

SENATO DELLA REPUBBLICA
XVIII LEGISLATURA

Doc. CCV
n. 2

RAPPORTO

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

(Anno 2020)

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

**Presentata dal Ministro dell'ambiente
e della tutela del territorio e del mare**

(COSTA)

Comunicata alla Presidenza il 15 dicembre 2020



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

“Quinto 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 2020

INDICE

1. PREMESSA	2
2. ESITI DEL QUARTO RAPPORTO	2
3. EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO INTERNAZIONALE E COMUNITARIO SUL RUMORE SOTTOMARINO E LA TUTELA DEGLI ECOSISTEMI MARINI	3
3.1 Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina)	4
4. CONSISTENZA DELLE ATTIVITÀ NEI MARI ITALIANI	4
4.1 Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero (periodo 2019-2020)	4
4.2 Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi	5
4.3 Autorizzazioni rilasciate dal Ministero dello Sviluppo Economico	7
4.4 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA	7
4.5 Attività condotte da Enti di Ricerca. Valutazione degli effetti sugli ecosistemi marini della tecnica airgun	8
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	9
5.1 Effetti sui pesci	10
5.1.1 Effetti del disturbo acustico a livello di popolamenti	11
5.1.2 Effetti sul comportamento	13
5.1.3 Effetti fisiologici	16
5.2 Effetti sulla pesca commerciale	17
5.3 Effetti su uova e larve di invertebrati e pesci	18
5.4 Effetti sugli invertebrati	19
5.5 Effetti sui rettili marini	22
5.6 Effetti sui mammiferi marini	23
5.7 Banca dati spiaggiamenti	24
5.8 Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali delle prospezioni sismiche	24
6. MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE PROVENIENTI DA AIRGUN	24
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	25
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	26
9. SITOGRAFIA	35
10. ALLEGATO 1 - PROCEDURE DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER INDAGINI GEOFISICHE IN MARE (PERMESSI DI PROSPEZIONE E PERMESSI DI RICERCA IDROCARBURI) NEL PERIODO 01.11.2019 – 01.11.2020 (FONTE: PORTALE DELLE VALUTAZIONI AMBIENTALI WWW.VA.MINAMBIENTE.IT).	36

1. PREMESSA

Il presente Quinto 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 01.11.2019 al 01.11.2020), riportando aggiornamenti in relazione alle conoscenze scientifiche e al quadro normativo nazionale, europeo ed internazionale vigente in materia di rumore sottomarino. Come indicato nel precedente rapporto (Anno 2019), con la legge 11 febbraio 2019, n. 12, sono state sospese le 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 (G. U. Serie Generale n.36 del 12 febbraio 2019, Legge 11 febbraio 2019, n. 12 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135, recante disposizioni urgenti in materia di sostegno e semplificazione per le imprese e per la pubblica amministrazione"). Anche quest'anno, là dove non sono intercorsi aggiornamenti per la materia trattata, rimangono validi i contenuti presentati nel Quarto rapporto *airgun* al Parlamento. 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 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), 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 in collaborazione con ISPRA e con la Direzione generale per la crescita sostenibile e la qualità dello sviluppo (DG CreSS) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

2. ESITI DEL QUARTO RAPPORTO

Come evidenziato in Premessa per l'anno 2019, a causa della sospensione delle attività collegate alle prospezioni e coltivazioni nel settore degli idrocarburi che prevedono l'utilizzo della tecnica *airgun* nelle acque territoriali nazionali, non ci sono stati elementi di interesse da riportare.

Attraverso due attività di ricerca condotte nell'arco del 2019, rispettivamente dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dall'istituto Tethys, sono stati acquisiti segnali acustici antropici compatibili con l'utilizzo di tecniche *airgun* che indicano la realizzazione

di attività che ne hanno previsto l'uso da parte di altri Stati costieri del Mediterraneo facendo emergere potenziali effetti transfrontalieri.

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 giurisdizioni 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* sugli ecosistemi marini, dagli studi internazionali è emersa in generale l'esigenza di indagare i possibili effetti cumulativi connessi alla presenza di concomitanti condizioni alteranti degli equilibri ecosistemici e di approfondire al contempo gli studi su popolamenti "chiave", come quelli planctonici e su specie di invertebrati proprie del nekton e del benthos. 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 a indagare le complesse relazioni tra impatti e modalità di propagazione dei suoni impulsivi.

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

Si segnala come sia in atto il negoziato relativo alle aree marine al di là della giurisdizione nazionale (*Conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction - BBNJ*) in ambito UNDOALOS (*UN Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea*), per il tramite di uno specifico *Open-Ended Working Group* (OEWG) e che il negoziato prevede uno specifico punto sull'*Environmental Impact Assessment* ma i lavori che dovevano concludersi nel 2020 a causa della pandemia COVID-19 non verranno ultimati se non forse nel prossimo anno.

A livello di Unione Europea si sta attivamente lavorando alla definizione di soglie di rumore nell'ambito del TgNoise (*Task Group* sul rumore subacqueo) della CIS (*Common Implementation Strategy*) della Strategia Marina. Il "prodotto" sulle soglie di rumore impulsivo sta andando in pubblicazione in questi giorni in EU, uscirà forse a gennaio 2021, quello sul rumore continuo, in aprile-maggio 2021.

3.1 Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina)

ISPRA ha completato l'*hardware* ed il *software* ma allo stato il Registro non è ancora implementato anche per il blocco di attività collegate alle prospezioni sismiche; infatti, il registro del rumore deve essere compilato direttamente dalle ditte che chiedono di svolgere attività con l'emissione di suoni impulsivi.

4. CONSISTENZA DELLE ATTIVITÀ NEI MARI ITALIANI

In continuità con i contenuti del Quarto rapporto, 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.

Rispetto ai contenuti del quarto Rapporto, 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 2019-2020)

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.

Anche nell'anno di riferimento di questa relazione, così come nel precedente, 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 (Quarto rapporto) 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

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”.

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 (01.11.2019 - 01.11.2020) il Ministero dell'Ambiente (Direzione Generale per la Crescita Sostenibile e la qualità dello Sviluppo) 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”.

In conseguenza dell'entrata in vigore della legge 11 febbraio 2019, n. 12 non è pervenuta, nel periodo considerato 01.11.2019 – 01.11.2020, 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, invece, aveva in ottemperanza alle nuove disposizioni normative, già provveduto del corso del 2019 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.

Nel corso del periodo preso in considerazione dal presente rapporto si è concluso, con esito negativo all'esclusione, la verifica di assoggettabilità a VIA relativa ai permessi di ricerca FR 39 NP e FR 40 NP”.

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 l'approvvigionamento, l'efficienza, e la competitività energetica - 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 detta Direzione, 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 precedentemente, alcuna procedura di VIA con esito favorevole nel periodo considerato che va (01.11.2019 al 01.01.2020), ed in considerazione altresì che anche nel periodo precedente, come indicato nel quarto rapporto, alcun decreto VIA con esito favorevole era stato emanato, nessuna autorizzazione risulta essere stata rilasciata dal Ministero dello Sviluppo Economico nel periodo considerato.

4.4 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA

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

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 avuto come principale obiettivo il controllo dell'inquinamento da idrocarburi in Mar Adriatico e nel Canale di Sicilia nell'area interessata da piattaforme petrolifere *offshore*. Come già riferito nelle precedenti edizioni 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*.

Il progetto iniziato nel 2018 si è concluso a febbraio 2020. Sono stati eseguiti studi sperimentali di campo per la caratterizzazione fisica dei segnali emessi da una singola sorgente *water-gun*, utilizzando sistemi di misura di pressione e di spostamento delle particelle in una ampia banda di frequenze. Le misure sperimentali sono state eseguite a differenti distanze e angolazioni rispetto alla sorgente sonora; esse sono state utilizzate anche per la successiva elaborazione di mappe tridimensionali del rumore indotto.

Lo studio della distribuzione spaziale del livello di esposizione sonora indotto dal *water-gun* potrà essere utilizzato come strumento di conoscenza per attuare misure di mitigazione dell'impatto acustico delle esplorazioni acustiche in mare.

Lo studio svolto dal CNR ha permesso anche di esplorare per la prima volta alcuni effetti di tipo fisiologico in specie di invertebrati (*Holoturia tubulosa* e *Arbacia lixula*) e pesci (*Chromis chromis*) sottoposti ad una sorgente *water-gun* utilizzando il fluido celomatico estratto da questi invertebrati come possibile biomarcatore di stress.

Sebbene i risultati siano frutto di attività sperimentali esplorative, si può affermare che le specie di organismi marini in esame hanno manifestato significative alterazioni di alcuni parametri biochimici. Tali alterazioni possono essere considerate temporanee in quanto dopo 24 ore dall'esposizione, generalmente i valori ritornavano ai quelli iniziali.

In particolare, si è notato che nella specie di riccio *Arbacia lixula*, si ha un'alterazione significativa dell'attività perossidasi nel fluido celomatico, del superossido dismutasi e dell'esterasi nella membrana peristomiale.

L'attività enzimatica analizzata in presenza dello stress acustico ha permesso di comprendere la potenziale importanza di questi parametri come possibili biomarcatori di stress di impatto acustico sugli invertebrati.

È noto che specie ittiche esposte al rumore mostrano dei cambiamenti nei parametri biochimici; il cortisolo è il principale biomarcatore che indica lo stato di benessere dell'animale. Il cortisolo è un glucocorticoide e viene rilasciato nel flusso sanguigno attraverso l'attivazione dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrenale (HPI), per ripristinare l'omeostasi dopo condizioni di stress. La sua secrezione provoca una serie di cambiamenti comportamentali e fisiologici che garantiscono la sopravvivenza e il benessere degli individui.

Negli individui giovani della specie ittica *Chromis chromis* si è osservato un aumento significativo del cortisolo fino a tre ore dopo la fine dell'emissione *water-gun*. 24 ore dopo, i livelli ormonali sono tornati a valori simili a quelli degli individui non esposti allo stress acustico.

I risultati dei test esplorativi condotti dal CNR hanno permesso di stabilire, in via preliminare, dei valori soglia che possono essere considerati come un punto di partenza per ulteriori approfondimenti futuri.

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 prodotte recentemente, incluso l'anno 2020, relative agli effetti osservati su organismi o componenti degli ecosistemi marini dell'impiego della tecnica dell'*airgun*. La comunità scientifica sembra orientarsi sempre più verso un approccio integrato nello studio di questi effetti, vale a dire la quantificazione dell'effetto che si può riscontrare sui singoli individui a scala più ampia, di popolamento o comunità e vedere come l'effetto sui popolamenti, a sua volta, interferisca nel mantenimento omeostatico degli equilibri di un ecosistema marino.

Unitamente alle evidenze scientifiche riportate nei primi quattro 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 potenzialmente in popolamenti di diverse specie, non appaiono ancora evidenze chiare che la sorgente di rumore *airgun* possa causare alterazioni agli equilibri ecosistemici marini. Purtroppo, studi e osservazioni suggeriscono che l'ipotesi che taluni

effetti minaccino detti equilibri sia del tutto plausibile. Proprio per questo è auspicabile un approccio cautelativo o precauzionale.

5.1 Effetti sui pesci

Come riportato nei precedenti rapporti, gli effetti sui pesci delle emissioni sonore dipendono dalle caratteristiche del suono e della sua sorgente (distanza, durata, intensità, ecc.) e influenzano diverse funzioni fisiologiche. I possibili effetti che cominciano a essere ben delineati in letteratura possono essere schematizzati in ordine di distanza crescente dalla fonte di emissione (fig. 1; fonte: Hawkins *and* Popper 2017):

Morte – immediata o ritardata. La mortalità ha un effetto diretto sulla consistenza dei popolamenti.

Effetti fisici o fisiologici - a seconda della tipologia, possono avere effetto più o meno grave sulla *fitness*¹ aumentando il rischio di predazione, riducendo la capacità di nutrirsi e crescere, riducendo infine la capacità di accoppiamento. Tra gli effetti fisiologici, in particolare i **danni all'udito** che comportano riduzione temporanea o permanente del senso, portano alla riduzione della *fitness* attraverso diminuzione delle abilità di predazione e delle capacità di sottrarsi alla predazione, deterioramento delle comunicazioni e conseguente 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 *fitness*: riduzione della capacità di sentire le prede, riduzione della capacità di evitare i predatori, deterioramento delle comunicazioni con diminuzione del successo riproduttivo.

Cambiamento del comportamento – cambiamenti nelle abitudini comportamentali possono avere effetti negativi sulla nutrizione, sulla riproduzione, sopravvivenza e in definitiva un effetto negativo sulla *fitness*.

¹ La *fitness* si misura per mezzo del successo riproduttivo, vale a dire dal numero medio dei figli in grado, a loro volta, di riprodursi. La *fitness* è una conseguenza della relazione tra il genotipo di un organismo e l'ambiente in cui vive e il successo di un organismo dipenderà dall'ambiente.

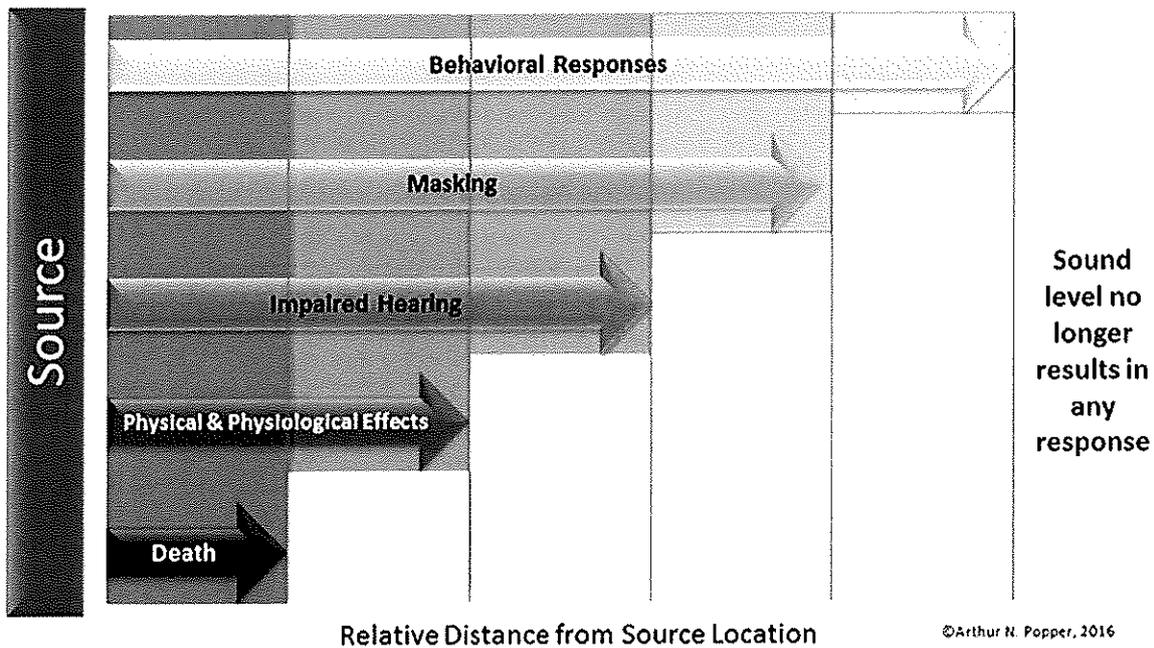


Figura 1. Possibili effetti del rumore su pesci e invertebrati a diverse distanze dalla sorgente (Hawkins and Popper, 2017).

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

5.1.1 Effetti del disturbo acustico a livello di popolamenti

Gli studi sul tema degli impatti del rumore sulle singole specie hanno raggiunto un numero sufficiente per descrivere gli effetti sulla fisiologia, i danni anatomici e le modificazioni comportamentali dei singoli esemplari. La linea di studio che comincia ultimamente ad affermarsi indica nell'effetto più ampio che si può avere sui popolamenti il principale tema d'investigazione (Kunc *et al.*, 2016; Hawkins & Popper, 2016; Pirota *et al.*, 2018; Popper *et al.*, 2019; de Jong *et al.*, 2020). L'approccio sembra essere quello di allargare lo sguardo e considerare i contributi cumulati alla diminuzione di *fitness* dei singoli individui che, al di sotto di una certa soglia, potrebbe portare a effetti negativi sui popolamenti, sino ad arrivare a effetti rilevabili sulle comunità e sugli ecosistemi (Simpson *et al.*, 2016; Day *et al.*, 2017; Nedelec *et al.*, 2017). Quindi, gli effetti sul comportamento, sulla fisiologia o sull'anatomia vanno visti nel loro insieme, valutando le conseguenze dell'esposizione al rumore da *airgun* a livello di popolamento. La figura 2, tratta da Kunc *et al.* (2016), schematizza bene quanto detto:

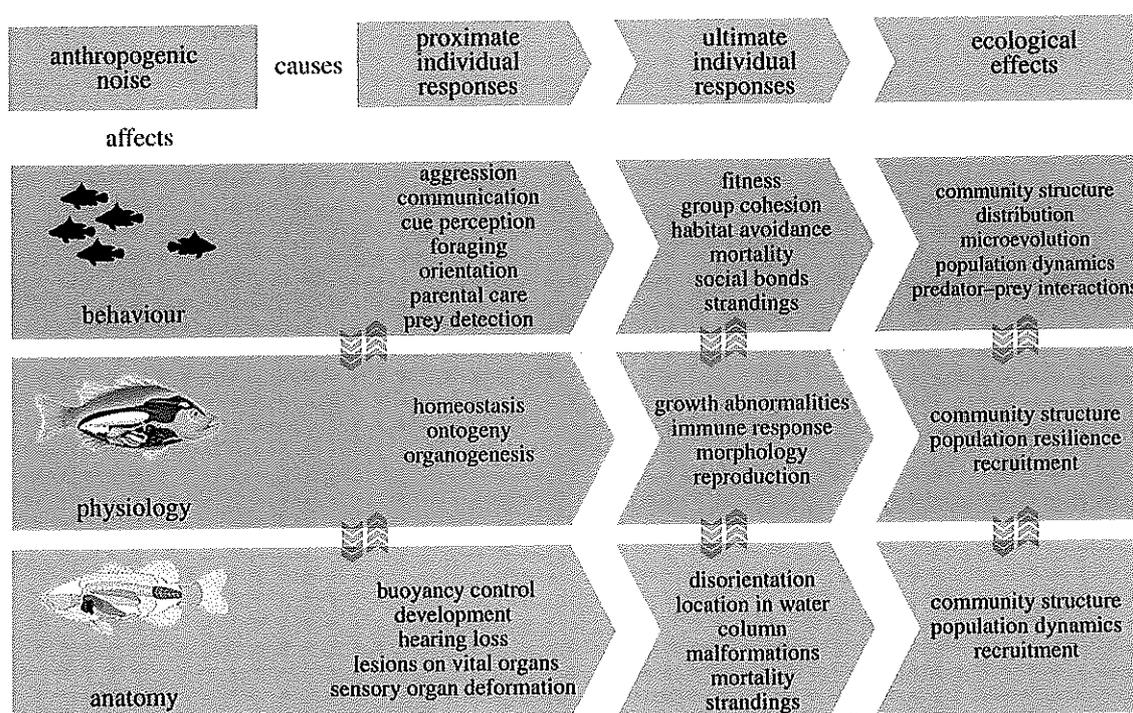


Figura 2. Gli effetti del rumore antropogenico sull'anatomia, la fisiologia e/o il comportamento degli individui. L'aumento dei livelli di rumore può portare a risposte immediate che si traducono in una varietà di effetti. Il rumore antropico può determinare effetti che portano a conseguenze di tipo ecosistemico (Fonte: Kunc *et al.*, 2016).

Già si è descritto lo studio di Slabbekoorn *et al.* (2019) che ha indagato l'impatto delle prospezioni sismiche a livello di popolamento e ha fornito uno schema concettuale per affrontare questo tema e cercare di riportare l'impatto sugli individui agli effetti osservabili a livello di popolamento, comunità ed ecosistema. Gli autori evidenziano anche le lacune conoscitive ancora esistenti e sottolineano che non esistono conoscenze per quantificare rapporti tra dose ed effetto negli impatti acustici su specie ittiche (Slabbekoorn *et al.*, 2019). Il lavoro di Hanache *et al.* (2019) ha affrontato l'aspetto delle conseguenze dell'inquinamento acustico, in questo caso motori marini, in termini di struttura di comunità, considerando la modificazione sulle abitudini di predazione di un pesce d'acqua dolce (*Phoxinus phoxinus*) che preda larve di un 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 a un effetto che si riverbera a livello di comunità ed ecosistema.

5.1.2 Effetti sul comportamento

Le alterazioni comportamentali vanno quindi viste in un quadro più ampio, tenendo anche presente il fatto che gli effetti legati allo *stress* sono più rilevanti per le conseguenze a livello di popolamento. Quindi dovrebbero essere di interesse prioritario rispetto alle lesioni fisiche e alla morte, poiché potrebbero avere un potenziale maggiore in termini di animali coinvolti che è di molti ordini di grandezza superiore (Slabbekoorn *et al.*, 2019). I cambiamenti comportamentali potrebbero avere conseguenze sulla sopravvivenza, riproduzione, alimentazione e crescita e sul tempo di sorveglianza della prole, portando ad impatti negativi (Picciulin *et al.*, 2010; Blom *et al.*, 2019). Come appurato anche nei precedenti rapporti, il rumore da *airgun* sul comportamento dei pesci provoca reazioni quali: risposta di allarme, cambiamento negli schemi di nuoto (aumento della velocità e variazione della direzione), cambiamento nella distribuzione verticale nella colonna d'acqua, disturbo della comunicazione acustica. Sono già 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 and Knutsen, 1987; Pearson *et al.*, 1992; Skalski *et al.*, 1992; Santulli *et al.*, 1999; McCauley *et al.*, 2000; Slotte *et al.*, 2004).

Anche una meta-analisi di 42 studi (Cox *et al.*, 2018) sul rumore antropogenico ha evidenziato che questo influisce negativamente sul comportamento e sulla fisiologia della maggior parte delle specie di pesci attraverso la modificazione della capacità di nutrirsi, nell'aumentato rischio da predazione e nel minore successo riproduttivo, con conseguenze anche importanti per la *fitness* di una specie.

In uno studio del 2020 (Mauro *et al.*, 2020) per la prima volta sono stati testati, in laboratorio, gli effetti di diverse frequenze acustiche, tra 63 Hz e 1000 Hz, sul comportamento di esemplari di orata (*Sparus aurata*) in stadio di giovanile. I risultati evidenziano variazioni significative nelle risposte comportamentali dei giovani pesci che potrebbero avere conseguenze sulla loro condizione fisica e sulla sopravvivenza. Le basse frequenze, da 63 Hz a 125 Hz, sono quelle che hanno mostrato di essere le più efficaci nel produrre disturbi comportamentali. I cambiamenti osservati durante le prove di esposizione acustica sono stati: dispersione degli esemplari, variazioni di motilità e nella quota (profondità) di nuoto. Queste alterazioni potrebbero portare a conseguenze negative per i pesci in natura, limitando i loro comportamenti normali come il procacciamento alimentare, la migrazione, la riproduzione e la comunicazione intraspecifica (Mauro *et al.*, 2020). Ciò diventa ancor più rilevante se si considera che gli stadi giovanili sono più

suscettibili a riduzioni dei tassi di sopravvivenza rispetto agli adulti. Le basse frequenze come quelle citate ricadono nello spettro di emissione dei rilievi sismici e sono già riconosciute come potenziale minaccia per gli organismi marini dalla *Direttiva quadro sulla strategia marina, MSFD* (Direttiva 2008/56/CE), considerando, in particolare, che possono viaggiare in acqua per lunghe distanze.

È stato anche evidenziato come la comunicazione acustica possa essere limitata negli *habitat* con inquinamento acustico (Radford *et al.*, 2014; Amoser and Ladich, 2003) e che la comunicazione acustica tra pesci è importante per la sopravvivenza e il successo riproduttivo (Rowe *et al.*, 2008; Verzijden *et al.*, 2010; Blom *et al.*, 2019). Alterare tale comunicazione potrebbe andare a limitare le reazioni di allarme e fuga dai predatori (Simpson *et al.*, 2015). Infatti, l'effetto del rumore continuo sul comportamento del corteggiamento in due specie di ghiozzi (*Gobiusculus flavescens* e *Pomatoschistus pictus*) è stato testato evidenziando disturbi sulla comunicazione e sul successo della deposizione delle uova e quindi sulla riproduzione (de Jong *et al.*, 2018).

Un altro recente studio di de Jong *et al.* (2020) basato sulla meta-analisi, descrive il fenomeno del disturbo che porta a una alterazione dei processi riproduttivi agendo attraverso tre meccanismi: lo **stress**, il **mascheramento** dei segnali e la **perdita delle capacità uditive** (fig. 3). Nello studio sono indagate, inoltre, le caratteristiche dei segnali sonori in base alla loro capacità, più o meno elevata, di disturbo (continuo vs intermittente e regolare vs irregolare). La meta-analisi suggerisce che i suoni irregolari e continui, come quello del traffico navale, possono avere un effetto più pronunciato sullo *stress*, il mascheramento e la perdita uditiva. Questo indica che questo tipo di emissione acustica potrebbe avere effetti più impattanti sulla riproduzione. Gli autori fanno notare inoltre la discrepanza che c'è tra gli attuali piani di mitigazione, focalizzati principalmente sulla riduzione dei livelli medi di intensità di suono e l'importanza di incrementare la prevedibilità (*predictability*) e diminuire la continuità nel tempo. Questo vorrebbe dire che un divieto temporaneo in una certa area potrebbe essere più efficace di una diminuzione media dei livelli totali di rumore. Questo pone dubbi anche sull'efficacia di strumenti alternativi quali l'*e-seismic* e i vibratorii (*marine vibrators*), ideati proprio con l'intenzione di ridurre la potenza di emissione alla sorgente (per esempio: Dellinger *et al.* 2016; Hegna *et al.* 2018) che però operano con emissioni continue invece che intermittenti, cosa che, secondo questo studio, vanificherebbe l'intento di mitigazione (de Jong *et al.* 2020). In aggiunta, anche lo studio di Blom *et al.* (2019) conferma il maggiore effetto di disturbo dei suoni continui rispetto a quelli intermittenti.

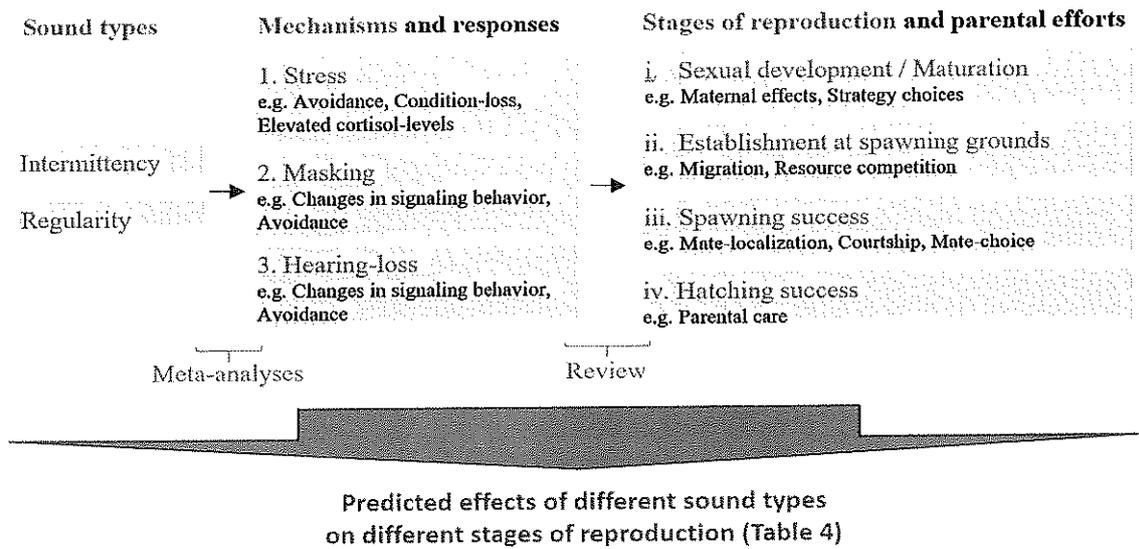


Figura 3. Schema del disturbo acustico che porta all'alterazione dei diversi processi riproduttivi agendo attraverso il meccanismo dello stress, del mascheramento dei segnali e della perdita delle capacità uditive (Fonte: de Jong *et al.*, 2020).

Un approccio innovativo per affrontare la quantificazione delle variazioni comportamentali viene fornito da Hubert *et al.* (2020) che affrontano l'indagine degli effetti del suono antropogenico sui pesci, a livello di popolamento. Lo studio indaga l'effetto del disturbo acustico sull'impiego di tempo in diverse attività da parte di esemplari di merluzzo (*Gadus morhua*) in cattività e su scala temporale lunga 6 giorni. Gli esperimenti hanno misurato la porzione di tempo impiegata in attività di alimentazione o nuoto con lo scopo di stimare le variazioni del rapporto tra l'apporto e il dispendio di energia. Sulla base della quantificazione dei diversi comportamenti desunti dalle registrazioni video, è stata determinata la proporzione giornaliera del tempo durante il quale un individuo stava cercando cibo, nuotando o rimanendo fermo. Sulla base delle proporzioni giornaliere di tempo trascorso in ciascuno stato comportamentale si è evidenziato che gli individui aumentavano il tempo di nuoto e diminuivano il tempo di riposo stazionario nei giorni con esposizioni sonore, ma non modificavano il tempo trascorso a nutrirsi. A causa della dimensione limitata del campione, gli autori non traggono conclusioni valide per un popolamento in ambiente naturale. Tuttavia, sostengono che questo tipo di dati, con un'adeguata dimensione del campione e la certezza sullo stato di salute individuale, possono servire come indicatore per valutare il bilancio tra l'assunzione e il dispendio di energia e quindi, in definitiva, sulla condizione di salute.

Ricordiamo per completezza lo studio di Wardle *et al.* (2001) che invece descrive effetti poco significativi nella variazione di comportamento per il popolamento ittico e di

invertebrati esposti a picchi sonori di *airgun* variabili intorno ai 200 dB (rel to 1 μ Pa).

5.1.3 Effetti fisiologici

Aumentano le evidenze che il disturbo acustico provochi nei pesci alterazioni del sistema neuroendocrino: l'aumento di concentrazione degli ormoni glucocorticoidi (GCs) e degli ormoni sessuali che sono alla base di quei rapidi adattamenti fenotipici individuali che avrebbero lo scopo di aumentare la probabilità di sopravvivenza a breve termine (Santulli *et al.* 1999; Wysocki *et al.*, 2006; Nichols *et al.*, 2015; Mills *et al.* 2020). Questi effetti fisiologici sono comunque correlati ai mutamenti delle abitudini comportamentali e quindi hanno ripercussioni sulla *fitness* su scala temporale più ampia, come argomentato precedentemente. Si è già descritto nei precedenti rapporti come i primi effetti fisiologici dovuti a emissioni sonore di *airgun* studiati sui pesci siano a carico del sistema uditivo. Ora, la perdita di capacità uditiva è stata messa in relazione con effetti negativi sulla capacità riproduttiva (de Jong *et al.* 2020).

In sintesi, gli effetti dell'*airgun* sul sistema uditivo dei pesci vanno da un innalzamento della soglia uditiva fino alla compromissione delle strutture fisiologiche (orecchio interno e linea laterale). Gli effetti di spostamento della soglia uditiva sono temporanei o permanenti: *Temporary Threshold Shifts* (TTS) o *Permanent Threshold Shifts* (PTS). Una vasta gamma di impatti acustici è stata osservata sui pesci (Weilgart, 2013). Alcuni studi mostrano che gli *airgun* danneggiano l'orecchio interno a distanze comprese tra 500 metri fino a diversi chilometri dai rilievi sismici. In particolare, viene 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 and 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, pale eoliche, etc.) 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 esperimento (Davidsen *et al.*, 2019) ha mostrato alterazioni fisiologiche e comportamentali molto lievi in due specie di pesci (*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 3 giorni. I merluzzi (*G. morhua*) hanno mostrato una

diminuzione della frequenza del battito cardiaco (bradicardia), fenomeno che preannuncia l'innescò di una reazione di fuga. Nonostante questo, non sono state osservate ulteriori reazioni più evidenti di spavento e l'alterazione della frequenza cardiaca era massima durante il primo dei tre giorni dell'esperimento, suggerendo che il merluzzo si possa essere abituato all'esposizione ripetuta. In conclusione, gli autori affermano che è improbabile che l'esposizione sonora utilizzata in questo studio possa associarsi ad alterazioni a lungo termine della fisiologia o del comportamento.

5.2 Effetti sulla pesca commerciale

L'argomento è ancora dibattuto e non ci sono evidenze univoche. Alcuni studi sembrano indicare una diminuzione dei tassi di cattura a carico della pesca commerciale in conseguenza a prospezioni sismiche. Questo fenomeno sarebbe determinato da risposte comportamentali quali spavento, allarme, evitamento, migrazione, perdita di equilibrio. Per contro, ci sono altre evidenze che indicano una sostanziale irrilevanza dell'airgun per la pesca. L'argomento è difficilmente inquadrabile perché probabilmente ci sono variabili legate ai diversi *taxon* (pesci, crostacei o molluschi), agli ambienti in cui si esercita e alla tipologia di pesca e di attrezzi usati.

Ricapitolando, ci sono studi che hanno evidenziato un calo dei tassi di cattura dal 40% all'80% di varie specie ittiche quali merluzzi, aringhe, cicerelli (*sand eels*), *Sebastes* spp. (*rockfish*) (Dalen and Knutsen 1987; Løkkeborg 1991; Skalski *et al.*, 1992; Engås *et al.*, 1993; Løkkeborg and Soldal, 1993; Engås *et al.*, 1996; Hassel *et al.*, 2004; Slotte *et al.* 2004). È stato descritto come le detonazioni di *airgun* provocano reazioni di allarme nei merluzzi anche a distanze di 16÷18 miglia nautiche dalla nave che effettua i rilevamenti sismici (Engås *et al.*, 1993). Dove erano state condotte di recente prospezioni con *airgun* si è osservato un calo del tasso di cattura (Skalski *et al.*, 1992; Engås *et al.*, 1993; Løkkeborg and Soldal, 1993) che può perdurare per 5 giorni dopo l'esposizione. Løkkeborg e Soldal (1993) mostrarono che i tassi di cattura della pesca commerciale decrescono significativamente durante l'uso di *airgun* e gli effetti perdurano per 24 ore fino a una distanza di almeno 9 km. Ciò ha determinato anche richieste di compensazione da parte degli operatori della pesca norvegese. 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 studi che evidenziano la non rilevanza 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 Andriquetto-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 di idrocarburi con *airgun*, non ha evidenziato significative riduzioni delle catture.

Sempre riguardo al granchio artico, un nuovo studio di Cote *et al.* (2020) conferma che gli effetti dei rilevamenti sismici sui granchi artici sono molto modesti o non statisticamente rilevanti. I risultati suggeriscono che gli effetti dei rilievi sismici sul comportamento del granchio sono impercettibili e non rappresentano una minaccia importante per la pesca di questi granchi.

Allo stesso modo, lo studio di Brucea *et al.* (2018) sui tassi di cattura di alcune specie di pesci in Australia, afferma che non ci sono prove significative per affermare che le indagini sismiche con *airgun* possono indurre consistenti variazioni del tasso di cattura.

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

Nell'anno passato non sono apparsi consultabili articoli riguardanti gli effetti delle emissioni sonore da *airgun* su uova e larve di organismi invertebrati o vertebrati. Ricapitolando le evidenze del precedente rapporto, risulta 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) osservano che larve del bivalve *Pecten novaezelandiae* esposte a ripetuti impulsi sismici mostravano significativi ritardi di sviluppo. Lo sviluppo ritardato delle uova del granchio *Chionoecetes opilio* è stato osservato quando esposte sperimentalmente in vasca a suoni di 221 dB (Christian *et al.*, 2003). 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 danni alle cellule cerebrali e ai neuromasti (recettori pressori della linea

laterale dei pesci costituiti da un gruppo di cellule ciliari 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. La mortalità di uova e larve di pesci si verifica solo quando queste si trovano a pochi metri dall'*airgun* (Kostyuchenko, 1973). 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 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$. 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 and Ona, 1996).

5.4 Effetti sugli invertebrati

Le nozioni già acquisite nei precedenti rapporti e alcune nuove integrazioni sono riassunte di seguito. Fitzgibbon *et al.* (2017) descrivono la reazione fisiologia di crostacei adulti (*Jasus edwardsii*) alle prospezioni. L'esposizione agli impulsi mostra di aver soppresso il conteggio totale degli emociti (THC – *Total Hemicyte Counts*) fino a 120 giorni dopo l'esposizione, suggerendo così un impatto negativo cronico della capacità immunitaria e una compromissione cronica delle condizioni nutrizionali. Negli atti del convegno "5th International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life", pubblicati nel 2020, Murchy *et al.*, (2019) confermano, tramite una meta-analisi degli studi esistenti, un effetto misurabile sulla variazione della conta totale degli emociti (THC) e altri parametri fisiologici negli invertebrati esposti a rilevamenti sismici. Lo studio di Day *et al.* (2017) descrive l'impatto dell'esposizione a indagini sismiche sul pettinide *Pecten fumatus* riscontrando alterazioni nelle capacità di reazione, nelle difese immunitarie, negli equilibri elettrolitici. I parametri biochimici dell'emolinfa risultavano alterati, così come la numerosità degli emociti (cellule del sangue) risultava significativamente ridotta. 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. 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).

Un nuovo studio di Vazzana *et al.* (2020), pur non riguardando la gamma di frequenze basse tipiche dell'*airgun*, riporta che gli stimoli ad alta frequenza provocano nel riccio di mare *Arbacia lixula* una risposta allo *stress* fisiologico indotta dal rumore. La

concentrazione di proteine, l'attività enzimatica (esterasi, fosfatasi e perossidasi) e la citotossicità nel fluido celomatico sono state confrontate in individui esposti per tre ore a emissioni sonore da 100 a 200 kHz della durata di 1 secondo con individui di controllo. I livelli di pressione sonora erano compresi tra 145 e 160 dB re 1 μ Pa. Il fluido celomatico è stato estratto e l'espressione genica e proteica di HSP70 con RT-PCR è stata quantificata riscontrando un cambiamento significativo nell'attività enzimatica e nell'espressione del gene e della proteina HSP70 rispetto al controllo. Questi risultati evidenziano la vulnerabilità di questa specie all'esposizione acustica (Vazzana *et al.*, 2020).

Sono state descritte in letteratura osservazioni su effetti morfologici e ultrastrutturali causati da traumi acustici indotti su specie di Cefalopodi (André *et al.*, 2011) e sulle possibili interazioni con il rumore di calamari giganti rinvenuti spiaggiati. Leite *et al.* (2016) riportano l'osservazione, *effettuata proprio da un Marine Mammal Observer (MMO)*, di un calamaro gigante morto (*Architeuthis dux*) in concomitanza con prospezioni sismiche nel maggio del 2013 al largo delle coste brasiliane. È stata evidenziata la correlazione tra spiaggiamenti di calamari giganti, nei quali sono stati osservati danni ad organi interni e prospezioni sismiche effettuate in Nord Atlantico (André *et al.*, 2011; Guerra *et al.*, 2004; 2011). L'analisi autoptica ha rilevato la presenza di patologie e lesioni legate alle statocisti (André *et al.*, 2011). Gli effetti osservati si riferiscono soprattutto a danni a carico delle statocisti che compromettono il senso dell'equilibrio e della posizione. Marta Solè, negli atti del convegno *Oceanoise* (Solé M. *et al.*, 2017a), riporta le evidenze di danni a carico degli epitelii sensoriali su esemplari di tre specie di Cefalopodi (*Sepia officinalis*, *Loligo vulgaris* e *Ilex coindetii*) dopo l'esposizione a livelli sonori elevati. Sempre Solè *et al.* (2017b) rafforzano le conoscenze sui traumi acustici sulla seppia (*Sepia officinalis*) esponendola 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), rilevando lesioni a carico delle statocisti. Quantifica così una soglia acustica oltre la quale si provocano traumi fisici nei Cefalopodi. 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 un 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* viene confermato da Day *et al.* (2019) che sottopone i

crostacei ad un'esposizione pari a quella di un *airgun* che passa ad una distanza di 100÷500 m.

Nel 2017 è stato condotto uno studio che apre una nuova prospettiva riguardo ai danni che possono essere causati sugli 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 alimentari 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 (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). Lo studio di Fields *et al.* (2019) ha poi ridimensionato 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 del plancton nella rete trofica marina e una risorsa alimentare per molte specie commerciali di pesce. Dallo studio si evince che si è osservato un incremento della mortalità apprezzabile solo ad una distanza inferiore a 10 m dalla fonte.

Anche per gli organismi invertebrati la tendenza a considerare gli impatti ecosistemici sembra più presente. Si vuole ricordare l'approccio innovativo del lavoro di Wale *et al.* (2019) che si è prefisso di indagare sull'impatto ecosistemico del suono usando dei test usati in ecotossicologia (*comet assay*, test sullo stress ossidativo) in combinazione con *biomarker* fisiologici e comportamentali. In particolare, il mollusco bivalve (*Mytilus edulis*), particolare perché costituisce barriere organogene, è stato sottoposto a riproduzioni di rumore di navi. Sono stati riscontrati danni indotti dal rumore a carico del DNA (rotture 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 stati evidenziati gli impatti, non solo a livello di organismo ma anche di comunità ed ecosistema - barriera di mitili intesa come ecosistema complesso. Visti gli effetti negativi registrati dai test ecotossicologici, il rumore può essere quindi considerato un fattore che maschera l'effetto di altri inquinanti da indagare con le stesse metodiche.

Ci sono anche studi che indicano effetti scarsi o nulli. Przeslawski *et al.* (2018) hanno esaminato la potenziale risposta di due specie di capesante (*Pecten fumatus*, *Mimachlamys asperima*) prima, due mesi dopo e dieci mesi dopo un'indagine sismica marina del 2015 condotta in Australia. Lo studio di campo prevedeva sia peschate con draghe che osservazioni dirette con veicoli teleguidati (AUV). I risultati non hanno mostrato alcuna evidenza di mortalità delle capesante attribuibile all'indagine sismica, sebbene non sia possibile escludere effetti sub-letali.

Un'indagine sismica 3D (Heyward *et al.*, 2018) è stata condotta sulla barriera di una laguna corallina (South Scott Reef, Australia nord-occidentale) che ospita una comunità di coralli delle famiglie *Agaricidae* e *Acroporidae*. 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. L'analisi non ha rilevato alcun effetto dell'attività sismica misurata come mortalità corallina, danno scheletrico o segni visibili di *stress* subito dopo e fino a quattro mesi dopo il rilievo sismico (Heyward *et al.*, 2018).

5.5 Effetti sui rettili marini

Nel recente passato non sono apparsi consultabili articoli riguardanti gli effetti delle emissioni sonore da *airgun* sulle tartarughe marine. Si ricapitolano, pertanto, le evidenze del precedente rapporto. 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 dagli *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 hanno evidenziato atteggiamenti di allarme o di fuga come reazione immediata agli impulsi sonori emessi dagli *airgun* (O'Hara and Wilcox, 1990; Moein *et al.*, 1994; McCauley *et al.*, 2000; Lenhardt, 2002). I risultati di monitoraggi effettuati durante *survey* sismici hanno evidenziato un numero maggiore di avvistamenti di tartarughe nei periodi di non attività (Weir, 2007; Hauser *et al.*, 2008; Holst and Smultea, 2008). Le tartarughe esposte a esplosioni di *airgun* consecutive sembrano reagire sempre meno; ciò indicherebbe 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

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

Tra le modificazioni comportamentali dovute al disturbo acustico dell'*airgun* ci sono le alterazioni nelle emissioni sonore, i cosiddetti canti. In risposta al disturbo acustico la balenottera franca aumenta la potenza di emissione e la *densità* dei canti (numero di canti per unità di area e per unità di tempo) (Thode *et al.*, 2020).

Si è evidenziato come un aspetto che comincia ad essere più conosciuto è quello del rapporto dose-effetto causato da stimoli sonori. Dunlop *et al.* (2018) hanno affrontato l'indagine del rapporto dose-effetto nella reazione di evitamento della megattera. I ricercatori sono riusciti a stabilire che questi cetacei in migrazione cominciavano ad avere 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. Si riscontrava, inoltre, una probabilità del 50% che cambiassero rotta quando il livello sonoro era intorno ai 150 dB re 1 μ Pa² e a una distanza di 2,5 km dall'*airgun*.

Un nuovo studio di Dunlop *et al.* (2020) ha riscontrato nelle megattere una riduzione complessiva delle interazioni sociali correlate alla riproduzione sia in presenza di una nave che traina *airgun* in fase operativa sia in presenza di *airgun* inattivi. Comunque, l'ampiezza della risposta era generalmente maggiore con *airgun* in funzione. Gli Autori hanno trovato anche una significativa relazione di dose-risposta tra la vicinanza della nave e la riduzione della probabilità di interazione tra questi mammiferi. In relazione agli effetti di prossimità, i gruppi hanno ridotto il loro comportamento sociale di aggregazione da una probabilità di

0,5 (a circa 7,5 km) a una probabilità di 0÷0,2 (a circa 2 km dalla nave). L'indagine sulla dose-risposta, utilizzando come indicatore la reazione di allontanamento, ha rilevato che le megattere avevano maggiori probabilità di cambiare direzione per evitare la fonte di disturbo quando si trovavano entro un raggio di 3÷4 km. Gli autori sostengono che gli effetti comportamentali nei mammiferi marini legati alla presenza di navi non sono solo dovuti all'effetto di mascheramento del segnale acustico usato per comunicare, ma anche alla mera presenza fisica della nave. Quindi, nonostante c'era una risposta più ampia in presenza di *airgun* operativi, il disturbo era comunque riscontrabile con la sola presenza della nave. Questi risultati sono allora validi non solo per le operazioni navali correlate alle prospezioni sismiche petrolifere, ma per tutte le tipologie di navi (militari, mercantili, pescherecci, ecc.). Anche il recente studio di Kavanagh *et al.* (2019) ha rilevato un effetto di disturbo significativo dovuto all'attività di prospezione sismica con una diminuzione dell'88% negli avvistamenti di balenottere e una diminuzione del 53% negli avvistamenti di odontoceti durante i rilevamenti sismici rispetto alle indagini di controllo.

Sarnocińska *et al.* (2020) riportano per la focena (*Phocoena phocoena*) una diminuzione nei segnali di ecolocalizzazione fino a 8÷12 km di distanza da *airgun* attivi, il che può indicare lo spostamento temporaneo di questi mammiferi o un cambiamento nel comportamento di ecolocalizzazione. I risultati aggiungono evidenze che il rumore sottomarino potrebbe influenzare temporaneamente l'efficienza dei comportamenti di ricerca alimentare nelle focene.

5.7 Banca dati spiaggiamenti

Non vi sono segnalazioni specifiche collegate all'uso dell'*airgun* derivanti dalle necroscopie.

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

Nessuna novità tecnica rispetto ai precedenti rapporti. Sembra delinearsi la proposta per prospezioni congiunte tra Stati per diminuire i fenomeni di ridondanza.

6. MONITORAGGIO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE PROVENIENTI DA AIRGUN

Non vi sono aggiornamenti rispetto a quanto già rappresentato nella precedente edizione del rapporto 2019.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In continuità con il quadro rappresentato nel 2019 anche nel corso del corrente anno 2020 non risultano essere state condotte campagne in mare che abbiano previsto l'uso della tecnica dell'*airgun*.

Come riportato in Premessa e nel Capitolo 4 del presente rapporto, tale situazione è derivata da un 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, nonché dalla 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).

Le principali evidenze scaturite dall'analisi delle pubblicazioni scientifiche relative agli effetti osservati su organismi o componenti degli ecosistemi marini dell'impiego della tecnica dell'*airgun*, conducono la comunità scientifica ad orientarsi sempre più verso un approccio integrato nello studio di questi effetti, vale a dire la quantificazione dell'effetto che si può riscontrare sui singoli individui a scala più ampia, di popolamento o comunità e vedere come l'effetto sui popolamenti, a sua volta, interferisca nel mantenimento omeostatico degli equilibri di un ecosistema marino.

Unitamente alle evidenze scientifiche riportate nei primi quattro Rapporti sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*, l'analisi della documentazione scientifica di recente pubblicata 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 potenzialmente in popolamenti di diverse specie, non appaiono ancora evidenze chiare che la sorgente di rumore *airgun* possa causare alterazioni agli equilibri ecosistemici marini. Purtroppo, studi e osservazioni suggeriscono che l'ipotesi che taluni effetti minaccino detti equilibri sia del tutto plausibile. Proprio per questo è auspicabile un approccio cautelativo o precauzionale.

8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Amoser S. and 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., and Houégnigan L., 2011. Low frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Ecol Environ* 2011. 9(9):489-493, doi:10.1890/100124.
- Andriguetto-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.
- Blom, E. L., Kvarnemo, C., Dekhla, I., Schöld, S., Andersson, M. H., Svensson, O., and Amorim, M. C. P. (2019). Continuous but not intermittent noise has a negative impact on mating success in a marine fish with paternal care, *Sci. Rep.* 9(1), 5494. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41786-x>
- Booman C., Dalen J., Leivestad H, Levsen A., van der Meeren T. and Toklum K., 1996. Effects from airgun shooting on eggs, larvae, and fry. Experiments at the Institute of Marine Research and Zoological Laboratory, 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.
- 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.
- 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>.
- Christian J. R., Mathieu A., Thomson D. H., White D. and Buchanan R. A., 2003. Effect of Seismic Energy on Snow Crab (*Chionoecetes opilio*). 7 November 2003. Environmental Research Funds Report No. 144. Calgary. 106 p.

Cote, D., Morris, C., Regular, P., & Piersiak, M. (2020). Effects of 2D Seismic on Snow Crab Movement Behavior. *Fisheries research*, 230. doi: [10.1016/j.fishres.2020.105661](https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105661)

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 and 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.

Davidson Jan G, Dong Hefeng, Linné Markus, Andersson Mathias H, Piper Adam, Prystay Tanya S, Hvam Eivind B, Thorstad Eva B, Whoriskey Frederick, Cooke Steven J, Sjurseth Aslak D, Rønning Lars, Netland Tim C, Hawkins Anthony 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.

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., R. D. McCauley, 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, Ryan D.; McCauley, Robert D.; Fitzgibbon, Quinn P.; Hartmann, Klaas; M. Semmens, Jayson, 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>

de 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.

de Jong, K., Forland, T.N., Amorim, M.C.P., 2020. Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction. *Rev Fish Biol Fisheries* 30, 245-268. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09598-9>

Dellinger J, Ross A, Meaux D, Brenders A, Gesoff G, Etgen J, Naranjo J, Openshaw G, Harper M., 2016. Wolfspar[®], an "FWI-friendly" ultralow-frequency marine seismic source. SEG expanded abstracts, pp 4891÷4895.

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

De Soto 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>.

Direttiva 2008/56/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 giugno 2008 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino).

Dunlop, R.A. and McCauley, R.D. and Noad, M.J., 2020. Ships and air guns reduce social interactions in humpback whales at greater ranges than other behavioral impacts. *Mar Pollut Bull.* 154: Article No. 111072.

Dunlop, Rebecca & Noad, Michael & McCauley, Robert & Kniest, Eric & Slade, Robert & Paton, David & Cato, Douglas, 2018. A behavioural dose-response model for migrating humpback whales and seismic air gun noise. *Mar Pollut Bull.* 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. and 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., and 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.

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

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.

- 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 A, González A.F., and 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 Priscillia, Spataro Thierry, Firmat Cyril, Nicolas Boyer, Fonseca Paulo, Médoc, Vincent, 2019. Noise-induced reduction in the attack rate of a planktivorous freshwater fish revealed by functional response analysis. *Freshwater Biology.* 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 MC, Popper AN, Finneran JJ, Lanford PJ., 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.
- Hauser, D.D.W., M. Holst and V.D. Moulton, 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 p.
- Hawkins Anthony D., Popper Arthur 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, doi.org/10.1093/icesjms/fsw205.
- Hawkins, A. D., & Popper, A. N., 2016. Developing sound exposure criteria for fishes. In A. N. Popper & A. D. Hawkins (Eds.), *The effects of noise on aquatic life II* (pp. 431÷439). New York, NY: Springer.

Hegna S, Klüver T, Lima J., 2018. Benefits of continuous source and receiver side wavefields. SEG technical program expanded abstracts. Society of exploration geophysicists, pp 4-45.

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. and 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 p.

Hubert, Jeroen & Wille, Daniël & Slabbekoorn, Hans, 2020. Exploring effects of sound on the time budget of fishes: an experimental approach with captive cod. 10.1121/2.0001253.

Kavanagh, A.S., Nykänen, M., Hunt, W., 2019. Seismic surveys reduce cetacean sightings across a large marine ecosystem. Sci Rep 9, 19164. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55500-4>

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.

Kunc HP, McLaughlin KE, Schmidt R., 2016. Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems. Proc. R. Soc. B283: 20160839. doi.org/10.1098/rspb.2016.0839

Leite L., Campbell D, Versiani L., Nunes A J C. C and Thiele T., 2016. First report of a dead giant squid (*Architeuthis dux*) from an operating seismic vessel. Marine Biodiversity Records 9:26.

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. and 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.

Mauro, M., Pérez-Arjona, I., Perez, E. J. B., Ceraulo, M., Bou-Cabo, M., Benson, T., Espinosa, V., Beltrame, F., Mazzola, S., Vazzana, M., and Buscaino, G., 2020. The effect of low frequency noise on the behaviour of juvenile *Sparus aurata*. *J. Acoust. Soc. Am.* 147, 3795–3807. <https://doi.org/10.1121/10.0001255>.

McCauley R.D., Fewtrell J., Duncan A.J., Jenner C., Jenner, M.-N., Penrose J.D., Prince R.I.T., Adhitya A., Murdoch J. and 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 Robert D., Ryan D. Day, Kerrie M. Swadling, Quinn P. Fitzgibbon, Reg A. Watson, Jayson M. Semmens, 2017. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. *Nature Ecology & Evolution* 1, Article n. 0195 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0195>.

Mills, S.C., Beldade, R., Henry, L., Laverty, D., Nedelec, S.L., Simpson, S.D., & Radford, A.N., 2020. Hormonal and behavioural effects of motorboat noise on wild coral reef fish. *Environmental Pollution* 262: 114250. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114250>.

Moein SE, Musick JA, Keinath JA, Barnard DE, 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. 33 pp.

Moriyasu M., Allain R., Benhalima K., and 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.

Murchy K. A., Hailey Davies, Hailey Shafer, Kieran Cox, Kat Nikolich, and Francis Juanes, 2019. Impacts of noise on the behavior and physiology of marine invertebrates: A meta-analysis *Proc. Mtgs. Acoust.* 37, 040002 (2019). <https://doi.org/10.1121/2.0001217>.

Nedelec S.L., S.C. Mills, A.N. Radford, R. Beldade, S.D. Simpson, B. Nedelec, I.M. Côté, 2017. Motorboat noise disrupts cooperative interspecific interactions. *Sci. Rep.*, 7, p. 6987.

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

Nichols T.A., T.W. Anderson, A. Sirovic, 2015. Intermittent noise induces physiological stress in a coastal marine fish. *PloS One*, 10 (2015), Article e0139157

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

Pearson W.H., Skalski J.R. and 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.

Picciulin, M., Sebastianutto, L., Codarin, A., Farina, A., and Ferrero, E. A., 2010. *In situ* behavioural responses to boat noise exposure of *Gobiuscruentatus* (Gmelin, 1789; fam. Gobiidae) and *Chromis chromis* (Linnaeus, 1758; fam. Pomacentridae) living in a Marine protected area, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 386, 125+132. doi.org/10.1016/j.jembe.2010.02.012

Pirotta E, Booth CG, Costa DP, *et al.*, 2018. Understanding the population consequences of disturbance. *Ecol Evol.*;8:9934–9946. <https://doi.org/10.1002/ece3.4458>

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>.

Popper AN, Hawkins AD., 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *J Fish Biol.* 2019; 94(5):692-713. doi:10.1111/jfb.13948

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, Richard; Lenton, Andrew, 2017. Potential impacts on zooplankton of seismic surveys. CSIRO: CSIRO. <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 på fiskeegg og -larver. rapporto fisken og havet

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

Sarnocińska J., Teilmann J., Balle Jeppe D., van Beest F. M., Delefosse M., Tougaard J., 2020. Harbor Porpoise (*Phocoena phocoena*) reaction to a 3D seismic airgun survey in the North Sea. *Frontiers in Marine Science*, 6, 2020. Pp.824 doi 10.3389/fmars.2019.00824

Semmens J, Day RD, McCauley RD, Fitzgibbon QP, Hartmann K, Simon CJ, 2017. Are seismic surveys putting bivalve and spiny lobster fisheries at risk? *Oceanoise* 2017.

Simpson S.D., A.N. Radford, S.L. Nedelec, M.C.O. Ferrari, D.P. Chivers, M.I. McCormick, M.G. Meekan, 2016. Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nat. Commun.*, 7, p. 10544.

Simpson S.D., Purser J., Radford A.N., 2015. Anthropogenic noise compromises antipredator behaviour in European eels. *Glob. Chang. Biol.* 21, 586÷593.

Skalski J.R., Pearson W.H. and 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, Hans; Dalen, John; Haan, Dick de; Winter, Hendrik V.; Radford, Craig; Ainslie, Michael A.; Heaney, Kevin D.; Kooten, Tobias van; Thomas, Len; Harwood, John, 2019. Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge. *Fish and Fisheries*. - ISSN 1467-2960 - 33 p. <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 JM, 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

Thode AM, Blackwell SB, Conrad AS, Kim KH, Marques T, Thomas L, Oedekoven CS, Harris D, Bröker K., 2020. Roaring and repetition: how bowhead whales adjust their call density and source level (Lombard effect) in the presence of natural and seismic airgun survey noise. J Acoust Soc Am. 2020 Mar; 147(3):2061. doi: 10.1121/10.0000935. PMID: 32237830.

Vazzana, M., Mauro, M., Ceraulo, M., Dioguardi, M., Papale, E., Mazzola, S., Arizza, V., Beltrame, F., Ingugli, L., and Buscaino, G., 2020a. Underwater high frequency noise: Biological responses in sea urchin *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758). Comp. Bioch. Phys-Part A: Mol. Integr. Phys. 242,110650. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110650>

Verzijden M.N., van Heusden J., Bouton N., Witte F., ten Cate C., 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 Matthew A., Briers Robert A., Hartl Mark G.J., Bryson David, Diele Karen, 2019. From DNA to ecological performance: Effects of anthropogenic noise on a reef-building mussel, Science of The Total Environment, Volume 689, 2019, Pages 126+132, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.380>

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., 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 Newsl 116: 17+20.

Wysocki L.E., J.P. Dittami, F. Ladich, 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. Biol. Conserv., 128 (2006), pp. 501+508.

9. SITOGRAFIA

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

<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.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

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

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

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

10. ALLEGATO 1 - PROCEDURE DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER INDAGINI GEOFISICHE IN MARE (PERMESSI DI PROSPEZIONE E PERMESSI DI RICERCA IDROCARBURI) NEL PERIODO 01.11.2019 – 01.11.2020 (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	Area marina
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.	Concluso	09/05/2018	05/08/2020	DEC-MATTM - 254	Negativo all'esclusione	Puglia	Adriatico Merid

Quinto rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'airgun

N	Progetto	Proponente	Tipologia	Procedura	Stato procedura	Data avvio procedura	Data conclusione procedura	Numero provv.	Esito provv.	Regioni costiere	Aree marine
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	Sospeso	09/05/2018	11.09.2018	interlocutorio negativo da concludersi eventualmente a valle di un esito favorevole della VIA di cui al punto 4		Puglia	Adriatico Merid.

Hanno partecipato alla redazione del presente Quinto rapporto

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

Direzione generale per il mare e le coste (MAC):

- Div. III (che ne ha curato anche il coordinamento): Giuseppe Italiano, Anna Soffili.
- Div. IV: Roberto Giangreco.
- Div. V: Paolo Galoppini.

Direzione generale per la crescita sostenibile e la qualità dello sviluppo (CreSS):

- Div V: Giacomo Meschini, 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;
- l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e IAMC-CNR - G. Riccobene;
- 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.