

“Quarto 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 2019

1. PREMESSA.....	2
2. STATO DELL'ARTE AL 2018	3
3. EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO INTERNAZIONALE E COMUNITARIO SUL RUMORE SOTTOMARINO E LA TUTELA DEGLI ECOSISTEMI MARINI	4
3.1 Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina)	6
4. CONSISTENZA DELLE ATTIVITÀ NEI MARI ITALIANI	6
4.1 Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero (periodo 2018-2019)	7
4.2 Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi	7
4.3 Autorizzazioni rilasciate dal Ministero dello Sviluppo Economico	9
4.4 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA	10
4.5 Attività condotte da Enti di Ricerca. Valutazione degli effetti sugli ecosistemi marini della tecnica airgun	10
5. AVANZAMENTO DELLO STATO DELLE CONOSCENZE DEGLI EFFETTI PER GLI ECOSISTEMI MARINI DELLA TECNICA DELL'AIRGUN E NUOVI ORIENTAMENTI TECNICI PER LA MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI 11	
5.1 Effetti sui pesci	14
5.1.1 Effetti sul comportamento	16
5.1.2 Effetti fisiologici	18
5.2 Effetti sulla pesca commerciale	19
5.3 Effetti su uova e larve di invertebrati e pesci	21
5.4 Effetti sugli invertebrati	22
5.5 Effetti sui rettili marini	27
5.6 Effetti sui mammiferi marini	28
5.7 Banca dati spiaggiamenti	29
5.8 Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali delle prospezioni sismiche	30
6. MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE PROVENIENTI DA AIRGUNS	31
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	33
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	35
9. SITOGRAFIA.....	45

1. PREMESSA

Il presente Quarto rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun* dà evidenza delle evoluzioni di interesse per la materia, intercorse nell'arco temporale di un anno (dal 01.11.2018 al 01.11.2019), riportando aggiornamenti in relazione alle conoscenze ambientali e al quadro normativo nazionale, europeo ed internazionale vigente in materia di rumore sottomarino. Elemento rilevante per questo Quarto rapporto sono gli effetti derivati della legge 11 febbraio 2019, n. 12, con la sospensione delle attività collegate alle prospezioni e coltivazioni nel settore degli idrocarburi, nelle more dell'adozione del Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee (PiTESAI), attualmente in corso di definizione. Là dove non sono intercorsi aggiornamenti per la materia trattata rimangono validi i contenuti rappresentati nella precedente edizione del Rapporto. Per la ricognizione delle informazioni, analogamente a quanto già fatto nelle precedenti edizioni, sono stati richiesti dati alle Capitanerie di porto e ai principali Enti nazionali del settore della ricerca scientifica di settore (Università degli Studi di Padova Dip.to di Biomedicina Comparata e Alimentazione BCA, Università degli Studi di Pavia Dip.to Scienze della Terra e dell'Ambiente, CNR, CoNISMa, INFN, INGV, ISPRA, OGS)¹, al Ministero dello Sviluppo Economico, nonché al Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale per le eventuali richieste/comunicazioni avanzate da altri Stati per condurre campagne di ricerca in Mediterraneo. Il rapporto è stato redatto dalla ex Direzione Protezione della Natura e del Mare in collaborazione con ISPRA e con la ex Direzione generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali del Ministero dell'Ambiente.

¹ Università di Padova - Dipartimento di Biomedicina Comparata e Alimentazione, Università di Pavia - Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Consorzio Nazionale Interuniversitario per scienze del mare, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale.

2. STATO DELL'ARTE AL 2018

Nel corso del 2018, pur non registrandosi l'adozione di nuovi strumenti normativi o regolatori nelle sedi internazionali, viene confermata l'importanza di intraprendere iniziative nei confronti del rumore sottomarino al fine di raggiungere gli obiettivi dello sviluppo sostenibile del millennio (*Sustainable Development Goals* - SDG), in particolare relativamente all'SDG 14 sugli oceani.

Viene, infatti, riconosciuta la necessità di intensificare gli sforzi della ricerca per meglio comprendere gli effetti indotti sugli ecosistemi marini dall'uso di *airguns* e più in generale dal rumore sottomarino di origine antropica, considerato a tutti gli effetti una forma di inquinamento. Nello specifico è emerso che:

- allo stato attuale, la scarsità di dati della ricerca condotta in mare, sia sul rumore sia sulle specie, non consente una corretta modellizzazione degli impatti del suono subacqueo di origine antropica alla scala di popolazioni ed ecosistemi, rappresentando, un limite nello sviluppo delle azioni di gestione maggiormente efficaci. Risulta evidente, pertanto, l'importanza di continuare a lavorare sul tema attraverso un approccio multidisciplinare agli studi, condotti sia in situ sia in condizioni di laboratorio, per stabilire in modo più efficace soglie d'impatto sonoro;
- a livello nazionale, in sede di implementazione della Direttiva Quadro per la Strategia Marina (MSFD), il MATTM sta lavorando alla realizzazione del registro nazionale rumore che conterrà anche informazioni riguardanti il rumore impulsivo (localizzato e limitato nel tempo) introdotto in mare da attività di origine antropica, a bassa e media frequenza, quali ad esempio *survey* sismici con *airgun* o *sparker*, sonar. In particolare la finalità del registro è di permettere la valutazione del numero di giorni/anno e delle aree interessate da sorgenti di rumore impulsivo che abbiano la potenzialità di esporre gli animali marini a livelli sonori tali da causare danno a livello di popolazione, in accordo con i valori di soglia riportati dal *Technical Group on underwater noise (TGnoise)* della Commissione Europea;
- l'analisi della nuova documentazione scientifica, in aggiunta a quanto rilevato nei due precedenti rapporti *airgun* al Parlamento, non ha fornito risultati univoci, in termini generali, che la sorgente di rumore "*airgun*" sia causa di alterazioni sensibili agli equilibri ecosistemici marini. Tuttavia diversi studi ed osservazioni hanno

evidenziato alterazioni comportamentali su alcuni mammiferi marini e pesci, danni fisiologici su alcuni invertebrati e mortalità su popolamenti planctonici sino a un chilometro di distanza dalla sorgente;

- continua la ricerca a livello internazionale per sperimentare lo sviluppo di possibili tecniche alternative all'*airgun*, cercando di coniugare gli scopi geofisici con l'eliminazione o riduzione degli impatti sulla componente biotica degli ecosistemi marini.

Infine, nelle acque territoriali italiane per quanto attiene la realizzazione di rilievi geofisici con l'utilizzo della tecnica *airgun*, nel periodo di riferimento (01 novembre 2017-01 novembre 2018) non sono state realizzate attività né dal settore dell'estrazione di idrocarburi né dal settore della ricerca scientifica.

3. EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO INTERNAZIONALE E COMUNITARIO SUL RUMORE SOTTOMARINO E LA TUTELA DEGLI ECOSISTEMI MARINI

A livello internazionale, continua a rimanere alta l'attenzione sul tema del rumore sottomarino di origine antropica, si segnala che la MOP 7 dell'Accordo ACCOBAMS, tenutasi a Istanbul dal 5 all'8 novembre 2019 ha adottato una nuova pertinente Risoluzione – Res. 7.13 – “*Anthropogenic Noise*” (all.), che ha aggiornato le proprie “*Guidelines to Address the Impact of Anthropogenic Noise on Cetaceans in the Accobams Area*”, sulla base delle CMS *Family Guidelines on Environmental Impact Assessments for Marine Noise-generating Activities* adottate alla 12° Conferenza delle Parti Contraenti della Convenzione sulle Specie Migratrici (CMS) nell'ottobre 2017 - *Resolution 12.14* - cui la Res. 7.13 invita le Parti Contraenti l'Accordo alla loro implementazione.

Si segnala inoltre il documento “*Further information related to impacts of underwater noise on marine life*” presentato dall'*International Whaling Commission* (IWC) alla 72° Sessione del Comitato per la Protezione dell'Ambiente Marino dell'Organizzazione Marittima Internazionale (Londra 9÷13 aprile 2018), basato sulla *IWC Resolution 2018-4 on Anthropogenic underwater noise*.

Il documento, nel richiamare che il comitato scientifico della IWC (SC66b) nel 2016, aveva ribadito che il rumore sottomarino deve essere considerato a tutti gli effetti

come una forma di inquinamento, sottolinea come intraprendere iniziative nei confronti del rumore sottomarino sia essenziale per raggiungere gli obiettivi dello sviluppo sostenibile del millennio (*Sustainable Development Goals - SDG*), in particolare, alla riduzione dell'inquinamento dei mari ed alla protezione del 10% delle aree costiere e marine.

Sempre a livello internazionale, in attuazione di quanto previsto nel paragrafo 339 della risoluzione 71/257 e reiterato nel paragrafo 354 della risoluzione 72/73 dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite (UNGA), la 19^a sessione dello *United Nations Open-ended Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea* (N. Y., 8÷22 giugno 2018) è stata interamente incentrata sul tema "*Anthropogenic underwater noise*". Durante i lavori sono stati considerati vari studi, alcuni dei quali hanno messo in evidenza possibili impatti connessi all'utilizzo dell'*airgun* sia sugli stock ittici di interesse commerciale sia sullo zooplancton; molte delegazioni hanno richiamato la possibile applicazione dell'approccio precauzionale ad attività che siano comunque suscettibili di creare impatti agli ecosistemi marini, in particolare in presenza di effetti cumulativi, connessi, ad esempio, alla presenza di intensi traffici marittimi.

In conclusione, nel riconoscere che il rumore di origine antropica rappresenta una consistente minaccia per gli ecosistemi marini, sono stati evidenziati notevoli *gap* in merito alla capacità dei diversi Paesi di conoscere e misurare la portata degli impatti connessi al rumore in mare, sottolineando la necessità di una sempre maggiore cooperazione tra Stati e Organizzazioni Intergovernative.

Relativamente al rumore di tipo impulsivo, collegato quindi all'utilizzo degli *airgun*, si è sottolineata l'importanza dell'utilizzo di possibili tecniche di mitigazione e ribadita l'importanza di divulgare non solo le informazioni relative agli impatti ma anche le migliori pratiche e tecnologie disponibili (BP e BAT) su scala globale anche mediante il coinvolgimento della Convenzione sulla Biodiversità.

3.1 *Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina)*

Per quanto riguarda il proseguo delle attività a livello nazionale per l'implementazione della Strategia Marina (MSFD), si segnala che relativamente al registro del rumore, in riferimento al quale per maggiori dettagli si rimanda a quanto esposto nell'edizione relativa all'anno 2018, è stata predisposta la banca dati del registro italiano del rumore impulsivo, e sono stati presi i necessari accordi con la direzione generale per le Valutazioni e Autorizzazioni ambientali per prevedere nelle linee guida in corso di predisposizione che i soggetti che chiedano di effettuare attività sottoposte a VIA che implicino la produzione di rumore sottomarino di tipo impulsivo inseriscano i dati relativi a localizzazione spaziale ed intensità nel rumore generato, nel registro.

4. CONSISTENZA DELLE ATTIVITÀ NEI MARI ITALIANI

Vengono di seguito riportati i dati inerenti alle procedure di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) nazionale relative al settore della prospezione e ricerca idrocarburi in mare e i dati forniti relativamente a tali ambiti dai soggetti del mondo della ricerca scientifica nazionale (o rilevati dai siti istituzionali degli stessi) nonché dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, sulle attività svolte nel contesto del bacino del Mediterraneo e di interesse per le acque territoriali nazionali.

Al fine di fornire un quadro rappresentativo delle attività programmate da altri Stati ed aventi potenziali effetti negativi sulle acque territoriali nazionali, nel presente rapporto vengono riportate le procedure di Valutazione Ambientale Strategica (VAS) relative ai programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi nell'ambito del bacino del Mediterraneo effettuate ai sensi della direttiva 2001/42/CE sulla valutazione degli effetti di determinati piani e programmi sull'ambiente e del Protocollo VAS alla Convenzione di Espoo sulla valutazione dell'impatto ambientale in un contesto transfrontaliero (fatto a Kiev il 21 maggio 2003 e ratificato dall'Italia con la Legge n. 79 del 3 maggio 2016 recante "Ratifica ed esecuzione di sei accordi in materia ambientale").

4.1 Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero (periodo 2018-2019)

Ai sensi del Protocollo VAS alla Convenzione di Espoo, la procedura di VAS in un contesto transfrontaliero 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.

Nell'anno di riferimento di questa relazione non sono pervenute notifiche dell'avvio di procedure di VAS in un contesto transfrontaliero di programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi. Nella relazione presentata lo scorso anno si è riferito in merito alle notifiche pervenute 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);
- Programma di Ricerca e Produzione idrocarburi *off-shore* 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.

4.2 Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi

I dati riportati nel presente Capitolo sono desunti dal Portale delle Valutazioni Ambientali VAS-VIA del Ministero dell'Ambiente (www.va.minambiente.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.

Nel periodo di riferimento del presente rapporto (01.11.2018 - 01.11.2019) il Ministero dell'Ambiente (Direzione per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali) ha complessivamente avuto in carica 5 procedure afferenti in vario modo all'esecuzione di

indagini geofisiche a mare (sismica a riflessione 2D o 3D) da effettuarsi mediante l'utilizzo di *airgun*. I dati di seguito sintetizzati sono riportati nel dettaglio per ciascun progetto nell'Allegato 1.

Le procedure di VIA sono relative ad attività di ricerca di idrocarburi, che prevedono esclusivamente attività di indagine (geologiche e geofisiche). Per le finalità del presente rapporto, dei progetti di prospezione e ricerca sono stati considerati solo quelli che prevedono l'esecuzione di indagini geofisiche (sismica a riflessione 2D o 3D).

Si precisa che, delle 5 procedure totali:

- 3 sono relative a procedure di VIA (ai sensi degli artt. 23-26 D.Lgs. 152/2006);
- 1 è relativa ad una verifica di assoggettabilità a VIA (ai sensi dell'art. 19 D.Lgs. 152/2006) afferente al progetto di riduzione, e contestuale variazione, dell'area su cui effettuare la prospezione geofisica 3D (da 860 Km² a 670 Km²), rispetto a quella già fatta oggetto di valutazione nella procedura di VIA relativa al progetto di "Prospezione geofisica 3D Adriatico Meridionale nell'ambito dei permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP", procedura conclusasi con decreto di compatibilità favorevole con prescrizioni n. 104 del 09.06.2015;
- 1 è relativa a procedura di verifica di ottemperanza delle prescrizioni (ai sensi dell'art. 28 D.Lgs. 152/2006) contenute nel provvedimento di VIA summenzionato (n. 104 del 09.06.2015) afferente al già citato progetto di "Prospezione geofisica 3D Adriatico Meridionale nell'ambito dei permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP".

Con decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135, "Disposizioni urgenti in materia di sostegno e semplificazione per le imprese e per la pubblica amministrazione" convertito in legge 11 febbraio 2019, n. 12, si è stabilito, all'art. 11-ter, che entro diciotto mesi dalla data di entrata in vigore della legge di conversione dello stesso sia approvato, con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, il "Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee" (PiTESAI), 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 comma 4 prevede 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...”.

Il successivo comma 8 stabilisce che “in caso di mancata adozione del PiTESAI entro ventiquattro mesi dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, i procedimenti sospesi ai sensi del comma 4 proseguono nell'istruttoria ed i permessi di prospezione e di ricerca sospesi ai sensi del comma 6 riprendono efficacia”.

In conseguenza dell'entrata in vigore della richiamata legge 11 febbraio 2019, n. 12 non è pervenuta, nel periodo considerato 01.11.2018 – 01.11.2019, alcuna nuova istanza di prospezione o ricerca di idrocarburi a mare, né è stata conclusa alcuna delle procedure di VIA in corso.

La Direzione Generale per le valutazioni e le autorizzazioni ambientali, inoltre, in ottemperanza alle nuove disposizioni normative, ha provveduto a sospendere le tre procedure in corso alla data di entrata in vigore della legge 11 febbraio 2019, n. 12.

La verifica di assoggettabilità a VIA relativa ai permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP” non è invece stata sospesa in quanto afferente ad una procedura di VIA già conclusa.

4.3 Autorizzazioni rilasciate dal Ministero dello Sviluppo Economico

Tutti i dati riportati nel presente Capitolo sono desunti dal sito web del Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione generale per la sicurezza dell'approvvigionamento e le infrastrutture energetiche (DGSAIE) - Divisione VII – Rilascio e gestione titoli minerari, espropri, royalties (<https://unmig.mise.gov.it/index.php/it/dati/ricerca-e-coltivazione-di-idrocarburi>) che è l'autorità competente al rilascio dei permessi di prospezione, di ricerca e delle concessioni di coltivazione di idrocarburi ed alla gestione delle relative entrate economiche. Nel sito della DGSAIE-Divisione VII è possibile acquisire tutte le informazioni relative alle istanze per il rilascio di titoli minerari, alle *royalties*, canoni ed espropri.

Non essendosi conclusa, come indicato sopra indicato, alcuna procedura di VIA con esito favorevole nel periodo che va dal 01.11.2018 alla data di entrata in vigore del decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135 (che sospende anche i procedimenti di VIA in corso, e quindi in sostanza dal 01.11.2018 al 01.11.2019) e considerando anche quanto rappresentato per il periodo precedente circa la non emanazione di decreti VIA con esito favorevole, nessuna autorizzazione risulta essere stata rilasciata dal Ministero dello Sviluppo Economico nel periodo di riferimento del presente rapporto.

Infine, relativamente ai 5 progetti di ricerca idrocarburi per i quali era stata conclusa la procedura di VIA con esito positivo nel periodo ancora antecedente 2016-2017 indicati, si rappresenta che tre di essi sono stati autorizzati dal Ministero dello Sviluppo Economico - Direzione generale per la sicurezza dell'approvvigionamento e le infrastrutture energetiche (DGSAIE) tutti in data 07.12.2018, e per i restanti due l'autorizzazione non è stata ancora rilasciata in quanto è stato presentato appello da parte della Regione Puglia al Consiglio di Stato per l'annullamento dei provvedimenti di compatibilità ambientale.

4.4 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA

Non vi sono aggiornamenti rispetto a quanto già rappresentato nella precedente edizione del rapporto 2018.

4.5 Attività condotte da Enti di Ricerca. Valutazione degli effetti sugli ecosistemi marini della tecnica airgun

Le attività descritte in questo paragrafo sono state svolte nell'ambito della convenzione sottoscritta dal MATTM con il Consiglio Nazionale delle Ricerche (Dip.to Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente) che ha come principale obiettivo il controllo dell'inquinamento da idrocarburi in mar Adriatico e nel canale di Sicilia nell'area interessata da piattaforme *offshore*. Come già riferito nella precedente edizione 2018 del rapporto *airgun*, nella convenzione è stata inserita anche una attività di ricerca sperimentale per la valutazione degli effetti sugli ecosistemi marini della tecnica *airgun*, preliminarmente sottoposta alle valutazioni di competenza della Direzione Valutazioni Ambientali (DVA), che ne ha confermato la non assoggettabilità alla procedura di VIA.

Il progetto, iniziato nel 2018, i cui primi risultati intermedi sono stati riportati nel precedente rapporto *airgun*, si concluderà a febbraio 2020, sarà pertanto possibile riportare le conclusioni del progetto nel rapporto del 2020. I risultati intermedi consegnati ad ottobre 2019 integrano i precedenti dimostrando che la sorgente sonora cioè l'*airgun*, non ha una specifica direzionalità emissiva per cui la maggior parte del segnale si propaga verso il basso radiandosi in maniera uniforme su piani orizzontali. Le simulazioni realizzate in base alla direzione, alla profondità e al tipo di fondale saranno fondamentali per mettere in atto processi di mitigazione volti alla salvaguardia delle specie marine sottoposte a stress acustico. Attraverso il modello dovrebbe essere possibile determinare le zone dove si supererebbero quelle soglie acustiche tali da determinare danni irreversibili agli apparati uditivi degli organismi e/o provocare un effetto sul comportamento. In questo modo si potranno trovare delle soluzioni per mitigare l'impatto.

5. AVANZAMENTO DELLO STATO DELLE CONOSCENZE DEGLI EFFETTI PER GLI ECOSISTEMI MARINI DELLA TECNICA DELL'*AIRGUN* E NUOVI ORIENTAMENTI TECNICI PER LA MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI AMBIENTALI

Nei paragrafi seguenti, si è cercato di riassumere le principali evidenze scaturite dall'analisi di pubblicazioni scientifiche e tecniche prodotte e/o rese disponibili recentemente, incluso l'anno 2019, relative agli effetti osservati su organismi o componenti degli ecosistemi marini dell'impiego della tecnica dell'*airgun*.

Il rapporto della 19° riunione dell'*United Nations Open-ended Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea* tenutasi nel giugno 2018 e specialmente dedicata ai temi del rumore subacqueo (UN, 2018), tra le conclusioni riferisce che benché alcune specie marine siano più suscettibili di altre ai suoni prodotti dalle attività umane, l'effettivo impatto sull'ecosistema marino potrebbe essere più ampio; l'indebolimento o l'eliminazione da un ecosistema di una particolare specie potrebbe avere effetti su specie associate o dipendenti e nuocere quindi agli equilibri ecosistemici. Ad esempio, effetti fisiologici e fisici su invertebrati e pesci possono arrecare mortalità in gruppi animali che sono prede per altri animali e le reazioni

comportamentali di pesci stimolati dal rumore possono portare a reazioni di allontanamento e nuocere ai comportamenti alimentari di mammiferi marini.

Per gli estensori del rapporto, il reale impatto dei suoni sommersi su specie ed ecosistemi dipende dall'impatto cumulato di molteplici stressori. Tra questi, altre forme d'inquinamento, l'acidificazione degli oceani, i cambiamenti climatici, il sovrasfruttamento delle risorse rinnovabili, il *by-catch* della pesca e le specie aliene invasive. Ad esempio, i cambiamenti globali intervenuti in parametri chimico-fisici quali la temperatura e l'acidità delle acque oceaniche, sono considerati possibili cause di alterazioni sui livelli di propagazione e intensità dei rumori subacquei; solo pochi studi hanno sinora affrontato il tema dei suoni subacquei di origine antropica nel contesto di tali effetti cumulativi.

Circa la possibilità di riferire di effetti in grado di alterare in modo sensibile un ecosistema marino, si avverte non solo l'esigenza di indagare i possibili effetti cumulativi ma anche di estendere e approfondire gli studi su popolamenti "chiave", come quelli planctonici e su specie di invertebrati proprie del *nekton* e del *benthos*. Appare evidente come, in funzione della sua estensione spaziale e delle condizioni al contorno (es. fase riproduttiva per specie del mero *plancton*), un disturbo che affligga in modo persistente i primi livelli trofici pelagici abbia la potenzialità di alterare equilibri ecosistemici.

Weilgart (2018), in un lavoro sull'impatto del rumore negli oceani su pesci e invertebrati, fa rilevare come questi usino il suono per funzioni essenziali alla vita e come l'impatto del rumore si manifesti nelle fasi di sviluppo dell'organismo con la comparsa di malformazioni, mortalità degli immaturi, ritardo nella metamorfosi e nell'insediamento e ratei di accrescimento rallentati. Circa le conseguenze, Weilgart (2018) riporta che vari Autori hanno descritto effetti sulle attività di pesca in relazione con il rumore prodotto da *airgun* misurabili in decremento delle catture di pesci e crostacei e incremento del *by-catch* (catture non bersaglio dell'attività di pesca). Gli effetti delle emissioni sonore su organismi quali tartarughe marine e Condroidi sono poi poco conosciuti perché poco studiati, mentre lavori recenti hanno riguardato gli zooplanctonti. Nella revisione della letteratura al riguardo condotta dall'autrice, si evidenzia un'alta mortalità di organismi zooplanctonici conseguente alle emissioni sonore antropogeniche e si evidenzia come gli impatti di queste sulla loro anatomia,

coinvolgano danni interni rilevanti e danni a livello cellulare di statocisti² e neuroni, potendo condurre nell'individuo perdita delle capacità di orientarsi, perdita delle capacità uditive e anche morte.

Unitamente alle evidenze scientifiche riportate nei primi tre rapporti sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*, l'analisi della nuova documentazione scientifica permette di confermare, in termini generali, che mentre si ampliano le conoscenze circa gli effetti nocivi che una sorgente di rumore del tipo *airgun* può causare in individui e di rado, in popolamenti di diverse specie, non appaiono evidenze che la sorgente di rumore *airgun* possa causare alterazioni sensibili agli equilibri ecosistemici marini. Purtroppo, studi e osservazioni mostrano la potenzialità che taluni effetti minaccino detti equilibri e s'impone quindi, un approccio cautelativo o precauzionale. Tra gli effetti del rumore impulsivo che i lavori esaminati portano a considerare effettivamente capaci di alterare equilibri ecosistemici, si segnalano in particolare i seguenti:

- alcuni mammiferi marini e pesci hanno mostrato alterazioni comportamentali (risposta di allarme, cambiamento negli schemi di nuoto, disturbo della comunicazione acustica, deviazione dalle abituali rotte migratorie, ecc.);
- alcuni invertebrati, soprattutto Cefalopodi, hanno mostrato di subire danni fisiologici, in particolare a carico delle statocisti, mostrando alterazioni nel nuoto;
- si è rilevata mortalità in popolamenti planctonici attribuita all'uso di *airgun* a una distanza dalla sorgente sino a un chilometro.

Si ritiene che il percorso che l'indagine scientifica dovrebbe intraprendere per apprezzare gli eventuali effetti ecosistemici dell'esposizione al rumore da *airgun*, sia di considerare i contributi cumulati della diminuzione di fitness sui singoli popolamenti e di valutare come questi interferiscano reciprocamente nel mantenimento degli equilibri omeostatici di un ecosistema marino. Questo indirizzo non appare di facile espressione ma la speculazione olistica del problema va calata, di volta in volta, in casi concreti, ossia in ecosistemi marini e in tratti di mare già ben conosciuti.

² Statocisti: organi di senso statico costituiti da una vescicola rivestita di cellule ciliate collegate al sistema nervoso e contenente una o più concrezioni saline organiche o inorganiche (statoliti).

5.1 Effetti sui pesci

Gli studi più recenti mostrano come gli effetti del rumore causato da *airgun* su pesci e invertebrati, possano oggi essere compresi e schematizzati. Detti effetti sono determinati, principalmente, dalle caratteristiche del suono e della sua sorgente (distanza, durata, intensità, ecc.) e colpiscono diverse funzioni della fisiologia e della vita di relazione degli organismi marini. Il lavoro di Hawkins e Popper (2017), infatti considerava i molti problemi che si incontrano nello studiare l'impatto del rumore in pesci e invertebrati, come nello stabilire le misure di mitigazione da mettere in atto per proteggere questi animali e gli ecosistemi marini dei quali sono parte. Suggerendo nuovi indirizzi per studi e pianificazioni di attività "rumorose", gli autori indicano come molti studi abbiano trascurato di prendere in considerazione elementi importanti; ad esempio, ai fini di comprendere l'impatto del rumore subacqueo, il fatto che in gran parte di questi animali, la sensibilità al movimento delle particelle d'acqua è molto più rilevante della sensibilità alla pressione sonora.

Circa i criteri che possano guidare lo stabilirsi di limiti alle emissioni sonore e le misure da adottarsi per minimizzarne gli effetti, pochi riguardano pesci e invertebrati e i modelli utilizzati per descrivere la propagazione sonora, sono spesso inefficienti per le basse profondità e per il dominio bento-nectonico.

Nella tabella e figura che seguono (Tab. 1 e Fig. 1), in modo schematico, si riassumono i potenziali effetti di un suono registrati sui pesci a diverse distanze dalla sorgente (o a diversi livelli di emissione sonora), secondo Hawkins e Popper (2017).

Morte – immediata o ritardata.
Effetti fisici o fisiologici - a seconda della tipologia, effetti più o meno gravi sulla <i>fitness</i> : aumento del rischio di essere predati, riduzione della capacità di nutrirsi e crescere, riduzione della capacità di accoppiarsi e riprodursi.
Riduzione delle capacità auditive – non conseguenti danni fisici o fisiologici, in termini di riduzione temporanea o permanente delle capacità di sentire con l'organo auditivo, più o meno presente o sviluppato nelle diverse specie. Questo effetto può portare alla diminuzione delle abilità di predare ed evitare i predatori e al deterioramento delle capacità di comunicazione e quindi alla diminuzione del successo riproduttivo.
Mascheramento – riduzione della capacità di riconoscere i segnali acustici utili all'animale e distinguerli dal rumore di fondo. Conseguente riduzione della <i>fitness</i> in termini di riduzione della capacità di sentire le prede, di evitare i predatori e diminuzione del successo riproduttivo conseguente al deterioramento della "qualità" delle comunicazioni intra- e inter-specifiche.
Cambiamento del comportamento – cambiamenti nelle abitudini comportamentali possono avere effetti negativi sulla nutrizione, sulla riproduzione, sopravvivenza e in definitiva un effetto negativo sulla <i>fitness</i> .

Tabella 1. Possibili effetti del rumore su pesci e invertebrati a diverse distanze dalla sorgente (Hawkins e Popper, 2017).

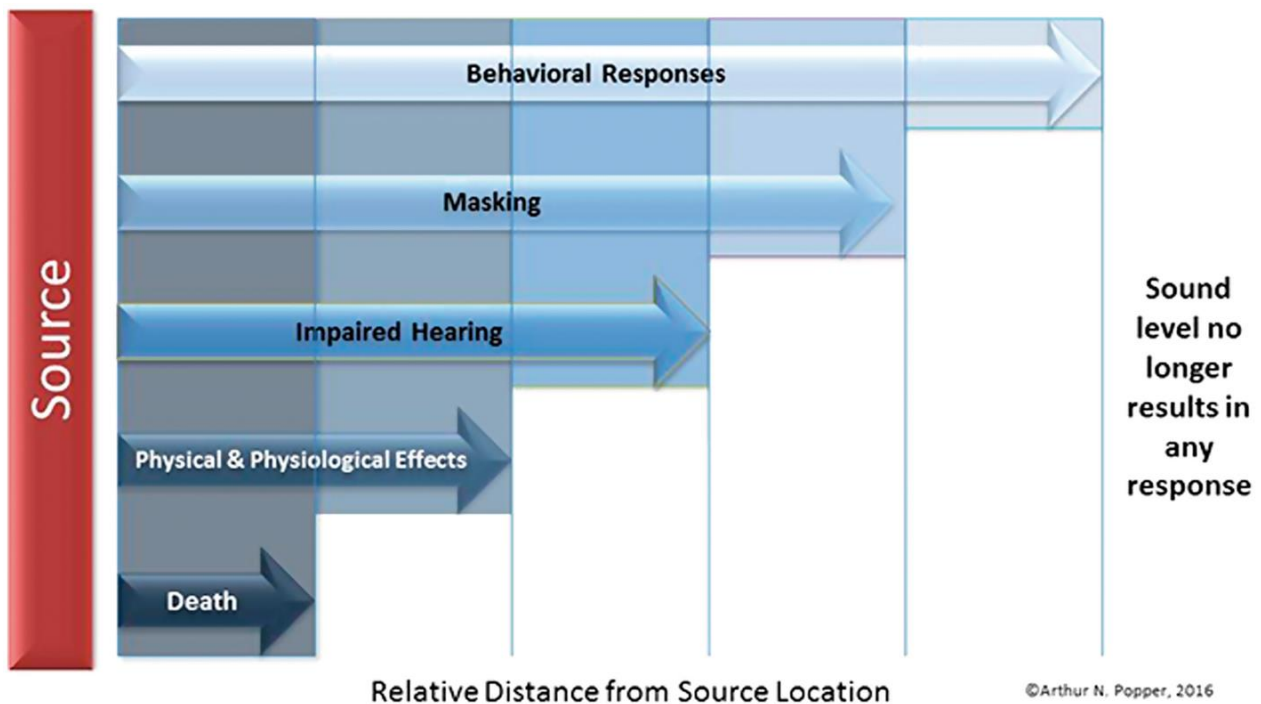


Figura 1 Possibili effetti del rumore su pesci e invertebrati in funzione della distanza (o livello sonoro) dalla sorgente (in Hawkins e Popper, 2017).

Questi effetti sui pesci hanno una variabilità che oltre ai fattori fisici che caratterizzano il suono impattante, dipende dalla specie, dalla taglia e dalla fase vitale dell'esemplare soggetto alla sorgente del suono (Hawkins e Popper, 2017).

Uno studio del 2019 (Slabbekoorn *et al.*, 2019) ha indagato sulla valutazione dell'impatto delle prospezioni sismiche a livello di popolamenti, fornendo uno schema concettuale per affrontare il tema e cercare di riportare l'impatto misurato in individui al livello di popolamenti, comunità³ ed ecosistemi. Gli autori evidenziano anche le lacune conoscitive ancora esistenti e sottolineano che negli studi sugli impatti acustici relativi a specie ittiche, non esistono conoscenze per quantificare i rapporti tra dose ed effetti.

Sempre Weilgart (2018) illustra, infine, come alcuni “servizi ecosistemici” offerti da invertebrati, quali filtrazione delle acque e mescolamento dei sedimenti, possano essere afflitti dal rumore.

Blondel *et al.* (2019), a proposito del panorama sonoro subacqueo delle regioni artiche, fanno notare come le caratteristiche degli habitat marini artici influiscano sulla propagazione e la “qualità” dei suoni subacquei e per misurarne i cambiamenti sia naturali che causati dall'uomo e valutarne gli impatti a diverse scale temporali e spaziali, gli autori, nell'ambito dell'esperimento *Quiet Ocean Experiment*, presentano la costituzione di uno specifico gruppo di lavoro dedicato al tema “*Arctic Acoustic Environments*” dedicato, in particolare, a rappresentare gli avanzamenti delle conoscenze sui suoni nei mari artici, come ha fatto in occasione dell'*Arctic Observing Summit* 2018, le cui conclusioni e raccomandazioni sono state adottate dal *2nd Arctic Science Ministerial* (25÷26 ottobre 2018, Berlino).

5.1.1 Effetti sul comportamento

Complessivamente, la letteratura inerente agli effetti del rumore prodotto da *airgun* sul comportamento dei pesci riporta reazioni quali, risposta di allarme, cambiamento negli schemi di nuoto (aumento della velocità e variazione della direzione), cambiamento

³ Con il termine di “comunità zoobentoniche” si indicano quelle associazioni di animali che vivono a contatto con il fondo dei sistemi acquatici o che a esso sono strettamente legate, da relazioni trofiche ed ecologiche (Peres & Picard, 1964).

nella distribuzione verticale nella colonna d'acqua, disturbo della comunicazione acustica.

È noto che la comunicazione acustica tra pesci è rilevante per la vita di relazione, in particolare per il successo riproduttivo (Rowe *et al.*, 2008; Verzijden *et al.*, 2010) e l'alterazione di tale comunicazione potrebbe limitare, ad esempio, le reazioni di allarme e fuga dai predatori (Simpson *et al.*, 2015) e i meccanismi di accoppiamento.

Questa preoccupazione è condivisa nei lavori di Radford *et al.* (2014) e Amoser e Ladich (2003) che dimostrano come la comunicazione acustica possa essere limitata negli habitat interessati da fenomeni d'inquinamento acustico.

Sono state descritte reazioni comportamentali in cui i pesci si spostano a profondità maggiori, si compattano in branchi, si immobilizzano (*freezing*) o diventano più attivi (Dalen e Knutsen, 1987; Pearson *et al.*, 1992; Skalski *et al.*, 1992; Santulli *et al.*, 1999; McCauley *et al.*, 2000; Slotte *et al.*, 2004). Questi comportamenti, causati dal rumore, sembrano avere anche una base fisiologica, in quanto sono accompagnati da incrementi della concentrazione degli ormoni dello stress come il cortisolo (Santulli *et al.* 1999). Lo stress causato dal rumore può influenzare negativamente i processi riproduttivi e di crescita nei pesci.

L'effetto del rumore continuo sul comportamento del corteggiamento in due specie di ghiozzi (*Gobiusculus flavescens* e *Pomatoschistus pictus*) è stato testato in esperimenti in acquario. I risultati mostrano effetti negativi del rumore sulla comunicazione e sul successo della deposizione delle uova e quindi il successo riproduttivo può essere influenzato negativamente (Jong *et al.*, 2018).

Il lavoro di Cox *et al.* del 2019 sintetizza, attraverso la meta-analisi di 42 studi sull'argomento, che il rumore antropogenico influisce negativamente sul comportamento e sulla fisiologia dei pesci. Il lavoro, che non indaga in modo specifico sugli effetti del rumore da *airgun* ma considera anche altre fonti sonore (traffico marittimo, palificazioni, ecc.), evidenzia che gli effetti negativi si riscontrano preminentemente nella modificazione della capacità di nutrirsi, nell'aumentato rischio da predazione e nel minore successo riproduttivo. Il quadro che ne risulta mostra che la maggior parte delle specie ittiche sono sensibili ai cambiamenti del panorama acustico e in relazione al tipo di disturbo sonoro, possono presentarsi conseguenze anche importanti per la fitness di una specie. Gli autori sottolineano poi che questa

sintesi dovrebbe servire da avvertimento sulle conseguenze “potenzialmente disastrose per gli ecosistemi marini” se le alterazioni dei paesaggi sonori continueranno con l’andamento attuale.

Il lavoro di Hanache *et al.* (2019), pur riguardando ambienti e specie di acqua dolce e rumore dovuto a motori, è utile come modello concettuale per comprendere gli effetti potenziali dell’inquinamento acustico, compreso quello dovuto ad *airgun*, sugli ecosistemi marini. Il lavoro cerca di affrontare l’aspetto ancora poco investigato delle conseguenze dell’inquinamento acustico in termini di struttura di comunità. Lo fa considerando la modificazione sulle abitudini di predazione di un pesce d’acqua dolce (*Phoxinus phoxinus*) che preda larve di un insetto dittero. In ambiente rumoroso, il pesce mostra una significativa diminuzione del tasso di attacco verso le larve dell’insetto nonché altri comportamenti stress-correlati. Questa risposta comportamentale del predatore può modificare la pressione demografica sulla preda, che in questo caso è la preda principale, e spostare la predazione su un’altra fonte di cibo secondaria. Viene a cambiare così la forza di interazione tra le specie (*interaction strenght*), dando luogo ad un effetto che si riverbera a livello di comunità. La diminuzione della pressione di predazione potrebbe inoltre innescare una cascata trofica, propagando l'effetto del rumore ai livelli trofici inferiori e portando così a effetti sull’intero ecosistema.

Come in altri studi (Slabbekoorn *et al.*, 2019), gli autori suggeriscono di tenere le alterazioni comportamentali nella dovuta considerazione, in quanto gli effetti comportamentali e di stress possono essere rilevanti a livello di popolamenti e popolazioni e dovrebbero quindi essere considerati quali effetti prioritari rispetto alle lesioni fisiche e alla morte di individui, essendo di molti ordini di grandezza superiore il numero di animali potenzialmente coinvolti.

5.1.2 Effetti fisiologici

Gli effetti fisiologici principali sui pesci dovuti a emissioni sonore di *airgun*, sono a carico del sistema uditivo. Essi vanno da un abbassamento della soglia uditiva fino alla compromissione delle strutture fisiologiche (orecchio interno e linea laterale); gli effetti di spostamento della soglia uditiva possono essere temporanei, *Temporary Threshold Shifts* (TTS) o permanenti, *Permanent Threshold Shifts* (PTS).

Sui pesci si sono osservate varie conseguenze fisiologiche dell'esposizione al rumore (Weilgart, 2013 e 2018); alcuni studi mostrano come gli impulsi sonori emessi da *airgun* danneggino l'orecchio interno dei pesci presenti a distanze comprese tra 500 metri e diversi chilometri dalla nave che conduce rilievi sismici. In particolare, si è osservata una riduzione della sensibilità uditiva dovuta a danni a carico di organi e strutture uditive, come le cellule ciliate e la linea laterale (Hastings *et al.* 1996; McCauley *et al.* 2003; Amoser e Ladich 2003; Smith *et al.* 2004). Popper *et al.*, 2005, invece, riportano sostanzialmente l'assenza di conseguenze per l'apparato uditivo di pesci di acqua dolce in esperimenti controllati con *airgun* ($730 \text{ in}^3 = \text{circa } 12000 \text{ cm}^3$). Ci sono inoltre studi che riguardano le perforazioni di tipo *pile driving* (palificazioni, impianti eolici, ecc.) che mostrano evidenze di traumi subletali e letali come ernie e lacerazione della vescica natatoria, ematomi ed emorragie del fegato, ematuria (sangue nelle urine), ecc. (Carlson, 2012; Casper *et al.*, 2013; Govoni *et al.*, 2003; Halvorsen *et al.*, 2012).

Un recente esperimento (Davidsen *et al.*, 2019) mostra come si siano rilevate alterazioni fisiologiche e comportamentali, molto lievi, in due specie di pesci (i merluzzi *Gadus morhua* e *Pollachius virens*). Gli esemplari, tenuti in ampie gabbie cilindriche ($d \cdot h = 50 \cdot 25 \text{ m}$), sono stati sottoposti a esplosioni di *airgun* per un periodo di tre giorni e hanno mostrato una diminuzione della frequenza del battito cardiaco (bradicardia) che preannuncia l'innescò di una reazione di fuga. Nonostante questo, non sono state osservate ulteriori reazioni più evidenti di spavento. Inoltre, l'alterazione della frequenza cardiaca era massima durante il primo dei tre giorni dell'esperimento, suggerendo che il merluzzo si possa essere poi abituato all'esposizione ripetuta. In conclusione, gli autori affermano che è improbabile che l'esposizione sonora utilizzata in questo studio sia associabile ad alterazioni a lungo termine della fisiologia o del comportamento.

5.2 Effetti sulla pesca commerciale

Ci sono evidenze che possono indicare una diminuzione dei tassi di cattura da parte della pesca commerciale in conseguenza a prospezioni sismiche. Questo fenomeno sarebbe determinato da risposte comportamentali quali: spavento, allarme, evitamento, migrazione, perdita di equilibrio. Vari autori hanno evidenziato un calo dei

tassi di cattura, compreso tra il 40% e l'80%, di varie specie ittiche quali merluzzo, aringa, cicerello (*sand eels*), *Sebastes* spp. (*rockfish*) (Dalen e Knutsen 1987; Løkkeborg 1991; Skalski *et al.* 1992; Engås *et al.*, 1993; Løkkeborg e Soldal, 1993; Engås *et al.* 1996; Hassel *et al.* 2004; Slotte *et al.* 2004). Engås *et al.*, (1993) descrivono come le detonazioni di *airgun* abbiano provocato reazioni di allarme nei merluzzi a distanze di 16÷18 miglia nautiche dalla nave che effettuava i rilevamenti sismici e Skalski *et al.* (1992), Engås *et al.* (1993), Løkkeborg e Soldal (1993) osservano come un calo del tasso di cattura, protrattosi per 5 giorni, si sia osservato nel tratto di mare dove erano state condotte prospezioni con *airgun*. Løkkeborg e Soldal (1993) mostrarono anche come durante l'uso di *airgun*, i tassi di cattura della pesca commerciale siano decresciuti significativamente e gli effetti possano perdurare per 24 ore sino a una distanza di almeno 9 km. Anche i tassi di cattura di un gasteropode, il murice *Bolinus brandaris*, hanno subito un declino dopo l'esposizione ad *airgun* (Moriyasu *et al.* 2004).

Per contro, ci sono anche studi che evidenziano l'ininfluenza del disturbo sonoro sulla pesca. Non sono state osservate differenze significative nel tasso di cattura del granchio *Chionoecetes opilio* nelle acque di Halifax (Nova Scotia) prima e dopo la conduzione di un *survey* sismico sperimentale con l'impiego di *airgun* (Christian *et al.*, 2003). Risultati dello stesso segno si evincono dallo studio sui gamberi di Andriguetto-Filho *et al.*, 2005, nelle rese della pesca a strascico prima e dopo l'uso di una batteria di *airgun* con picco sonoro a 196 dB re 1 μ Pa a 1m lungo la costa del Brasile. In questo caso, non si riscontrarono effetti significativi, concludendo che lo *stock* dei gamberi è resistente (*resilient*) al disturbo degli *airgun*. Inoltre, lo studio della durata di due anni effettuato da Morris *et al.* (2018) sui tassi di cattura di granchi artici (*Chionoecetes* sp., *snow crab*) della costa atlantica del Canada, oggetto di una diffusa esplorazione per la ricerca di idrocarburi con *airgun*, non ha evidenziato significative riduzioni delle catture. Un ulteriore studio sui tassi di cattura di alcune specie di pesci in Australia, effettuato da Brucea *et al.* (2018), fornisce dati contrastanti. Gli autori affermano di non disporre di prove significative per affermare che le indagini sismiche con *airgun* possono indurre consistenti variazioni del tasso di cattura nelle specie bersaglio. In sintesi, ad oggi, non ci sono evidenze univoche sugli effetti del rumore sulla pesca commerciale.

5.3 Effetti su uova e larve di invertebrati e pesci

I dati non sono esaustivi ma risultano evidenze che l'esposizione a suoni può provocare arresto nello sviluppo delle uova di organismi marini o sviluppo anomalo delle larve. De Soto *et al.*, 2013 osservavano che larve del bivalve *Pecten novaezelandiae* esposte a ripetuti impulsi sismici, mostravano significativi ritardi di sviluppo e Christian *et al.*, (2003) riportavano come le uova del granchio *Chionoecetes opilio* subissero uno sviluppo ritardato quando esposte sperimentalmente in vasca a suoni di 221 dB re 1 μ Pa.

Anche altri autori affermano che l'impatto dei rilevamenti con *airgun* riduce la vitalità delle uova, aumenta la mortalità embrionale e decrementa la crescita larvale quando uova e larve di pesci sono esposte a livelli di picco sonoro di 120 dB re 1 μ Pa (Kostyuchenko, 1973; Booman *et al.*, 1996). Le larve di rombo hanno mostrato di riportare danni alle cellule cerebrali e ai neuromasti (recettori pressori della linea laterale dei pesci costituiti da un gruppo di cellule ciliate ricoperte da una cupola gelatinosa, più o meno esposti all'ambiente esterno) (Booman *et al.* 1996). I neuromasti ricoprono una funzione importante nella reazione di fuga nelle giovani larve e quindi nella loro capacità di evitare i predatori.

Secondo il lavoro di Kostyuchenko (1973), la mortalità di uova e larve di pesci si era verificata solo quando queste si trovavano a pochi metri dall'*airgun*. Day *et al.* (2016) hanno mostrato i risultati dell'esposizione di femmine portatrici di uova di aragosta (*Jasus edwardsii*) alle emissioni sonore di un *airgun* che superavano i 185 dB re μ Pa²·s. Nella prole di queste aragoste non sono state riscontrate anomalie di alcun genere e i giovanili si sono sviluppati in maniera analoga al controllo non esposto.

Nel complesso, l'effetto sembrerebbe inferiore o paragonabile al tasso di mortalità naturale e sarebbe quindi trascurabile (Sætre e Ona, 1996).

5.4 Effetti sugli invertebrati

Non sono molti gli studi recenti inerenti agli effetti del rumore antropogenico su popolamenti di invertebrati marini. Il Rapporto del Segretariato di un Gruppo di Lavoro del Consiglio Artico (PAME, 2019) sullo stato delle conoscenze circa il rumore subacqueo nei mari artici, fa notare come solo due siano gli studi reperiti che trattano l'impatto del rumore sugli invertebrati che popolano quelle regioni.

La maggior parte degli invertebrati sono in grado di percepire, attraverso i loro mecano-recettori, i suoni di prospezioni acustiche solo a distanza molto ravvicinata (forse meno di 20 metri); i Cefalopodi costituiscono un'eccezione, vista la loro sensibilità *far-field* a certi tipi di suono (McCauley, 1994). Le osservazioni di André *et al.* (2011) su effetti morfologici e ultrastrutturali causati da traumi acustici indotti su specie di Cefalopodi e sulle possibili interazioni con il rumore di calamari giganti (*Architeuthis dux*) rinvenuti spiaggiati restano tra le più rilevanti in materia. Questi autori riferiscono, soprattutto, di danni a carico delle statocisti che risultano in una compromissione del senso dell'equilibrio e della posizione. In alcuni lavori (André *et al.*, 2011; Guerra *et al.*, 2004; 2011) è stata poi evidenziata la correlazione tra prospezioni sismiche effettuate in Nord Atlantico e spiaggiamenti di esemplari di calamaro gigante con danni a organi interni.

Gli impatti da stress da rumore sono tutt'altro che rari, fa notare Weilgart (2018); questi possono includere l'innalzamento del tenore di ormoni da stress (cortisolo) nei liquidi circolatori, un innalzamento del tasso metabolico e del consumo di ossigeno e si sono osservate parassitosi, irritazioni tegumentali e un incremento del tasso di mortalità, a volte in connessione con fenomeni di cannibalismo e malattia. André *et al.* (2011), analizzando esemplari di due specie di calamaro, una specie di seppia e una di polpo, hanno rilevato patologie e lesioni legate alle statocisti; i danni alle strutture uditive, secondo gli autori, possono peggiorare con il tempo e anche quando la sorgente di suono subacqueo ha cessato di emettere, possono evidenziarsi significativamente sino a 96 ore dopo l'esposizione al rumore e la temporanea incapacità uditiva può durare in un arco temporale che giunge ai mesi. Anche Leite *et al.* (2016) riportano l'osservazione, effettuata proprio da un *Marine Mammal Observer* (MMO), di un calamaro gigante morto in concomitanza con prospezioni sismiche nel maggio del 2013, al largo delle coste brasiliane.

Marta Solè, negli atti del convegno *Oceanoise* (Solé M. *et al.*, 2017a), riporta le evidenze di danni a carico degli epiteli sensoriali su esemplari di tre specie di Cefalopodi (*Sepia officinalis*, *Loligo vulgaris* e *Ilex coindetii*) dopo l'esposizione a livelli sonori elevati. Le lesioni alle statocisti, dopo un'esposizione di 48 ore avvengono in modo analogo negli individui adulti, mentre negli individui giovanili si verificano anche con una esposizione al rumore molto più breve e immediatamente dopo. Marta Solè *et al.* (2017b) rafforzano le conoscenze sui traumi acustici sui Cefalopodi. In particolare, in questo studio sono stati effettuati esperimenti sulla seppia (*Sepia officinalis*) esponendo esemplari a livelli sonori che andavano da 139 a 142 dB re 1 μ Pa (con frequenze di 1/3 di ottava centrata su 315 Hz e 400 Hz). L'osservazione mediante microscopio elettronico a scansione delle statocisti ha rilevato lesioni a loro carico, stabilendo così una soglia di livello acustico in grado di innescare traumi nei Cefalopodi.

Fitzgibbon *et al.* (2017) aggiungono alcune conoscenze sulla reazione fisiologia dei crostacei adulti alle prospezioni acustiche con quattro esperimenti in ambiente controllato per esaminare l'impatto dei segnali acustici sismici sull'aragosta *Jasus edwardsii*. L'esposizione agli impulsi ha soppresso il conteggio totale degli emociti (THC – *Total Hemicyte Counts*) fino a 120 giorni dopo l'esposizione suggerendo un impatto negativo cronico della capacità immunitaria e dopo la post-esposizione di 365 giorni, erano due volte maggiori, potenzialmente indicando una risposta immunitaria a un'infezione. In un esperimento, l'indice di rifrazione dell'emolinfa si è ridotto dopo 120 giorni dall'esposizione, suggerendo una compromissione cronica delle condizioni nutrizionali. Non vi è stato invece alcun effetto dell'esposizione a impulsi acustici su 24 parametri emodinamici biochimici, sull'indice di epatopancreas o sulla sopravvivenza. Nell'insieme, l'omeostasi ematologica e biochimica di *J. edwardsii* è apparsa ragionevolmente resiliente agli impulsi acustici, tuttavia, l'esposizione a tali stimoli può influenzare negativamente le condizioni nutrizionali e la capacità immunologica dell'aragosta.

Uno studio analogo (Semmens *et al.*, 2017) ha osservato gli effetti su esemplari di aragosta (*Jasus edwardsii*) analizzati sia in tratti di mare con un basso livello di rumore antropico che esposti a insonificazione mediante *airgun*; in questi ultimi tratti di mare sono stati osservati danni a carico delle statocisti. Non si sono invece osservate

differenze significative studiando aree marine già interessate da inquinamento acustico cronico; in questi casi, le statocisti sono apparse già danneggiate prima dell'esperimento e la sua realizzazione non ha causato un aumento del numero delle statocisti alterate.

Gli effetti negativi sulle statocisti di *Jasus edwardsii* vengono confermati da Day *et al.* (2019) che hanno sottoposto i crostacei a esposizioni al rumore pari a quella di un *airgun* che passa ad una distanza di 100÷500 m. Le aragoste hanno mostrato alterazioni nel raddrizzamento e danni significativi alle cilia sensoriali delle statocisti. La compromissione del riflesso e il danno alle statocisti persistevano fino a 365 giorni dopo l'esposizione e il fenomeno non è apparso migliorare in seguito alla muta. Questi danni e compromissioni di funzioni aggiungono ulteriori prove del fatto che il rumore antropogenico può potenzialmente danneggiare gli invertebrati, rendendo necessaria una migliore comprensione dei possibili impatti ecologici ed economici.

Su un bivalve, *Paphia aurea*, sottoposto a rumore sismico, sono stati riscontrati sintomi di stress fisiologico evidenziati da alti livelli di sostanze quali idrocortisone, glucosio e lattato (Moriyasu *et al.* 2004). Si aggiungono anche altri due studi su alcune specie di Pettinidi (capesante, molluschi bivalvi). Lo studio di Day *et al.* (2017) esamina l'impatto dell'esposizione a indagini sismiche sul pettinide *Pecten fumatus*, utilizzando misurazioni di parametri fisiologici e comportamentali per determinare se l'esposizione possa causare mortalità di massa o determinare altri effetti sub-letali. Dopo l'esposizione agli impulsi sismici, nel bivalve si sono riscontrate alterazioni nelle capacità di reazione, nelle difese immunitarie, negli equilibri elettrolitici e un aumento della mortalità, in particolare sul lungo periodo (mesi dopo l'esposizione). Tuttavia, tale aumento sembra essere all'interno dell'intervallo di variazione dei tassi di mortalità naturali. Gli Autori osservavano che il rumore prodotto durante le prospezioni elettroacustiche provocava cambiamenti significativi nei modelli comportamentali che si sono manifestati con una riduzione nella frequenza di comportamenti "classici" e l'osservazione di una risposta "flinch" (azione di fuga, chiudendo repentinamente le valve). I parametri biochimici dell'emolinfa risultavano alterati, così come la numerosità degli emociti (cellule del sangue) risultava significativamente ridotta. Le dimensioni dell'*airgun* non hanno mostrato d'influire sull'entità degli effetti osservati, mentre l'esposizione ripetuta ha mostrato di essere causa dell'intensificarsi delle risposte. Gli

autori ipotizzano che gli impatti osservati derivino da un'elevata accelerazione nel movimento delle particelle del sedimento del fondale marino, determinata dall'onda sonora.

Przeslawski *et al.* (2018) hanno esaminato la potenziale risposta di due specie di capesante (*Pecten fumatus* e *Mimachlamys asperrima*) prima, a distanza di due mesi e dieci mesi dopo un'indagine sismica marina condotta in Australia nel 2015. Lo studio di campo prevedeva sia pescate con draghe che osservazioni dirette con veicoli autonomi (AUV) equipaggiati con videocamera. I risultati non hanno mostrato alcuna evidenza di mortalità delle capesante attribuibile all'indagine sismica, sebbene non sia stato possibile escludere effetti sub-letali.

Sempre riferendosi a molluschi lamellibranchi, Wale (2016) riporta che l'integrità del materiale genetico (DNA) può anche risultare compromessa, come può accadere per l'intera fisiologia dell'esemplare e il suo comportamento nella vita di relazione (predazione, fuga, nidificazione, riproduzione, difesa, ecc.).

Sulla barriera di una laguna corallina (*South Scott Reef*, Australia nord-occidentale) Heyward *et al.* (2018) hanno condotto studi su una comunità di coralli delle famiglie *Agaricidae* e *Acroporidae* dove si è condotta un'indagine sismica 3D. I coralli sono stati monitorati in situ prima, alcuni giorni dopo e alcuni mesi dopo l'esposizione al rumore sismico. Non sono stati osservati effetti macroscopici sui tessuti molli o sullo scheletro dei coralli e l'analisi non ha rilevato alcun effetto dell'attività sismica in termini di mortalità corallina, danno scheletrico o segni visibili di stress subito dopo e sino a quattro mesi dopo il rilievo sismico.

Nel 2017 è stato condotto uno studio che ha aperto una nuova prospettiva riguardo ai danni che possono essere causati agli ecosistemi marini dalle prospezioni geosismiche con l'uso di *airgun*. McCauley *et al.* (2017) hanno infatti descritto nuove evidenze a carico dello zooplancton, una componente essenziale di ogni ecosistema marino la cui biomassa è alla base delle reti trofiche marine. Il lavoro descrive come l'uso della tecnica dell'*airgun* provochi significativi decrementi delle abbondanze e un aumento della mortalità degli organismi zooplanctonici entro una sfera di raggio pari a 1,2 km dalla sorgente sonora. Questa misura è ben superiore ai 10 m stimati in studi precedenti e ha permesso agli autori del lavoro di affermare che perturbazioni su questa scala dei popolamenti zooplanctonici possono causare danni a livello

ecosistemico: "... *The significance and implications of potential large-scale modification of plankton community structure and abundance due to seismic survey operations has enormous ramifications for larval recruitment processes, all higher order predators and ocean health in general*" (McCauley *et al.*, 2017). Scenari modellati su tale scoperta, suggeriscono una mortalità del 14% nello zooplancton a una distanza di 15 km dall'esplosione sismica (Richardson *et al.*, 2017).

Un ulteriore recente studio di Fields *et al.* (2019) sembra ridimensionare le evidenze prospettate dal lavoro di McCauley *et al.* (2017) e delle previsioni di Richardson *et al.* (2017). Infatti Fields *et al.* (2019) hanno testato le esplosioni di *airgun* su *Calanus spp.*, crostaceo che costituisce una frazione importante dello zooplancton nelle reti trofiche marine e costituisce una risorsa alimentare per molte specie commerciali. Dallo studio si evince un incremento della mortalità che è apprezzabile solo a una distanza inferiore a 10 m dall'esplosione dell'*airgun*, mentre oltre i 10 m gli effetti sono irrilevanti.

Questi studi sono i primi a considerare gli impatti acustici dell'*airgun* da un punto di vista ecosistemico, considerato che il plancton è un insieme di organismi appartenenti a diversi taxon e che costituisce un comparto fondamentale per le reti trofiche marine. La tendenza a considerare nella letteratura scientifica gli impatti ecosistemici piuttosto che quelli a carico di specie o di pochi esemplari, si riscontra anche in un altro lavoro pubblicato a novembre 2019 (Wale *et al.* 2019). Per quanto i "banchi" di mitili siano piuttosto estesi e densi e ospitino una varietà di altri invertebrati, questo lavoro che si è prefisso di indagare sull'impatto ecosistemico del suono, non può riferirsi propriamente a "effetti a livello di ecosistema" ma mostra comunque la percezione della necessità di estendere almeno a livello di comunità le conoscenze disponibili per rispondere a questo obiettivo; avvalendosi di test usati in ecotossicologia (*comet assay*, test sullo stress ossidativo), in combinazione con *biomarker* fisiologici e comportamentali, gli Autori hanno studiato le reazioni all'esposizione a una sorgente simulata del rumore prodotto dalla propulsione navale in una specie di mollusco bivalve (*Mytilus edulis*) che costituisce barriere organogene. Questo approccio multi-disciplinare ha consentito, per la prima volta, di riscontrare in una specie marina danni indotti dal rumore a carico del DNA (rottture a filamento singolo di DNA sei volte più alte negli emociti e nelle cellule epiteliali delle branchie) e stress ossidativo. Inoltre, sono stati riscontrati cambiamenti

fisiologici e comportamentali quali riduzione del 12% del consumo di ossigeno, aumento del 60% dell'apertura delle valve, riduzione dell'84% della velocità di filtrazione. Con l'uso di tecniche ecotossicologiche consolidate sono quindi stati evidenziati impatti a livello di organismo che possono però riferirsi anche al livello di comunità e popolamento trattandosi di una specie dominante in certi ambienti ricchi di *pabulum* in sospensione. Inoltre, i risultati dello studio indicano che il rumore può essere considerato un fattore di disturbo in grado di mascherare l'effetto di altri inquinanti indagati con le stesse metodiche.

5.5 Effetti sui rettili marini

Non ci sono evidenze aggiuntive rispetto a quanto riportato nei precedenti rapporti sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*. Così come per i pesci e i mammiferi marini, diversi studi hanno evidenziato atteggiamenti di allarme o di fuga come reazione immediata agli impulsi sonori emessi da *airgun*. In termini generali, il loro comportamento diviene più erratico, indicando uno stato agitato dell'esemplare.

I rettili marini hanno la capacità di rilevare stimoli acustici a bassa frequenza, indicando che la loro capacità uditiva rientra nel *range* di frequenza tipica degli *airgun* (10 ÷ 500 Hz) (Nelms *et al.*, 2016). Diversi studi avevano già evidenziato atteggiamenti di allarme o di fuga come reazione immediata agli impulsi sonori emessi dagli *airgun* (O'Hara e Wilcox 1990; Moein *et al.*, 1994; McCauley *et al.*, 2000; Lenhardt, 2002).

I risultati di monitoraggi effettuati durante survey sismici hanno poi evidenziato un numero maggiore di avvistamenti di tartarughe nei periodi di non attività (Weir, 2007; Hauser *et al.*, 2008; Holst e Smultea, 2008). Le tartarughe esposte a esplosioni di *airgun* consecutive sembrano reagire sempre meno, indicando con ciò una riduzione della soglia sonora di sensibilità (TTS) o un fenomeno di assuefazione. Un esemplare di tartaruga che accusava un abbassamento della soglia uditiva di 15 dB ha impiegato due settimane per tornare ai livelli di soglia precedenti (Lenhardt, 2002). McCauley *et al.*, 2000 hanno stimato che una tipica batteria di *airgun* che opera in mare con un fondale di 100 ÷ 120 m potrebbe avere un'influenza sul comportamento delle tartarughe marine a una distanza di circa 2 km e causare la loro reazione di fuga a circa 1 km. DeRuiter e Doukara (2012), in uno studio effettuato sulla piattaforma continentale dell'Algeria, trovarono che il 57% delle tartarughe marine si immergevano

prima di raggiungere la zona di esercizio di un *airgun* che esplodeva ogni 19,4 secondi con un livello di pressione sonora di 252 dB re 1 μ Pa di picco.

5.6 Effetti sui mammiferi marini

I cetacei sono tra gli animali con l'apparato uditivo più sofisticato e sono fortemente specializzati nell'uso del suono per le comunicazioni, la navigazione, l'alimentazione. Gli effetti sui mammiferi marini riportati nei precedenti "rapporti sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*" vanno dallo stress, a modificazioni comportamentali, al mascheramento dei segnali, ad alterazioni delle capacità uditive e in casi estremi, danni ai tessuti e morte.

Un aspetto che comincia a essere indagato e più conosciuto rispetto ai pesci e agli invertebrati, è quello del rapporto dose-effetto causato da stimoli sonori. Per esempio, Dunlop *et al.* (2018) affrontano l'indagine del rapporto dose-effetto nella reazione di evitamento della megattera (*Megaptera novaeangliae*). I ricercatori sono riusciti a stabilire che questi cetacei in migrazione iniziavano a mostrare una reazione di evitamento (allontanamento dalla fonte sonora) quando erano sottoposti a emissioni che eccedevano i 130 dB re 1 μ Pa² ed entro un raggio di 4 km dalla fonte sonora. Si riscontrava, inoltre, una probabilità del 50% che cambiassero rotta quando il livello sonoro raggiungeva circa 150 dB re 1 μ Pa² a una distanza di 2,5 km dall'*airgun*.

Un nuovo studio di Hastie *et al.* (2019) evidenzia che il rischio di causare danno ai cetacei è dipendente anche dalle caratteristiche impulsive del suono impattante, caratteristiche che possono essere descritte secondo precisi criteri fisici (tempo di innalzamento del picco, durata, ecc.). Gli autori suggeriscono di considerare questo aspetto negli studi di valutazione di impatto e considerare come variabile anche la distanza alla quale i suoni perdono alcune delle loro caratteristiche potenzialmente pericolose (vedi Figura 1). D'altro canto, Torterotot *et al.* (2019) ci ricordano come il suono degli impulsi di *airgun* possano essere rilevati a grandi distanze negli ambienti pelagici dell'oceano Indiano e possano influenzare i mammiferi marini, specialmente quelli che usano le basse frequenze.

Circa l'influenza sul comportamento di Cetacei esposti all'insonorizzazione da *airgun*, Erbe *et al.* (2019), nel loro lavoro di revisione della letteratura scientifica sugli effetti del rumore prodotto da navi sui mammiferi marini, rilevano però che esemplari di megattera quando transitano navi attrezzate con *airgun* ma non in uso durante le

osservazioni, hanno mostrato reazioni, molto variabili nei modi, anche se esposti al solo rumore prodotto dalla propulsione. In ambienti marini poco soggetti a rumori di origine antropica, quali ancora le acque dei mari artici, il rapporto del Segretariato del Gruppo di Lavoro del Consiglio Artico *Protection of the Arctic Marine Environment* (PAME, 2019), fa osservare che gli animali marini che popolano questi mari ancora poco frequentati da navi, in particolare i mammiferi marini, presentano soglie di sensibilità al rumore, in termini di risposte comportamentali, molto basse e certamente non sono in grado di “abituarsi” ai rumori antropogenici, come osservato in altri mari. Gli studi sinora condotti sui mammiferi marini artici si sono focalizzati principalmente sulle risposte comportamentali; solo quattro sono quelli che hanno contemplato osservazioni su danni all'apparato uditivo e gli impatti del rumore sulle funzioni cardiorespiratorie.

In merito a eventi di spiaggiamento anomali, connessi spazialmente e temporalmente all'impiego di *airgun*, su scala globale non sono stati riportati eventi di tale natura; più in generale, sono stati registrate due mortalità anomale che hanno coinvolto cetacei della famiglia *Ziphiidae*:

- nel gennaio 2018 nel Mar Ligure, lungo le coste francesi;
- nell'agosto 2018, di ampia scala, quando si sono rinvenuti decine di esemplari spiaggiati lungo le coste islandesi, irlandesi e scozzesi.

In entrambi i casi, vista la natura e le caratteristiche spaziali e temporali dei soggetti spiaggiati, è stata ipotizzata quale causa, una fonte sonora impulsiva (includendo, in tale dizione anche i sonar attivi militari).

5.7 Banca dati spiaggiamenti

La Banca Dati Spiaggiamenti nazionale (BDS), istituita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ed operante all'interno della costituenda interministeriale Rete Nazionale Spiaggiamenti Mammiferi Marini (Re.Na.S.M.M.), registra in maniera sistematica i dati degli eventi di spiaggiamento occorsi lungo le coste italiane fin dal 1986.

Tale realtà rappresenta uno strumento di importanza fondamentale per rilevare qualsiasi evento anomalo, in quanto costituisce una baseline di partenza e confronto sia per le singole specie sia per i singoli areali geografici: in caso di episodi di mortalità

anomale quali spiaggiamenti di massa collegati a fonti sonore impulsive risulta fondamentale, in termini diagnostici, determinare quale sia stata la deviazione spaziale e temporale degli spiaggiamenti rispetto alla media per la specie coinvolta in quella zona.

L'*International Whaling Commission (IWC) Stranding Expert Panel* ha già riconosciuto la rilevanza fondamentale della raccolta dati standardizzata sugli spiaggiamenti per qualsiasi rete spiaggiamenti nazionale: dal punto di vista diagnostico si segnala che il processo di standardizzazione delle *best practices* sulle indagini *post-mortem* tra gli Accordi ACCOBAMS/ASCOBANS/SPA-RAC si è recentemente concluso, includendo anche specifiche problematiche quali gli spiaggiamenti causati da fonti impulsive, essendo state prodotte le nuove "*Best Practices in Monitoring and Management of Cetacean Stranding*" – Res. 7.14 (all.)

Nel periodo considerato ai fini del presente rapporto in acque di competenza nazionale non ci sono stati casi accertati di decesso causato da *airgun* o altre fonti sonore impulsive: si segnala tuttavia l'avvenuta registrazione, nel periodo fine maggio/luglio 2019, di 33 eventi di emissioni sonore di origine antropica, le cui fonti sono riconducibili a MFAS (sonar militari a media frequenza), *airguns* e *pile-driving*, tutte fonti ricomprese nelle nuove Linee Guida citate.

5.8 Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali delle prospezioni sismiche

Mentre nuove tecniche basate sull'applicazione di prototipi di *airgun* meno impattanti o di nuove tecniche e tecnologie sviluppate per tentare di ridurre i livelli sonori o mitigare gli impatti del rumore sono in via di sviluppo, gli studi sulla fisica della propagazione acustica (Duncan, 2017) indirizzati a ridurre il disturbo ambientale, vedono nel lavoro di Long (2019) un approccio promettente. L'autore mostra infatti i risultati di sperimentazioni e modellizzazioni che hanno riguardato la configurazione operativa degli apparati di produzione (*airgun* e *vibroscis*) e di ricezione (*array* di idrofoni) di suoni a frequenze utili alla prospezione geofisica. Nell'articolo si dimostra che le emissioni sonore prodotte da una configurazione degli apparati "compatta", permette di operare anche nelle acque della Nuova Zelanda, uno dei Paesi con le regolamentazioni più stringenti per la protezione degli ecosistemi marini durante le

esplorazioni geofisiche con *airgun*. Long (2019), infatti, propone una configurazione spaziale degli apparati al traino non convenzionale e l'attivazione di singoli *airgun* in rapida successione, in modo tale da garantire alta efficienza e una riduzione significativa dell'impatto ambientale in termini di Livello di pressione sonora (SPL) e Livello di evento esposizione sonora (SEL).

6. MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE PROVENIENTI DA AIRGUNS

Sul tema del monitoraggio delle emissioni acustiche provenienti da *airguns* nel presente capitolo si riportano le esperienze realizzate nel corso del 2019 dall'Istituto Tethys e dall'INFN.

Nell'ambito del progetto "Cetacean Sanctuary Research" (CSR), l'Istituto Tethys Onlus ha condotto delle attività di monitoraggio (visive ed acustiche) nella porzione occidentale del Santuario Pelagos, istituito per la protezione dei mammiferi marini nel Mediterraneo, nell'intervallo di tempo compreso tra il 28/05/2019 e il 28/09/2019 (Fig. 2).

Le indagini svolte sono descritte nel documento "Rapporto preliminare su rilevamento e registrazione all'interno del Santuario Pelagos di emissioni sonore di origine antropica di potenziale impatto sui cetacei".

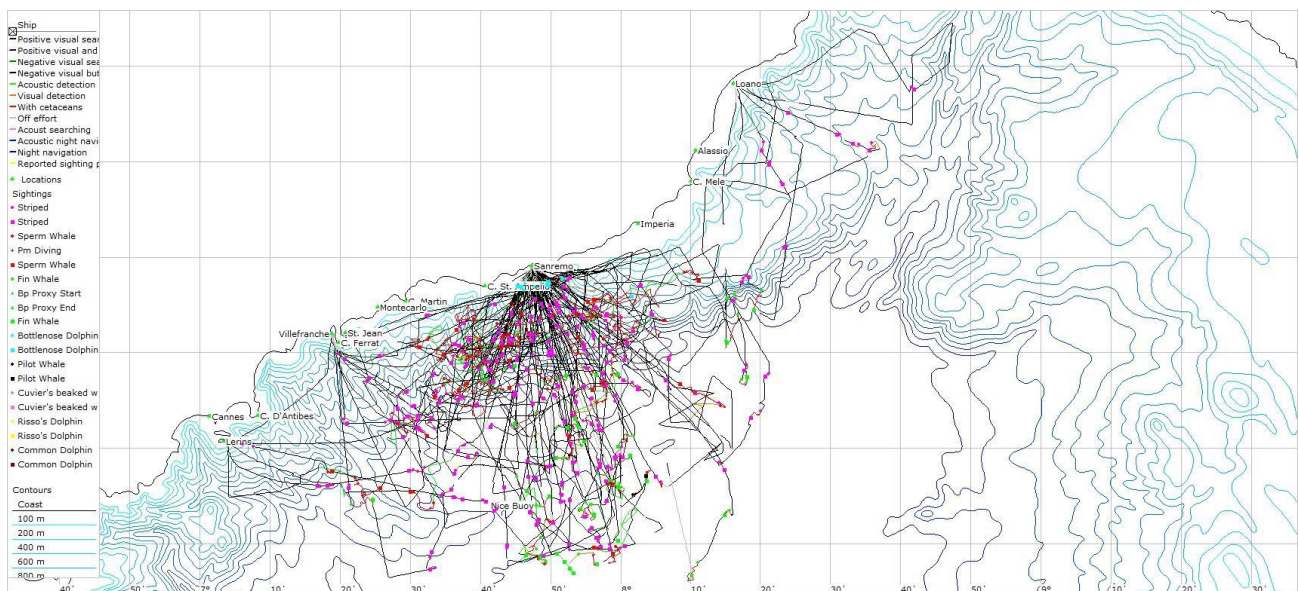


Figura 2. Sforzo di ricerca condotto dall'Istituto Tethys tra il 28 maggio e il 28 settembre 2019, e gli avvistamenti effettuati di 6 diverse specie di cetacei.

Nel periodo di indagine sono state effettuate delle registrazioni acustiche di emissioni sonore di origine antropica sia in acque italiane che francesi (circa 4000 miglia percorse e 259 avvistamenti di 6 diverse specie di cetacei), le cui fonti sono riconducibili per lo più a *sonar* di media frequenza (MFAS), di cui è già noto in letteratura il potenziale impatto sui cetacei. Sono state inoltre riscontrate emissioni sonore derivanti da strumenti utilizzati per la ricerca scientifica e di idrocarburi nei fondali marini (*airgun*, *sparker*, ecc.) e piantapali (*pile driving*), comunemente usati nell'ambito di costruzioni portuali e offshore. Durante alcune registrazioni di MFAS è stata rilevata la presenza di vocalizzazioni (*click*, suoni ad impulso utilizzati per l'ecolocalizzazione e fischi, suoni a modulazione di frequenza) di stenella striata (*Stenella coeruleoalba*) e di capodoglio (*regular click*, suoni ad impulso utilizzati per l'ecolocalizzazione e, in questa specie, anche per la comunicazione).

Il 10 luglio, in due diverse occasioni, sono state registrate emissioni la cui fonte è riconducibile a strumenti utilizzati per la ricerca scientifica o la ricerca di idrocarburi nei fondali marini (*airgun*, *sparker*, ecc.) (Fig. 3).

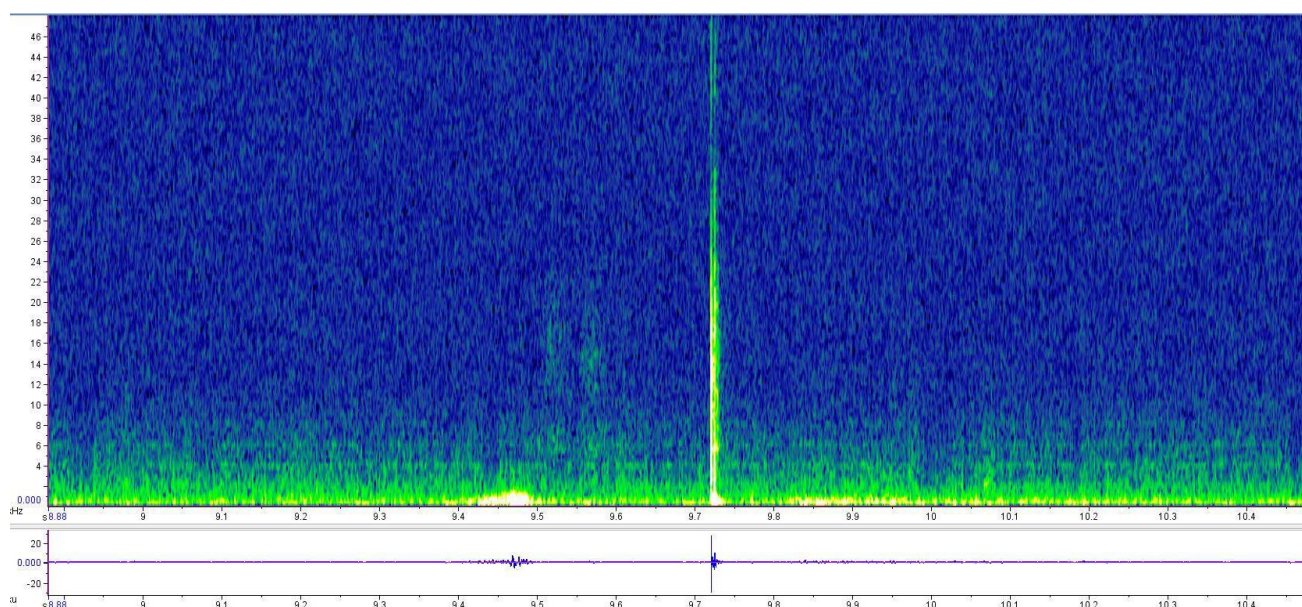


Figura 3. Spettrogramma dell'emissione sonora ascrivibile alle attività di prospezione geosismica (*airgun*), associata a *click* di capodoglio, registrata il 10 luglio 2019 al largo dell'estremo ponente ligure, in prossimità delle acque francesi.

Date le possibili distanze di propagazione delle emissioni sonore registrate, dell'ordine delle centinaia di chilometri fatta eccezione per quelle relative alle attività di *pile driving*, e l'impossibilità di poter determinare la distanza delle sorgenti durante la

ricerca, risulta difficile poter definire la reale ubicazione delle fonti di tali impulsi sonori. Tuttavia, considerando l'importanza che riveste l'area protetta investigata per i cetacei del Mediterraneo, tali registrazioni rivestono particolare importanza per il potenziale effetto che tale fonti di inquinamento possono avere sui mammiferi marini.

Sul tema del monitoraggio delle emissioni acustiche provenienti da sorgenti *airguns* l'INFS, a riscontro della richiesta di informazioni rivolta agli enti di ricerca, ha trasmesso una "Nota sul monitoraggio di segnali acustici impulsivi emessi da *Airguns*. Dati dell'Osservatorio SMO-OnDE. 13 settembre 2018 – 13 ottobre 2019".

Il monitoraggio in tempo reale di segnali *airgun* è stato acquisito dal sistema SMO-OnDE, l'antenna acustica impiegata per diverse finalità scientifiche nell'ambito del Mediterraneo, collocata a circa 2100 m di profondità, 25 km al largo di Catania, attiva da gennaio 2017. L'antenna consente il monitoraggio in continuo e in tempo reale di sorgenti acustiche ambientali, biologiche ed antropogeniche nel mar Ionio. La ricerca in tempo reale di segnali *airgun* condotta tra il 13 settembre 2018 e il 10 Ottobre 2019 non ha evidenziato suoni impulsivi compatibili con emissioni di tipo *airgun* nel Mediterraneo orientale, mentre a partire dall' 11 Ottobre 2019, l'Osservatorio SMO-OnDE ha misurato regolari impulsi compatibili con emissioni *airgun* che da una preliminare analisi di ampiezza, spettro e ripetizione del segnale mostrano una compatibilità con emissioni prodotte nell'ambito di attività di prospezione realizzate nel settore orientale del Mediterraneo.

L'INFN segnala che non è stato possibile condurre nel corso del 2019 maggiori approfondimenti al riguardo, poiché, come anticipato nel precedente "Report sul monitoraggio di segnali acustici impulsivi emessi da *airguns*. Dati dell'Osservatorio SMO-OnDe 2018" trasmesso dall'INFN per l'edizione del rapporto del 2018, vi è una carenza di personale da impiegare nell'analisi dei dati a causa della mancanza di finanziamenti; il perdurare di tale condizione comporterà la definitiva conclusione nel 2020 delle attività di monitoraggio dei segnali *airgun*.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In termini di realizzazione di attività che hanno previsto l'utilizzo della tecnica *airgun* nelle acque territoriali nazionali, svolte sia al fine di realizzare prospezioni per lo sfruttamento di idrocarburi, sia dal settore della ricerca per l'acquisizione di rilievi

geofisici, non ci sono elementi di interesse da riportare. In continuità con il quadro rappresentato nel 2018, infatti, anche nel corso del corrente anno 2019 non risultano essere state condotte campagne in mare che abbiano previsto l'uso della tecnica dell'*airgun*.

Tale situazione è derivata da un primo importante arresto di tali attività riconducibile alla modifica apportata alla normativa in materia di VIA introdotta con l'art. 22 del d.lgs. n.104 del 2017, che ha disposto l'inclusione nella procedura di VIA di tutti i "rilievi geofisici attraverso l'uso della tecnica *airgun*", comprensivi, quindi, anche di quelli condotti in mare dagli enti di ricerca scientifica. Nel corso del 2019 è poi seguita una ulteriore disposizione normativa, la Legge 11 febbraio 2019 che ha disposto la sospensione delle attività collegate alle prospezioni e coltivazioni nel settore degli idrocarburi, nelle more dell'adozione del Piano per la transizione energetica sostenibile delle aree idonee (PiTESAI), il cui *iter* di predisposizione è tuttora in corso.

A fronte di tali evidenze, per le cui specifiche si rimanda ai dati riportati per competenza sul tema dalla Direzione per le Valutazione e le Autorizzazioni ambientali, è importante rilevare, anche in relazione ai potenziali effetti transfrontalieri, che attraverso due attività di ricerca condotta nell'arco del 2019, rispettivamente dall'INFN e dall'istituto Tethys, sono stati acquisiti segnali acustici antropici compatibili con l'utilizzo di tecniche *airgun* che indicano la realizzazioni di attività che ne hanno previsto l'uso da parte di altri Stati costieri del Mediterraneo.

In particolare nell'ambito del progetto "*Cetacean Sanctuary Research*" (CSR), l'Istituto Tethys Onlus ha rilevato emissioni sonore compatibili anche con l'uso di *airgun* nella porzione occidentale del Santuario Pelagos, istituito per la protezione dei mammiferi marini nel Mediterraneo (area marina ricompresa nelle giurisdizione delle acque territoriali italiane, francesi, monegasche e in parte comprendente l'alto mare), mentre l'INFN ha rilevato segnali *airgun* provenienti dal settore orientale del Mediterraneo.

Per quanto attiene ai profili della ricerca scientifica condotta per indagare e meglio comprendere gli effetti indotti dall'uso della tecnica dell'*airgun* sull'ecosistema marino, dagli studi internazionali emerge in generale l'esigenza di indagare i possibili effetti cumulativi connessi alla presenza di concomitanti condizioni alteranti degli equilibri ecosistemici (ad es. esempio, i cambiamenti globali intervenuti in parametri chimico-fisici quali la temperatura e l'acidità delle acque oceaniche, sono considerati possibili

cause di alterazioni sui livelli di propagazione e intensità dei rumori subacquei) e di approfondire al contempo gli studi su popolamenti “chiave”, come quelli planctonici e su specie di invertebrati proprie del nekton e del benthos. Solo pochi studi hanno sinora affrontato il tema dei suoni subacquei di origine antropica nel contesto degli effetti cumulativi (inquinamento, l'acidificazione degli oceani, i cambiamenti climatici, il sovrasfruttamento delle risorse rinnovabili, il *by-catch* della pesca e le specie aliene invasive), mentre si ampliano le conoscenze circa gli effetti nocivi che una sorgente di rumore di tipo *airgun* può causare in individui e in popolamenti di diverse specie. Nel complesso studi e osservazioni mostrano la potenzialità che taluni effetti minaccino detti equilibri ecosistemici, s'impone pertanto un approccio cautelativo e precauzionale e la necessità di continuare ad indagare le complesse relazioni tra impatti e modalità di propagazione dei suoni impulsivi. Ciò anche in relazione allo studio di modalità di esecuzione sperimentale, effettuate attraverso apparati di produzione (*airgun* e *vibroscis*) e di ricezione (*array* di idrofoni) di suoni a frequenze utili alla prospezione geofisica, indirizzati a ridurre il disturbo ambientale.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Amoser S., Ladich F., 2003. Diversity in noise-induced temporary hearing loss in otophysine fishes. *J Acoust Soc Am* 113: 2170÷2179.

André M., Solé M., Lenoir M., Durfort M., Quero C., Mas A., Lombarte A., Van der Schaar M., López-Bejar M., Morell M., Zaugg S. e Houégnigan L., 2011. Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Ecol Environ* 2011. 9(9):489÷493, doi:10.1890/100124. <https://www.esa.org/pdfs/Andre.pdf>.

Andriquetto-Filho J. M., Ostrensky A., Pie M. R., Silva U. A., Boeger W.A., 2005. Evaluating the impact of seismic prospecting on artisanal shrimp fisheries. *Continental Shelf Research*, 25: 1720÷1727.

Blondel P., Sagen H., Houssais M-N, Mikhalevsky P., Pajala J., Racca R., Tegowski J., Thomisch K., Tougaard J., Urban E. & Vedenev A., 2019. International Quiet Ocean Experiment – Arctic acoustic environments. Underwater Acoustics Conference and Exhibition UACE-2019, Hersonissos, Greece, 8/07/19 - 12/07/19, pp. 477-482.

<https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/international-quiet-ocean-experiment-arctic-acoustic-environments>.

Booman C., Dalen J., Leivestad H, Levsen A., van der Meeren T. e Toklum K.,1996. Effects from *airgun* shooting on eggs, larvae, e fry. Experiments at the Institute of Marine Research and Zoological Laboratorium, University of Bergen. (In Norwegian. English summary and figure legends). *Fisken og havet* 3: 83 pp.

Brucea B., Bradford R., Foster S., Lee K., Lansdella M., Cooper S., Przeslawskic R., 2018. Quantifying fish behaviour and commercial catch rates in relation to a marine seismic survey. *Marine Environmental Research*, 140:18÷30.

Camera dei deputati, Servizio Studi, XVIII Legislatura, 17 settembre 2019. Interventi in materia di prospezione, ricerca e coltivazione di idrocarburi.

Carlson T., 2012. Barotrauma in fish and barotrauma metrics. In: Popper, A., Hawkins, A. (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life*. Springer Science - Business Media, LLC, New York, pp. 229÷234.

Carroll A.G., Przeslawski R., Duncan A., Gunning M. e Bruce B., 2017. A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 9-24, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.038.

Casper B. M., Halvorsen M. B., Matthews F., Carlson T. J., Popper A .N., 2013. Recovery of barotraumas injuries resulting from exposure to pile driving sound in two sizes of hybrid striped bass. *PLoS One* 8, e73844. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0073844>.

Chen I. H., Chou L. S., Chou S. J., Wang J. H., Stott J., Blanchard M., Jen I. F., Yang W. C., 2018. Sound exposure-induced cytokine gene transcript profile changes in captive bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) blood identified by a probe-based qRT-PCR. *J. Vet. Med. Sci.* 80 (4):601-605. doi: 10.1292/jvms.17-0548.

Christian J. R., Mathieu A., Thomson D. H., White D., Buchanan R. A., 2003. Effect of Seismic Energy on Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) 7 November 2003. Environmental Research Funds Report No. 144. Calgary. 106 pp.

Cox K., Brennan L. P., Gerwing T. G., Dudas S. E. Juanes, F., 2018. Sound the alarm: A meta-analysis on the effect of aquatic noise on fish behavior and physiology. *Global Change Biology*, 24 (7), 3105÷3116. <https://doi.org/10.1111/gcb.14106>.

Dalen e Knutsen, 1987. Scaring Effects in Fish and Harmful Effects on Eggs, Larvae and Fry by Offshore Seismic Explorations. In Merklinger: Proc. Sym. Progress in Underwater Acoustics, 1987: 93÷99. Halifax 1986.

Daividsen J. G., Dong H., Linné M., Andersson M. H., Piper A., Prystay T. S., Hvam E. B., Thorstad E. B., Whoriskey F., Cooke S. J., Sjørusen A. D., Rønning L., Netland T. C., Hawkins A. D., 2019. Effects of sound exposure from a seismic *airgun* on heart rate, acceleration and depth use in free-swimming Atlantic cod and saithe. **Conservation Physiology**, Volume 7, Issue 1, 2019, coz020, <https://academic.oup.com/conphys/article/7/1/coz020/5490268>.

Day R. D., McCauley R. D., Fitzgibbon Q. P., Hartmann K., Semmens J. M., 2017. Exposure to seismic air gun signals causes physiological harm and alters behavior in the scallop *Pecten fumatus*. *PNAS* 114 (37).

Day R. D., McCauley R. D., Fitzgibbon Q. P., Semmens J. M., 2016. Seismic air gun exposure during early-stage embryonic development does not negatively affect spiny lobster *Jasus edwardsii* larvae (*Decapoda: Palinuridae*). *Sci. Rep.* 6, 22723; doi: [10.1038/srep22723](https://doi.org/10.1038/srep22723).

Day R. D., McCauley R. D., Fitzgibbon Q. P., Hartmann K., Semmens J. M., 2019. Supplementary material from "Seismic air guns damage rock lobster mechanosensory organs and impair righting reflex". The Royal Society. Collection. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1424>.

Dekeling R. P. A., Tasker M. L., 2018. MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise, ICP-19: Anthropogenic underwater noise Informal Consultative Process on Oceans and the Law of the Sea.

Dekeling R. P. A., Tasker M. L., Van der Graaf A. J., Ainslie M. A., Andersson M. H., André M., Borsani J. F., Brensing K., Castellote M., Cronin D., Dalen J., Folegot T., Leaper R., Pajala J., Redman P., Robinson S. P., Sigray P., Sutton G., Thomsen F., Werner S., Wittekind D., Young J. V., 2014. Monitoring Guidance for Underwater noise

in European Seas, Part I: Executive Summary. MSFD Technical Subgroup on Underwater Noise. Executive Summary, JRC Scientific and Policy Report EUR 26557 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, doi: [10.2788/29293](https://doi.org/10.2788/29293).

DeRuiter S. L. e Doukara R. L., 2010. Loggerhead turtles dive in response to *airgun* sound exposure. (ASA abstract). In: Weilgart, L., 2013. A review of the impacts of seismic *airgun* surveys on marine life. Submitted to the CBD Expert Workshop on Underwater Noise and its Impacts on Marine and Coastal Biodiversity, 25-27 February 2014, London, UK.

DeRuiter S. L., Doukara L. K., 2012 Loggerhead turtles dive in response to *airgun* sound exposure. *Endang Species Res* 16:55-63.

DeSoto N. A., Delorme N., Atkins J., Howard S., Williams J., Johnson M., 2013. Anthropogenic noise causes body malformations and delays development in marine larvae. *Sci.Rep.* 3, 2831. <http://dx.doi.org/10.1038/srep02831>.

Duncan A. J., 2017. *Airgun arrays for marine seismic surveys - physics and directional characteristics*. Proceedings of Acoustics 2017, 19-22 November 2017, Perth, Australia.

Dunlop R., Noad M., McCauley R., Kniest E., Slade R., Paton D., Cato D., 2018. A behavioural dose-response model for migrating humpback whales and seismic air gun noise. *Marine pollution bulletin*. 133. 506-516. [10.1016/j.marpolbul.2018.06.009](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.009).

Engås A., Løkkeborg S., Ona E. e Soldal A. V., 1993. Effects of seismic shooting on catch and catch-availability of cod and haddock. *Fisken og Havet*, 9: 117 pp.

Engås A., Løkkeborg S., Ona E., e Soldal A. V., 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 2238-2249.

Erbe C., Marley S. A., Schoeman R. P., Smith J. N., Trigg L. E., Embling C. B., 2019. The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Front. Mar. Sci.* 6:606. doi: [10.3389/fmars.2019.00606](https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606).

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

Fitzgibbon Q. P., Day R. D., McCauley R. D., Simon C. J., Semmens J. M., 2017. The impact of seismic air gun exposure on the haemolymph physiology and nutritional condition of spiny lobster, *Jasus edwardsii*. Mar Pollut Bull. 125 (1-2):146÷156. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28807415>.

Govoni J. J., Settle L. R., West M. A., 2003. Trauma to juvenile pinfish and spot inflicted by submarine detonations. J. Aquat. Anim. Health. 15: 111÷119.

Guerra Á., González A. F., Rocha F., 2004. A review of records of giant squid in the north-eastern Atlantic and severe injuries in *Architeuthis dux* stranded after acoustic exploration. ICES CM 2004/CC: 29.

Guerra Á., González Á. F., Pascual S., Dawe E. G., 2011. The giant squid *Architeuthis*: an emblematic invertebrate that can represent concern for the conservation of marine biodiversity. Biol. Conserv.;144:1989÷1997.

Halvorsen M. B., Casper B. M., Woodley C. M., Carlson T. J., Popper A. N., 2012. Threshold for onset of injury in Chinook salmon from exposure to impulsive pile driving sounds. PLoS One. 2012:7(6).

Hanache P., Spataro T., Firmat C., Nicolas B., Fonseca P., Médoc V., 2019. Noise-induced reduction in the attack rate of a planktivorous freshwater fish revealed by functional response analysis. Freshwater Biology. <https://doi.org/10.1111/fwb.13271>.

Hassel A., Knutsen T., Dalen J., Skaar K., Lokkeborg S., Misund O. A., Ostensen O., Fonn M., Haugland E.K., 2004. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). ICES J. Mar. Sci. 61, 1165÷1173.

Hastings M. C., Popper A. N., Finneran J. J., Lanford P. J., 1996. Effects of low-frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the Teleost fish *Astronotus ocellatus*. J. Acoust. Soc. Am. 99 (3):1759÷66.

Hastie G., Merchant N., Götz T., Russell D., Thompson P., Janik V., 2019. Effects of impulsive noise on marine mammals: investigating range-dependent risk. *Ecological Applications*. 29. [e01906. 10.1002/eap.1906](https://doi.org/10.1002/eap.1906).

Hauser D. D. W., Holst M., Moulton V.D., 2008. Marine mammal and sea turtle monitoring during Lamont-Doherty Earth Observatory's marine seismic program in the Eastern Tropical Pacific, April-August 2008. LGL Rep. TA4656/7-1. Rep. from LGL Ltd., King City, Ont. and St. John's, Nfld, for Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD. 98 pp.

Hawkins A. D., Popper A. N., 2017. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science*, Volume 74, Issue 3, March-April 2017, Pages 635÷651, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsw205>.

Heyward H., Colquhoun J., Cripps E., McCorry D., Stowar M., Radford B., Miller K., Miller I., Battershill C., 2018. No evidence of damage to the soft tissue or skeletal integrity of mesophotic corals exposed to a 3D marine seismic survey. *Marine Pollution Bulletin*, 129 (1): 8÷13.

Holst M., Smultea M. A., 2008. Marine mammal and sea turtle monitoring during Lamont-Doherty Earth Observatory's marine seismic program off Central America, February – April 2008. LGL Rep. TA4342-3. Rep. from LGL Ltd., King City, Ont., for Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia Univ., Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD. 133 pp.

Istituto Tethis Onlus, 2019. Rapporto preliminare su rilevamento e registrazione all'interno del Santuario Pelagos di emissioni sonore di origine antropica di potenziale impatto sui cetacei.

Jong K., Amorim M. C. P., Fonseca P. J., Fox C. J., Heubel K. U., 2018. Noise can affect acoustic communication and subsequent spawning success in fish. *Environmental Pollution* 237: 814÷823.

Kostyuchenko L. P., 1973. Effects of elastic waves generated in marine seismic prospecting of fish eggs in the Black Sea. *Hydrobiol. Jour.* 9 (5): 45÷48.

- Leite L., Campbell D, Versiani L., Nunes A. J. C. C., Thiele T., 2016. First report of a dead giant squid (*Architeuthis dux*) from an operating seismic vessel. Marine Biodiversity Records **9**:26. <https://mbr.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41200-016-0028-3>.
- Lenhardt M. 2002. Sea turtle auditory behavior. J. Acoust. Soc. Amer. 112:2314.
- Løkkeborg S. 1991. Effects of a geophysical survey on catching success in longline fishing. ICES C.M. B: 40.
- Løkkeborg S., Soldal, A.V., 1993. The influence of seismic exploration with *airgun* on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates. ICES Mar. Sci. Symp. 196: 62÷67.
- Long A., 2019. Tiny Marine Seismic Sources, Ultra-Low Frequencies, the Environment, and More. Industry Insights, August 19. A Clearer Image, www.pgs.com.
- McCauley R. D., Duncan A. J., 2017. How do impulsive marine seismic surveys impact marine fauna and how can we reduce such impacts? Acoustics 2017. <https://dspace.nal.gov.au/xmlui/bitstream/handle/123456789/862/p91.pdf?sequence=1>
- McCauley R. D., 1994. Seismic Surveys. In: Environmental implications of offshore oil and gas development in Australia—the findings of an independent scientific review, Swan, J.M., Neff, J.M. and Young, P.C. (Eds.), APEA, 19÷121.
- McCauley R. D., Fewtrell J., Duncan A. J., Jenner C., Jenner, M. N., Penrose J. D., Prince R. I. T., Adhitya A., Murdoch J., McCabe K., 2000. Marine seismic surveys: analysis and propagation of *airgun* signals, and effects of *airgun* exposure on humpback whales, sea turtles, fishes, and squid. Western Australia: Curtin U. of Technology. 203 pp.
- McCauley R. D., Fewtrell J., Popper A. N., 2003. High intensity anthropogenic sound damages fish ears. Journal of the Acoustical Society of America 113: 638-642.
- McCauley R. D., Ryan D. Day, Kerrie M. Swadling, Quinn P. Fitzgibbon, Reg A. W., Jayson M. S., 2017. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. Nature Ecology & Evolution 1, Article n. 0195 (2017). [doi:10.1038/s41559-017-0195](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0195).

Moein S. E., Musick J. A., Keinath, J. A., Barnard, D. E., Lenhardt M., George R., 1994. Evaluation of seismic sources for repelling sea turtles from hopper dredges. Final report submitted to the US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station by the Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary, Gloucester Point, VA, USA.

Moriyasu M., Allain R., Benhalima K., e Claytor R., 2004. Effects of seismic and marine noise on invertebrates: A literature review. Canadian Science Advisory Secretariat. Research document 2004/126.

Morris C. J., Cote D., Martin B., Kehler D., 2018. Effects of 2D seismic on the snow crab fishery. Fisheries Research, 197: 67÷77.

Nelms S. E. , Piniak W. E. D., Weir C. R., Godley B. J., 2016. Seismic surveys and marine turtles: An underestimated global threat? Biological Conservation 193:49÷65.

O'Hara J., Wilcox J. R., 1990. Avoidance responses of loggerhead turtles, *Caretta caretta*, to low frequency sound. Copeia 1990: 564-567.

PAME, 2019. Underwater Noise in the Arctic: A State of Knowledge Report, Roveniemi, May 2019. Protection of the Arctic Marine Environment (PAME) Secretariat, Akureyri.

Paxton A. B., Taylor J. C., Nowacek D. P., Dale J., Cole E., Voss C. M., Peterson C. H., 2017. Seismic survey noise disrupted fish use of a temperate reef. Marine Policy. Volume 78, April 2017, Pages 68÷73. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.12.017>.

Pearson W. H., Skalski J. R., Malme C. I., 1992. Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes spp.*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49(7): 1343÷1356. [doi:10.1139/f92-150](https://doi.org/10.1139/f92-150).

Pérès J. M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Mediteranee. Rec. Trav. St. Mat. Endoume, 31 (47): 1÷137.

Popper A. N., Smith M. E., Cott P. A., Hanna B. W., MacGillivray A .O., Austin M. E., Mann D. A., 2005. Effects of exposure to seismic *airgun* use on hearing of three fish species. J. Acoust. Soc. Am. 117: 3958÷3971. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1904386>.

Przeslawski R., Huang Z., Anderson J., Carroll A. G., Edmunds M., Hurt L., Williams S., 2018. Multiple field-based methods to assess the potential impacts of seismic surveys on scallops. *Mar Pollut Bull.* 129 (2): 750÷761.

Radford A. N., Kerridge E., Simpson S. D., 2014. Acoustic communication in a noisy world: can fish compete with anthropogenic noise? *Behav. Ecol.* 25 (5): 1022÷1030.

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

Resolution Antropogenic Noise. ACCOBAMS-MOP7/2019/Res7.13_CRP13, 25/10/2019.

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

Rowe S., Hutchings J. A., Skjaeraasen J. E., Bezanson L., 2008. Morphological and behavioural correlates of reproductive success in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Mar Ecol Prog Ser.* 354: 257÷265.

Sætre & Ona, 1996 Seismiske Undersøkelser og skader pa fiskeegg og -larver. Rapporto Fisken Og Havet.

Santulli A., Modica A., Messina C., Ceffa L., Curatolo A., Rivas G., Fabi G., D'amelio V., 1999. Biochemical responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) to the stress induced by off shore experimental seismic prospecting. *Mar. Pollut. Bull.* 38: 1105÷1114. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00136-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00136-8).

Semmens J., Day R. D., McCauley R. D., Fitzgibbon Q. P., Hartmann K., Simon C. J., 2017. Are seismic surveys putting bivalve and spiny lobster fisheries at risk? *Oceanoise* 2017.

Simpson S. D., Purser J., Radford A. N., 2015. Anthropogenic noise compromises antipredator behaviour in European eels. *Glob. Chang. Biol.* 21, 586÷593. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.12685>.

Skalski J. R., Pearson W. H. Malme C. I., 1992. Effects of sound from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes spp.*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1357÷1365.

Slabbekoorn H., Dalen J., Haan Dick de, Winter H. V., Radford C., Ainslie M. A., Heaney K. D., Kooten T. van, Thomas L., Harwood J., 2019. Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge. *Fish and Fisheries* (2019). ISSN 1467-2960 - 33 pp. <https://doi.org/10.1111/faf.12367>.

Slotte A., Hansen K., Dalen J., Ona E., 2004. Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fisheries Research* Volume 67 (2): 143÷150.

Smith M. E., Kane A. S., Popper A. N., 2004. Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). *J. Exp. Biol.* 207: 427÷435.

Solé M., Lenoir M., Fortuno J. M., van der Schaar M., André M. 2017a. Sensitivity to sound of cephalopods hatchlings. *Atti del convegno Oceanoise 2017*.

Solé M., Sigray P., Lenoir M., van der Schaar M., Lalander E., André M., 2017b. Offshore exposure experiments on cuttlefish indicate received sound pressure and particle motion levels associated with acoustic trauma. *Scientific Reports* 7, Article number: 45899 (2017). [doi:10.1038/srep45899](https://doi.org/10.1038/srep45899).

Torterotot M., Samaran F., Royer J.-Y., 2019. Sounds from *airguns* and blue whales recorded from a long term hydrophone network in the Southern Indian Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America* 146, 2939 (2019); <https://doi.org/10.1121/1.5137204>.

Verzijden M N., van Heusden J., Bouton N., Witte F., Cate C. T., Slabbekoorn H., 2010. Sounds of male Lake Victoria cichlids vary within and between species and affect female mate preferences. *Behav Ecol.* 21:548÷555.

Wale M. A., Briers R. A., Hartl M. G. J., Bryson D., Diele K., 2019. From DNA to ecological performance: Effects of anthropogenic noise on a reef-building mussel, *Science of The Total Environment*, Volume 689, 2019, 126÷132, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.380>.

Wale M. A., Briers R.A., Bryson D., Hartl M. G. J., Diele K., 2016. The effects of anthropogenic noise playbacks on the blue mussel *Mytilus edulis*. *Marine Alliance for Science & Technology for Scotland (MASTS). Annual Science Meeting*, 19-21 October. <http://www.masts.ac.uk/media/36069/2016-abstracts-gen-sci-session-3.pdf>

Wardle C .S., Carter T. J., Urquhart G. G, Johnstone A. D. F, Ziolkowski A. M., Hampson G., Mackie D., 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Continental Shelf Research*, 21 (8–10): 1005÷1027.

Weilgart L., 2018. The impact of ocean noise pollution on fish and invertebrates. Report for OceanCare, Switzerland. 34 pp.

Weilgart L., 2013. A review of the impacts of seismic *airgun* surveys on marine life. Submitted to the CBD Expert Workshop on Underwater Noise and its Impacts on Marine and Coastal Biodiversity, 25-27 February 2014, London, UK.

Weir C. R., 2007. Observations of marine turtles in relation to seismic *airgun* sound off Angola. *Mar Turtle News* 116: 17÷20.

9. SITOGRAFIA

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

<https://iwc.int/inicio>

<http://www.izsto.it/>

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

<http://www.marinemammals.eu/index.php?lang=en>

<https://researchportal.bath.ac.uk/en/publications/international-quiet-ocean-experiment-arctic-acoustic-environments>

<http://www.teledynemarine.com/bolt/>

<http://www.teledynemarine.com/eSource?ProductLineID=70>

<http://www.tethis.org>

http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/consultative_process.htm

http://www.un.org/Depts/los/consultative_process/contributionscp.htm

http://www.un.org/depts/los/general_assembly/noise/noise.htm

<http://unmig.mise.gov.it/dgsaie/istanze/istanze.asp>

<http://www.va.minambiente.it/it-IT>

<http://www.video.teledynemarine.com/video/19187724/marine-seismic-vibrator>

Allegato 1 - Procedure di Valutazione di Impatto Ambientale per indagini geofisiche in mare (permessi di prospezione e permessi di ricerca idrocarburi) nel periodo 01.11.2018 – 01.11.2019 (fonte: Portale delle Valutazioni Ambientali www.va.minambiente.it).

N.	Progetto	Proponente	Tipologia	Procedura	Stato procedura	Data avvio procedura	Data conclusione procedura	Numero provv.	Esito provv.	Regioni costiere	Aree marine
1	Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG"	ENI Divisione Exploration & Production	Ricerca idrocarburi	Valutazione Impatto Ambientale	Sospesa	07/05/2013	-	-	-	Sicilia	Canale di Sicilia
2	Prima Fase del Programma Lavori collegato con l'istanza di permesso di ricerca idrocarburi denominata convenzionalmente "d30 G.R.-NP"	NORTHERN PETROLEUM Ltd	Ricerca idrocarburi	Valutazione Impatto Ambientale	Sospesa	07/12/2011	-	-	-	Sicilia	Canale di Sicilia
3	Progetto di acquisizione sismica nell'area del permesso di ricerca di idrocarburi "d 84F.R-EL"	Edison Exploration & Production S.p.a.	Ricerca idrocarburi	Valutazione Impatto Ambientale	Sospesa	27/02/2018				Puglia	Mar Ionio Merid.
4	Prospezione geofisica 3D Adriatico Meridionale nell'ambito dei permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP	NORTHERN PETROLEUM Ltd	Ricerca idrocarburi	Verifica di Assoggettab.	In corso	09/05/2018				Puglia	Adriatico Merid

5	Prospezione geofisica 3D Adriatico Meridionale nell'ambito dei permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP	NORTHERN PETROLEUM Ltd	Ricerca idrocarburi	Verifica di Ottemperanza	In corso	09/05/2018					Puglia	Adriatico Merid.
---	--	------------------------	---------------------	--------------------------	----------	------------	--	--	--	--	--------	------------------

Hanno partecipato alla redazione del presente Quarto rapporto

per il *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*:

ex Direzione generale Protezione della Natura e del Mare (DPNM):

- Div. III (che ne ha curato anche il coordinamento): Giuseppe Italiano, Viviana Vindigni, Anna Sottili.
- Div. IV: Paolo Galoppini, Roberto Giangreco.
- Assistenza Sogesid: Eveline Ricca, Massimiliano Ticconi, Emanuele Zendri

ex Direzione generale per le Valutazioni e le Autorizzazioni Ambientali (DVA):

- Divisione II: Gianluigi Nocco, Dario Fornari

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

- Ezio Amato, Luigi Alcaro, Fabrizio Borsani, Stefano Di Muccio.

Si ringrazia per la collaborazione fornita:

- le Capitanerie di Porto;
- 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 Tutela del Territorio e del Mare.
- il Consiglio Nazionale delle Ricerche, IAMC - G. Buscaino, M. Vazzana (Università degli Studi di Palermo);
- l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e IAMC-CNR - G. Riccobene, Salvatore Viola, Fabrizio Ameli, G. Bellia, Giuseppina Larosa, Carmelo Pellegrino, Sara Pulvirenti, Virginia Sciacca, Francesco Simeone;
- l'Istituto Tethis Onlus – Sabina Airoidi - Coordinatore Scientifico del progetto CSR - Cetacean Sanctuary Research
- l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia;
- l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale;
- l'Università degli Studi di Padova – Dipartimento BCA - S. Mazzariol.