di questa relazione, così come nei precedenti, non sono pervenute notifiche dell'avvio di procedure di VAS in un contesto transfrontaliero di programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi. Al momento sono presenti le seguenti notifiche pervenute al MASE nel periodo 2015-2017:

- Piano e Programma quadro di ricerca e produzione degli idrocarburi nell'Adriatico della Repubblica di Croazia (Ministero dell'Economia della Repubblica di Croazia);

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

- Programma di Ricerca e Produzione idrocarburi *offshore* del Montenegro (Ministero dello sviluppo sostenibile e del Turismo del Montenegro);
- Programma di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi nel Mar Ionio (Ministero dell'ambiente e dell'energia della Repubblica ellenica).

In relazione ai suddetti programmi non sono pervenute informazioni relative all'avvio della effettiva pianificazione delle attività di esplorazione e produzione di idrocarburi.

Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi

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.

Lo stato delle istanze di prospezione o ricerca di idrocarburi a mare può essere consultato nel Portale delle Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali VAS-VIA-AIA del MASE (Home - Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali - VAS - VIA - AIA 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.

Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA

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

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Consistenza delle attività di prospezione con *airgun* per fini scientifici

Nel seguito sono elencate le attività svolte, o ancora in essere, dagli enti di ricerca italiani finalizzati alla ricerca scientifica con l'impiego di *airgun* o che hanno come obiettivo lo studio ed il monitoraggio dei fenomeni acustici in ambiente marino.

Nel capitolo conclusivo del presente Rapporto vengono riassunte e messe in evidenza le principali difficoltà che il mondo scientifico incontra nell'applicazione delle procedure autorizzative di prospezioni a fini scientifici che prevedano l'impiego di *airgun* o altre sorgenti di rumore impulsivo (vedi cap. *Criticità connesse alle procedure autorizzative di prospezioni a fini scientifici*).

Le sorgenti impulsive come l'*airgun* sono utilizzate per scopi di ricerca scientifica da enti di ricerca ed università con importanti applicazioni per discipline quali paleo-clima, rischio sismico, naturale e geologico e sulla conoscenza di base della struttura interna della Terra. L'identificazione e la caratterizzazione delle principali strutture tettoniche crostali e delle faglie sismogenetiche è cruciale per poter mitigare il rischio sismico. Parimenti la ricostruzione delle strutture profonde dei vulcani e dei margini continentali sono obiettivi che possono essere perseguiti solo attraverso studi di sismica profonda, possibili solo con tecniche *airgun*. Infatti, queste, a differenza di altre tecniche di indagine geofisica (e.g. sonar *multibeam*, sismica monocanale) che impiegano sorgenti a più alta frequenza, sono le uniche capaci di indagare le porzioni più profonde della crosta, nell'ordine di qualche km, esattamente le profondità in cui si sviluppano i terremoti e si strutturano le camere magmatiche dei vulcani.

Nel seguito vengono descritte le attività di ricerca in corso che considerano:

- l'impatto delle emissioni da *airgun*;
- il monitoraggio delle emissioni del rumore subacqueo;
- le attività di ricerca geologica e geofisica marina.

Attività di ricerca sull'impatto delle emissioni da airgun

JPI Oceans e Progetto SONORA

La *Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans (JPI Oceans, https://jpi-oceans.eu/)* è una piattaforma intergovernativa paneuropea con sede a Bruxelles, che mira ad aumentare l'efficienza e l'impatto della ricerca e dell'innovazione per mari e oceani sani e produttivi in modo sostenibile, attuando le strategie e le priorità nazionali degli stati membri di JPI Oceans. L'attività si concentra su aree tematiche inserite in tre aree prioritarie interconnesse: salute degli oceani, produttività degli oceani, gestione e *governance* degli oceani. L'Italia partecipa a JPI Oceans tramite il MUR che ha delegato il *Cluster BIG (Blue Italian Growth)* a rappresentarlo assieme agli enti OGS e SZN con quattro rappresentanti nel *Management Board* in rappresentanza di CNR, OGS, SZN e CORILA.

Il principale strumento di attuazione delle Azioni JPI Oceans sono le *Joint Calls* per progetti di ricerca finanziati direttamente dagli stati membri. Con un'iniziativa portata avanti da Italia e Germania, nel 2022 è stata lanciata la *Joint Call Underwater Noise in the Marine Environment* (https://jpi-

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

oceans.eu/en/underwater-noise-marine-environment) che in uno dei due temi di ricerca mirava allo studio dell'effetto degli *airguns* sugli ecosistemi marini e allo sviluppo di tecnologie alternative agli *airguns*. JPI Oceans ha finanziato cinque progetti di ricerca, due dei quali coordinati da ricercatori italiani, tra cui il progetto *Filling the gap: Thresholds assessment and impact beyond acoustic pressure level linked to emerging blue-growth activities* (SONORA), che prevede la ricerca teorica e sperimentale sull'effetto degli *airguns* sugli ecosistemi marini.

Il progetto SONORA (https://www.jpi-oceans.eu/en/sonora) ha l'obiettivo di approfondire la conoscenza sulle principali sorgenti di rumore subacqueo, in particolare quelle legate al traffico navale e le sorgenti sismiche, che vengono caratterizzate sia tramite modelli numerici sia attraverso misurazioni sperimentali. Parallelamente, viene sviluppato un sistema di monitoraggio predittivo basato sulla modellizzazione delle sorgenti di rumore e dei loro meccanismi di propagazione in ambiente marino.

SONORA affronta il Tema 2 della call JPI Oceans: *Fonti sismiche innovative come alternativa più silenziosa ed efficace alle tradizionali tecniche di esplorazione geofisica marina*. In questo contesto, il progetto misura e caratterizza l'impronta acustica delle sorgenti sismiche *airgun* e vengono sviluppati modelli per descrivere sia la sorgente che la propagazione del segnale. I modelli vengono successivamente convalidati attraverso test sperimentali.

Il progetto studia inoltre l'impatto del rumore sui pesci negli impianti di acquacoltura marina, includendo sia le vasche a terra sia le gabbie offshore. Gli effetti sono valutati su specie ittiche di interesse commerciale, analizzando risposte comportamentali e fisiologiche, ad esempio parametri biochimici nel sangue o in campioni corporei, lungo diverse fasi del ciclo vitale: larve, giovani e adulti. Sono considerati anche gli ecosistemi ittici selvatici presenti nelle vicinanze delle gabbie.

Sulla base dei dati raccolti, SONORA definirà soglie quantitative degli impatti comportamentali e fisiologici sui pesci e svilupperà una matrice di rischio acustico, uno strumento utile per la gestione sostenibile delle attività marine.

All'interno del progetto SONORA, l'OGS ha condotto un *test* sperimentale nel golfo di Trieste, in collaborazione con ISPRA, utilizzando un Mini-GI gun Sercel (potenze nominali massime di emissione utili pari a 173 dB re 1µPa m/Hz con un picco massimo di 12 Hz). Sono state utilizzate due imbarcazioni (una barca sorgente fissa messa a disposizione dall'Area Marina Protetta di Miramare) e una presa a noleggio dall'OGS (barca ricevitore, mobile). Le energizzazioni sono state eseguite a distanze di 100, 200 e 400 m tra la barca sorgente e la barca ricevitore. Verranno condotte delle simulazioni numeriche e l'esperimento permetterà di confrontare i valori registrati emessi dal Mini-GI con quelli simulati.

Collaborazione OGS-INFN per lo studio della propagazione a lunga distanza di segnale di *airguns*

In collaborazione con INFN-Catania, e colleghi di CNR e INGV, OGS ha condotto uno studio di confronto tra le simulazioni dei segnali di *airgun* array prodotti nel Mar Ionio durante l'indagine di esplorazione geofisica ULYSSE di una nave IFREMER nel 2012 con i segnali registrati a 650 chilometri di distanza presso l'osservatorio del fondale marino cablato NEMO-SN1. Il modello *Airgun Array Source di JASCO Applied Sciences* è stato utilizzato per prevedere i livelli sonori degli *airgun*, e il segnale è stato poi propagato in un ambiente realistico utilizzando il modello acustico di JASCO tra sorgente e stazione ricevente. Lo studio ha riscontrato un accordo qualitativo tra i segnali simulati e

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

registrati dell'arrivo del segnale degli *airguns*. Il segnale simulato a 650 chilometri dalla sorgente si allunga e mostra meno componenti ad alta frequenza rispetto a quello ricevuto. Lo studio mostra quantitativamente che i picchi prodotti da un grande *array* di *airgun* tra 160 e 180Hz non sono mascherati dal rumore ambientale nemmeno in zone fortemente antropizzate e soggette a elevato traffico navale (Affatati *et al*., 2025).

PNRR-iNEST

OGS è anche coinvolto nel progetto PNRR – iNEST (*Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem*), *Spoke 8 - Maritime, marine and inland water technologies: towards the Digital Twin of the Upper Adriatic*, (https://www.consorzioinest.it/maritime-marine-and-inland-water-technologies/) ed in particolare nel Task S8_RT2.1 – *Risks and impacts related to chemical contaminants and noise pollution in the hydrosphere*. L'attività si focalizza sulla modellazione numerica dell'inquinamento acustico sottomarino per brevi e lunghe distanze di propagazione e sull'analisi dei rischi e impatti legati ai contaminanti chimici e all'inquinamento acustico nell'idrosfera ed ha coinvolto la modellazione del rumore di un array di *airgun* per ricerca scientifica nel Mar Ionio in collaborazione con INFN e INGV (Affatati *et al*., 2025).

All'interno di iNEST, OGS ha attivato il progetto *Sourceless seismic: passive acquisition using vessel noise to reduce the impact of geophysical investigation on marine fauna* (SLIPSTREAM). Recenti studi nel settore dell'esplorazione industriale hanno dimostrato che è possibile acquisire dati sismici marini "passivi" utilizzando esclusivamente il rumore generato dalla nave di acquisizione come sorgente, ottenendo risultati comparabili a quelli prodotti dagli *airgun* (Hegna, 2022).

Nel progetto SLIPSTREAM si intende comprendere in quali condizioni geofisiche e geologiche questa tecnica passiva possa fornire dati utili e, allo stesso tempo, rappresentare una reale riduzione dell'impatto ambientale, in particolare per acquisizioni su scala di ricerca. Il progetto sarà condotto come studio pilota in acque poco profonde (circa 20 m) nel Golfo di Trieste, nel Nord Adriatico. SLIPSTREAM mira a ridurre l'impatto del rumore impulsivo prodotto dalle indagini geofisiche sulla fauna marina, eliminando l'uso di sorgenti attive come gli *airgun*. L'obiettivo è valutare in quali condizioni i dati sismici "passivi", ottenuti usando il rumore della nave come unica sorgente acustica, possano sostituire efficacemente i dati acquisiti con tecniche tradizionali, riducendo al contempo l'impatto ambientale. Il progetto ha svolto un test pilota innovativo in acque basse (circa 20 m) nel Golfo di Trieste eseguito nell'anno 2025.

Acquisizione *Sparker R/V Meteor*

Nell'ambito di una collaborazione scientifica con le università di Malta e di Amburgo, si è svolta nell'anno 2024 una campagna di ricerca geologica e geofisica marina dell'Università di Amburgo a bordo della nave da ricerca METEOR: *Erosional and depositional signatures of the Zanclean megaflood in the central Mediterranean Basin (DELUGE),* Cruise No. M199 25.02. – 11.03.2024 a cui hanno partecipato per OGS Angelo Camerlenghi, Alice Affatati e Jonathan Ford. La ricerca geologica e geofisica prevedeva la prospezione sismica utilizzando la sorgente impulsiva della '*sparker*' che prevedeva la presenza a bordo di PAM e MMO. OGS ha proposto uno studio in collaborazione con INFN Catania, GFZ-Potsdam e l'Università di Malta su:

- segnale della sorgente *sparker*;

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

- modellazione numerica acustica della sorgente *sparker*;
- validazione di modelli acustici;
- valutazione della risposta dei mammiferi marini prima, durante e dopo le emissioni di *sparker* durante l'indagine sismica a riflessione.

Da questo studio, in corso, è scaturita la proposta di *Transnational Access Geo-INQUIRE* all'infrastruttura *Eastern Sicily - Distributed Acoustic Sensing* (TA3-83-6), gestita da GFZ Helmholtz Centre for Geosciences, Germany e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Osservatorio Etneo, Italy. Il progetto DIAPASON – "*Distributed acoustic sensing for acoustic modelling and evaluation of marine mammal response before, during, and after sparker emissions"* prevede di utilizzare dati di fibra ottica registrati dall'infrastruttura per studiare la sorgente *sparker* utilizzata durante la campagna, eventuali vocalizzi di specie marine ed eventi geofonici.

Monitoraggio delle emissioni del rumore subacqueo

Attività di monitoraggio condotte da INFN-LNS

È in fase di sviluppo un sistema di monitoraggio del rumore sottomarino. Al largo della Sicilia Orientale è stata installata una moderna ed efficace rete di sensori capaci di effettuare monitoraggio in tempo reale del rumore acustico sottomarino grazie agli investimenti dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e più di recente del Centro Siciliano di Fisica Nucleare e di Struttura della Materia. L'estensione e sensibilità di tale rete rappresenta un *unicum* nel Mediterraneo, che permette il monitoraggio in tempo reale delle sorgenti antropiche, biologiche e fisiche in mare con un raggio di detezione che si estende per centinaia di km alle frequenze inferiori al kHz.

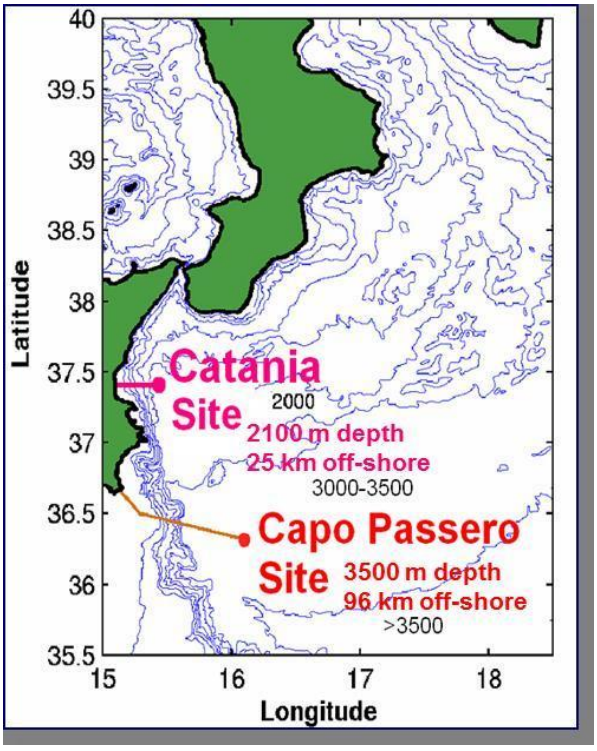


Figura 8: Mappa dei siti e cavi sottomarini utilizzati dalla rete sottomarina di INFN, CSFNSM e INGV

I dati acquisiti sono analizzati in tempo reale al fine di generare spettri di rumore e serie temporali del *Sound Pressure Level* in bande di terzi d'ottava, incluse bande a 62 Hz e 125 Hz, suggerite dalla direttiva Europea sulla Strategia Marina.

Sono anche in funzione codici automatici finalizzati al riconoscimento di segnali prodotti da misticeti e odontoceti.

Per questi osservatori i segnali prodotti da *airgun*, rappresentano sia un fondo di misura sia un elemento di pressione antropica per la fauna marina. Pertanto, gli Istituti coinvolti hanno anche sviluppato codici automatici *ad-hoc* per identificare tali segnali nelle registrazioni degli idrofoni, a partire dalle serie storiche registrate dall'INFN e dall'INGV negli anni 2012 e 2013 nell'area e riportate in (Sciacca, 2016).

Nel 2024 INFN-LNS ha collaborato con OGS, INGV e Istituto Jasco Applied Sciences per l'analisi dei segnali acustici impulsivi emessi da *airgun*, registrati durante la campagna ULYSSE (*Upper LIthosphere Ship Subduction Exploration*) del 2012, utilizzando i dati registrati dalla stazione EMSO Western Ionian. Sono stati ulteriormente elaborati anche i dati registrati dall'Ossevratorio durante il 2012 in concomitanza della campagna industriale Greece 2012 2D GeoStreamer.

Nel novembre 2023 INFN ha condotto una prima misura in collaborazione con INGV ed IFREMER-Brest, per sviluppare tecniche di rilevamento con sensori acustici distribuiti (*Distributing Acoustic Sensors* - DAS) nel Golfo di Catania.

Nel 2024 INFN ha collaborato con OGS, INGV Catania e GFZ (Germania) a una campagna di calibrazione per comprendere meglio la propagazione dei segnali emessi da sorgenti geofisiche, per la caratterizzazione del rumore marino e delle sue implicazioni su scala locale e regionale. INFN ha collaborato sugli aspetti di calibrazione e caratterizzazione di un sistema DAS passivo accoppiato al cavo INFN-LNS di Catania. Il test si è svolto nel febbraio-marzo 2024 ed è stato finalizzato alla ricerca e caratterizzazione con dispositivi DAS delle emissioni acustiche prodotte da emettitori operati da bordo della nave Meteor nel mar Ionio, nell'ambito di una campagna di indagini geofisiche.

A seguito dei risultati positivi ottenuti con le campagne di test, INFN e CSFNSM hanno installato due sistemi DAS proprietari, connessi alle infrastrutture sottomarine cablate dell'INFN al largo del mar Ionio.

Per quanto riguarda il riconoscimento dei segnali tramite registrazioni DAS non si dispone ancora di codici automatici per l'identificazione dei segnali *airgun*, trattandosi di una tecnologia nuova e ancora senza applicazioni specifiche nel settore. Si evidenzia tuttavia che anche grazie al fatto che le fibre ottiche della rete INFN sono stese sul fondale marino, che presenta un declivio lungo la batimetrica che va dalla linea di costa ai siti abissali, tali dispositivi sono in grado di identificare segnali emessi da sorgenti di emissione operate a varie profondità.

Nel 2025 sono attivi quattro osservatori sottomarini della rete:

- Osservatorio Progetto IPANEMA, *phased array* cablato *short baseline*, composto da 4 idrofoni larga banda (10 Hz-70 kHz), installato nel Test Site LNS del Golfo di Catania, 2100 m di profondità; in operazione dal 09/2024;

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

- *Seafloor Array* INFN Capo Passero, *phased array* cablato *long baseline*, composto da 3 idrofoni larga banda (10 Hz – 70 kHz), installato nel Sito di Capo Passero, 3450 m di profondità, in operazione dal 09/2024;
- Progetto VONGOLA (CSFNSM) - osservatorio NOEL, idrofono cablato larga banda (10 Hz - 50 kHz), installato nello stretto di Messina 20 m di profondità, in operazione dal 09/2025;
- *Distributed Acoustic Sensor* progetto VONGOLA (CSFNSM), connesso al cavo sottomarino di Catania (1 Hz- 1000 Hz), in operazione dal 02/2025;
- *Distributed Acoustic Sensor* progetto LOWNOISER, connesso al cavo sottomarino di Portopalo di Capo Passero (1 Hz- 500 Hz), in operazione dal 07/2025.

Segnali compatibili con emissioni prodotte da *airgun* provenienti dal Mediterraneo Sud-Orientale sono stati identificati dal dispositivo DAS installato grazie al progetto VONGOLA (CSFNSM), che interroga il cavo INFN del test site di Catania, nel periodo compreso tra fine maggio e inizio settembre 2025.

Si nota un considerevole aumento dei livelli di pressione sonora in corrispondenza del segnale emesso, principalmente nell'intervallo di frequenza tra pochi Hz e 60 Hz. I segnali sono identificati solo nei primi 15 km del cavo elettro-ottico, suggerendo che la sorgente di emissione sia stata operata su una batimetrica non superiore a 1000 m.

La propagazione del segnale dal mare alla costa avviene con velocità apparente di circa 1700 m/s, compatibile con un angolo di 25° rispetto alla direzione del cavo, suggerendo che la sorgente è localizzata nel Mediterraneo Sud-Orientale

Segnali compatibili con emissione *airgun* da siti lontani sono stati misurati anche durante la fase di *commissioning* dell'interrogatore DAS installato sul cavo sottomarino di Capo Passero nell'ambito del progetto LOWNOISER (INFN). Anche in questo caso sono stati misurati segnali impulsivi con periodi di ripetizioni di circa 7 secondi.

L'ampiezza e la direzione dei segnali registrati con entrambi i DAS sono compatibili con emissioni prodotte nel Mediterraneo Sud-Orientale. La concomitante presenza di una nave per esplorazioni geofisiche nell'area indicata suggerisce una potenziale *smoking gun* per l'origine dei segnali.

Attività di ricerca geologica e geofisica marina che necessitano dell'uso di airgun

Uno degli obiettivi più importanti delle prospezioni di sismica a riflessione a mare, con energizzazione attraverso *airgun*, è quello di identificare e caratterizzare le principali strutture tettoniche crostali sia superficiali che profonde presenti in alcune porzioni di particolare interesse geologico dell'offshore italiano, in quanto interessate in passato da intensa sismicità e/o vulcanismo. A differenza di altre tecniche di indagine geofisica (e.g. *ecosounder multibeam*, sismica monocanale) che impiegano sorgenti meno invasive per l'ambiente ma capaci di indagare soltanto le porzioni più superficiali della crosta, i dati di sismica a riflessione multicanale con sorgente *airgun* fornisco immagini ecografiche del sottosuolo, con profondità nell'ordine di qualche km (profondità che interessano volumi crostali potenzialmente sismogenici).

Lo scopo è quello di dettagliare l'assetto geologico-strutturale di queste aree fornendo uno strumento utile alla stima della pericolosità sismica, vulcanica e da tsunami delle zone costiere vicine. L'insieme dei dati acquisiti potrà essere poi organizzato in un geo-database, messo a

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

disposizione della comunità scientifica secondo la *data policy* degli Enti esecutori. Tali indagini potranno essere integrate da analisi batimetriche e di riflettività del fondale, gravimetriche e magnetometriche per vincolare con maggiore accuratezza l'interpretazione geologica.

Precedenti progetti scientifici in cui sono stati acquisiti dati di sismica a riflessione multicanale attraverso gli *airgun* (tra cui MS, CROP, ETNASEIS, MESC 2001) hanno fornito un contributo importante alla conoscenza delle faglie potenzialmente sismogeniche dell'offshore italiano, anche in termini di valutazione della pericolosità sismica. Per quanto riguarda la pericolosità vulcanica, è inoltre necessario approfondire le conoscenze sullo stato di attività dei vulcani sottomarini (Marsili, Palinuro, Banco Graham) e affinare la conoscenza della porzione sommersa dei vulcani insulari (Campi Flegrei, Vulcano, Panarea, Pantelleria) che in alcuni casi, come a Stromboli, è soggetta a frequenti collassi gravitativi e alla formazione di pericolosi *tsunami*.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha acquisito, attraverso la collaborazione con altri enti di ricerca (soprattutto con l'OGS e CSIC di Barcellona, Spagna), diverse centinaia di km di profili sismici nell'ambito dell'esperimento TOMO-ETNA del progetto MED-SUV (Coltelli *et al*., 2016), oltre a dati di gravimetria e magnetometria nelle aree marine intorno all'Etna e alle Eolie occidentali. Questo materiale è stato parzialmente pubblicato (e.g. Cavallaro *et al*., 2016, Firetto Carlino *et al*., 2016, 2019) ed è attualmente in fase di elaborazione, ma necessita di essere integrato con nuovi dati per ottenere un quadro più approfondito e completo.

A titolo di esempio durante le campagne oceanografiche condotte nell'esperimento TOMO-ETNA sono stati acquisiti profili di sismica a riflessione con sorgenti formate da batterie di *airgun* con volume totale di 4340/71.12 cu.in./lt e *streamer* lungo 3000 m, e batteria di *airgun* con volume totale di 270/4.43 cu.in./lt e HR *streamer* lungo 300 m (Coltelli *et al*., 2016; Firetto Carlino *et al*., 2016).

I nuovi dati di sismica a riflessione multicanale potranno ampliare in modo significativo la copertura dell'*offshore* italiano, già studiato in precedenti campagne di sismica a riflessione condotte da vari progetti scientifici e minerari. Una parte di questi dati è oggi accessibile tramite i database VIDEPI e SNAP.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Avanzamento dello stato delle conoscenze degli effetti per gli ecosistemi marini della tecnica dell'*airgun*

Così come evidenziato nei precedenti "Rapporti" e attestato dai lavori del recente convegno "*The Effects of Noise on Aquatic Life*" (Praga, 2025), le conoscenze sul tema sono circoscritte a esperienze inerenti al Mare del Nord, all'Oceano Pacifico e all'Oceano Atlantico, mentre quelle riferibili al Mar Mediterraneo sono scarse per la carenza di studi relativi alle misurazioni dell'emissioni acustiche di natura antropica, ed in particolare agli *airgun,* così come gli studi inerenti alle risposte di specifici organismi marini nonché degli ecosistemi a tali pressioni.

Anche solo considerando le informazioni extra mediterranee, vi è un ampio spettro di suoni antropici immessi in mare (rumori prodotti dalle eliche di navi in navigazione, dalla battitura di pali, dalla coltivazione di giacimenti di idrocarburi e dalle attività di installazioni *offshore* (inclusi i parchi eolici *offshore*) che quasi mai permettono di discriminare se gli effetti riscontrati sugli organismi o sugli equilibri ecosistemici marini siano ascrivibili, in via esclusiva, al rumore impulsivo prodotto da *airgun* piuttosto che derivanti da altre tipologie di rumori o da altri impatti antropici o da una sinergia di essi (Balicka, 2025).

Poiché il quadro conoscitivo relativo al bacino Mediterraneo è estremamente lacunoso sarebbe opportuna una serie di *survey ad hoc* nelle acque territoriali italiane che rilevino le principali sorgenti di rumore, l'incidenza spaziale del fenomeno acustico e i potenziali effetti sulle specie *target* a diversi livelli della rete trofica, quali *benchmark* utilizzabili nel Mar Mediterraneo.

Gli animali acquatici, inclusi mammiferi, pesci e invertebrati, fanno affidamento sul suono per funzioni cruciali come la comunicazione, l'orientamento, la ricerca di cibo, la riproduzione e l'evitamento dei predatori. Il rumore può compromettere queste funzioni vitali attraverso due meccanismi principali: **l'**effetto mascheramento (interferendo con la capacità di rilevare segnali importanti) o l'essere percepito come una minaccia. Ciò determina una risposta degli organismi che possono determinare alterazioni comportamentali e fisiologiche.

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 dannose, di quali siano le soglie oltre le quali si suscita 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; gli invertebrati che vivono in prossimità del fondale sono prevalentemente sensibili all'accelerazione delle particelle di acqua generato dal suono (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).

Il 2024 e 2025 è caratterizzato da una produzione scientifica meno ricca degli anni precedenti. 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 marine, non vi sono evidenze che alla sorgente di rumore *airgun* siano direttamente ascrivibili, in via esclusiva, alterazioni sensibili e persistenti agli equilibri ecosistemici marini. Purtuttavia, nella regolamentazione delle attività di

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

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 (vedi cap. *Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali*). Ne deriva quindi la rilevanza di prevedere, nel processo di autorizzazione delle esplorazioni geofisiche con l'impiego di *airgun*, un monitoraggio ambientale per verificare eventuali effetti nocivi sugli ecosistemi marini, per poter adottare nel caso ulteriori misure di mitigazione in corso d'opera.

In termini generali, il rumore subacqueo antropico esercita impatti diffusi e complessi su tutta la vita acquatica, dai cambiamenti comportamentali e riproduttivi (nei pesci e nei cetacei) al danno fisiologico (nei pesci e negli invertebrati) e alla riduzione della funzionalità ecosistemica (zooplancton). È imperativo che le future strategie di mitigazione tengano conto delle diverse sensibilità acustiche e considerino gli effetti cumulativi dei molteplici fattori di *stress*.

Nelle righe che seguono abbiamo cercato di riassumere gli aspetti salienti circa i principali effetti nocivi per gli ecosistemi marini della tecnica dell'*airgun*, e in generale del rumore impulsivo, evidenziando soprattutto la recente produzione scientifica. Come precedentemente menzionato, tra la produzione scientifica recente spiccano i lavori presentati alla Conferenza internazionale "*The Effects of Noise on Aquatic Life* (AN 2025)" che si è svolta a Praga dal 29 giugno al 4 luglio 2025 (http://aquaticnoise.org). I relativi *Proceedings* della Conferenza devono ancora essere pubblicati, sono comunque disponibili gli abstracts dei singoli interventi (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Gli impatti su macroinvertebrati bentonici

I macroinvertebrati bentonici rappresentano gli organismi marini che vivono a stretto contatto con il fondale e nella coltre sedimentaria, come gli organismi scavatori e bio-trituratori, le cui attività sono cruciali per gli ecosistemi dei fondi mobili. Questi organismi, sottoposti a fonti di rumore, subiscono una riduzione dell'attività di scavo. Ne deriva che i macroinvertebrati bentonici sia un gruppo di organismi che debba essere monitorato quando si valutano gli impatti dell'inquinamento acustico antropogenico sulla fauna e gli ecosistemi marini.

Per i crostacei come l'astice (*Jasus edwardsii*) e le capesante (*Pecten fumatus*), a seguito dell'esposizione agli *airgun* convenzionali, si osserva l'aumento della mortalità, la compromissione del sistema immunitario e l'alterazione dell'omeostasi. Tali effetti sono risultati significativamente ridotti esponendo gli organismi ad *airgun* a banda limitata (*bandwidth-limited airguns, eSource*) (Fuentes *et al*., 2025).

Gli invertebrati, come i granchi eremiti, esposti a vibrazioni continue o impulsive delle turbine eoliche, hanno mostrato conseguenze sul loro stato metabolico, cambiamenti nell'assunzione di cibo e sulla fisiologia riproduttiva (interruzione della deposizione delle uova) (Burges *et al*., 2025). In termini generali, le statocisti dei crostacei decapodi sono sensibili al movimento delle particelle e quindi fondamentali per l'udito e l'equilibrio. Questi animali possiedono una certa capacità di discriminare la direzione dello stimolo acustico. Tuttavia, il rumore antropico può alterare la struttura e la funzione delle statocisti, riducendo la sensibilità acustica e causando disturbi comportamentali e fisiologici (Leedham *et al*., 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Effetti sullo zooplancton

Gli impatti del rumore subacqueo derivante dalle indagini sismiche sullo zooplancton rimangono poco compresi nonostante il ruolo ecologico fondamentale di questo comparto.

Le indagini sull'impatto delle prospezioni geosismiche e del rumore antropico hanno prodotto diverse risultanze, spesso specie-specifiche. Le indagini iniziali indicavano un impatto significativo, con McCauley *et al.* (2017) che descrivevano decrementi di abbondanza e un aumento della mortalità degli organismi zooplanctonici entro un raggio di 1,2Km dalla sorgente *airgun*. Tali risultati portarono Richardson *et al.* (2017) a modellare una mortalità del 14% nello zooplancton a una distanza di 15 Km dall'esplosione sismica.

Successivamente, lo studio di Fields *et al.* (2019) su *Calanus* spp. ridimensionò tali evidenze, osservando un incremento apprezzabile della mortalità solo a una distanza inferiore a 10 m dalla fonte *airgun*. Questa differenza è stata spiegata in base alle dimensioni delle specie di plancton sottoposte a esperimento che differiscono tra i due studi (Solé *et al.*, 2023). A supporto della dipendenza dalle dimensioni, Vereide *et al.* (2023) hanno osservato un aumento della mortalità immediata (circa 14% nei naupli rispetto al controllo) e una minore velocità di crescita negli stadi larvali (*naupli*) del copepode *Acartia tonsa* esposti alle emissioni di due *airgun* nelle immediate vicinanze.

Vereide *et al.* (2024) hanno inoltre investigato la mortalità e il comportamento (velocità di nuoto) di *Acartia* sp. e *Calanus* sp. esposti a rapidi cali di pressione tipici delle emissioni *airgun*. La mortalità di *Acartia* è risultata maggiore di quella di *Calanus* e la velocità di nuoto è cambiata in modo differente tra le due specie, rafforzando l'ipotesi che gli impatti siano specie-specifici e dipendano dalla struttura anatomica.

Un nuovo studio (Kühn *et al*., 2025) ha valutato *in situ* gli effetti degli spari di un dispositivo *airgun* sul comportamento natatorio del copepode *Calanus finmarchicus* a distanze variabili. Mediante un sistema di stereo-camera per il tracciamento dei singoli individui installata in una piccola gabbia, sono state rilevate modificazioni significative nella velocità e nelle classificazioni comportamentali del movimento di questi copepodi: nuoto, affondamento, salto. Durante l'esposizione, la velocità di nuoto è aumentata; l'incidenza del salto è pure aumentata, con conteggi relativi che mostrano una relazione non lineare con la distanza dalla sorgente sismica. Si è osservata una diminuzione nella durata dell'affondamento e un prolungamento del nuoto. I risultati suggeriscono che i cambiamenti nella velocità del flusso dei fluidi e il suono a bassa frequenza indotti dagli spari siano i *driver* delle risposte comportamentali, evidenziando la complessa interazione tra attività sismica e comportamento dei copepodi. Oltre a far luce sugli effetti del rumore impulsivo sui copepodi pelagici, lo studio introduce una metodologia innovativa per la ricerca sul campo di piccoli organismi acquatici.

Vereide *et al.* (2025) ha condotto una sperimentazione nel Mare del Nord per valutare gli effetti sullo zooplancton in prossimità di un'indagine sismica in esecuzione che impiegava un dispositivo di *airgun* da 3060 pollici cubi. Il rumore generato ha raggiunto un livello massimo di di 182 dB re 1µPa²s alla distanza più ravvicinata di circa 50 m. I risultati hanno mostrato che la distribuzione della biomassa zooplanctonica è rimasta coerente con l'idrografia e la clorofilla, sia prima che dopo l'esposizione agli *airgun*, non indicando un impatto immediato sulla distribuzione spaziale. La

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

mortalità immediata nel *Calanus* spp. campionata *in situ* è risultata uniforme al variare dei diversi livelli sonori e non ha mai superato il 35,9%. Per quanto riguarda gli effetti sul medio termine, esemplari di *Calanus finmarchicus* coltivati ed esposti in sacchetti sommersi, hanno evidenziato una bassa mortalità immediata (<10%), ma con una tendenza all'aumento progressivo (fino a <30%) nei 7 giorni successivi all'esposizione. Questo lavoro suggerisce che gli impatti immediati delle indagini sismiche sullo zooplancton potrebbero considerasi limitati. Tuttavia, la necessità di ulteriori ricerche sugli impatti ritardati, che potrebbero avere conseguenze significative a livello di popolazione, è fortemente sottolineata.

Anche considerando i risultati di lavori precedenti e citati nei precedenti "Rapporti", le percentuali del tasso di mortalità in diverse specie di *Calanus* spp.. Queste differenze rafforzano l'idea che gli effetti sullo zooplancton possono essere influenzati da variabili come il numero delle fonti di emissioni acustiche, dalla direzionalità dell'esposizione e dalla specie (effetti specie-specifici) e che la questione necessita ancora di un approfondimento scientifico.

In conclusione, i dati mostrano effetti limitati nell'immediatezza dell'attività sismica sulla mortalità e distribuzione dello zooplancton ma un potenziale impatto ritardato. La variazione naturale della mortalità e della distribuzione verticale sembra essere più grande di quella dovuta all'esposizione sismica sullo zooplancton *in situ*, indicando che gli effetti diretti delle indagini sismiche sullo zooplancton sono limitati e specifici per specie (Vereide *et al.* 2025). Da indagare, poi, se l'effetto ritardato sulla mortalità possa portare a impatti a livello di popolazione.

Effetti sui pesci

I pesci sono particolarmente vulnerabili agli impatti del rumore, soprattutto perché molte specie rilevano primariamente la componente di movimento di particella () del suono, piuttosto che solo la pressione sonora (Radford *et al*., 2025). In termini generali si riscontrano danni all'apparato uditivo e fisiologici nonché alterazioni del comportamento.

Il danno uditivo temporaneo (*Temporary Threshold Shift* - TTS) a carico dei pesci è stato storicamente ritenuto un effetto negativo poco probabile, poiché richiede intensità sonore estremamente elevate. Tuttavia, il pesce del riso o *medaka marino (Oryzias melastigma)* ha mostrato una perdita uditiva (TTS) indotta dal rumore delle imbarcazioni, in particolare tra 400 e 800 Hz, associata a una leggera diminuzione delle cellule ciliate sacculari (Ramos *et al*., 2025). La spigola del Mar Nero (*Centropristis striata*) ha mostrato un innalzamento transitorio delle soglie di rilevamento uditivo dopo l'esposizione alla battitura di pali (*pile driving*) (Stanley e *Mooney,* 2025).

L'esposizione a detonazioni (anche a livelli inferiori alle soglie di lesione note) ha causato disturbi circolatori, emorragie (compatibili con barotrauma) e un aumento dei livelli di cortisolo nei salmoni d'allevamento (Kvadsheim *et al*. 2025).

Il rumore navale può interrompere la comunicazione acustica, essenziale per la riproduzione. Il pesce rospo lusitano (*Halobatrachus didactylus*) esposto al rumore delle imbarcazioni ha mostrato interruzioni della vocalizzazione, aumento dello *stress*, riduzione del successo riproduttivo e compromissione delle cure parentali (Vieira *et al*. 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Uno nuovo studio (Réalis-Doyelle *et al.,* 2025) ha esaminato l'impatto delle indagini sismiche lacustri sui pesci. L'analisi si è concentrata sulla scardola giovanile (*Rutilus rutilus)* campionata prima e durante l'indagine sismica. Sono stati misurati il cortisolo e lo *stress* ossidativo (risposte di *stress* individuali), parametri morfologici e contenuto stomacale. Mediante l'idroacustica, è stato analizzato il comportamento individuale dei banchi prima, durante e dopo gli impulsi sonori, e si è valutata la densità ittica pelagica. Inoltre, è stato utilizzato il DNA ambientale (eDNA) per verificare l'uso dell'area litoranea come possibile rifugio per tre specie.

Gli autori riportano che i risultati hanno dimostrato che gli impulsi sismici hanno causato impatti apprezzabili sulla scardola giovanile, estesi dal livello molecolare-cellulare fino alle caratteristiche morfologiche individuali. Sono state osservate alterazioni nelle caratteristiche dei banchi durante gli spari. In particolare, si è registrata una netta diminuzione (>30%) della densità ittica pelagica all'inizio dell'indagine, senza riscontrare un aumento compensatorio di densità nelle aree litoranee per le specie analizzate tramite eDNA. Queste risposte complessive suggeriscono che il disturbo acustico dovuto agli *airgun* influenza i pesci in modi molteplici (fisiologia, morfologia, comportamento e uso dell'*habitat*) e su diverse scale biologiche.

Per valutare l'effetto dei rilevamenti sismici su larga scala, Speed *et al*. (2025) hanno applicato la tecnica del *metabarcoding* del DNA ambientale (eDNA), con un disegno sperimentale di tipo BACI (*Before–After, Control-Impact*), per valutare se il rumore generato da un'indagine sismica su larga scala abbia modificato la comunità ittica confrontando le stime di abbondanza dei pesci ottenute dall'eDNA con quelle campionate tramite stazioni video sottomarine telecomandate con esca (BRUVS). La combinazione dei due metodi ha rilevato 102 generi di pesci, con i BRUVS (n=71) che hanno identificato più generi rispetto all'eDNA (n=57). L'analisi condotta col metodo BACI non ha riscontrato cambiamenti significativi nella struttura della comunità ittica (ricchezza di specie o abbondanza) nella zona ad alto impatto rispetto alle zone di controllo, suggerendo l'assenza di impatti sostanziali dovuti all'indagine sismica. Lo studio conferma quindi l'applicabilità dell'eDNA *metabarcoding* per la valutazione di impatti puntuali su comunità ittiche, specialmente in combinazione con tecniche complementari come i BRUVS.

Effetti sui Mammiferi marini

I mammiferi marini sono molto sensibili al rumore a causa della loro dipendenza dall'acustica per le funzioni vitali (Balzer *et al*., 2025; Seger *et al*., 2025). Anche l'aumento del rumore continuo, come il traffico navale, compromette la capacità dei cetacei come le orche (*Orcinus orca*) di localizzare e catturare le prede (mascheramento acustico funzionale). È stata osservata una differenza di genere nella risposta: i maschi continuavano a cercare cibo in ambienti rumorosi, mentre le femmine cessavano il foraggiamento (Burnham *et al.*, 2025).

Le balenottere azzurre e comuni hanno mostrato risposte di evitamento lievi e temporanee a simulazioni di *marine vibrators* (MV), ma non hanno mostrato cambiamenti marcati nel comportamento alimentare in aree con alta concentrazione di prede (Southall *et al*., 2025).

La balenottera minore (*Balenoptera acutorostrata*) è una specie protetta nel Mare del Nord ed è sensibile al mascheramento delle sue vocalizzazioni, essenziali per la riproduzione e il nuoto. Studi diretti sull'udito indicano che il *range* di frequenza dell'udito si trova intorno ai 32 kHz, con un limite superiore che supera i 45 kHz (Baltzer J. *et al*., 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Le foche comuni (*Phoca vitulina*) possono incontrare un'elevata esposizione al rumore navale (fino a 55 passaggi ad alta ampiezza al giorno) in estuari trafficati. Hanno la capacità di mitigare l'esposizione al rumore subacqueo inferiore a 8 kHz sollevando la testa sopra l'acqua ("*bottling*") (Kastelein *et al.* 2025).

Oltre l'*airgun*, anche altre fonti di rumori impulsivi possono determinare conseguenze negative sulla fauna marina. Il rumore di battitura dei pali (*pile driving*), comune nella costruzione di parchi eolici *offshore*, può causare lesioni uditive e disturbo comportamentale (Stephenson *et al.*, 2025; Stephenson *et al.*, 2025a). Le detonazioni di ordigni inesplosi (*Unexploded Ordnace* - UXO) hanno avuto un impatto negativo sulla presenza e sul comportamento di foraggiamento/sociale delle focene comuni (*Phocoena phocoena*) fino a 15–20 km di distanza (Van Der Stappen *et al.*, 2025).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali

Nel periodo intercorso dalla pubblicazione del precedente *VIII Rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'airgun*, la letteratura scientifica ha evidenziato progressi in ambito tecnologico e modellistico che, pur senza un radicale cambio di paradigma, confermano la tendenza verso approcci ibridi, predittivi e basati su validazione empirica; le innovazioni tecnologiche (*Marine Vibroseis*, pali convessi, *metabarrier*) e i miglioramenti nelle barriere di bolle e i nuovi modelli *digital twin* riducono l'impatto acustico complessivo delle attività umane in ambiente marino. Parallelamente, si riscontra un consolidamento delle pratiche esistenti e l'emergere di soluzioni in linea con i principi della *Best Available Technique* (BAT) e della *Best Environmental Practice* (BEP) definiti a livello europeo e internazionale. Appare quindi evidente la tendenza, in ambito industriale e scientifico, di integrare modelli fisici, dati osservativi e implementazione normativa per gestire le conseguenze del rumore subacqueo di natura antropica.

Per mitigare gli impatti derivanti dalle indagini sismiche, possono essere utilizzate diverse tecniche e tecnologie, già segnalate nei precedenti "Rapporti", tra cui:

a. Riduzione della frequenza: utilizzare sorgenti sismiche a bassa frequenza riduce l'impatto sui mammiferi marini che sono particolarmente sensibili alle alte frequenze. L'industria sismica sta sviluppando sorgenti pneumatiche alternative che limitano la larghezza di banda e riducono il contenuto ad alta frequenza come il *Marine Vibroseis* (MV): questa tecnologia utilizza una vibrazione a bassa frequenza e ampia banda per generare il segnale sismico, riducendo significativamente il rumore rispetto agli *airgun* tradizionali. MV presenta diversi vantaggi rispetto agli *airgun*, tra cui l'eliminazione dei picchi di pressione, la riduzione delle alte frequenze e un maggiore controllo del segnale.

b. Osservazione visiva e mitigazione operativa: l'osservazione visiva dei mammiferi marini e la mitigazione operativa, come la creazione di zone di esclusione attorno alle navi sismiche, possono ridurre il rischio di impatto.

c. Zone di esclusione: sebbene non siano esplicitamente menzionate in relazione alle prospezioni sismiche, le zone di esclusione potrebbero essere utilizzate per proteggere *habitat* sensibili dal rumore da *airgun*.

d. Considerazioni sugli effetti cumulativi: valutare gli impatti cumulativi delle attività industriali, compresi gli effetti sinergici con altri fattori di stress come la pesca, l'inquinamento e il cambiamento climatico.

Vanno considerate anche tecnologie innovative che possono contribuire a una migliore comprensione dell'impatto delle attività industriali *offshore*, incluse le prospezioni sismiche:

e. Mappatura acustica ad alta risoluzione: strumenti come i *sonar* a scansione laterale e gli ecoscandagli multifascio possono essere utilizzati per mappare la distribuzione degli *habitat* sensibili e identificare le aree da evitare durante le prospezioni sismiche.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

f. Monitoraggio passivo acustico: l'uso di idrofoni per monitorare il rumore subacqueo generato da *airgun* può aiutare a valutare l'impatto sulle specie marine e a perfezionare le pratiche operative per ridurre al minimo il disturbo.

g. Modellazione della propagazione del suono: modelli sofisticati possono simulare la propagazione del suono nell'ambiente marino, consentendo di prevedere la portata dell'impatto del rumore da *airgun* e di ottimizzare la progettazione delle prospezioni per ridurre al minimo l'esposizione delle specie sensibili.

A questo possono aggiungersi altre precauzioni, per la navigazione in genere o la posa in opera di fondazioni per le strutture *offshore* come: ridurre la velocità delle imbarcazioni, ottimizzare elica e scafo, monitorare in tempo reale l'emissione del rumore, utilizzare le barriere di bolle d'aria.

Nuovi sviluppi tecnologici

Per quanto riguarda le sorgenti acustiche alternative, in particolare la tecnologia *Marine Vibroseis* (MV), il lavoro di Erbe (2025) conferma che rappresenta un'evoluzione rispetto agli *airgun* tradizionali poiché in grado di generare onde sismiche controllate a bassa frequenza e banda larga, riducendo in modo significativo i picchi di pressione sonora e quindi l'impatto acustico sugli organismi sensibili. Questa tecnologia è attualmente in fase di sperimentazione in diversi contesti marini e sarebbe opportuno fosse integrata nei futuri protocolli di mitigazione. Un ulteriore ambito di progresso riguarda la mitigazione acustica durante le operazioni di *pile driving* (installazione di grandi pali nel fondale marino per creare le fondamenta di strutture come piattaforme petrolifere, turbine eoliche e ponti); Koue e Abe (2025) hanno dimostrato che l'uso di pali con superfici convesse riduce la generazione di onde di compressione e la trasmissione del rumore subacqueo. Infine, l'impiego di metamateriali acustici subacquei ha aperto nuove possibilità per la riduzione del rumore a bassa frequenza (Dal Poggetto & Miniaci, 2025).

Misure operative

Nel 2025, le misure operative consolidate quali la presenza di *Protected Species Observers* (PSO), *Marine Mammal Observers* (MMO) e operatori PAM (*Passive Acoustic Monitoring*), le zone di esclusione/mitigazione, e le procedure di avvio graduale (*soft-start*) delle attività rumorose (come il *pile driving* e l'*airgun* appunto) con aumento progressivo dell'intensità sonora, restano strumenti fondamentali per la mitigazione del disturbo causato dal rumore.

L'aggiornamento del Piano d'Azione Regionale OSPAR sul rumore subacqueo ha ribadito la priorità di utilizzare prioritariamente le strumentazioni meno impattanti acusticamente a disposizione, per le attività produttive e di indagine come linea guida per le attività industriali marine (OSPAR Commission, 2025).

Tecniche di contenimento

Significativi progressi sono stati documentati nel campo delle cortine di bolle (*bubble curtains*). Beelen *et al*. (2025) hanno evidenziato che una configurazione doppia di cortine produce un'attenuazione sonora maggiore fino a 11 dB rispetto a una singola, a parità di flusso d'aria totale.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Le ricerche sui metamateriali acustici confermano inoltre la possibilità di combinare barriere passive e attive per coprire un intervallo di frequenze acustiche più ampio; Il lavoro di Dal Poggetto & Miniaci (2025) propone una metabarriera acustica subacquea innovativa basata su metamateriali anisotropici con "*normal-shear coupling*" che, secondo simulazioni, consente una forte attenuazione del rumore a bassa frequenza, con spessore molto ridotto rispetto alla lunghezza d'onda e larghezza di banda ampia. Questo rappresenta un avanzamento potenzialmente importante per mitigare l'inquinamento acustico marino generato dalle attività antropiche e proteggere gli ecosistemi acquatici.

Approcci innovativi

L'ottimizzazione delle geometrie di acquisizione sismica rimane un ambito di ricerca in crescita. Madiligama *et al*. (2025) hanno approfondito la dinamica delle onde di bolle residue (*Bubble Waves* - BW) generate da sorgente *airgun* a seguito dell'impulso primario. L'articolo evidenzia i recenti progressi nella mitigazione degli effetti da BW, responsabili di influenzare la qualità dei dati. Vengono dimostrati i vantaggi di *array* di cannoni ad aria compressa più distanziati, del *debubbling* (un processo di post-elaborazione dei dati sismici tramite *software* e algoritmi) attraverso tecniche di simulazione ed elaborazione avanzata del segnale. Inoltre, esplora il potenziale delle tecniche per migliorare la qualità dei dati sismici come l'intelligenza artificiale (*Artificial Intelligence* - AI) a "reti neurali informate dalla fisica" (*Physics-Informed Neural Networks* - PINN) che possono funzionare efficacemente anche con *set* di dati limitati, perché la loro struttura e il loro processo di addestramento sono "informati" dalle equazioni che descrivono il comportamento fisico nella matrice ambientale scelta, dimostrando che un'elaborazione numerica più accurata consente di ridurre il numero di emissioni necessarie e, quindi, il disturbo acustico complessivo.

Modellazione e monitoraggio

Il 2025 ha segnato un avanzamento rilevante nella modellazione predittiva della propagazione acustica. Deo *et al*. (2025) hanno proposto un modello *digital twin,* per simulare lo scenario fisico (ambiente marino) e prevedere i risultati prima di intervenire, basato su apprendimento automatico e fisica computazionale per stimare la perdita di trasmissione sonora. Parallelamente, Rovinelli *et al*. (2025) hanno sviluppato un modello spazio-temporale basato su dati AIS (A*utomatic Identification System*), la tecnologia di tracciamento e identificazione automatica per imbarcazioni, per caratterizzare il rumore prodotto dal traffico navale nel Mar Adriatico.

A conferma della validità dei modelli predittivi, Affatati *et al*. (2025) hanno confrontato simulazioni numeriche e registrazioni acustiche reali nel Mar Ionio, dimostrando la coerenza dei modelli di propagazione a lunga distanza. Sul piano normativo, l'ACCOBAMS *Secretariat* (2025) ha avviato una raccolta dati coordinata sul rumore impulsivo e continuo nel Mediterraneo e Mar Nero.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Proposta delle principali misure di mitigazione da indicare nelle procedure autorizzative di prospezione con airgun nei mari italiani

Come già avvenuto nei Report precedenti 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. Tali misure di mitigazione dovrebbero essere prese in considerazione nel corso dei processi autorizzativi di attività di esplorazione geofisiche marine.

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

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 balene migratrici.
	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.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

	Contenimento del suono	Esistono sul mercato degli espedienti che funzionano da inibitori del suono (*bubble curtains, blasting mats*, ecc.) in grado di contenere il suono in un'area ristretta. Generalmente sono utilizzati per attività quali il *pile driving* (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 *ramp up* o *soft start*, ovvero la stessa sorgente viene utilizzata per emettere suoni blandi che, gradualmente, aumentano di potenza prima dell'inizio dell'attività. Bisogna però considerare che, 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	L'incessante aggiornamento sulle conoscenze dell'acustica sottomarine e delle ricadute sugli organismi, devono corrispondere all'implementazione delle procedure preventive, individuando le lacune e proponendo modifiche a livello normativo nazionale ed internazionale (es. valutazione dell'impatto ambientale (EIA) per l'industria petrolifera e del gas)

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Criticità connesse alle procedure autorizzative di prospezioni a fini scientifici

Così come evidenziato nei precedenti "Rapporti", si ribadisce che perdurano le difficoltà connesse all'iter procedurale per autorizzare le attività di prospezione del sottosuolo in ambiente marino per fini scientifici come lo studio del clima, del paleo-clima e della pericolosità naturale determinando una situazione di difficoltà per il sistema della ricerca e della formazione in Italia. L'attuale situazione normativa prevede una complessa procedura autorizzatoria e di monitoraggio che di fatto inibisce la ricerca scientifica marina, come specificato nel prosieguo, e questo comporta il rischio di disperdere una componente importante del patrimonio di conoscenza del sottosuolo italiano, del sistema universitario e della ricerca scientifica.

L'*iter* autorizzativo previsto per tali prospezioni eseguite con *airgun* (o altre sorgenti di rumore impulsivo) viene trattato alla stessa stregua di attività con *airgun* per la ricerca di giacimenti di idrocarburi. In realtà, le prospezioni per scopi scientifici prevedono una *configurazione* dell' *airgun* che produce una potenza energetica di gran lunga inferiore rispetto a quella prodotta in occasione di ricerche di giacimenti petroliferi, e quindi il potenziale impatto ambientale è di gran lunga inferiore.

Inoltre, le prospezioni petrolifere, quasi sempre condotte con batterie di *streamer* paralleli, per ottenere ricostruzioni sismiche 3D, sono estremamente invasive non solo per il volume di aria utilizzato negli *airgun* (potenza che può arrivare a 8000 cu.in.), ma soprattutto per la persistenza nelle aree di rilievo. Le prospezioni scientifiche, invece, cercano di ricostruire profili crostali a grande scala e quindi non incidono pesantemente su una zona marina ma si disperdono su aree molto grandi permettendo alle specie marine di allontanarsi dalle sorgenti di rumore.

L'*airgun* è una tecnica di ricostruzione delle geometrie del sottofondo marino che viene quindi utilizzata dalla ricerca scientifica con modalità e finalità differenti rispetto all'esplorazione industriale per idrocarburi, per rispondere a necessità conoscitive di primaria importanza.

La principale di queste è l'identificazione e la caratterizzazione delle principali strutture tettoniche crostali e delle faglie sismogenetiche con il fine di mitigare il rischio sismico. Parimenti la ricostruzione delle strutture profonde dei vulcani e dei margini continentali sono obiettivi che possono essere perseguiti solo attraverso studi di sismica profonda, possibili solo con tecniche *airgun*. Infatti, queste, a differenza di altre tecniche di indagine geofisica (e.g. sonar *multibeam*, sismica monocanale) che impiegano sorgenti a più alta frequenza, sono le uniche capaci di indagare le porzioni più profonde della crosta, nell'ordine di qualche km, esattamente le profondità in cui si sviluppano i terremoti e si strutturano le camere magmatiche dei vulcani.

In tutto il Mediterraneo studi di questo genere vengono condotti con regolarità da moltissime università ed enti di ricerca, nell'ambito di progetti nazionali, europei ed internazionali, nel rispetto delle doverose cautele ambientali tramite adozione di misure di mitigazione (*mammal observer*, aumento graduale nella potenza delle energizzazioni, rispetto di bandi stagionali e geografici). Negli ultimi 20 anni invece in Italia non vengono più svolti rilievi di sismica multicanale con *airgun* perché la normativa impone un processo VIA talmente gravoso (in termini economici e temporali) da non essere alla portata della ricerca scientifica.

La situazione diventa quindi paradossale: la ricerca scientifica che tipicamente usa sorgenti di bassa potenza da poche decine a 100-200 pollici cubici (negli *airgun* si usa il volume come indicatore di

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

potenza), con campagne di durata limitata nel tempo (tipicamente una o due settimane) e profili singoli spesso distanti tra loro km o decine di km, non riesce ad essere svolta. Al contrario, prospezioni di esplorazione industriale svolte con gruppi di *airgun* che contemporaneamente energizzano per migliaia di pollici cubici, con campagne che possono durare mesi e profili ravvicinati a copertura totale del fondale, possono permettersi di affrontare il complesso iter autorizzativo per essere eseguite.

Vale la pena ricordare come nel passato importantissimi dati di sismica a riflessione multicanale sono stati acquisiti tramite tecnologia *airgun* (tra cui MS, CROP, ETNASEIS, MESC) Tutti questi dati (una parte dei quali è oggi accessibile tramite i database VIDEPI e SNAP) hanno contribuito in maniera sostanziale alla conoscenza scientifica di base e fornito un contributo essenziale all'individuazione di faglie potenzialmente sismogeniche dell'offshore italiano e sullo stato di attività dei vulcani sottomarini e costieri (Marsili, Palinuro, Campi Flegrei, Vulcano, Pantelleria) che in alcuni casi, come a Stromboli nel 2002, possono portare alla formazione di pericolosi maremoti.

Peraltro l'avanzamento tecnologico in questi ultimi decenni permette di ottenere visualizzazione di altissima definizione anche con l'utilizzo di sorgenti di relativamente bassa potenza e la comunità scientifica italiana, una volta *leader* nel settore dello studio del sottofondo marino (vale la pena ricordare come lo scorso anno sia stata effettuata sotto la responsabilità di ricercatori italiani una campagna di perforazioni profonde dell'importantissimo progetto internazionale IODP per la conoscenza delle strutture profonde del mar Tirreno), sta via via perdendo tutte le competenze scientifiche e tecnologiche in questo campo.

In sintesi, si riscontrano 3 tipi di difficoltà che dal 2017 hanno ridotto a zero l'utilizzo degli *airguns* per fini scientifici in Italia:

1. **Normativa stringente indipendentemente dall'energia utilizzata**. Nella normativa vigente, non viene considerata l'energia emessa dagli *airguns* che si utilizzano per fini di ricerca geologica e geofisica. Finita l'era delle grandi prospezioni profonde per la ricerca scientifica, che utilizzavano volumi di *airguns* paragonabili a quelli utilizzati dall'industria, ora la ricerca scientifica predilige *airguns* di piccole dimensioni, con il volume anche pari ad una lattina di birra. Nonostante questo, la procedura di VIA viene resa obbligatoria come per i grandi volumi utilizzati dall'industria.

2. **Misure di monitoraggio onerose**. Le misure imposte dalla normativa, di osservazione *ex-ante*, durante, ed *ex post* per eseguire prospezioni geofisiche, che implicano ingenti costi, sono paradossalmente sostenibili da grossi gruppi industriali mentre sono insostenibili dalla comunità scientifica. L'imposizione della normativa del 2017 quindi, danneggia irreparabilmente la comunità scientifica mentre lascia spiragli di operatività all'industria degli idrocarburi.

3. **L'iter autorizzativo si attiva indipendentemente dalle finalità di utilizzo**. È discriminante il tipo di utilizzo dell'*airgun*, che, secondo la normativa vigente, deve essere per attività di prospezione geofisica. Nonostante questo, l'utilizzo dell'*airgun* per studi di impatto sul rumore ha ottenuto l'autorizzazione con notevole ritardo, rischiando la chiusura del progetto prima del rilascio dell'autorizzazione. Questo pregiudica anche la pianificazione dell'attività di ricerca scientifica sugli impatti.

Per facilitare un riscontro immediato di quanto esposto si riporta di seguito una tabella comparativa di confronto tra la "prospezione industriale" e la "ricerca scientifica":

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Caratteristica	Prospezione Industriale (Oil & Gas)	Ricerca Scientifica
Potenza Sorgente	Altissima (migliaia di cu.in.)	Bassa/Media (decine/centinaia cu.in.)
Durata	Mesi	Giorni/Settimane
Densità profili	Copertura totale (3D, 4D)	Singoli profili lineari (2D) distanziati
Impatto	Elevato e persistente	Transitorio e localizzato
Trattamento Normativo	VIA Completa	**VIA Completa (Attuale criticità)**

Spunto di riflessione per una proposta di modifica procedurale dell'iter autorizzativo dell'impiego dell'airgun

Le Istituzioni scientifiche coinvolte nella redazione del presente rapporto, evidenziando le criticità procedurali emerse per effettuare prospezioni marine con l'impiego di *airgun*, propongono di approfondire questa tematica, anche alla luce delle conoscenze scientifiche oggi disponibili, delle normative europee e degli altri paesi mediterranei.

L'approfondimento dovrebbe portare ad una valutazione attenta dell'impatto dei diversi tipi di prospezione sismica con *airgun* (potenza emessa, durata dei rilievi, distanza tra i profili) per valutare se e come rendere compatibili le necessarie cautele ambientali con le esigenze di conoscenza scientifica e applicativa, in *primis* legata alla mitigazione dei rischi geologici.

Si ritiene opportuno adottare livelli di soglia di rumore emesso sotto i quali, pur mantenendo una procedura autorizzativa, questa sia semplificata nell'*iter* e nelle misure di monitoraggio *ex ante* ed *ex post*.

Si propone di giungere alla definizione di una "Matrice acustica del rischio" (vedi par. Matrice acustica del rischio delle diverse strumentazioni), uno strumento utile per valutare in modo sistematico e semi-quantitativo l'impatto delle sorgenti sismiche sulle diverse specie marine.

Grazie a questa matrice, è possibile distinguere scenari a basso, medio e alto rischio, consentendo di sviluppare strategie di mitigazione proporzionate e mirate. La matrice deve tener conto di tre componenti principali utilizzate per valutare il rischio acustico: 1) Caratteristiche delle sorgenti sismiche; 2) Sensibilità ed ecologia della fauna marina; 3) Parametri ambientali.

Inoltre, un'ulteriore raccomandazione è quella di realizzare un archivio condiviso delle applicazioni di *airgun* in ambiente marino. Ciò faciliterebbe la fruibilità e il riutilizzo dei dati di sismica a riflessione già acquisiti nel passato. I mari italiani sono stati oggetto di campagne sismiche molto estese negli ultimi decenni, e una quantità significativa di dati pregressi potrebbe oggi beneficiare dei notevoli avanzamenti nelle tecniche di elaborazione e *reprocessing*, incluse metodologie moderne come imaging *pre-stack* avanzato, inversione delle forme d'onda, *denoise* basati su *deep learning* e tecniche di ricostruzione del segnale.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

L'accesso facilitato, standardizzato e tecnicamente adeguato a questi archivi permetterebbe di estrarre un nuovo valore geologico e geofisico da *dataset* già disponibili, riducendo la necessità di acquisire nuovi volumi sismici.

La realizzazione di un archivio condiviso porterebbe indubbi benefici economici e ambientali:

- Riduzione dei costi economici, poiché il *reprocessing* ha un costo molto inferiore rispetto al tempo-nave necessario per una nuova acquisizione;
- Riduzione degli impatti ambientali, evitando o limitando l'uso di sorgenti acustiche in mare e quindi diminuendo potenziali disturbi alla fauna marina.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Riferimenti bibliografici

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.

ACCOBAMS Secretariat,2025. *2025 Data Call on Underwater Noise in the Mediterranean and Black Sea Regions*. Monaco: ACCOBAMS. https://accobams.org/2025-data-call-on-noise-data-in-the-mediterranean-and-black-sea-regions/.

Affatati A., 2020. *Rumore subacqueo in ambiente marino: fonti, effetti sulla fauna e misure di mitigazione*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 61, supplemento 1, pp. s1-s2; marzo 2020.

Affatati A., & Camerlenghi *A.*, 2023. *Effects of marine seismic surveys on free-ranging fauna: a systematic literature review*. *Frontiers in Marine Science*, *10*.

Affatati A., Pace F., Wood M., Viola S., Galante B., Sciacca V., Ducatel C., Laigle M., Riccobene G., Romanelli F., Racca R. e Angelo Camerlenghi, 2025. *Generation and long-range propagation of seismic survey signals: a comparison between numerical simulations and acoustic recordings in the Ionian Sea*. J. Acoust. Soc. Am. 157 (4), April 2025. https://doi.org/10.1121/10.0036457.

Balicka I., 2025. *Assessing the effects of offshore wind farm noise on fish: a collaborative approach*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Baltzer J., Pankoke L., Escobar F., Schaffeld T., Schnitzler J. Gilles A., Siebert U., 2025. *Minke Whale vocalisations in the highly noise exposed sea of the Dogger bank*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Beelen M., De Jong C., & Vermeulen E., 2025. *Performance of double bubble curtains for offshore noise mitigation*. TNO Technical Report. https://publications.tno.nl/publication/34643882/dyUjw7p1/beelen-2025-bubble.pdf.

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

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. Edited by Jean-Noël Druon, Georg Hanke and Maud Casier, Publications Office of the European Union, Luxembourg. http://doi: 10.2760/690123.

Burges J., Clayton K., Al-Mudallai S., Breithaupt T., Mazik K., 2025. *Man-made earthquakes: turbine associated substrate-borne vibration and effects on the common hermit crab*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Burnham R., Vagle S., Lauch M., 2025., *Vessel-related noise increases in the Salish sea and the implications to southern resident killer Whales*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Cavallaro D., Cocchi L., Coltelli M., Muccini F., Carmisciano C., Firetto Carlino M., Ibáñez J. M., Patanè D., Filippone M., Buttaro E., 2016. *Acquisition procedures, processing methodologies and preliminary results of magnetic and ROV data collected during the TOMO-ETNA experiment*. Annals of Geophysics 59, 4. DOI: 10.4401/ag-7084.

Coltelli M., Cavallaro C., Firetto Carlino M., Cocchi L., Muccini F., D'Alessandro A., Claude M. E., Monaco C., Ibáñez J. M., Zgur F., Patanè D., Carmisciano C., D'Anna G., Pedrosa Gonzales M. T., Teixidò T., D'Anna R., Fertitta G., Passafiume G., Speciale S., Grassa F., Karageorgis A. P., Sormani L., Facchin L., Visnovic G., Cotterle D., Blanos R., Mansutti P., Sulli A., Cultrera F., Carrión F., Rapisarda S, 2016. *The marine activities performed within the TOMO-ETNA experiment*. Annals of Geophysics 59, 4. DOI: 10.4401/ag-7081.

Dal Poggetto G., & Miniaci M., 2025. *Underwater metabarriers for low-frequency acoustic noise mitigation*. arXiv preprint arXiv:2506.09248. https://arxiv.org/abs/2506.09248.

Day R., Peinado Fuentes P., McCauley R., Semmens J., 2025. *Can bandwidth-limited airguns reduce harmful impacts of seismic surveys to lobsters?*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Dekeling R.P.A., Ainslie M.A., Anderson M., Borsani J.B., Le Courtois F., Hedgeland D., Kinneging N.A., Leaper R., Liebschner A., Merchant N.D., Prospathopoulos A., Sigray P., Taroudakis M., Tougaard J., Weilgart L., Tasker M.L., Ferreira M., Sanchez M., 2020. *Towards threshold values for underwater noise – _Common methodology for assessment of impulsive noise*. TG Noise Technical Advice report DL.1.

Deo R., Zhang J., & Wang C., 2025. *Physics-guided probabilistic surrogate modeling for underwater sound transmission loss prediction*. arXiv preprint arXiv:2509.25730. https://arxiv.org/abs/2509.25730.

Erbe C., 2025. *Marine Vibroseis and sound exposure reduction for marine fauna*. In Advances in Marine Acoustics (pp. 22–40). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-77022-7_2.

Fields D. M. *et al*., 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 J. Mar. Sci. **76**, 2033–2044.

Firetto Carlino M., Zgur F., Bruno P. P. G., Coltelli M., Sormani L., Cavallaro D., Ibáñez J. M., Patanè D., 2016. *Acquisition and preliminary analysis of multi-channel seismic reflection data, acquired during the oceanographic cruises of the TOMO-ETNA experiment*. Annals of Geophysics 59, 4. DOI: 10.4401/ag-7083.

Firetto Carlino M., Cavallaro D., Coltelli M. *et al*. 2019. *Time and space scattered volcanism of Mt. Etna driven by strike-slip tectonics*. Sci Rep 9, 12125. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48550-1.

Fuentes P. P., Day R., McCauley R., Semmens J., 2025. *Comparing the effects of exposure to a conventional seismic array to a bandwidth-limited array in scallops*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Gisiner, R. C., 2016. *Sound and marine seismic surveys*. Acoust. Today, 12(4), 10-18.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Goertz A., Stockwell S., Cvetkovic M., Nash G., Orji O., 2025. *Assessing the environmental impact of large-volume low-frequency marine seismic sources*. SBGf Conference, Rio '25 https://www.tgs.com/hubfs/SBGF%202025/STOCKWELL_etal_EnvImpactLFSources%20-%20SBGf%20Rio25.pdf.

Hegna S., 2022. *Imaging the Subsurface Using Acoustic Signals Generated by a Vessel*. First Break 40, 47–53. https://doi.org/10.3997/1365-2397.fb2022093.

Hutchinson D. R. & Detrick R. S., 1984. *Water gun vs air gun: A comparison*. Marine geophysical researches, 6(3), 295-310.

Juretzek C., Müller A., Clorennec D., Hemon E., Niesterok B., Sigray P., Borsani J. F., Folegot T. & Boethling M., 2024. *EU Marine Strategy Framework Directive-Compatible Approaches for Impulsive Noise Assessment*. In The Effects of Noise on Aquatic Life: Principles and Practical Considerations (pp. 1485-1503). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50256-9_74.

Kastelein R., Helder-Hoek L., Van Acoleyen L., Terhune J., Van Renterghem T., Botteldooren D., 2025. *By lifting their heads above water, harbor seals (Phoca vitulina) can reduce their exposure to underwater sounds only below 8 kHz*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Koue T., & Abe M., 2025. *Mitigation of underwater noise using convex pile surfaces*. Marine Engineering Journal, 32(2), 145–156. https://link.springer.com/article/10.1007/s40722-025-00397-7.

Kühn S., Vereide E.H., Bousquet J., 2025. *In situ behavioral responses of crustacean zooplankton to an approaching seismic survey*. Sci Rep **15**, 35566 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-20568-8.

Kvadsheim P., Otnes R., Kjoll J., Forland T., Pedersen G., Dale O., Ovredal L., Grimsbo E., Cao Y., Smedsrud M., 2025. *Behavioral and physiological effects of underwater detonations on farmed salmonid fish*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Laws R. M., D. Halliday J.-F. Hopperstad D. Gerez M. Supawala A. Özbek T. Murray E. Kragh, 2018. *Marine vibrators: the new phase of seismic exploration*. Geophysical Prospecting, 67, 1443–1471, doi: https://doi.org/10.1111/1365-2478.12708.

Leedham E., Vanholsbeeck F., Shepherd J., Radford C., 2025. *Characterising the directional response to particle acceleration in snapping shrimp*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Lugg R., 1979. *Marine seismic sources*. In Developments in Geophysical Exploration Methods—1 (pp. 143-203). Dordrecht: Springer Netherlands.

Madiligama G., Fernando P., & Wickramasinghe D., 2025. *Modeling bubble wave behavior in marine seismic acoustics*. Journal of Acoustics and Oceanography, 19(1), 45–59. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40991458/.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

McCauley R. D. *et al*., 2017. *Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton*. Nat. Ecol. Evol. **1**, 195.

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

McNamara & Dunlop, 2025. *Changes in call rate and call level of migrating humpback whales (Megaptera novaeangliae) in response to seismic air guns*. Marine Environmental Research 211. doi: 10.1016/j.marenvres.2025.107415.

McQueen K., Sivle L. D., Forland T. N., Meager J. J., Skjæraasen J. E., Olsen E. M., ... & de Jong K., 2024. *Continuous sound from a marine vibrator causes behavioural responses of free-ranging, spawning Atlantic cod (Gadus morhua)*. Environmental Pollution, 344, 123322.

Maruf M. & Chang Y. C., 2023. *Strengthening the Regulatory Framework for the Conservation of Cetaceans and Migratory Marine Species against Anthropogenic Underwater Noise*. The International Journal of Marine and Coastal Law, 1(aop), 1-34. https://doi.org/10.1163/15718085-bja10160.

Maruf M. & Chang Y. C., 2023a. *Further Development of the Law of the Sea Convention in the Anthropocene Era: The Case of Anthropogenic Underwater Noise*. Sustainability, 15(12), 9461. https://doi.org/10.3390/su15129461.

Matthews M.N.R., Ireland D. S., Zeddies D. G., Brune R. H., & Pyć C. D., 2020. *A modeling comparison of the potential effects on marine mammals from sounds produced by marine vibroseis and air gun seismic sources*. Journal of Marine Science and Engineering, 9(1), 12.

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.

Müller C., Milkereit B., Bohlen T., & Theilen F., 2002. *Towards high-resolution 3D marine seismic surveying using Boomer sources*. Geophysical Prospecting, 50(5), 517-526. https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.2002.00335.x.

OSPAR Commission, 2025. *Regional Action Plan for Underwater Noise (2025–2030)*. OSPAR Secretariat, London. https://www.ospar.org/documents?v=63659.

Radford C., Thomson S., Wilson L., 2025. *Taking an animal centric approach to describing fish vocalisations*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Ramos A., Torrado S., Gonçalves D., Vasconcelos R., 2025. *Impact of shipping noise on marine medaka (Oryzias melastigma): evidence of auditory impairment and stress responses*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Réalis-Doyelle, E., Goulon, C., Cattanéo, F. *et al*., 2025. The effect of seismic air gun shots on physiology and behaviour of fish lake communities. Sci Rep 15, 14648. https://doi.org/10.1038/s41598-025-98760-z.

Richardson A., Matear R., Lenton A., 2017. *Potential impacts on zooplankton of seismic surveys*. CSIRO. https://doi.org/10.4225/08/59724f38211cd.

Rovinelli M., Fedele G., & Grasso C., 2025. *AIS-based spatio-temporal modeling of shipborne underwater noise in the Adriatic Sea*. arXiv preprint arXiv:2501.11131. https://arxiv.org/abs/2501.11131.

Sciacca V., 2016. Shipping noise and seismic airgun surveys in the Ionian Sea: Potential impact on Mediterranean fin whale. POMA, 040010.

Seger K., Boyle J., Miller D., Heaney K., Miksis-Olds J., Harris D., 2025. *The effects of airgun activity on estimating densities of fin whales across the wake island and Diego Garcia CTBTO sites*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Semmens J., McCauley R., Peinado Fuentes P., Day R., 2025. *Evaluating bandwidth-limited airguns as an alternative for marine seismic surveys*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

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.

Southall B., Calambokidis J., Casey C., Clayton H., Fahlbusch J., Fregosi S., Jones R., Tackaberry J., 2025. *A behavioral response study with an operational marine vibrator and very low frequency whales*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Speed, C. W., Dugal, L., Meekan, M. G., Birt, M. J., Parsons, M., McLean, D., ... & Thomas, L. (2025). Novel Use of Environmental DNA Metabarcoding to Assess the Impacts of a Large-Scale Seismic Survey on Tropical Fish Communities. Environmental DNA, 7(5), e70190. https://doi.org/10.1002/edn3.70190.

Stanley J., Mooney T., 2025. *Repeated exposure to in situ pile driving on the auditory detection thresholds of juvenile black sea bass*. Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Stephenson S., Lee R., Donaghy R., Walton M., Oliva N. A., Jameson D., 2025. *Characterisation of sound from installation of xxl monopiles using percussive and vibratory hammers at the Moray west offshore windfarm*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Stephenson S., Jerivis D., Donaghy R., Holdsworth-Swan C., Barber R., Gregory, A. 2025a. *What is a realistic offshore wind piling noise limit in English and welsh waters?.* The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Van Der Stappen C., Van Ijsselmuide S., Van Riet M., Lam F., Wensveen P., Miller P., Kvadsheim P., 2025. *CEE tool: real-time whale tracking for controlled exposure experiments*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Vereide E. H., *et al*., 2023. *Effects of airgun discharges used in seismic surveys on development and mortality in nauplii of the copepod Acartia tonsa*. Environ. Pollut. **327,** 121469.

Vereide E. H., Khodabandeloo B. & de Jong K., 2024. *The copepod Acartia Sp. is more sensitive to a rapid pressure drop associated with seismic airguns than Calanus Sp*. Mar. Ecol. Prog. Ser. **730**, 15–30.

Vereide E.H., Utne-Palm A.C., Titelman J., 2025. *Zooplankton mortality and distribution around a seismic survey*. Sci Rep **15**, 33907. https://doi.org/10.1038/s41598-025-09465-2.

Vieira M., Fonseca P., Amorim C., 2025. *Comparing the effects of boat noise on sedentary and pelagic soniferous fish: behavioural and methodological insights*. The Effects of Noise on Aquatic Life Prague, Czech Republic, 2025 (https://www.vliz.be/imisdocs/publications/ocrd/415617.pdf).

Viola S., 2016. *Continuous monitoring of noise levels in the Gulf of Catania (Ionian Sea). Study of correlation with ship traffic*. Marine Pollution Bulletin, 121, 1-2.

Wang X., Qi B., Zhao Q., Wang W., & Yu K., 2019. *Feasibility of sparker source in marine seismic exploration: data analysis and processing*. Acta Geophysica, 67(5), 1413-1418.

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

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

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

http://data.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj

https://jpi-oceans.eu/

https://jpi-oceans.eu/en/underwater-noise-marine-environment

https://www.jpi-oceans.eu/en/sonora

https://www.consorzioinest.it/maritime-marine-and-inland-water-technologies/

https://www.marine-seismic-equipments.net/methods/sparker-or-boomer/

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1

Crediti

Hanno partecipato alla stesura del presente IX Rapporto:

Per il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica:

Direzione generale per la Tutela della Biodiversità e del Mare (DG TBM):

Emanuela Spadoni, Paolo Feliciotti, Paolo Gulia

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

Luigi Alcaro, Fabrizio Junio Borsani, Stefano Di Muccio, Valerio Sammarini

Per l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS):

Alice Affatati, Angelo Camerlenghi, Franco Coren, Serena Lagorio

Per l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud (INFN-LNS) Centro Siciliano di Fisica Nucleare e Struttura della Materia:

Giorgio Riccobene, Alessia Tricomi, Salvatore Viola

Per l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV):

Mauro Coltelli

Per l'Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISMAR-CNR):

Luca Gasperini

Per CoNISMa - Università degli Studi di Roma "La Sapienza":

Francesco Latino Chiocci

Per CoNISMa - Università degli Studi di Bari "Aldo Moro":

Roberto Carlucci

Per CoNISMa - Università degli Studi di Roma "Tor Vergata":

Daniela Silvia Pace

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;

Camera dei Deputati ARRIVO 30 dicembre 2025 Prot: 2025/0002225/TN - Doc. firmato digitalmente da: UfficioProtocollo + 1