

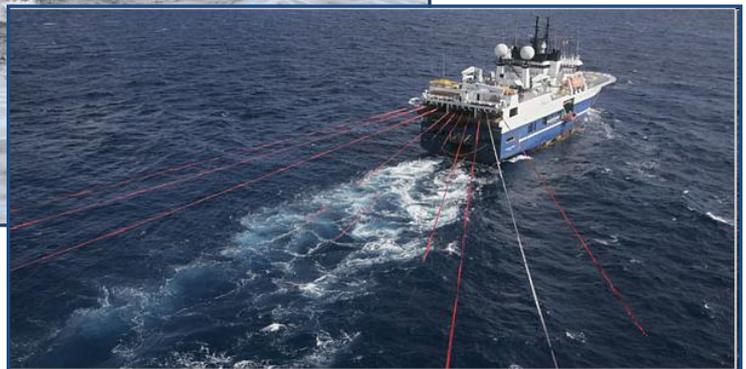


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Rapporto tecnico

Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani



Maggio 2012

A cura di:

Silvia Bertolini

Junio Fabrizio Borsani

Salvatore Curcuruto

Luca De Rinaldis

Cristina Farchi

1. PREMESSA.....	4
2. LE PROSPEZIONI GEOFISICHE.....	6
2.1 ASPETTI GENERALI	6
2.2 SISTEMA DI RILEVAMENTO CON L'UTILIZZO DI SORGENTE AIR-GUN	8
2.3 LA PROPAGAZIONE DEL SUONO IN AMBIENTE MARINO	12
2.4 INDAGINI 2D – 3D – 4D	13
3. EFFETTI SUI MAMMIFERI MARINI.....	14
4. EFFETTI SU ALTRI ORGANISMI MARINI	18
5. LIVELLI SONORI CRITICI.....	21
6. MISURE DI MITIGAZIONE	25
7. RACCOMANDAZIONI E CONCLUSIONI	32
BIBLIOGRAFIA	34

ALLEGATO I Richiesta del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per attività di supporto tecnico ISPRA

ALLEGATO II Il Vibratore Marino come alternativa all'Airgun

ALLEGATO III Estratto da: Linee guida per la gestione dell'impatto di rumore antropogenico sui Cetacei nell'area ACCOBAMS (ACCOBAMS Secretariat, SC4/2006)

ALLEGATO IV Estratto da: Linee guida per ridurre l'impatto acustico generato dalle prospezioni geofisiche sui mammiferi marini (JNCC, agosto 2010)

ALLEGATO V I Cetacei del Mediterraneo

1. Premessa

Il presente rapporto tecnico è stato elaborato in seguito ad una specifica richiesta della Commissione Tecnica di Valutazione Ambientale (CTVA) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) avente per oggetto *“Studio relativo agli impatti connessi all'effettuazione di prospezioni geofisiche in mare”* (prot. CTVA-2012-365 del 31/01/2012) (**Allegato I**) e intende costituire un documento di riferimento per la pianificazione, il *modus operandi* e la valutazione del rischio associato alle prospezioni geofisiche con l'obiettivo di minimizzare l'impatto acustico causato da tali attività sull'ambiente marino.

In particolare, il documento considera le prospezioni che utilizzano sorgenti ad aria compressa (airgun) in quanto, allo stato attuale, risultano le più diffuse nonché quelle maggiormente sostenibili dal punto di vista ambientale.

Fino ad oggi, l'attenzione nel campo della ricerca e coltivazione di idrocarburi in mare è stata concentrata prevalentemente nelle fasi successive alle prospezioni (pozzi esplorativi e coltivazione) in quanto ritenute a maggior rischio di effetti negativi sulla salute umana. Anche la Commissione Europea, nella *“Proposta di regolamento del parlamento europeo e del consiglio sulla sicurezza delle attività offshore di prospezione, ricerca e produzione nel settore degli idrocarburi”* del 27 ottobre 2011, non tiene in debita considerazione l'eventuale impatto acustico generato dalle attività di prospezione geofisica.

Con l'attuazione della direttiva 2008/56/CE (recepita in Italia con DLgs. n.190 del 13 ottobre 2010), che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino, il rumore diventa per la prima volta un parametro di qualità dell'ambiente marino stesso, imponendo agli Stati Membri di affrontare il problema agendo in via precauzionale ed evitando ogni tipo di inquinamento transfrontaliero. La Commissione definisce l'inquinamento acustico sottomarino come *“l'introduzione intenzionale o accidentale di energia acustica nella colonna d'acqua, da fonti puntuali o diffuse”* e ha applicato il fondamentale principio secondo cui l'assenza di certezza scientifica, qualora sussista il pericolo di danni gravi o irreversibili, non esonera gli Stati dal dovere di predisporre misure efficaci per evitare il degrado ambientale (Principio 15 della Dichiarazione di Rio). In secondo luogo, tutti i Paesi devono assicurare che *“le attività condotte*

sotto la propria giurisdizione e sotto il proprio controllo avvengano in modo tale da non provocare danno da inquinamento ad altri Stati e al loro ambiente”.

Si ritiene utile ricordare che il Decreto Direttoriale 22/03/2011, che stabilisce le procedure operative di attuazione del DM 4/03/2011 e le modalità di svolgimento delle attività di prospezione, ricerca e coltivazione idrocarburi ed i relativi controlli, introduce, all'art.18, il concetto di “Programma unitario di lavoro” che *“deve riguardare permessi (di ricerca) confinanti o finitimi, motivato dalla presenza di obiettivi minerari omogenei che possono essere ricercati in modo più razionale ed economico nel complesso delle aree dei permessi”*. La norma fornisce, quindi, lo strumento per superare la frammentazione dei progetti e relativi studi di impatto ambientale di aree contigue, che scaturisce dalla contingenza che un singolo permesso di ricerca non può superare la superficie di 750 kmq (art.6 L.9/1991) anche se ad un medesimo soggetto possono essere rilasciati più permessi di ricerca per un'area complessiva massima di 10.000 kmq.

Si evidenzia, infine, che le considerazioni contenute nel presente documento non sono riferite ad un contesto specifico ma piuttosto alla totalità dei mari italiani in cui è ipotizzabile vengano effettuate le attività di prospezione.

2. Le prospezioni geofisiche

2.1 Aspetti generali

Le prospezioni geofisiche a mare vengono utilizzate per la caratterizzazione del fondale e della struttura e composizione del substrato fino ad alcune centinaia di metri di profondità all'interno del substrato stesso. Al fine di ottenere un'immagine tridimensionale del substrato e di individuare, quindi, le discontinuità, che possono essere costituite da sacche di gas naturale o di petrolio (quindi idrocarburi fossili in genere), vengono prodotti segnali acustici impulsivi molto intensi. L'eco di questi suoni, riflesso dal fondale, rivela presenza, profondità e tipologia del giacimento. Così facendo si ottengono delle mappe del substrato e dei suoi spazi, i quali vengono successivamente esplorati con le trivelle al fine di trovare e produrre idrocarburi.

I suddetti segnali acustici sono ottenuti con diverse tecnologie che fanno uso di sorgenti artificiali differenti:

- Ad acqua: **WATER-GUN** (frequenza utilizzata 20-1500 Hz), costituito da un cannone ad aria compressa che espelle ad alta velocità un getto d'acqua che per inerzia crea una cavità che implode e genera un segnale acustico;
- Ad aria compressa: **AIR-GUN** (frequenza utilizzata 100-1500 Hz), costituita da due camere cilindriche chiuse da due pistoni (pistone di innesco e di scoppio) rigidamente connessi ad un cilindro provvisto di orificio assiale che libera in mare, istantaneamente, aria ad una pressione elevata, compresa tra 150 e 400 atmosfere (ad oggi il sistema maggiormente utilizzato);
- A dischi vibranti: **MARINE VIBROSEIS** (frequenza utilizzata 10-250 Hz) (Allegato II), in cui alcuni dischi metallici vibranti immettono energia azionati secondo una forma d'onda prefissata, senza dar luogo all'effetto bolla (sistema complesso non ancora pienamente sviluppato);
- Elettriche: **SPARKER** (frequenza utilizzata 50-4000 Hz), **BOOMER** (frequenza utilizzata 300-3000 Hz) dove un piatto metallico con avvolgimento in rame viene fatto allontanare da una piastra a seguito di un impulso elettrico; l'acqua che irrompe genera un segnale acustico ad alta frequenza con scarsa penetrazione (adatto per rilievi ad alte definizioni).

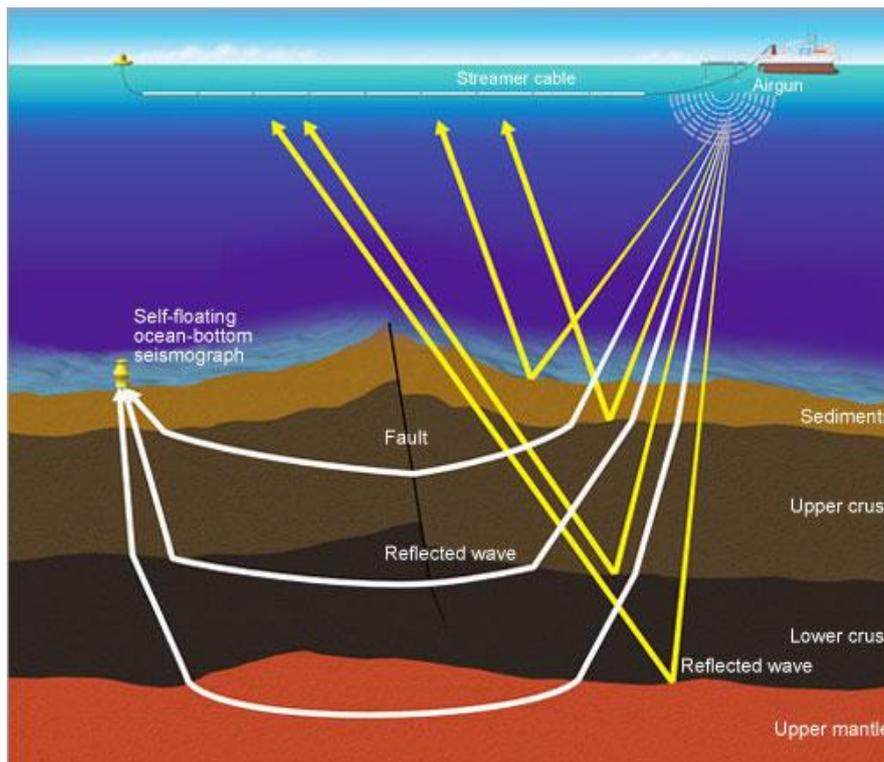


Fig. 1 Schema di funzionamento di una prospezione geofisica

(Fonte: <http://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/observe/seabed.html>)

Le diverse tipologie di indagini geosismiche sono caratterizzate, oltre che dal tipo di sorgente artificiale utilizzata, da ulteriori elementi:

- geometria e posizionamento del sistema di ricezione (*towed streamer – ocean bottom – buried seafloor array – vertical seismic profile*)
- numero di misurazioni fatte all'interno dell'area di analisi (2D – 3D – 4D)
- tipo di sensori utilizzati per la ricezione del segnale (idrofoni, geofoni).

Lo schema riportato in fig. 2 riassume i diversi tipi di indagini sismiche marine e mette in evidenza la molteplicità di combinazioni che possono essere effettuate tra gli elementi che definiscono l'indagine.

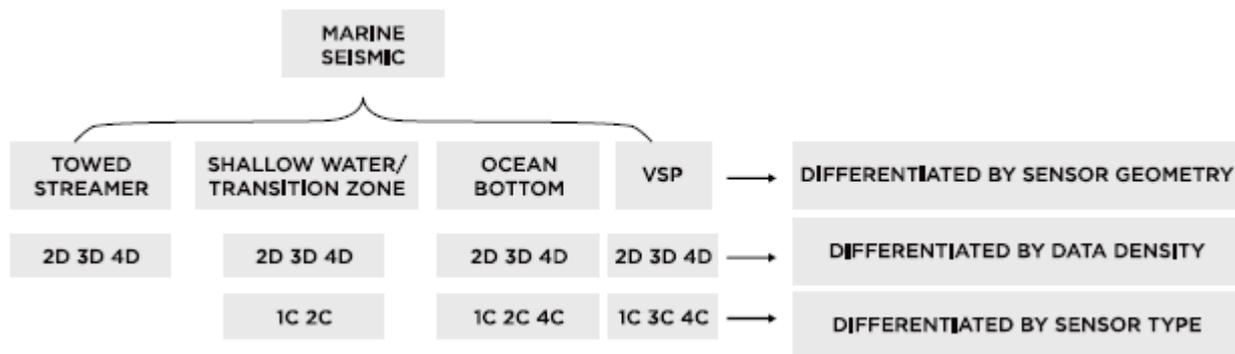


Fig. 2 Diverse tipologie di indagini sismiche (Fonte: *An overview of marine seismic operations- International Association of geophysical contractors – report n.448 aprile 2011*)

Come si evince dalla tabella 1, nel campo della ricerca di idrocarburi le indagini sismiche possono trovare varie applicazioni per fornire differenti risultati; inoltre, sono utilizzate per lo studio dei terremoti ed in generale nel campo della ricerca scientifica. Nel seguito si riporta una tabella di sintesi che, in funzione del campo di applicazione, mette in relazione la frequenza dell'impulso ed il potere di penetrazione della strumentazione sismica (IFREMER, 2004).

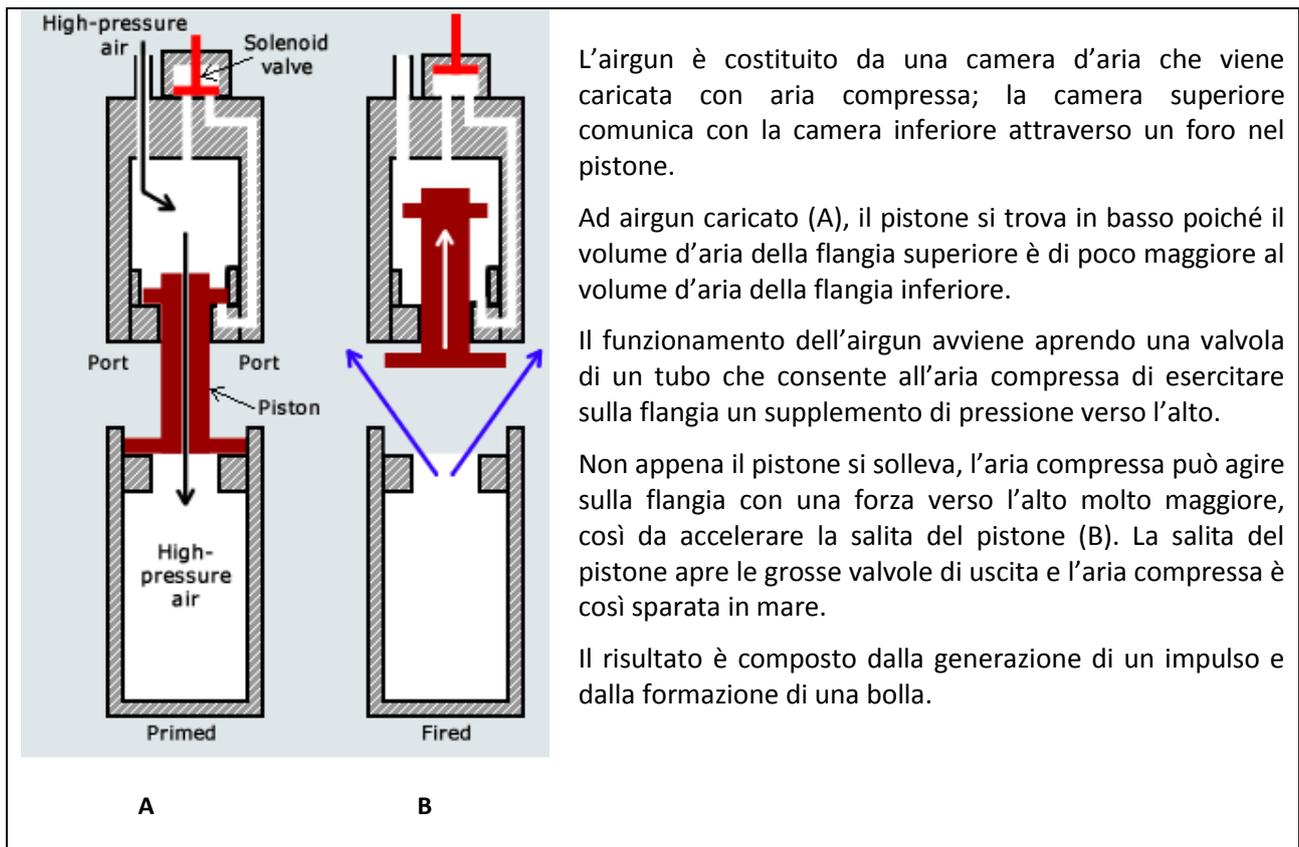
Tab. 1 Caratteristiche delle diverse indagini sismiche

	intervallo di frequenza	penetrazione nel sottosuolo	Risoluzione verticale
Sismica naturale	0.1 - 5 Hz	> 80 km	3-20 km
Sismica convenzionale a bassa frequenza <i>Deep scientific / industrial exploration</i>	5 - 80 Hz	3-50 km	60-120 m
Sismica ad alta risoluzione <i>Fluid escape, gaz hydrates, reservoir modelling</i>	50 - 400 Hz	500 - 2000 m	10 -15 m
Sismica a risoluzione molto alta <i>Site survey, sedimentary models, reservoir modelling</i>	300 - 2000 Hz	50-200 m	1 -2 m

2.2 Sistema di rilevamento con l'utilizzo di sorgente AIRGUN

Il sistema più comunemente usato allo stato attuale utilizza come sorgente artificiale i dispositivi di tipo airgun e si basa sui principi della sismica a riflessione.

Tab. 2 Il sistema AIRGUN



Gli elementi principali che compongono il sistema di rilevamento sono:

- nave (dotata di tutte le attrezzature necessarie)
- sistema di ricezione: CAVO SISMICO (STREAMER) e IDROFONO
- sorgente artificiale: AIR GUN, organizzato sempre in batteria (ARRAY).

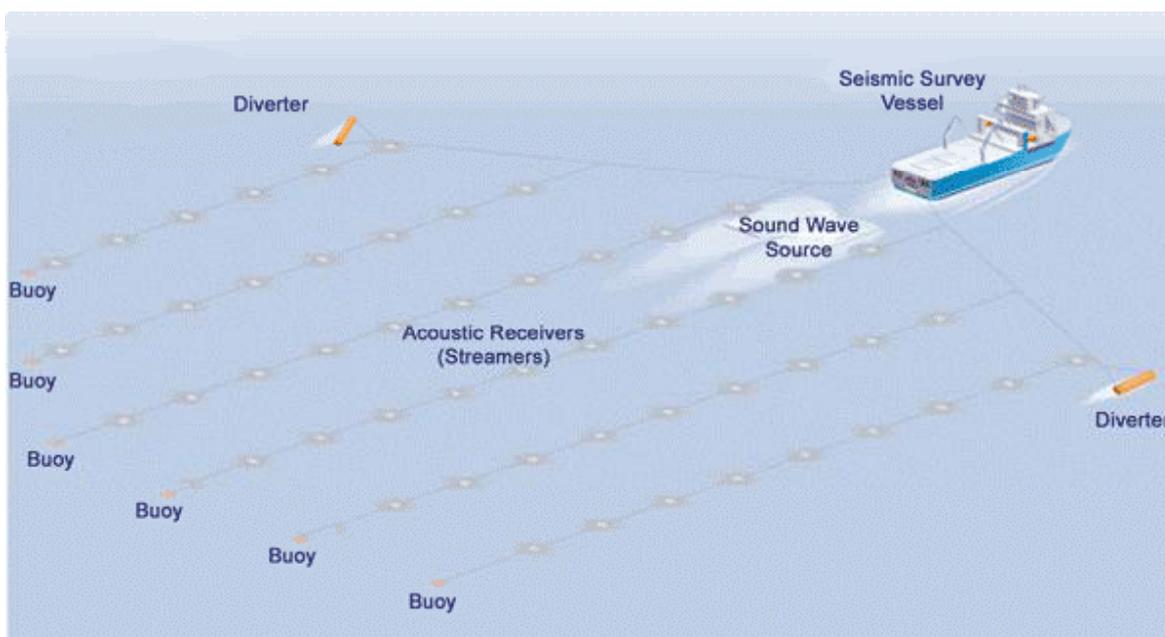


Fig. 3 Il sistema di rilevamento nelle prospezioni geofisiche

Nave sismica

Le navi sono di vario genere, a seconda del contesto marino, ed ospitano al loro interno tutte le apparecchiature necessarie per effettuare il rilievo (bobine in cui è raccolto il cavo con gli idrofoni, impianti per la generazione dell'impulso elastico in mare, compressori e linee di distribuzione, strumentazione per la registrazione, apparecchiature per una prima elaborazione dei dati, strumenti di posizionamento per la registrazione in continuo della posizione della nave stessa e degli idrofoni impiegati).

Nel seguito si riportano, a titolo di esempio, alcuni dati di navi sismiche utilizzate per prospezioni geofisiche in ambito adriatico:

- Atlantic Explorer: lunghezza 91.3 m, larghezza 17.4 m, pescaggio 7.0 m, stazza lorda 4640 t, velocità media 12 nodi, autosufficienza durante operazioni 64 giorni;
- OGS Explora: lunghezza 73 m, larghezza 12 m, pescaggio 4.150 m, stazza lorda 1400 t, velocità massima 13.5 nodi, autonomia 40 giorni;
- GGS Atlantic: lunghezza 52 m, larghezza 12.5 m, stazza lorda 1151 t, velocità massima 7.5 nodi.

Sistema di ricezione

Il sistema di ricezione è costituito da una serie di idrofoni contenuti in un cavo galleggiante (*streamer*) in neoprene di 6-8 cm di diametro e di lunghezza variabile (può raggiungere i 10 km), trainato a poppa della nave sismica.

Lo *streamer*, posizionato a profondità prestabilita (variabile in genere tra i 5-10 m), è costituito da "sezioni attive", che contengono gli idrofoni, separate da "sezioni inerti"; la parte terminale di ogni *streamer* termina con una boa galleggiante (*Tail Buoy*) dotata di segnalatore di posizione.

Gli idrofoni ricevono il segnale riflesso sotto forma di onda di pressione che si trasmette nell'acqua e lo convertono in forma di segnale elettrico.

Sorgente artificiale

Come menzionato sopra, gli airgun non sono altro che array di tubi d'acciaio che vengono riempiti con aria compressa e poi svuotati di colpo producendo così delle grosse bolle d'aria subacquee che, quando implodono, producono suoni di fortissima intensità e bassissima frequenza. Gli airgun e l'esplorazione geosismica sono considerati la dinamite del nuovo millennio. Ogni 9-12 secondi un'esplosione è trasmessa in mare, ininterrottamente, per intervalli di tempo anche piuttosto lunghi (mesi). I livelli di immissione sonora superano 260 dB re 1 μPa @ 1 m¹ e sono di solito a frequenze basse e bassissime.

Gli air-gun vengono disposti sempre in batteria, dalla geometria variabile a seconda del tipo di onda che si vuole generare, in quanto attraverso la geometria si è in grado di direzionare l'onda elastica verso l'obiettivo prescelto e attenuare gli effetti di onde secondarie. Le batterie (array) in genere sono composte da più air-gun disposti su una o più file (sub-array) posizionate ad una profondità di 5-10 metri.

Il volume tipico di aria espulso da un airgun varia da 30 in³ a 800 in³ mentre per una batteria di airgun il volume complessivo va da 3000 a 8000 in³; ogni esplosione di un singolo volume d'aria contenuta in un airgun produce una bolla d'aria che si espande creando un fronte di pressione nell'acqua circostante, il quale si propaga seguendo le leggi della propagazione sferica.

¹ In acustica subacquea ogni qual volta si riporta il valore di *sound pressure level* (o *sound intensity level*) alla sorgente (*SL*), deve essere espressa non solo la pressione di riferimento ma anche la distanza alla quale essa è stata misurata, che in genere corrisponde alla distanza standard di 1 m.

Il fatto che nelle prospezioni geofisiche l'impulso sonoro sia parzialmente diretto verso il fondale, e quindi limitato nella sua diffusione in mare, ne riduce gli effetti immediati. Ciononostante, gli schemi di trasmissione sonora nel mare, che dipendono da una molteplicità di fattori, spesso poco prevedibili, e la loro modalità operativa (trasetti), causa l'insonificazione pressoché costante di vaste aree.

2.3 La propagazione del suono in ambiente marino

A prescindere dalle caratteristiche tecniche della sorgente sonora, in mare riveste particolare importanza il modo in cui si propaga il suono nell'immediato intorno della sorgente e come se ne modificano le caratteristiche via via che ci si allontana da essa. Infatti, i principali fattori che influiscono sui modi di propagazione sono la temperatura, la densità dell'acqua (che dipende dalla sua salinità) e la pressione. I fattori limite sono la superficie e il fondale, le cui caratteristiche sono fondamentali per determinare il modo in cui il fronte dell'onda sonora si riflette e quanto invece viene assorbito o rifratto dall'interfaccia tra i diversi mezzi. Di norma, nelle immediate vicinanze della sorgente (*near field*), la trasmissione sonora è caotica e non è facile descriverla. Appena superato il *near field*, la trasmissione obbedisce di solito alle regole della propagazione sferica, mentre appena interferisce con superficie e fondale la propagazione diventa cilindrica. La sua attenuazione (*transmission loss*, TL) passa da un fattore $20 \log R$ (R =distanza tra sorgente e ricevitore) a $10 \log R$. Inoltre, ogni frequenza si attenua nel suo viaggio tra sorgente e ricevitore in maniera diversa, dove vale che le frequenze più basse (ossia quelle con la maggior lunghezza d'onda, infatti $\lambda=c/u$, dove λ è la lunghezza d'onda, c è la velocità del suono in mare e u è la frequenza) si attenuano meno rispetto a quelle più alte (che hanno quindi lunghezze d'onda più corte). Quindi, una volta determinati sperimentalmente i profili di temperatura, salinità e profondità dell'area in cui si vuole operare, si calcola dapprima la velocità del suono reale. In seguito, si applicano modelli di propagazione che servono per poter predire dove e come si avranno i picchi di intensità sonora e quali saranno i rischi ambientali che si corrono. Proprio nella scelta e nell'applicazione dei diversi modelli di propagazione risiede una delle maggiori difficoltà nella valutazione del rischio acustico. Esistono, infatti, vari algoritmi di simulazione per il TL: quelli che si basano sulla teoria dei raggi (dipendono dalla distanza), quelli che non dipendono dalla distanza (modelli a modo normale, modelli a espansione multicanale e modelli a campo veloce) e, di nuovo, quelli che dipendono dalla distanza e dalle equazioni paraboliche. Inoltre,

specificamente alla geosismica, è da ritenersi fondamentale considerare nei modelli di trasmissione quelle che sono le caratteristiche del fondale, sia per quanto riguarda la capacità di riflessione, sia per quanto invece attiene alla sua capacità di trasmissione del suono (shear waves, Raleigh waves). Un esempio di modello in software libero spesso utilizzato è quello del RAMsGeo (Curtin Springs Univ.), che tiene conto sia della distanza che delle caratteristiche di densità o fluidità del fondale e che appare particolarmente adatto alle stime di propagazione in fondali compresi entro la scarpata continentale.

2.4 Indagini 2D – 3D – 4D

Esistono due tipologie di rilevamento sismico: quella a due dimensioni (2D), in cui l'elaborazione dei dati rilevati fornisce come risultato un profilo geologico, e quella tridimensionale (3D), in cui l'elaborazione dei dati rilevati fornisce un'immagine tridimensionale.

La complessità dell'immagine varia in funzione della quantità di dati disponibili, che a sua volta dipende dal numero di misurazioni effettuate; nel caso della sismica 2D, è utilizzata una batteria di air-gun e gli streamer (che contengono gli idrofoni) sono distanti tra loro un chilometro o più; diversamente, nel caso della sismica 3D, sono utilizzate 2 batterie di array e gli streamer sono distanti tra loro da 25 a 100 m.

Il 3D è un metodo più complesso, che comporta maggiori investimenti, un maggiore impatto sull'ambiente dovuto a una maggiore immissione di suoni, nonché apparecchiature di rilevamento più sofisticate. Nel campo delle prospezioni sono spesso impiegati rilievi 2D su vasta area, per poi concentrare i rilievi 3D su un'area più ristretta reputata di maggiore interesse.

Infine, vi sono i sondaggi 4D (o *time-lapse* 3D), costituiti da analisi 3D ripetute all'interno della stessa zona per un periodo prolungato. Questi sono utilizzati per ottenere immagini funzionali a documentare come il serbatoio di idrocarburi cambi nel tempo in relazione alla produzione, al fine di massimizzare il recupero di idrocarburi dal sito stesso.

3. Effetti sui mammiferi marini

Le prospezioni geofisiche sono incluse fra le attività antropiche a potenziale rischio acustico in quanto responsabili dell'introduzione di rumore in ambiente marino. Il concetto di inquinamento acustico, infatti, che fino a pochi anni fa era riservato esclusivamente all'ambiente subaereo, è stato esteso all'ambiente acquatico quando si è giunti alla certezza che alcuni suoni antropogenici hanno effetti negativi su diversi *phyla* di organismi, in particolare sui cetacei. Questi ultimi infatti comunicano, navigano, si orientano e individuano le prede grazie al suono. Le diverse specie di cetacei emettono suoni in specifici *range* di frequenza utilizzando dei veri e propri canali comunicativi in cui viaggiano le informazioni.

L'esposizione al rumore di origine antropica può produrre un'ampia gamma di effetti sugli organismi acquatici (vedi Tab.3), in particolare sui mammiferi marini. Un suono di basso livello può essere udibile ma non produrre alcun effetto visibile, viceversa può causare il mascheramento dei segnali acustici e indurre l'allontanamento degli animali dall'area esposta al rumore. Aumentando il livello del suono, gli animali possono essere soggetti a condizioni acustiche capaci di produrre disagio o stress fino ad arrivare al danno acustico vero e proprio con perdita di sensibilità uditiva, temporanea o permanente. L'esposizione a rumori molto forti, come le esplosioni a breve distanza, può addirittura produrre danni fisici permanenti ad altri organi oltre a quelli uditivi e può in alcuni casi portare al decesso del soggetto colpito.

Tab.3 Potenziale impatto del rumore in ambiente marino (Fonte: Jasny *et al.*, 2005). Sono evidenziati gli effetti fisiologici (danni a livello del sistema uditivo, di altri organi e/o tessuti, effetti legati allo stress), comportamentali, percettivi, cronici e gli effetti indiretti che possono verificarsi a livello della fauna acquatica.

Impatto	Tipo di danno
<p>Fisiologico</p> <p><i>Non uditivo</i></p> <p><i>Uditivo</i></p>	<p>Danni ai tessuti corporei (emorragie interne, rottura del tessuto polmonare)</p> <p>Embolia (e altri sintomi legati alla malattia da decompressione)</p> <p>Danni al sistema uditivo (rottura della finestra ovale o rotonda alla soglia dell'orecchio interno che può risultare letale; rottura del timpano)</p> <p>Effetti vestibolari (vertigini, disorientamento, perdita dell'equilibrio)</p> <p>Diminuzione permanente della capacità uditiva (PTS – innalzamento permanente)</p>

<i>Legato allo stress</i>	<p>del livello di soglia)</p> <p>Diminuzione temporanea della capacità uditiva (TTS – innalzamento temporaneo del livello di soglia)</p> <p>Vitalità compromessa degli individui</p> <p>Soppressione del sistema immunitario e maggiore vulnerabilità a malattie</p> <p>Diminuzione del tasso riproduttivo</p>
Comportamentale	<p>Spiaggiamento</p> <p>Interruzione di comportamenti abituali (alimentazione, riproduzione, etc.)</p> <p>Perdita di efficienza nell'accoppiamento (richiami meno efficienti) e nell'alimentazione (immersioni meno produttive)</p> <p>Antagonismo nei confronti di altri animali</p> <p>Allontanamento dall'area (a breve o lungo termine)</p>
Percettivo	<p>Mascheramento dei segnali acustici necessari alla comunicazione con gli altri membri della stessa specie</p> <p>Mascheramento di altri suoni biologicamente importanti, come quelli emessi dai predatori</p> <p>Interferenza con la capacità di ecolocalizzazione</p>
Cronico	<p>Impatti cumulativi e sinergici</p> <p>Ipersensibilità al rumore</p> <p>Assuefazione al rumore (gli animali rimangono nelle vicinanze di livelli di suono dannosi)</p>
Effetti indiretti	<p>Degradazione della qualità e della disponibilità di habitat</p> <p>Disponibilità ridotta di prede</p>

L'effetto fondamentale di un trauma acustico consiste nella diminuzione della capacità uditiva che si manifesta come innalzamento della soglia di sensibilità (innalzamento temporaneo (TTS) o permanente (PTS) del livello di soglia) che corrisponde ad una perdita di sensibilità uditiva. Tuttavia, l'esposizione al rumore può esercitare un effetto negativo sui cetacei anche se al di sotto dei livelli che provocano perdita di sensibilità uditiva. La continua esposizione a rumori di basso livello può avere ripercussioni sul comportamento e sul benessere psicofisico dei mammiferi marini provocando un impatto a lungo termine sulle popolazioni.

Diversi studi hanno messo in evidenza l'impatto comportamentale e fisiologico che l'airgun può esercitare sui mammiferi marini.

Lo studio di Goold (1996), volto a monitorare un gruppo di delfini comuni (*Delphinus delphis*) prima, durante e dopo le prospezioni sismiche nel mare d'Irlanda, ha rilevato un evidente allontanamento della specie oggetto dello studio dall'area monitorata. Allo stesso modo, una ricerca simile, effettuata sui piccoli cetacei nel mare d'Irlanda (Evans et al., 1996), ha registrato un significativo calo nel numero di tursiopi (*Tursiops truncatus*), suggerendo l'abbandono dell'area soggetta ad attività sismiche da parte di un cospicuo numero di individui.

Gli spiaggiamenti di Zifidi in California e di megattere lungo la costa brasiliana nel 2002 (Engel et al., 2004), registrati poco dopo l'esecuzione di indagini geofisiche, così come l'allontanamento delle balene grigie dal loro habitat al largo delle coste russe nel 2001, hanno sicuramente contribuito ad innalzare il livello di allarme nei confronti di tali esplorazioni.

Uno studio di Parente *et al.* (2007) ha rilevato l'esistenza di una possibile relazione tra la diversità di specie di cetacei presenti in una determinata area e le attività sismiche che insistono sulla stessa. Lo studio, nel corso del quale gli autori hanno rilevato una significativa diminuzione nella diversità di specie concomitante all'aumento del numero delle prospezioni geofisiche, suggerendo la diversità di specie come indicatore a lungo termine dell'impatto di attività sismiche sui cetacei, ha riguardato le acque brasiliane per il periodo 1999 – 2004.

Mann et al. (2010) riportano tra i fattori principali che contribuiscono alla perdita di udito nel tursiope, essenziale per la sopravvivenza della specie, il rumore cronico sottomarino (quello generato dal traffico marittimo) e i disturbi transitori intensi (quali ad esempio le esplosioni e il rumore generato dagli airgun).

In particolare, si ritiene che i cetacei che fanno uso di suoni a bassa frequenza per le loro comunicazioni siano la categoria più esposta a rischi in quanto capaci di percepire maggiormente i suoni prodotti dagli airgun. I capodogli sono ritenuti specialisti delle basse frequenze con la migliore sensibilità dell'udito al di sotto di 3 kHz (Ketten, 2000), a differenza dei piccoli Odontoceti che prediligono le frequenze 30 kHz-120 kHz e risultano piuttosto insensibili ai suoni a bassa frequenza.

Sebbene alcuni studi in letteratura riportino come i capodogli riescano a rilevare gli impulsi sismici con livelli ricevuti tra 136-146 dB re 1 μ Pa (Madsen et al. 2002), altri sembrano evidenziare una maggiore sensibilità di questi animali. In uno studio di Mate et al. (1994), effettuato nel Golfo del Messico, i capodogli hanno esibito una *avoidance reaction* agli impulsi sismici allontanandosi di oltre 50 km dalla zona esposta al rumore, a dimostrazione di un'insofferenza a livelli di rumore ben inferiori a quelli sopra citati. Bowles et al. (1994) hanno invece dimostrato la tendenza dei capodogli a cessare i loro *click* (sistemi di segnali sonori per l'ecolocalizzazione e la socializzazione), interrompendo l'attività di *feeding* (alimentazione) in risposta agli impulsi sismici emessi da una nave a più di 300 km di distanza con livelli ricevuti di 115dB re 1 μ Pa.

Uno studio effettuato nel 2008 nel Golfo del Messico ha rilevato come l'attività di *feeding* nei capodogli subisca una diminuzione del 20% in presenza di airgun attivi (Jochens et al. 2008). Altri esperimenti, condotti nella medesima area, hanno registrato l'esposizione acustica e il comportamento di otto capodogli prima durante e dopo l'esposizione al rumore generato da una serie di airgun posizionati a distanze note dai cetacei. Inaspettatamente, tali esperimenti non hanno evidenziato reazioni di allontanamento dal rumore, ma hanno indicato piuttosto una spiccata sensibilità del capodoglio a livelli di rumore anche molto bassi a causa degli effetti sub letali che si verificano a livello dell'attività di ricerca del cibo (*foraging*), notevolmente ritardata in presenza di airgun attivi (Miller et al., 2009). E' da rilevare che impatti su attività fondamentali per i mammiferi marini, quali *socializing* (socializzazione), *resting* (riposo), accoppiamento, *feeding* e *nursing* (cure parentali), possono generare effetti negativi anche gravi con ripercussioni a lungo termine a livello di popolazioni.

Diversi autori hanno sottolineato come attività cruciali per la specie che gli animali svolgono nel momento in cui sono esposti al rumore e che non possono essere trasferite altrove, quali il *feeding* in zone di alimentazione chiave, possano ritardare la reazione al disturbo (allontanamento) provocato dalla sorgente sismica attiva, spiegando così la presenza di cetacei in alcune zone oggetto di prospezioni geofisiche. Quanto sopra andrebbe attentamente valutato nel considerare le misure di mitigazione da mettere in atto a tutela delle specie minacciate.

Allo stesso modo andrebbero valutati gli eventuali impatti cumulativi che possono verificarsi a seguito di indagini sismiche contemporanee in aree limitrofe. Uno studio di Gordon et al. (1998) evidenzia come survey multipli sarebbero in grado di interrompere rotte migratorie e disturbare

zone di alimentazione chiave. Richardson et al. (1995) riportano come effetto a breve termine l'allontanamento dall'area ed evidenziano come un'esposizione prolungata possa portare nel lungo termine all'assuefazione al rumore generato dagli airgun.

L'impatto cumulativo che potrebbe verificarsi in aree dove insistono diverse attività antropiche che generano rumore (piattaforme petrolifere di estrazione, traffico navale, pesca, ricerca scientifica) rimane, invece, di difficile valutazione in quanto ancora poco compreso. Tuttavia, si ritiene che il limite spaziale e temporale delle suddette attività sia tale da rendere trascurabile la comparsa di eventuali effetti cumulativi (Irish Dept. Of Communication, Energy and Natural Resources, 2007).

Non va infine trascurato il sinergismo del rumore subacqueo con altri fattori che possono influenzare negativamente i mammiferi marini. Nella relazione del Dott. Mazzariol (Dipartimento di Sanità Pubblica, Patologia Comparata e Igiene Veterinaria dell'Università di Padova), inerente allo spiaggiamento di sette esemplari di capodoglio sul litorale pugliese tra il 10 e il 15 dicembre 2009, si evidenzia come il fenomeno possa attribuirsi ad una condizione multifattoriale, come spesso viene suggerito nei lavori scientifici che riportano eventi simili. La complicità di fattori ecologici (profondità), biologici (inesperienza del gruppo), sociali (aggregazione), patologici e tossicologici (alterazione del sensorio e immunocompromissione di origine chimica), uniti a fattori antropici, come il rumore generato dagli airgun nel corso di attività sismiche, può aver determinato nei capodogli l'impossibilità ad orientarsi, il conseguente digiuno ed il loro successivo spiaggiamento.

4. Effetti su altri organismi marini

Le frequenze emesse dall'airgun (20-150 Hz) rientrano nel range uditivo dei pesci (50-3000 Hz) e sono, dunque, da ritenersi potenzialmente responsabili di disturbi comportamentali e fisiologici anche a livello della fauna ittica.

Uno studio di McCauley *et al.* (2003) riporta danni all'orecchio interno di alcune specie di pesci (*Pagrus auratus*) esposti al rumore degli airgun, tali da comprometterne l'apparato acustico. Spesso queste lesioni sono in parte recuperabili (nel caso in studio le funzionalità venivano parzialmente recuperate dopo 58 giorni), ma logicamente provocano nei pesci una diminuzione

della fitness con conseguente vulnerabilità ai predatori nonché una diminuzione delle capacità di procacciarsi il cibo e di comunicazione con altri individui.

Pearson *et al.* (1992) hanno studiato gli effetti del rumore prodotto dagli airgun sul comportamento di alcuni scorfani (*Sebastes* sp.), rilevando negli animali delle reazioni di allarme (cambiamenti di direzione e di velocità del nuoto) che tendevano a permanere per circa 60 minuti dopo lo spegnimento della sorgente.

Sembra, inoltre, che vi siano effetti anche sulle attività di pesca (diminuzione del pescato), ma i risultati sono controversi. Alcuni studi hanno dimostrato una diminuzione nella cattura di pesci, anche dopo giorni dal termine delle operazioni, oltre che una diminuita disponibilità di uova, probabilmente causata dalla prolungata esposizione di specie ittiche a suoni a bassa frequenza (Engas *et al.* 1996; Hirst *et al.*, 2000; Wardle *et al.*, 2001). Pickett *et al.* (1994) non hanno, invece, evidenziato differenze significative nelle catture durante le prospezioni sismiche.

Survey acustici condotti simultaneamente a prospezioni geofisiche, seppur non rilevando effetti a breve termine sulla distribuzione orizzontale degli organismi (Slotte *et al.*, 2004; La Bella *et al.*, 1996), hanno indicato cambiamenti nella distribuzione verticale di varie specie di pesci (tendenza a rimanere a profondità maggiori) e una diminuzione nella densità di aggregazione all'interno dell'area soggetta a prospezione. Tuttavia, lo studio di La Bella *et al.* condotto in Adriatico non ha rilevato differenze significative nel numero di catture prima e dopo il survey sismico.

Per quanto concerne gli effetti delle prospezioni geofisiche su uova e larve di pesci, Payne *et al.* (2009) hanno riportato l'esito di un esperimento volto a monitorare eventuali effetti a breve termine dell'airgun su uova fecondate e larve di alcune specie, sottolineando l'assenza di differenze significative in termini di mortalità negli organismi esposti rispetto ai controlli durante i primi 4 giorni di esposizione. I dati disponibili in letteratura sembrano indicare che la mortalità di uova e larve di pesci si verifichi solo quando queste ultime si trovano a brevi distanze dalla sorgente sismica (Kostyuchenko, 1973).

Pochissimi sono i dati disponibili circa gli eventuali effetti che possono riscontrarsi a livello delle tartarughe marine. Diversi studi hanno evidenziato atteggiamenti di allarme o di fuga come reazione immediata agli impulsi sonori emessi dagli airgun (McCauley *et al.*, 2000; Lenhardt, 2002; Moein *et al.*, 1994), mentre i risultati di monitoraggi effettuati durante survey sismici hanno evidenziato risultati controversi. Ciononostante, diversi autori riportano un numero maggiore di

avvistamenti di tartarughe nei periodi di non attività (Weir, 2007; Hauser et al., 2008; Holst and Smultea 2008).

Per quanto concerne gli invertebrati marini, gli studi a oggi disponibili rimangono piuttosto scarsi. Tuttavia, alcune ricerche condotte in Canada (Christian *et al.*, 2003; DFO, 2004) hanno evidenziato come l'esposizione ad airgun possa provocare danni anche nei granchi della specie *Chionoecetes opili*. Sebbene non si fosse osservato un aumento della mortalità degli organismi e/o delle larve nel breve termine, sono stati osservati danni ai tessuti e agli organi riproduttivi che hanno portato a una diminuzione del successo riproduttivo e della produzione di uova nel lungo termine.

È stata verificata inoltre la correlazione tra la produzione di suoni di elevata potenza generati durante indagini geofisiche condotte nel 2001 e nel 2003 e lo spiaggiamento di calamari giganti sulle coste spagnole nei quali sono stati osservati danni ad organi interni (MacKenzie, 2004).

5. Livelli sonori critici

I dati allarmanti scaturiti dalle ricerche effettuate negli ultimi anni circa gli effetti del rumore antropico sui cetacei, e la conseguente necessità di mettere in atto una regolamentazione del rumore subacqueo, hanno portato diversi studiosi all'elaborazione e alla identificazione di criteri e valori di esposizione al rumore volti alla tutela dei mammiferi marini.

Il *National Marine Fishery Service* (NMFS) ha adottato criteri di sicurezza in termini di limiti massimi di esposizione (dB re 1 μ Pa) per diverse categorie di mammiferi marini, indicando la necessità dello spegnimento della sorgente qualora i limiti vengano superati. In generale, il NMFS assume che ogni categoria di mammiferi marini potrebbe subire danni fisiologici se esposta a intensità superiori a 160 dB re 1 μ Pa per i suoni impulsivi e di 120 dB re 1 μ Pa per i suoni continui, non impulsivi. Occorre però tenere conto del fatto che tale valore rappresenta esclusivamente un dato indicativo basato sui dati raccolti da Malme *et al.* (1983) inerenti agli effetti del rumore antropico sulla migrazione della balena grigia e, quindi, da ritenersi valido esclusivamente per le specie presenti nell'area oggetto di studio.

In uno studio di Kastelein *et al.* (2006), il potenziale impatto acustico sui mammiferi marini viene per la prima volta valutato attraverso la definizione della cosiddetta *acoustic discomfort zone* (zona di disturbo acustico). Nel definire la zona di sicurezza, gli autori tengono conto di potenziali impatti comportamentali (i.e. allontanamento da habitat critici) piuttosto che di impatti fisici (TTS, PTS, ecc.) sugli animali oggetto dello studio (*Phoca vitulina*), evidenziando come l'abbandono di aree ecologicamente importanti per aree meno favorevoli possa incidere a lungo termine sulle dimensioni di popolazione. Lo studio mostra come il limite di esposizione stabilito dal NMFS sia di gran lunga più alto del valore soglia del disturbo acustico determinato (107 dB re 1 μ Pa), suggerendo un nuovo metodo per future valutazioni di impatto sui mammiferi marini.

Il lavoro pubblicato da Southall *et al.* nel 2007 rappresenta il lavoro più recente e aggiornato in cui sono riportati i valori soglia del rumore oltre i quali si possono verificare effetti negativi a livello dei mammiferi marini. Nel definire tali valori si è tenuto conto: i) delle diverse caratteristiche dei rumori di origine antropica - suoni a impulsi singoli, impulsi multipli e suoni non impulsivi (Tab.4);

ii) delle caratteristiche acustiche delle diverse specie di mammiferi marini - cetacei a bassa, media e alta frequenza (Tab.5) e iii) di tre tipologie di effetti biologici legati all'esposizione al rumore (perdita temporanea TTS o permanente PTS di sensibilità uditiva e disturbi comportamentali).

Tab.4 Tipo di suono, caratteristiche acustiche (alla sorgente) ed esempi di sorgenti sonore antropiche (Fonte: Southall *et al.*, 2007)

Sound type	Acoustic characteristics (at source)	Examples
Single pulse	Single acoustic event; > 3-dB difference between received level using impulse vs equivalent continuous time constant	Single explosion; sonic boom; single airgun, watergun, pile strike, or sparker pulse; single ping of certain sonars, depth sounders, and pingers
Multiple pulses	Multiple discrete acoustic events within 24 h; > 3-dB difference between received level using impulse vs equivalent continuous time constant	Serial explosions; sequential airgun, watergun, pile strikes, or sparker pulses; certain active sonar (IMAPS); some depth sounder signals
Nonpulses	Single or multiple discrete acoustic events within 24 h; < 3-dB difference between received level using impulse vs equivalent continuous time constant	Vessel/aircraft passes; drilling; many construction or other industrial operations; certain sonar systems (LFA, tactical mid-frequency); acoustic harassment/deterrent devices; acoustic tomography sources (ATOC); some depth sounder signals

Tab.5 I tre gruppi di mammiferi marini (cetacei a bassa, media ed alta frequenza) suddivisi a seconda delle caratteristiche acustiche (Fonte: modificato da Southall *et al.*, 2007)

Functional hearing group	Estimated auditory bandwidth	Genera represented (Number species/subspecies)	Frequency-weighting network
Low-frequency cetaceans	7 Hz to 22 kHz	<i>Balaena, Caperea, Eschrichtius, Megaptera, Balaenoptera</i> (13 species/subspecies)	M _{lf} (lf: low-frequency cetacean)
Mid-frequency cetaceans	150 Hz to 160 kHz	<i>Steno, Sousa, Sotalia, Tursiops, Stenella, Delphinus, Lagenodelphis, Lagenorhynchus, Lissodelphis, Grampus, Peponocephala, Feresa, Pseudorca, Orcinus, Globicephala, Orcaella, Physeter, Delphinapterus, Monodon, Ziphius, Berardius, Tasmacetus, Hyperoodon, Mesoplodon</i> (57 species/subspecies)	M _{mf} (mf: mid-frequency cetaceans)
High-frequency cetaceans	200 Hz to 180 kHz	<i>Phocoena, Neophocaena, Phocoenoides, Platanista, Inia, Kogia, Lipotes, Pontoporia, Cephalorhynchus</i> (20 species/subspecies)	M _{hf} (hf: high-frequency cetaceans)

In Tabella 6 si riportano i valori soglia per i diversi tipi di suono che originano le prime significative risposte comportamentali nei diversi gruppi di cetacei, mentre le Tabelle 7 e 8 riportano i valori soglia elaborati per la perdita permanente (PTS) e temporanea (TTS) di sensibilità uditiva.

Volendo definire dei valori soglia specifici per le attività sismiche, il lettore è tenuto a fare riferimento ai valori definiti per rumori a impulsi multipli. La variabilità del dato riportato in Tab. 6 tiene conto della significativa variabilità nelle risposte comportamentali dei mammiferi marini esposti a suoni a impulsi multipli, come si evince dagli studi riportati in letteratura. A titolo di esempio, cetacei di media frequenza quali il capodoglio, potrebbero accusare disturbi comportamentali dovuti all'attività sismica già per livelli di rumore ricevuto pari a 90 dB re: 1 μ Pa.

Tab.6 Valori soglia per diversi tipi di rumore (impulsi singoli, multipli e non impulsivi) capaci di causare le prime significative risposte comportamentali in diverse specie di mammiferi marini (Modificato da Southall *et al.* 2007, pp 456-460)

Valori soglia per Impulsi singoli (tipo battipali):
Sound exposure levels SEL: 183 dB re: 1 μ Pa ² -s
Valori soglia per Impulsi multipli (tipo survey geosismici):
Cetacei bassa frequenza: 120 dB re: 1 μ Pa RL (RMS/pulse duration)
Cetacei media frequenza: 90-180 dB re: 1 μ Pa RL (RMS/pulse duration)
Cetacei alta frequenza: non applicabile
Valori soglia per rumori non impulsivi (tipo perforazione, navi etc):
Cetacei bassa frequenza: 100-110 dB re: 1 μ Pa RMS SPL
Cetacei media frequenza: 110-120 dB re: 1 μ Pa RMS SPL
Cetacei alta frequenza: 140-150 dB re: 1 μ Pa RMS SPL

Tab.7 Valori soglia per mammiferi marini esposti a diversi tipi di rumore (impulsi singoli, multipli e non impulsivi) capaci di originare perdita permanente (PTS) di sensibilità uditiva (*injury criteria*) (Modificato da Southall *et al.* 2007)

Marine mammal group	Sound type		
	Single pulses	Multiple pulses	Non-pulses (includes continuous noise)
Low-frequency cetaceans			
Sound pressure level	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	215 dB re: 1 μ Pa ² -s
Mid-frequency cetaceans			
Sound pressure level	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	215 dB re: 1 μ Pa ² -s
High-frequency cetaceans			
Sound pressure level	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	198 dB re: 1 μ Pa ² -s	215 dB re: 1 μ Pa ² -s

Tab.8 Valori soglia per mammiferi marini esposti a diversi tipi di rumore (impulsi singoli, multipli e non impulsivi) capaci di originare perdita temporanea (TTS) di sensibilità uditiva (Modificato da Southall *et al.* 2007)

Marine mammal group	Sound type		
	Single pulses	Multiple pulses	Non-pulses
Low-frequency cetaceans			
Sound pressure level	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	195 dB re: 1 μ Pa ² -s
Mid-frequency cetaceans			
Sound pressure level	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	195 dB re: 1 μ Pa ² -s
High-frequency cetaceans			
Sound pressure level	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak)(flat)
Sound exposure level	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	183 dB re: 1 μ Pa ² -s	195 dB re: 1 μ Pa ² -s

6. Misure di mitigazione

Le specie di cetacei che frequentano i nostri mari sono inserite nelle liste rosse dell'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura) in categorie che evidenziano la necessità di maggiori informazioni e/o di urgenti azioni di conservazione e protezione (IUCN, 2006). Molte specie sono incluse in Direttive, Convenzioni e Accordi di carattere internazionale per la protezione degli habitat, delle specie e della biodiversità (CBD, Direttiva Habitat, Convenzione di Bonn, CITES, Convenzione di Barcellona protocollo ASPIM, IWC) che sono state ratificate dal Governo Italiano. Inoltre, l'Italia ha aderito a due importanti accordi internazionali per la conservazione dei cetacei quali l'accordo ACCOBAMS (Accordo per la Conservazione dei Cetacei del Mar Nero, del Mediterraneo e delle Zone Atlantiche Adiacenti) ed il Santuario Pelagos, impegnandosi così a mantenere uno stato ottimale di conservazione delle popolazioni di cetacei nelle aree interessate da tali accordi.

Anche la nuova Strategia per l'ambiente marino (2008/56/EC - *Marine Strategy Framework Directive*), ratificata dall'Italia con il Dlgs 190/2010, prevede il mantenimento della Diversità Biologica marina, oltre a specifici programmi di monitoraggio (Art. 11) per la valutazione dello stato dell'ambiente sulla base di specifici elementi, fra i quali i mammiferi marini.

In mancanza di una normativa specifica che regolamenti le varie forme di emissioni acustiche in mare, appare evidente come le misure di mitigazione da mettere in atto a tutela dei mammiferi marini assumano un ruolo di primissimo piano. Di seguito, sono descritte le diverse tipologie di misure di mitigazione che possono essere selezionate a seconda della fonte del rumore e del contesto ambientale in cui sono svolte le attività che generano rumore.

Tab.9 Misure di mitigazione del rumore in ambiente marino (modificato da Jasny *et al.*, 2005). Per ciascun tipo di mitigazione sono indicate le diverse metodologie.

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

A livello internazionale sono state sviluppate diverse linee guida o raccomandazioni sulle possibili misure di mitigazione da adottare nel corso di attività che introducono rumore in ambiente marino.

In **Allegato III** si riporta un estratto del documento redatto dal CIBRA (Centro Interdisciplinare di Bioacustica) di Pavia per ACCOBAMS, che raccoglie raccomandazioni e linee guida volte a minimizzare l'impatto delle attività che generano rumore sulla fauna marina. In particolare, si riporta la sua sezione generale, con raccomandazioni valide per tutte le attività antropiche, la sezione pratica, che illustra in dettaglio alcune procedure operative e, infine, la sezione speciale dove si indicano misure aggiuntive da mettere in atto nel caso specifico delle prospezioni geofisiche.

L'**Allegato IV** riporta, invece, un estratto delle linee guida sviluppate dal *Joint Nature Conservation Committee* (JNCC) di Aberdeen (UK) - *JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys* (agosto 2010) - che fornisce indicazioni precauzionali da adottare nella fase di pianificazione, in quella operativa e di *reporting* dell'indagine geofisica.

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

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

- Il soft start deve essere effettuato ogni qualvolta vengono attivati gli airgun, a prescindere dalla presenza di mammiferi marini nell'area.

Da rilevare un'unica sostanziale differenza procedurale nel caso in cui mammiferi marini sono avvistati all'interno dell'area di sicurezza a sorgente sismica attiva. Mentre le linee guida inglesi non prevedono lo spegnimento della sorgente del rumore, ma esclusivamente il monitoraggio degli animali; le linee guida ACCOBAMS raccomandano l'immediata riduzione dell'intensità della sorgente o la cessazione della stessa nel caso in cui gli animali continuino ad avvicinarsi.

Le suddette linee guida sono state più volte riviste e aggiornate, anche sulla base dell'esperienza acquisita sul campo, al fine di garantire una maggiore tutela della fauna marina e, in particolare, dei cetacei e rappresentano, a oggi, l'unica forma di regolamentazione delle prospezioni geofisiche in mare adottata a livello internazionale.

Tuttavia, è doveroso sottolineare che alcune delle misure di mitigazione utilizzate, quali la creazione di una zona di sicurezza/esclusione ed i survey da mettere in atto prima dell'inizio attività, sono risultate poco efficienti soprattutto in presenza di zifidi o capodogli, noti per compiere immersioni profonde. La possibilità, infatti, che un osservatore avvisti uno di questi animali all'interno dell'area di impatto acustico è talmente bassa da rendere questo approccio inefficace. Come riportato sopra, le linee guida attuali hanno cercato di ovviare a questo problema estendendo il periodo di ricerca da 30 a 60 minuti in acque profonde. Inoltre, le valutazioni del rischio associato alle operazioni geofisiche sono tuttora piuttosto problematiche in quanto rimane sconosciuto l'esatto meccanismo attraverso il quale il rumore provoca gli spiaggiamenti di questa specie ed i livelli sonori a cui si verificano tali effetti (Barlow et al, 2006).

Altre misure, come la tecnica del *ramp up* o *soft start*, che presuppone l'allontanamento degli animali più sensibili dall'area esposta al rumore, mancano ancora di una validazione scientifica per poterne valutare l'efficacia. Come già evidenziato all'interno di questo documento, uno studio di Miller *et al.* (2009) ha ampiamente dimostrato la tendenza del capodoglio a non spostarsi dalla zona di impatto acustico nonostante il *ramp up*.

Recenti studi su capodogli esposti al rumore prodotto dagli airgun (Madsen et al., 2006; DeRuiter et al., 2006) hanno inoltre dimostrato come la propagazione sonora sia molto più complicata di quella generalmente rappresentata nei modelli. L'impatto acustico potrebbe verificarsi a distanze maggiori di quelle previste e ben oltre l'area di mare che gli osservatori a bordo nave possono efficacemente monitorare. Gli stessi studi hanno anche evidenziato un'esposizione inaspettata

degli animali alle alte frequenze. Nonostante gli airgun producano principalmente suoni di frequenza inferiore a 250 Hz, è stato dimostrato come gli stessi siano capaci di produrre anche frequenze superiori a 500 Hz che viaggiano preferenzialmente negli strati superficiali della colonna d'acqua, mettendo così a rischio anche specie di odontoceti (cetacei a media o alta frequenza) che, per le loro caratteristiche acustiche, si ritenevano poco sensibili al rumore prodotto dalle prospezioni geofisiche.

Alla luce di quanto sopra, stanno emergendo negli ultimi anni approcci sempre più cautelativi per il monitoraggio e la mitigazione che si ritiene necessario adottare anche nei mari italiani, soprattutto in considerazione della consistente varietà di specie di mammiferi marini che popolano i nostri mari (vedi **Allegato V**). Tali approcci includono le seguenti *best practices* da integrare nelle linee guida esistenti:

Fase di pianificazione

- la scelta dell'area da indagare non può prescindere dalle schede informative inerenti ai mammiferi marini che popolano i nostri mari, riportate in allegato al presente documento. Esse costituiscono uno strumento di supporto fondamentale per la pianificazione di prospezioni geofisiche in quanto individuano, seppur in maniera non esaustiva, le aree dove ci si può aspettare un'elevata probabilità di avvistamento cetacei e forniscono i dati a oggi disponibili circa il periodo riproduttivo e migratorio delle varie specie;
- in aggiunta alle dovute ricerche e valutazioni circa la possibile presenza di mammiferi marini nell'area da indagare, è opportuno programmare il survey sismico in maniera da evitare il periodo riproduttivo delle principali specie ittiche al fine di evitare effetti negativi sul numero di uova disponibili;
- considerazione di effetti cumulativi che potrebbero verificarsi per la presenza di altre attività impattanti (traffico marittimo, attività militari, industriali, ulteriori attività sismiche) nella stessa area di mare dove è svolta l'indagine geofisica o in una zona adiacente. A tal fine potrebbe risultare utile come strumento di supporto, lo sviluppo di un database con interfaccia GIS per tenere traccia delle principali sorgenti di rumore presenti nei nostri mari.

In particolare, qualora fossero necessarie più prospezioni sismiche in aree adiacenti, è sempre preferibile che le stesse vengano effettuate in tempi diversi e pianificate in maniera tale da tutelare eventuali mammiferi marini presenti nelle vicinanze. Nel caso in

cui le prospezioni debbano realizzarsi contemporaneamente, si ritiene necessario mantenere una distanza minima di 100 km tra le imbarcazioni sismiche in modo da garantire un'adeguata via di fuga ai mammiferi marini, che possono così allontanarsi o abbandonare l'area senza dover interrompere eventuali rotte migratorie (*Irish Dept. Of Communication, Energy and Natural Resources, 2007*).

É utile inoltre ricordare che il titolo rilasciato (permesso di prospezione) non è esclusivo; il Proponente deve quindi essere chiamato ad effettuare la verifica delle altre istanze già concesse nell'area di suo interesse e del suo intorno significativo al fine di redigere un cronoprogramma delle attività che escluda la simultaneità.

Fase di attività

- riduzione dell'intensità dell'emissione sonora;
- riduzione del numero di airgun;
- soft start prolungato: da un minimo di 30 minuti ad un massimo di 60 minuti;
- zona di esclusione più ampia dove prevedere l'immediata riduzione dell'intensità della sorgente (*power down*) o la cessazione della stessa (*shut down*) in presenza di mammiferi marini;
- considerazione di un valore soglia del rumore inferiore per evitare non solo danni fisiologici ma anche disturbi comportamentali alla fauna acquatica. A questo fine si raccomanda la consultazione dei valori soglia definiti da Southall *et al.* (2007) in grado di generare disturbi comportamentali nelle diverse classi di cetacei (cetacei a bassa, media e alta frequenza);
- monitoraggio acustico passivo (PAM) da utilizzare in condizioni di scarsa visibilità e comunque da affiancare costantemente a quello visivo. Si tratta di un sistema di idrofoni che viene calato nella colonna d'acqua per registrare i suoni emessi dai mammiferi marini, i quali vengono poi elaborati mediante software specializzato. Il PAM è fortemente raccomandato come strumento di mitigazione in quanto molto efficace nel rilevare la presenza di mammiferi marini in immersione, condizione che li rende particolarmente vulnerabili al rumore prodotto durante le prospezioni geofisiche;
- sviluppo di software specifici per l'analisi e l'elaborazione di suoni emessi dai cetacei. Negli ultimi anni ne sono stati sviluppati diversi, fra cui il Pamguard, un software *open source* sviluppato nell'ambito dell'*International Association of Oil and Gas Producers Joint Industry*

Project (JIP), per supportare l'individuazione, la localizzazione e la classificazione di mammiferi marini tramite il PAM. Il Pamguard rappresenta oggi uno strumento estremamente utile ed innovativo anche se necessita ancora di alcuni accorgimenti prima di poter diventare pienamente operativo. Si raccomanda pertanto agli utenti di tali sistemi di fornire attivamente in base all'utilizzo dello stesso per favorirne lo sviluppo e la continua messa a punto;

- verifica sul campo dei livelli di rumore e delle reali distanze di propagazione per constatare l'efficacia dell'estensione dell'area di sicurezza. Le misure devono essere ripetute ogni qualvolta cambiano le condizioni al contorno (profondità, tipo di fondale, temperatura dell'acqua, salinità, ecc.);
- qualora in condizioni particolari sorgessero incertezze circa la procedura da adottare, optare sempre per l'approccio più cautelativo.

Fase post-survey

- Gli MMO (*Marine Mammals Observers*) presenti a bordo nave sono tenuti a spedire a MATTM e ISPRA copia del report di fine attività che comprenda come minimo le seguenti informazioni:

data e luogo del survey, caratteristiche dell'array di airgun, numero e volume di ciascun airgun, numero e tipo di imbarcazioni utilizzate, durata del soft start, avvistamenti di mammiferi marini, procedure messe in atto in caso di avvistamenti, problemi incontrati durante il survey e/o in caso di avvistamento cetacei.

Si rileva, infine, la possibilità di sviluppare in futuro tecnologie alternative che utilizzino sorgenti artificiali di segnali acustici a zero impatto sull'ambiente . A titolo di esempio, si descrive in **Allegato II** il funzionamento e le caratteristiche del vibratore marino che, seppure non costituisca una tecnologia affermata e diffusa (soprattutto a causa dei suoi elevati costi), evidenzia alcuni vantaggi rispetto all'airgun che potrebbero trovare uno sviluppo futuro a garanzia di una maggiore tutela dell'ambiente marino.

7. Raccomandazioni e conclusioni

Nonostante le prospezioni geofisiche stiano diventando sempre più comuni nei mari di tutto il mondo, sono ancora moltissime le lacune e i quesiti irrisolti circa gli effetti negativi che possono determinare a livello della fauna acquatica ed in particolare dei mammiferi marini.

Ne consegue che diventa di fondamentale importanza mettere in atto tutte le possibili misure preventive e di mitigazione per minimizzarne l'impatto acustico, a maggior ragione in un mare come il Mediterraneo, noto per la sua biodiversità, ma anche per la sua estrema vulnerabilità all'inquinamento, incluso quello acustico.

Di seguito, si riportano alcune raccomandazioni che si ritiene possano ottimizzare l'efficacia delle misure di mitigazione in eventuali prospezioni geofisiche da effettuarsi nei mari italiani:

- servirsi di personale tecnico altamente specializzato, in particolare per ricoprire il ruolo di osservatore-*Marine Mammal Observer* (MMO) e di tecnico per il PAM - monitoraggio acustico passivo, per cui si richiede un'esperienza pluriennale nel campo. In particolare, MMO deve dimostrare una spiccata familiarità con le specie di cetacei presenti nei nostri mari. Per quanto concerne il PAM, molti dei sistemi oggi in uso non sono in grado di rilevare con adeguata accuratezza la distanza a cui si trovano gli animali rispetto alla sorgente del rumore; ne consegue l'importanza di affidarsi ad acustici esperti in grado di distinguere vocalizzazioni vicine da quelle provenienti da una zona sicuramente esterna all'area di sicurezza. Nella maggior parte dei casi sarà il giudizio dell'esperto a decidere se il soft start deve essere ritardato per la presenza ravvicinata di cetacei o meno.

In tutti i casi, si raccomanda che, qualora sia previsto l'utilizzo del PAM nel corso di una prospezione geofisica, il Proponente fornisca al Ministero vigilante e ad ISPRA una descrizione dettagliata del sistema e del suo funzionamento;

- assicurarsi che tutti i dati validi dal punto di vista scientifico derivanti da linee sismiche esistenti vengano, quando possibile, riutilizzati. A tal fine, è necessario che il Proponente effettui il censimento delle linee sismiche preesistenti nell'area di indagine e fornisca una valida motivazione qualora decidesse di non utilizzarle;
- pianificare almeno una visita ispettiva a bordo della nave sismica (il numero di controlli può variare in base alla durata dell'attività di prospezione) da parte del Ministero vigilante o di

ISPRA al fine di assicurare il corretto svolgimento delle attività e la messa in atto di tutte le misure di mitigazione secondo le procedure raccomandate;

- assicurarsi che il *reporting* di fine attività sia propriamente svolto e spedito al Ministero vigilante e ISPRA. Ciò può rivelarsi estremamente utile per l'individuazione di eventuali *lessons learnt* circa le misure di mitigazione adottate ed il loro possibile perfezionamento.

Bibliografia

- Barlow, J. and Gisiner, R. (2006). Mitigating, monitoring and assessing the effects of anthropogenic sound on beaked whales. *J. Cet. Res. Manage.* 7: 239-249
- Bowles A.E., Smultea M., Wursig B., De Master D.P., Palka D. (1994). Relative abundance and behavior of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island Feasibility Test. *Journal of the Acoustical Society of America* 96 (4), 2469-2484.
- Cañadas A., Sagarminada R., Garcia-Tiscar S. (2002). Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep Sea Research I* 49(11): 2053-2073.
- Christian, J.R., A. Mathieu, D.H. Thompson, D. White, and R. Buchanan (2003). Effect of Seismic Energy on Snow Crab (*Chionoecetes opilio*). Environmental Research Funds Project No. 144. Calgary, 106 p.
- DeRuiter S.L., Tyack P.L., Lin Y.T., Newhall A.E., Lynch J.F., Miller P.J.O. (2006). Modeling acoustic propagation of airgun array pulses recorded on tagged sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *J. Acoust. Soc. Am.* **120** (6) 4100-4114
- DFO, (2004). Potential Impacts of Seismic Energy on Snow Crab. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Habitat Status Report 2004/003
- Drouot V., Berube M., Gannier A., Goold J.C., Reid R.J., Palsboll P.J. (2004). A note on genetic isolation of Mediterranean sperm whales (*Physeter macrocephalus*) suggested by mitochondrial DNA. *Journal of Cetacean Research and Management* 6(1):29-32.
- Engel, M.H., Marcondes, M.C.C., Martins, C.C.A., O Luna, F., Lima, R.P. e Campos, A.,(2004). "Are seismic surveys responsible for cetacean strandings? An unusual mortality of adult humpback whales in Abrolhos Bank, Northeastern coast of Brazil", Paper submitted to the IWC Scientific Committee (SC/56/E28).
- Evans, P.G.H., & Nice, H. (1996). Review of the effects of underwater sounds generated by seismic survey on cetaceans. Sea Watch Foundation, Oxford.
- Forcada J., Aguilar A., Hammond P.S., Pastor X., Aguilar R. (1994) Distribution and number of striped dolphins in the western Mediterranean sea after the 1990 epizootic outbreak. *Marine Mammal Science* 10(2):137-50.
- Frantzis A., Alexiadou P., Paximadis G., Politi E., Gannier A., Corsini-Foka M. (2003). Current knowledge on the cetacean fauna of the Greek seas. *Journal of Cetacean Research and Management* 5(3):219-232.
- Goold, J.C. (1996). Acoustic assessment of populations of common dolphin (*Delphinus delphis*) in conjunction with seismic surveying. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom.* 76:811-820
- Gordon, J.C., D.D. Gillespie, J. Potter, A. Franzis, M.P. Simmonds, and R. Swift. (1998). The Effects of Seismic Surveys on Marine Mammals. L. Tasker and C. Weir, eds. London.

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., for Lamont-Doherty Earth Observ. Of Columbia Univ., Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD. 98 p.

Holst, M. and M.A. Smultea. (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 University, Palisades, NY, and Nat. Mar. Fish. Serv., Silver Spring, MD. 133 p.

International Association of geophysical contractors (2011). An overview of marine seismic operations, Report n.448 aprile 2011.

Irish Department of Communication, Energy and Natural Resources, (2007). Second Strategic Environmental Assessment for Oil and Gas Activity in Ireland's Offshore Atlantic Waters: IOSEA2 Porcupine Basin. Environmental Report.

Jasny, M., Reynolds, J, Horowitz, C., Wetzler, A. (2005). Sounding the depths II: the rising toll of sonar, shipping and industrial ocean noise on marine life. Natural Resources Defense Council, November 2005.

Jochens, A., D. Biggs, K. Benoit-Bird, D. Engelhaupt, J. Gordon, C. Hu, N. Jaquet, M. Johnson, R. Leben, B. Mate, P. Miller, J. Ortega-Ortiz, A. Thode, P. Tyack and B. Würsig (2008). Sperm whale seismic study in the Gulf of Mexico: Synthesis report. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. OCS Study MMS 2008-006. 341 pp.

Joint Industry Programme, E&P Sound and Marine Life International Association of Oil & Gas Producers (2011). Environmental Assessment of Marine Vibroseis. LGL Report TA4604-1 April 2011

Kastelein, R.A., van der Heul, S., Verboom, W.C., Triesscheijn, R.J.V. and Jennings, N.V. (2006). The influence of underwater data transmission sounds on the displacement behaviour of captive harbour seals (*Phoca vitulina*). *Mar. Environ. Res.* 61: 19-39

Ketten, D.R. (2000) Cetacean ears. Pages 43-108 In: Au, W.W.L., Popper, A.N. & Fay, R.R., Eds. *Hearing in Whales and Dolphins*. Springer Verlag NY

Kostyvchenko, L.P. (1973). Effects of elastic waves generated in marine seismic prospecting on fish eggs in the Black Sea. *Hydrobiological Journal* 9:45-48.

La Bella, G., S. Cannata, C. Froglià, A. Modica, S. Ratti, and G. Rivas (1996). First assessment of effects of airgun seismic shooting on marine resources in the Central Adriatic Sea. Pages 227-238 *in* Society of Petroleum Engineers, International Conference on Health, Safety and Environment, New Orleans, Louisiana, 9-12 June.

Lanfredi, C., Azzellino A., Vismara R. (2009). Valutazione di impatto ambientale delle prospezioni geosismiche sotomarine – parte II: stima degli impatti ed effetti sugli organismi. *IA Ingegneria Ambientale* vol. XXXVIII n.5 maggio 2009 pp. 251-260.

- Lauriano G., Panigada S., Fortuna C.M., Holcer D., Filidei E.J., Pierantonio N., Donovan G. (2011). Monitoring density and abundance of cetaceans in the seas around Italy through aerial surveys: a summary contribution to conservation and the future ACCOBAMS survey. 63 Meeting of the IWC Scientific committee 2011.
- Lenhardt, M. (2002). Sea turtle auditory behavior. *J. Acoust. Soc. Amer.* 112(5, Pt. 2):2314 (Abstract).
- MacKenzie, D. (2004). Seismic surveys may kill giant squid. *New Scientist* 184(2467): 15.
- MacLeod and Mitchell. Key areas for beaked whales worldwide. *J. Cetacean Res. Manage.* (2006) vol. 7 (3) pp. 309-322.
- Madsen, P. T., Johnson, M., Miller, P. J. O., Aguilar de Soto, N., Lynch, J., and Tyack, P. L. (2006). Quantitative measures of airgun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments. *J. Acoust. Soc. Am.* 120, 2366–2379
- Madsen, P.T., Møhl, B., Nielsen, B.K., e Wahlberg, M. (2002). Male sperm whale behaviour during exposures to distant seismic survey pulses. *Aquatic Mammals*. 28: 231-240.
- Malme, C.I. Miles, P.R., Clark, C.W., Tyack, P., and Bird, J.W. (1983). Investigations of the potential effects of underwater noise from petroleum industry activities on migrating gray whale behaviour (BBN Report No. 5366; NTIS PB86-174174). Report from Bolt Beranek and Newman Inc. For U.S. Minerals Management Service, Anchorage, A.K.
- Mann D, Hill-Cook M, Manire C, Greenhow D, Montie E, et al. (2010) Hearing Loss in Stranded Odontocete Dolphins and Whales. *PLoS ONE* 5(11): e13824. doi:10.1371/journal.pone.0013824
- Mate B.R., Stafford K.M., Ljungblad D.K. (1994). A change in spermwhale (*Physeter macrocephalus*) distribution correlated to seismic surveys in the Gulf of Mexico. *Journal of the Acoustical Society of America* 96 (2), 3268-3269.
- Mazzariol S. (2010). Spiaggiamento di 7 esemplari di capodoglio (*Physeter macrocephalus*) sul litorale compreso tra Cagnano Varano e Ischitella (FG) tra il 10 e il 15 dicembre 2009. Riassunto relazione finale. Dipartimento di Sanità Pubblica, Patologia Comparata ed Igiene Veterinaria, Università degli Studi di Padova.
- 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 – a study of environmental implications. *Appea Journal* 2000 692-708.
- McCauley, R.D., Fewtrell, J., and Popper, A. (2003). High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 113 (1) pp. 638- 642.
- Miller P.J.O., Johnson M.P., Madsen P.T., Biassoni N.; Quero M., Tyack P.L. (2009). Using at sea experiments to study the effects of airgun on the foraging behavior of sperm whales in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research I* 56(2009) 1168-1181.
- Mizue K., Yoshida K. (1962). Studies on the little toothed whales in the west sea area of Kyusyu. VIII. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Nagasaki University* 12: 45-52.

- Moein, S.E., J.A. Musick, J.A. Keinath, D.E. Barnard, M. Lenhardt and R. George. (1994). Evaluation of seismic sources for repelling sea turtles from hopper dredges. Rep. from Virginia Inst. Mar. Sci., [Gloucester Point], VA, for U.S. Army Corps of Engineers. 33 p.
- Notarbartolo Di Sciara G. & Birkun A.J. (2010). Conserving whales, dolphins and porpoises in the Mediterranean and Black Seas. An ACCOBAMS status report 2010.
- Notarbartolo di Sciara G., Demma M. (2004). Guida ai mammiferi marini del Mediterraneo. 3^a edizione.
- Notarbartolo di Sciara, G., Venturino, M.C., Zanardelli, M., Bearzi, G., Borsani, F. & Cavalloni, B., (1993). Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. *Bollettino Zoologico*, 60, 131–138.
- PGS Geophysical (2005) PGS Electrical Marine Vibrator.TECH LINK – Vol. 5, No 11 – November 2005
- Panigada S, Lauriano G, Burt L, Pierantonio N, Donovan G (2011) Monitoring Winter and Summer Abundance of Cetaceans in the Pelagos Sanctuary (Northwestern Mediterranean Sea) Through Aerial Surveys. PLoS ONE 6(7): e22878. doi:10.1371/journal.pone.0022878.
- Parente C.L., Araujo J.P., Araujo M.E. (2007). Diversity of cetaceans as tool in monitoring environmental impacts of seismic surveys. *Biota Neotropica*, vol.7 (n.1):2007.
- Payne, J.F., J. Coady, and D. White. (2009). Potential effects of seismic airgun discharges on monkfish eggs (*Lophius americanus*) and larvae. Environmental Studies Research Funds Report 170. St. John's, NL
- Pearson, W.H., J.R. Skalski, and C.I. Malme (1992). Effects of sounds from a geophysical survey device on behavior of captive rockfish (*Sebastes* spp.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 49:1343-1356.
- Pickett, G.D., D.R. Eaton, R.M.H. Seaby, and G.P. Arnold (1994). Results of bass tagging in Poole Bay during 1992. Laboratory Leaflet Number 74. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Directorate of Fisheries Research, Lowestoft, UK.
- Richardson, W.J., Greene, C.R.J., Malme, C.I., & Thomson, D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise*. San Diego: Academic Press.
- Slotte, A., K. Hansen, J. Dalen, and E. Ona. (2004). Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fisheries Research* 67:143-150.
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene Jr., C.R., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W. J., Thomas, J.A. & P.L. Tyack (2007). *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations*. *Aquatic Mammals*, Vol 33(4) 121pp.
- Urian K.W., Duffield D.A., Read A.J., Wells R.S., Shell E.D. (1996). Seasonality of Reproduction in Bottlenose Dolphins, *Tursiops truncatus*. *Journal of Mammalogy*, 77(2): 394-403.
- Weir, C.R. (2007). Observations of marine turtles in relation to seismic airgun sound off Angola. *Mar. Turtle Newsl.* 116:17-20.

