

Effetti del disturbo acustico da batterie di Air gun (Airgun Arrays) sui mammiferi marini, con particolare attenzione al mare Adriatico

Relazione tecnica prodotta da Petroceltic International plc, in associazione con RPS Energy

SINTESI

Le onde sonore create da camere di compressione utilizzate nelle batterie di air gun per le prospezioni sismiche vengono trasmesse in modo efficace attraverso l'ambiente marino, e possono causare disturbi ai mammiferi marini in misura variabile. Petroceltic ha interessi nel Mar Adriatico centrale, e intende esaminare gli effetti del disturbo acustico sui mammiferi marini che notoriamente si trovano in questa regione del bacino del Mediterraneo.

Predire il livello di rumore in cui sopravvengono lesioni o effetti sul comportamento è complicato, dipende da una serie di fattori tra cui la frequenza e l'intensità del suono, durata dell'esposizione, specie di mammiferi marini coinvolti, e posizione. I cetacei non sono molto diffusi nel Mare Adriatico. La specie principale avvistata in tutta la regione è il comune Tursiopo (*Tursiops truncatus*), un odontocete, noto come delfino dal naso a bottiglia. Non è stato storicamente effettuato un lungo monitoraggio sulla stima della popolazione dei tursiopi per la regione centrale del Mare Adriatico, comunque dalle conoscenze attualmente disponibili si stima che dovrebbe essere inferiore al centinaio di capi ..

Le prospezioni sismiche hanno la capacità di generare suoni che rientrano nel campo uditivo dei tursiopi. Alle frequenze usate, il livello sonoro può teoricamente determinare effetti di mascheramento che, causando disorientamento, potrebbero portare all'interruzione delle pratiche sociali e di alimentazione e al dispendio di potenziale energetico, anche se ricerche in tal senso sono limitate. Inoltre, il livello di pressione sonora delle onde in prossimità degli "air gun" (batteria sismica) può creare sofferenza uditiva temporanea o spostamento permanente della soglia uditiva a causa del suono creato. Osservazioni effettuate sui tursiopi durante i rilievi sismici hanno mostrato un leggero impatto ed un cambio comportamentale molto limitato. Un modello di propagazione semplice ha mostrato che utilizzando una sorgente di energia molto robusta nell'ambito dei 30 metri si potrebbe creare ferimento dell'animale ma al di fuori dei 30 metri si genererebbe solo un effetto comportamentale.

Esistono controlli legislativi nazionali atti a minimizzare gli impatti sulla vita marina del Mare Adriatico, così pure linee guida internazionali che raccomandano le procedure per mitigare eventuali effetti indesiderati. L'utilizzo di tali misure permetterà a Petroceltic, nel corso dei rilievi sismici, di mitigare eventuali impatti negativi sui tursiopi del Mare Adriatico Centrale.

Autore: Rachel A Hooke¹, Revisione: Ross Compton², Samantha Archer¹. ¹RPS HSE & RM, 14 Cornhill, London, EC3V 3ND. ² RPS Energy, Nelson House, Coombe Lane, Axminster

Tag: Mammiferi marini; Air gun; Mare Adriatico; disturbo acustico

Introduzione

Il suono viene trasmesso in modo molto efficace attraverso l'acqua (*Richardson et al., 1995*). Gli aumenti del livello dei rumori di origine antropica nell'oceano hanno destato preoccupazioni in

tutto il mondo sull'inquinamento acustico marino (*Frantzis, 1998*). Di particolare interesse è l'effetto che il rumore subacqueo ha sulla vita marina, in particolare sulle specie di mammiferi marini.

PetroCeltic International Plc (Petroceltic) è una società di esplorazione e produzione di idrocarburi quotata in borsa. La sede di Petroceltic si trova a Dublino, con uffici operativi a Londra, Roma e Algeri. Le sue azioni sono quotate presso l'Alternative Investment Market (AIM) della Borsa di Londra (London Stock Exchange) e Enterprise Securities Market (ESM) della Borsa Irlandese.

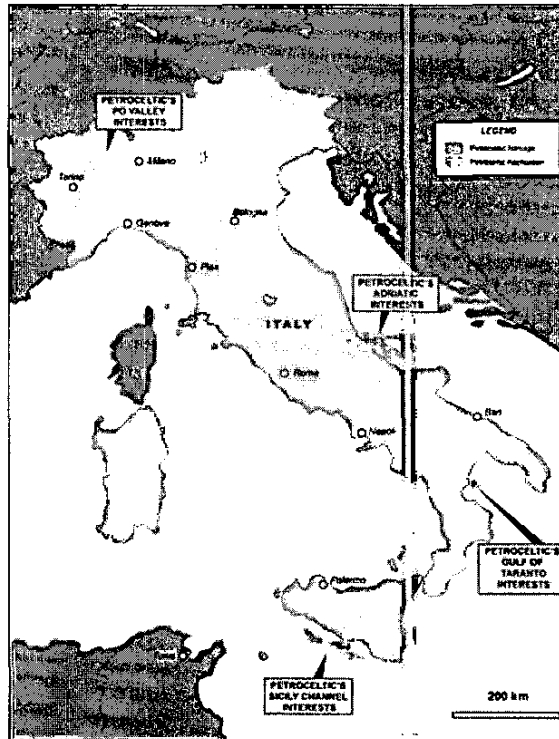
Petroceltic ha interesse nelle aree di permesso della fascia centrale del Mare Adriatico. Nel 2009, Petroceltic è diventata l'azionista di maggioranza del progetto Elsa (posizione mostrata in giallo nella Figura 1). Il giacimento è stato scoperto nel 1992 da AGIP. Una relazione di persone competenti TRACS sul giacimento Elsa pubblicata nel marzo 2010, stima le riserve di petrolio recuperabile verosimilmente intorno ai 100 MMbbl. La figura 1 mostra inoltre altre aree nel Mare Adriatico per le quali PETROCELTIC ha presentato le istanze di permessi di ricerca (in grigio nella mappa). Una volta che questi permessi saranno assegnati, Petroceltic prevede di effettuare prospezioni sismiche all'interno di tali aree e anche nella zona di permesso B.R268.RG (in cui si trova Elsa).

Questo documento tecnico si propone di esaminare l'effetto che disturbo acustico generato dalle batterie di air gun ha sulle specie di mammiferi marini (compresi cetacei, balene, delfini e focene, nonché pinnipedi - foche), in particolare su quelle che si trovano nel bacino del Mediterraneo nella regione del Mar Adriatico.

Acustica subacquea

Le onde sonore sono definite come onde di compressione (o longitudinali) che hanno una frequenza che rientra nello spettro dell'udibile. Per l'uomo questo comprende le frequenze da 20 Hz a 20 kHz, ma per i mammiferi marini e altre specie lo spettro dell'udibile può estendersi oltre il campo uditivo dell'uomo. I suoni al di fuori della gamma udibile dall'orecchio umano sono spesso indicati come infrasuoni (inferiori ai 20 Hz) e ultrasuoni (superiori ai 20 kHz) (*IACG, 2008*).

Figura 1 Interessi di Petroceltic in Italia



La definizione del livello sonoro non è direttamente determinata da equazioni matematiche, ma dipende da una serie di fattori, tra cui l'intensità dell'onda sonora, la frequenza e la lunghezza della esposizione sonora, e se il suono si propaga in aria o in acqua.

La frequenza del suono è il numero di oscillazioni o vibrazioni dell'onda sonora, misurato in cicli al secondo o *Hertz*. La frequenza determina l'altezza (pitch) con cui viene percepito il suono.

L'intensità acustica di un'onda di pressione viene misurata in decibel rispetto all'intensità di un'onda di riferimento. L'onda di riferimento viene considerata come un'onda piana, o pressione quadratica media (RMS) pari a un microPascal (μPa). Il livello sonoro è quindi spesso indicato come "x dB re: $1\mu\text{Pa}$ @1m", nel senso che l'intensità dell'onda di pressione misurata è maggiore di x decibel rispetto all'intensità dell'onda di pressione di riferimento a 1 metro dalla sorgente.

Il rumore subacqueo può essere rilevato a chilometri dalla sorgente, a causa dell'elevata efficienza di trasmissione del suono in acqua (ACG, 2008). Mentre viaggia, un'onda sonora diminuisce di intensità (ampiezza), in quanto si diffonde nello spazio e viene riflessa e assorbita dall'ambiente circostante. Tale riduzione di intensità viene misurata come perdita di trasmissione (TL), ed è la chiave di molti modelli fondamentali di propagazione del suono. La propagazione del suono può avvenire in due modi teorici: propagazione sferica o propagazione cilindrica. La propagazione sferica presuppone un mezzo uniforme senza confini nelle vicinanze e senza perdita di assorbimento. Un suono da una sorgente omnidirezionale si diffonde in modo uniforme in tutte le direzioni:

$$L_r = L_s - 20 \log R \quad (1)$$

(dove L_r è il livello ricevuto in dB re: $1\mu\text{Pa}$ (in acqua), L_s è il livello della sorgente a 1m nella stessa unità, e R è l'intervallo in metri)

Quando il suono è intrappolato tra la superficie e il fondale in acque poco profonde, si verifica la propagazione cilindrica. In tal caso, l'intensità del suono diminuisce proporzionalmente all'aumentare della superficie del fronte d'onda cilindrico in espansione:

$$L_r = L_s - 10 \log H - 10 \log R \quad (2)$$

(dove L_r è il livello ricevuto in dB re: $1\mu\text{Pa}$ (in acqua), L_s è il livello della sorgente a 1m nella stessa unità, H è la profondità effettiva del canale ed R è l'intervallo in metri)

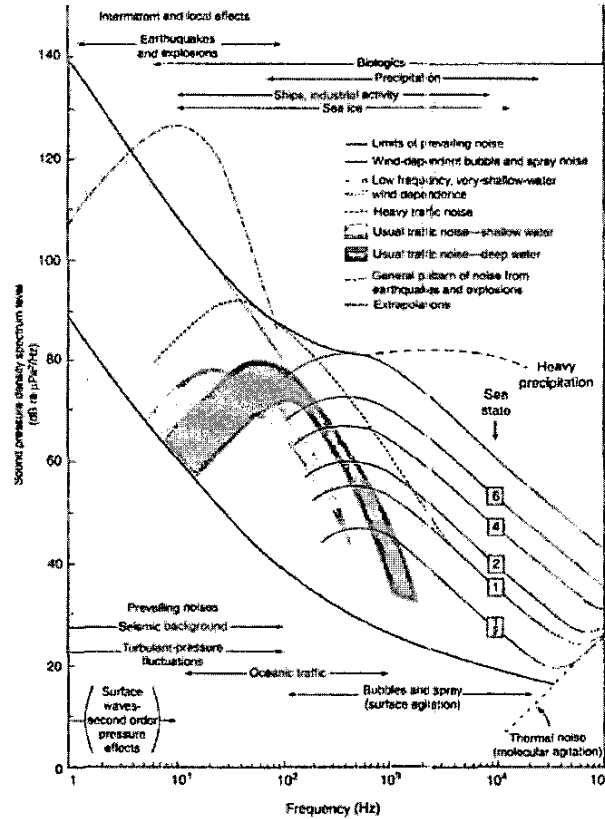
Semplici modelli di propagazione sferica o cilindrica sono concetti teorici importanti e si applicano, almeno approssimativamente, a molte situazioni del mondo reale (*Richardson et al., 1995*). L'oceano, tuttavia, non è un mezzo uniforme. Variazioni di temperatura e salinità con la profondità d'acqua influenzano il tasso di perdita di propagazione, che si traduce in una distorsione del fronte d'onda man mano che si propaga (*Richardson et al., 1995*)! In situazioni teoriche, tuttavia, dove dati in situ non sono disponibili, questi semplici modelli di propagazione forniscono una buona indicazione del comportamento delle onde sonore attraverso gli oceani.

Un altro modo per classificare i rumori di origine antropica è se sono transitori o continui. I rumori dovuti ad esplosioni e la maggior parte delle prospezioni sismiche, sonar, e studi acustici dell'oceano sono intrinsecamente transitori. I livelli della sorgente (e ricevuti) di alcune di dette sorgenti transitorie possono essere elevati (*Richardson et al., 1995*). Tuttavia, poiché questi suoni sono brevi e intermittenti, il livello sonoro medio sul lungo periodo è inferiore al livello di picco. I rumori provenienti dalle navi in movimento e dagli aeromobili sono continui, ma dal punto di vista di un singolo animale, questi rumori saranno generalmente transitori. Analogamente, un animale che passa davanti a una sorgente stazionaria di rumore continuo percepirà tale rumore come transitorio. I rumori transitori hanno probabilmente meno effetti sul comportamento e udito animale rispetto ai rumori realmente continui che hanno un livello ricevuto analogo (*Wursig & Richardson, 2009*).

Livello di rumore ambientale

Il rumore ambientale è il rumore di fondo dell'oceano. Le sorgenti di rumore ambientale comprendono: movimento delle onde di superficie, vento, fauna marina, rumore sismico da attività vulcanica e tettonica, movimento del ghiaccio marino, bolle, e attività umane lontane. La figura 2 mostra alcune delle numerose sorgenti di rumore di fondo negli oceani di tutto il mondo, e il modo in cui i loro livelli di pressione sonora (SPL) e la frequenza interagiscono.

Figura 2 - Tipologie generali dei rumori di origine naturale e antropica negli oceani del mondo, Adattato da Wenz (1962). Fonte: Wursig & Richardson, 2009.



Il rumore ambientale ha un elevato livello di variabilità, sia temporale che spaziale (Richardson et al., 1991). Cambiamenti di velocità e direzione del vento possono avere effetti diretti sui livelli di rumore ambientale localizzato, così come la quantità di attività umane lontane e il tasso di precipitazione. Pertanto è difficile prevedere i livelli di rumore ambientale senza misurazioni dirette.

Il rumore nell'ambiente può ridurre parzialmente o interamente l'udibilità (cioè la capacità di essere ascoltato) del suono, in un processo noto come mascheramento. Il grado di interferenza dipende dalla relazione spettrale, temporale e spaziale tra i segnali e il rumore di mascheramento (Southall et al., 2007).

In generale, il rumore maschererà un segnale soltanto se è sufficientemente vicino ad esso in frequenza. Concettualmente, per essere efficace nel mascherare un segnale, il rumore deve essere all'interno della "banda di mascheramento" di quel segnale. Alle basse frequenze, le bande di mascheramento sono ampie ed hanno una larghezza di banda costante. A frequenze più elevate, le larghezze di banda sono più strette e la loro larghezza varia proporzionalmente alla frequenza (Gordon et al., 2006). Johnson et al., (1989) hanno rilevato che, nei beluga, le larghezze di banda erano pressoché costanti sotto ai 2 kHz, mentre i dati relativi ai pinnipedi (riassunti da Richardson et al., 1995) suggeriscono rapporti critici a banda larga inferiori a ~200 Hz. Pertanto ci si potrebbe aspettare che i mammiferi marini siano più suscettibili al mascheramento dei suoni a bassa frequenza da parte dei rumori a bassa frequenza, come

quelli sismici (Gordon et al., 2006).

Senza misure dirette disponibili, è difficile stimare il livello di rumore ambientale in una determinata regione. Un'approssimazione grossolana può essere fatta utilizzando i dati del vento e delle onde della zona (Knudsen, 1984). Nel Mare Adriatico centrale, la velocità del vento è stimata essere 5,5 m/s (Cushman-Roisin et al., 2001) mentre lo stato del mare nelle acque costiere è di circa 2 (www.ismar.cnr.it). Assumendo che l'agitazione della superficie del mare è il fattore dominante nel determinare il livello di rumore ambientale in prossimità della prospezione proposta, il livello di rumore ambientale sarà di circa 60dB re: 1µPa @ 1m. Il rumore da traffico navale farebbe aumentare tale valore di 60-90 dB, a seconda della densità del traffico. Può quindi essere fatta un'approssimazione sommaria del rumore ambientale di 120dB re: 1µPa @ 1m, tuttavia ciò non è stato convalidato, e come tale deve essere trattato.

Gruppi di Mammiferi Marini per Funzionalità Uditiva

Gli oceani del mondo ospitano una comunità ecologica diversificata. Tutte le specie di cetacei che vivono o migrano attraverso gli oceani e i mari contribuiscono ai livelli di rumore ambientale attraverso la comunicazione acustica e tecniche di ecolocalizzazione.

I cetacei (balene, delfini e focene) si sono evoluti affidandosi principalmente ai loro sensi acustici, vale a dire l'udito, la comunicazione e l'ecolocalizzazione per svolgere la maggior parte delle loro funzioni vitali (ad esempio la navigazione, l'individuazione di prede e predatori, la comunicazione sociale che implica a sua volta la riproduzione, la cura dei cuccioli, la coesione sociale all'interno del gruppo).

Si ritiene che i Pinnipedi non possiedano abilità di ecolocalizzazione specializzate (Schusterman et al., 2000). Ciò è dovuto probabilmente al loro stile di vita anfibio che richiede la comunicazione sociale sia nell'atmosfera che nell'idrosfera. Si ritiene che essi utilizzino le vocalizzazioni prevalentemente per la comunicazione all'interno della specie - ad esempio richiami di accoppiamento e coesione del gruppo. Ciò è particolarmente utile durante la stagione riproduttiva, quando migliaia di individui possono riunirsi in aree relativamente piccole per accoppiarsi (Schusterman, 2006). Sott'acqua i pinnipedi utilizzano segnali acustici a bassa frequenza, a banda larga per la comunicazione intra-specie così come per l'individuazione di prede e predatori (Southall et al., 2000).

I mammiferi marini hanno sostanzialmente l'orecchio tipico dei mammiferi che, attraverso l'adattamento all'ambiente marino, ha sviluppato un campo uditivo più ampio di quello comune ai mammiferi terrestri. I dati provenienti dagli audiogrammi e dai modelli mostrano l'esistenza di una notevole variabilità tra i mammiferi marini sia nella capacità uditiva assoluta che nella sensibilità, e l'intera gamma di frequenze va dall'ultrasonico all'infrasonico. Gli Odontoceti (balene dentate) sono eccellenti ecolocalizzatori, in grado di produrre, percepire ed analizzare frequenze ultrasoniche (definite come >20 kHz). Gli Odontoceti hanno in genere una buona funzionalità uditiva tra 200 Hz e 100 kHz, anche se singole specie possono avere una funzionalità uditiva ultrasonica intorno a 200 kHz. La maggior parte di queste balene ha picchi di sensibilità nella gamma ultrasonica sebbene la maggior parte abbia una sensibilità moderata da 1 a 20 kHz. Agli esami audiometrici nessun odontocete ha dimostrato di possedere un'acutezza uditiva (<80 dB re: 1 µPa @1m) inferiore ai 500 Hz (Ketten, 1998).

Una buona capacità uditiva alle basse frequenze è limitata alle specie più grandi sia nei cetacei che nei pinnipedi. Nessun mysticete (balene) è stato testato direttamente per qualsiasi capacità uditiva, ma i modelli indicano che la loro gamma di funzionalità uditiva si estende generalmente fino a 20 Hz, con diverse specie ritenute capaci di sentire bene anche a frequenze infrasoniche. Si ritiene che la gamma di funzionalità più alta per la maggior parte dei Mysticeti si estenda fino a 20-30 kHz (Ketten, 1998).

La maggior parte delle specie di pinnipedi ha picchi di sensibilità da 1-20 kHz. Alcune specie, come la foca comune, hanno sensibilità migliori oltre 10 kHz; solo l'elefante marino ha dimostrato di avere un udito da buono a moderato sotto 1 kHz. Alcune specie di pinnipedi sono considerate effettivamente come se avessero orecchie doppie, nel senso che sentono abbastanza bene in due domini, aria e acqua, ma non sono particolarmente acute in nessuno dei due. Altri invece sono chiaramente meglio adattati solo all'udito sott'acqua (Ketten, 1998).

Tabella 1 - Gruppi di Mammiferi Marini per Funzionalità Uditiva (da Southall et al, 2007).

Gruppo per Funzionalità Uditiva	Larghezza della Banda Uditiva	Generi rappresentati
Cetacei di bassa frequenza	7Hz – 22kHz	<i>Balaena, Caperea, Eschrichtius, Megaptera, Balaenoptera</i>
Cetacei di media frequenza	150Hz – 160kHz	<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>
Cetacei di alta frequenza	200Hz – 180kHz	<i>Phocoena, Neophocaena, Phocoenoides, Platanista, Inia, Kogia, Lipotes, Pontoporia, Cephalorhynchus</i>
Pinnipedi in ambiente acquatico	5Hz – 75kHz	<i>Arctocephalus, Callorhinus, Zalophus, Eumetopias, Neophoca, Phocarcos, Otaria, Erignathus, Phoca, Pusa, Halichoerus, Histriophoca, Pagophilus, Cystophora, Monachus, Mirounga, Leptonychotes, Ommatophoca, Lobodon, Hydrurga, Odobenus</i>
Pinnipedi in ambiente aereo	75Hz – 75kHz	

I mammiferi marini come gruppo hanno una gamma di funzionalità uditiva da 10 Hz a 200 kHz con soglie migliori intorno a 40 dB re 1 μ Pa @1m. Sulla base delle conoscenze attuali, Southall et al., (2007) hanno identificato cinque distinte categorie di funzionalità uditiva (Tabella 1). Dato che i gruppi di funzionalità uditiva si differenziano per la larghezza di banda uditiva, ognuno di essi può essere influenzato in modo diverso da identiche esposizioni al rumore (Southall et al., 2007).

Tutti i dati convergono sul fatto che praticamente tutte le specie di mammiferi marini sono in grado di udire suoni con una frequenza di 20 kHz o inferiore. Relativamente poche specie sono suscettibili di ricevere un impatto significativo per sorgenti a frequenza superiore. Questi intervalli "tipici" sono generalizzazioni basate sull'andamento dei dati disponibili per ogni gruppo. Va ricordato che i livelli ricevuti che inducono traumi acustici, a qualsiasi frequenza, sono altamente specie specifici e sono una complessa interazione di tempo di esposizione, insorgenza del segnale e caratteristiche spettrali, e intensità ricevuta rispetto all'intensità di

soglia per quella specie a quella frequenza (Ketten, 1998).

Prospezioni sismiche

Le prospezioni sismiche sono tecniche non invasive utilizzate per la mappatura delle stratificazioni e proprietà delle rocce mediante l'utilizzo della propagazione del suono e la mappatura del relativo eco di ritorno. Le prospezioni bidimensionali (2D) e tridimensionali (3D) vengono comunemente eseguite utilizzando gli air gun. Tipicamente le prospezioni sismiche sono in grado di mappare strati di roccia di oltre 10 km di profondità e possono richiedere da una settimana a diversi mesi per essere completate.

La propagazione acustica e i livelli sonori ricevuti in ambiente marino variano in funzione della profondità, dell'intervallo e delle caratteristiche ambientali (oceanografiche e geoacustiche). I parametri ambientali più importanti necessari per effettuare previsioni accurate sono il profilo di velocità del suono, la batimetria e la perdita di intensità del suono per assorbimento del fondale. Il profilo di velocità del suono varia con la temperatura e la salinità, e di conseguenza varia stagionalmente e con la profondità.

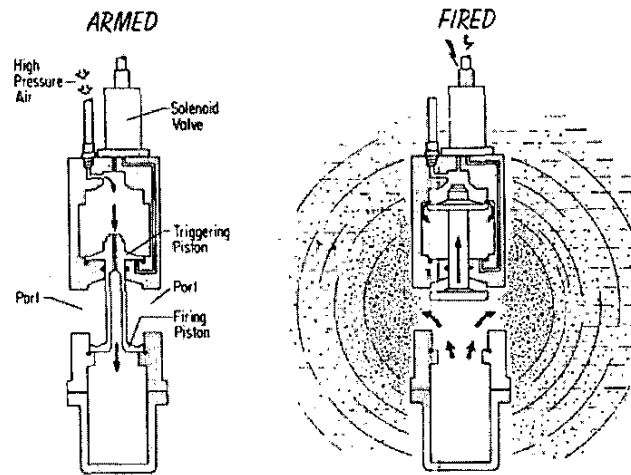
Una sorgente sismica tipica sarà costituita da più air gun che compongono una o più batterie (array) che sono trainate da una nave, ad una distanza che va da circa 50 a 250 metri (questo varia a seconda dei parametri di prospezione). Gli air gun "rilasciano" aria compressa ogni 6 - 10 secondi per una durata di 10 - 30 millisecondi per sparo. Le batterie di ricevitori contenenti numerosi gruppi idrofoni in cavi da 0,5 a 10 chilometri di lunghezza ("streamer") sono trainate dietro le batterie di air gun per registrare le onde sonore riflesse. Le batterie e gli idrofoni sono solitamente trainati diversi metri sotto la superficie del mare. La batteria può essere composta da 10 a 70 air gun (Richardson et al., 1995).

Il rumore associato agli air gun può variare tra circa 215 e 235 dB re: 1 μ Pa @ 1m per singolo air gun e circa 235-260 dB re: 1 μ Pa @1m per batteria (Richardson et al., 1995). L'impulso di pressione verso il basso o forza sorgente varia tra 1 e 8 (12 e 174) bar-m per singolo gun (array) (Richardson et al, 1995.); la gamma delle frequenze tra 10 e 300 Hz. Per un air gun con intensità sonora di 250 dB re: 1 μ Pa @ 1m alla sorgente, i livelli sonori a oltre 30 km di distanza possono arrivare a 117 dB re: 1 μ Pa @ 1m.

Principi di funzionamento dell'air gun

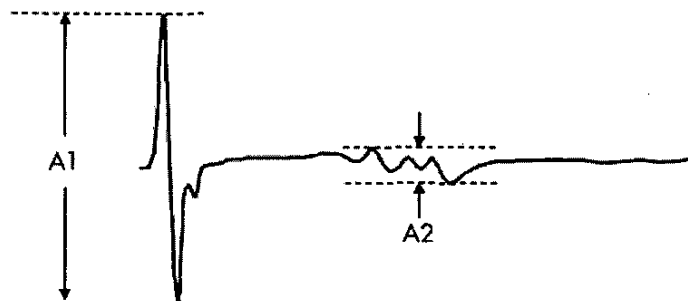
Un air gun è una sorgente sonora pneumatica che crea impulsi acustici a bassa frequenza, generando bolle di aria compressa in acqua (Figura 3). Il rilascio rapido di aria fortemente compressa (tipicamente a pressioni di circa 2.000 psi) dalla camera dell'air gun crea una bolla d'aria oscillante in acqua (Jacques Whitford, 2007). Al momento dello sparo, la pressione dell'aria all'interno della camera supera di gran lunga la pressione esterna delle acque circostanti. Questa differenza di pressione determina una rapida espansione della bolla nelle acque attorno all'air gun. È questa espansione della bolla iniziale che genera l'impulso sismico a banda relativamente larga, cioè il "botto" che fa un palloncino quando scoppia. A causa della quantità di moto di espansione della bolla, la bolla continua a crescere fino a quando la pressione dell'aria all'interno della bolla diventa inferiore alla pressione dell'acqua circostante. A questo punto la bolla inizierà a collassare. Ad un certo punto durante il collasso la pressione all'interno della bolla tornerà ad essere superiore alla pressione esterna. La bolla inizierà quindi ad espandersi nuovamente. Questo ciclo espansione/collasso continuerà fino a quando la bolla non raggiunge la superficie del mare e viene a contatto con l'atmosfera. Dato che l'energia viene persa durante ogni ciclo, il sistema si comporta come un oscillatore smorzato, producendo impulsi di bolle via via più piccole con ogni oscillazione.

Figura 3 - La configurazione di carico e sparo di un air gun (Woodshole.er.urgs.gov)



Le caratteristiche principali di un impulso sismico sono riportate in figura 4. La misura più importante è l'ampiezza della pressione dell'impulso iniziale. Questa è comunemente indicata come ampiezza peak-to-peak (picco-picco) A1, e misurata in bar-m (cioè la pressione in bar che sarebbe misurata a una distanza di 1 metro dalla sorgente puntiforme equivalente). In seguito all'impulso di pressione iniziale, si produce un treno di impulsi detto "effetto bolla", A2, proveniente dal volume di aria rilasciata in acqua. L'effetto bolla è un effetto indesiderato, e vengono adottati sforzi particolari per ridurre al minimo questa parte dell'impulso (IACG, 2008).

Figura 4 - Impulso Sismico (IACG, 2008)



Livelli della Sorgente delle Batterie di Air gun

Se le misurazioni delle onde sonore vengono effettuate molto vicino alla sorgente sono chiamate misure di campo vicino. Analogamente, se vengono effettuate più lontano dalla sorgente, sono chiamate misure di campo lontano.

La pressione di campo lontano generata da una batteria sismica di air gun è sostanzialmente superiore a quella di un singolo air gun. Una batteria di 30 air gun, ad esempio, può avere un livello della sorgente zero-to-peak (zero-picco) di 255 dB re 1 μ Pa @ 1m in direzione verticale (IACG, 2002). Tale valore sembra elevato ma, a causa di una serie di fattori (ad esempio la dipendenza direzionale del suono irradiato) è esasperato rispetto al livello sonoro effettivamente

percepito alla sorgente.

I livelli di energia dell'air gun in generale diminuiscono, e la durata del segnale aumenta, con l'aumento dell'intervallo. In acque basse, le frequenze più alte (circa 200 Hz) generalmente arrivano prima delle frequenze più basse (circa 70 Hz) a intervalli di diversi chilometri. Questo si traduce in un suono tipo "chirp" che si propaga verso il basso. Anche se le batterie indirizzano quanta più energia possibile verso il basso, forti impulsi sonori si propagano orizzontalmente, anche in acque poco profonde (IAGC, 2002).

Il livello di sorgente sonora di una batteria sismica di air gun varia notevolmente in entrambe le direzioni orizzontale e verticale, a causa della complessa configurazione dei cannoni che compongono la batteria. Questa variabilità deve essere tenuta in considerazione al fine di prevedere correttamente il campo sonoro generato da una batteria di air gun. Se le signature della sorgente dei singoli air gun sono note, allora è possibile calcolare con precisione il livello della sorgente di una batteria in qualsiasi direzione sommando i contributi degli elementi della batteria con i ritardi adeguati, in base alle loro relative posizioni (IAGC, 2002).

Effetti dell'esposizione al rumore sui mammiferi marini

Gli animali esposti a rumori di origine naturale o antropica possono sperimentare effetti fisici e psicologici, che variano da nulli a gravi. La stessa sorgente acustica può avere effetti radicalmente differenti a seconda delle variabili operative e ambientali, e delle caratteristiche fisiologiche, sensoriali e psicologiche degli animali esposti. La risposta suscitata può dipendere sia dal contesto (ad esempio alimentazione, accoppiamento, migrazione) in cui un individuo è insonificato sia da una serie di variazioni esperienziali (vedi Wartzok et al., 2004) (Southall et al., 2007).

Sebbene vi sia un certo numero di lacune significative nella ricerca (Roussel, 2002), le informazioni attuali suggeriscono che i rumori di origine antropica hanno la potenzialità di influenzare i mammiferi marini in diversi modi (Wursig & Richardson, 2009):

Tolleranza (nessuna risposta manifesta) - I mammiferi esposti a livelli sonori di rumori di origine antropica spesso non mostrano alcuna risposta evidente, continuando le loro normali attività senza allontanarsi dal disturbo. I mammiferi marini talvolta tollerano il rumore per poter rimanere in una zona preferita, come un'area di alimentazione, anche se il rumore è abbastanza forte da provocare reazioni quando la stessa specie è impegnata in altre attività.

Cambiamenti nel comportamento o attività - Le alterazioni nel comportamento sono comuni quando i mammiferi marini sono esposti a suoni di origine antropica. A volte gli effetti sono sottili, riconoscibili solo attraverso l'osservazione dettagliata e analisi statistiche, ad esempio, variazioni nei cicli di affioramento in superficie/respirazione/immersione. Effetti più evidenti includono variazioni nelle attività, ad esempio, da uno stato di riposo o di alimentazione ad uno stato di allarme, rivolto verso la sorgente di rumore, e così via.

Reazioni di evitamento - In caso di esposizione a forti rumori di origine antropica, i mammiferi marini impegnati nell'alimentazione, interazioni sociali, o altre attività "normali" spesso interrompono tali attività e si allontanano (o occasionalmente si avvicinano). Quando una sorgente di rumore agisce lungo la rotta migratoria delle balene, generalmente queste deviano di pochi gradi dal loro corso "normale" e nuotano da una parte o dall'altra rispetto alla sorgente di rumore.

Mascheramento - Il mascheramento è il processo tramite il quale i rumori che interessano un ascoltatore sono oscurati da rumori interferenti. Se tali rumori sono importanti per l'ascoltatore (ad esempio per la riproduzione o l'evitamento dei predatori), il mascheramento continuo e prolungato potrebbe avere un effetto serio (Richardson et al., 1995).

Danni all'udito - Gli animali (compreso l'uomo) esposti a rumori forti possono subire una riduzione della sensibilità uditiva. Questa riduzione è solitamente temporanea, a condizione che i livelli sonori non siano troppo alti o troppo prolungati. Tuttavia, l'esposizione ripetuta a suoni forti, e persino una singola esposizione breve a un suono estremamente forte (ad esempio un'esplosione nelle vicinanze), potrebbe causare danni permanenti all'udito.

Effetti fisiologici non uditivi e stress - Nell'uomo, l'esposizione a rumori subacquei molto forti può causare, in particolari circostanze, risonanze nelle cavità polmonari ed altri tipi di effetti fisiologici non uditivi. Inoltre l'esposizione cronica a rumori forti può talvolta provocare reazioni di stress. Questi fenomeni non sono studiati quasi per nulla nei mammiferi marini.

Pertanto, le conseguenze fisiologiche sono diverse: implicazioni energetiche, stress, danni all'udito, danni fisici non uditivi, spiaggiamento. Il rumore può inoltre alterare il comportamento alimentare, di foraggiamento, di riposo, sociale e riproduttivo e l'impatto negativo potrebbe essere particolarmente grave nel caso in cui i mammiferi marini si siano spostati temporaneamente o permanentemente dalle aree importanti per l'alimentazione o la riproduzione (*Roussel, 2002*).

Gli studi pilota hanno dimostrato che i mammiferi marini sono suscettibili di danni all'udito, ma non sono necessariamente fragili come i mammiferi terrestri. I dati disponibili suggeriscono che un livello ricevuto da 80 a 140 dB oltre la soglia specie-specifica per una sorgente a banda stretta determinerà una perdita di udito da temporanea a permanente all'interno e intorno a tale banda nei pinnipedi e delfinidi (*Ketten, 1998*).

L'esposizione a rumori intensi comporterà un innalzamento della soglia di udibilità, con conseguente diminuzione della sensibilità, per un periodo di tempo dopo l'esposizione. Tale fenomeno è noto come spostamento di soglia indotto dal rumore (TS). La gravità di TS dipende da fattori chiave, tra cui ampiezza, durata, contenuto in frequenza, modello temporale e distribuzione energetica dell'esposizione al rumore (*Southall et al., 2007*).

Se TS ritorna alla normalità, si parla di spostamento temporaneo di soglia (TTS). Ciò indica che l'esposizione al rumore è entro i limiti nominali di variabilità e tolleranza fisiologica dell'individuo, e non comporta lesioni fisiche (*Ward, 1997*). Se TS non ritorna alla normalità, il TS residuo viene definito spostamento permanente di soglia indotto dal rumore (PTS). La distinzione tra PTS e TTS dipende dal fatto che vi sia o meno un recupero completo di TS dopo l'esposizione al rumore (*Southall et al., 2007*). Il punto in cui TTS diventa PTS non è chiaro, ma si pensa che PTS possa verificarsi senza un TTS iniziale.

In un recente studio *Southall et al., (2007)* si sono proposti di rivedere la letteratura relativa all'udito dei mammiferi marini e alle risposte fisiologiche e comportamentali ai rumori di origine antropica, e di proporre criteri di esposizione per taluni effetti. Sono state considerate due categorie principali: lesioni e disturbi comportamentali.

TTS può essere considerata una misura dell'effetto comportamentale. *Southall et al., (2007)* descrivono le misure sperimentali TTS in due cetacei di media frequenza: tursiopi e beluga (ad esempio *Finneran et al., 2000, 2002, 2005, 2007*; *Schlundt et al., 2000, 2006*; *Ridgeway et al., 1997*; *Nachtigall et al., 2003, 2004*). Non esistono dati pubblicati adeguati sugli effetti uditivi del rumore nei cetacei di bassa o alta frequenza, quindi *Southall et al., (2007)* propongono di utilizzare i dati dei cetacei di media frequenza come surrogato per gli altri due gruppi.

Nelle specie di mammiferi marini che vivono in libertà, identificare le reazioni comportamentali ai disturbi acustici può essere difficile, tuttavia replicare comportamenti naturali in una situazione di cattività è altrettanto problematico. Questi sono generalmente più variabili, dipendenti dal contesto e meno prevedibili rispetto agli effetti dell'esposizione al rumore sull'udito o sulla fisiologia (*Southall et al., 2007*). Gli effetti comportamentali visti come risultato

dei disturbi acustici possono variare in gravità, da un semplice movimento per rilevare il suono al disorientamento e all'allontanamento di diverse ore dalla rotta stabilita.

Le lesioni si verificano quando si raggiunge il PTS. Solitamente questo si osserva nei cetacei sotto forma di danni ai tessuti dell'orecchio. Utilizzando i dati sugli effetti del rumore sui mammiferi terrestri, è possibile effettuare ipotesi riguardo al limite di TTS prima che si verifichi il PTS. Southall et al., (2007) stimano che un rumore capace di indurre 40 dB di TTS determinerà l'insorgenza di PTS nei mammiferi marini. Questa è considerata una stima prudenziale, ma senza dati sui mammiferi marini è difficile definire ulteriormente tale limite. È inoltre consigliabile essere prudenti in questa fase, dato che il confine TTS/PTS varia notevolmente tra le specie. Di ulteriore importanza è il fatto che PTS è noto per la sua variabilità a seconda del tipo di suono (cioè impulsivo o non impulsivo). L'esposizione prolungata a diversi tipi di sorgenti può provocare diversi livelli di effetti, da qui la difficoltà di definire PTS in determinate specie.

A titolo indicativo, Southall et al. (2007) hanno tentato di definire una serie di limiti di rumorosità (per impulsi sonori singoli, multipli e rumori non impulsivi), che provocherebbero cambiamenti comportamentali o lesioni nei cetacei e pinnipedi dentro e fuori dall'acqua, di media, bassa e alta frequenza. Le proiezioni sismiche sono definite come impulsi sonori multipli, e pertanto si stima che il livello di pressione sonora (SPL) in grado di provocare lesioni nei cetacei (tutte le frequenze) sia di 230dB re: 1 μ Pa @1m. Questo è il livello della sorgente oltre il quale è prevedibile che si verifichi la lesione (e il conseguente PTS), ed è calcolato come SPL che provoca l'insorgenza di TTS più 6dB (Southall et al., 2007). Come detto sopra, è probabile che questo sia un calcolo prudenziale. Quando si considerano i disturbi comportamentali, deve prima essere definito il livello di disturbo. Considerati i limiti connessi alla misurazione delle reali reazioni ai disturbi, è stata definita una scala di gravità dei disturbi (vedi Southall et al., 2007). Un impulso sonoro singolo suscita una reazione comportamentale avversa (come definito da Southall et al. (2007)) quando ha un SPL di 224-230 dB re: 11 μ Pa @ 1m; un intervallo al di sopra del quale si verificherebbe la lesione. Non sono state effettuate stime per livelli di impulsi sonori multipli, considerata la serie di dati contraddittori in letteratura (Southall et al., 2007).

Resta molto complicato determinare, caratterizzare e valutare gli effetti del rumore. Il comportamento dei cetacei varia naturalmente in base a molteplici fattori, quali l'età, il sesso e lo stato di attività dell'animale, nonché le influenze ambientali come l'ubicazione, la stagione e il momento della giornata. Il significato di un segnale acustico particolare, e il modo in cui un animale risponde ad esso, può variare in base a uno di questi fattori (Roussel, 2002). Ciò significa che è molto difficile stabilire una base di riferimento rispetto alla quale si possano comparare gli effetti di disturbo (Perry, 1998). Inoltre, raramente è noto se un cambiamento comportamentale è una risposta ad un rumore specifico, piuttosto che ad un disturbo visivo o di altro tipo (Richardson et al., 1995).

Caso di studio: Il Mare Adriatico

Il bacino del Mediterraneo è frequentato da diverse specie di cetacei. Visitatori regolari della regione sono: Balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), Capodoglio (*Physeter macrocephalus*); zifio (*Ziphius cavirostris*); Delfino comune (*Delphinus delphis*); Globicefalo (*Globicephala melas*); Grampo (*Grampus griseus*), Stenella striata (*Stenella coeruleoalba*); e Tursiopo (*Tursiops truncatus*). Visitatori meno frequenti sono: Balenottera minore (*Balaenoptera acutorostrata*); Megattera (*Megaptera novaeangliae*); Pseudorca (*Pseudorca crassidens*) e Steno (*Stena bredanensis*) (ASCOBANS, 2011)

Delle specie di cui sopra, l'unica specie che è stata regolarmente avvistata nella regione è il comune tursiopo (Bearzi et al., 2004, 2009), tuttavia vi sono pochi studi a lungo termine sugli avvistamenti dei cetacei in tale zona da cui attingere informazioni utili per quanto riguarda le popolazioni presenti nel mare Adriatico centrale (Fortuna, 2006). Parte del bacino del Mediterraneo, il mare Adriatico è un mare stretto e semichiuso che è collegato al Mediterraneo

solamente attraverso lo Stretto di Otranto, il suo punto più stretto (*Policy Research Corporation, 2011*). Si ritiene improbabile che la migrazione su piccola scala di cetacei all'interno del bacino del Mediterraneo si tradurrà in visite regolari nella regione del Mar Adriatico, tuttavia la possibilità di avvistamenti sporadici di altre specie di cetacei non può essere esclusa.

Data la mancanza di monitoraggi a lungo termine e di ricerche su larga scala sulle popolazioni di cetacei nel Mediterraneo, è difficile stimare le dimensioni del popolamento. Fortuna (2006) suggerisce che in questo caso è preferibile utilizzare una metapopolazione: "Popolazioni locali", che sono entità modeste o relativamente modeste nello spazio, che interagiscono attraverso la migrazione e il flusso genico (*Hanski & Gaggiotti, 2004*). La dimensione della popolazione locale di tursiopi nel Mar Adriatico centrale è stata stimata nel 2002 essere di soli 14 individui (*Impetuoso et al., 2003 in Fortuna, 2006*), con aumenti previsti. Tale dimensione è esigua per una popolazione di delfini, che in genere vivono in branchi di 30 (*Wells & Scott, 2002*). Gli individui sono stati per lo più osservati e individuati in zone costiere poco profonde. Nella regione settentrionale del mare Adriatico, le stime della popolazione sono maggiori (47 - 238, *Fortuna et al., 2000; Bearzi et al., 1997; Genov & Fortuna, 2005*). Benché discrete, le interazioni tra queste popolazioni localizzate sono probabili e le fluttuazioni temporali nel numero inevitabili (*Fortuna, 2006*).

Come in altre parti del mondo, i tursiopi nel Mediterraneo sembrano avere abitudini alimentari altamente flessibili (*Stewart, 2004*) con una preferenza per le prede demersali (*Blanco et al., 2001*). Essi utilizzano principalmente l'ecolocalizzazione per la cattura delle prede, lavorando in gruppi per convogliare i pesci in acque più basse per facilitarne la cattura. Il mascheramento è un problema, e può influire sulla capacità dei tursiopi di cacciare in modo efficiente. I tursiopi sono noti anche per i conflitti con i pescatori in alcune aree del Mediterraneo, probabilmente attratti dall'elevata concentrazione di pesci catturati nel salpamento delle reti (*Bruno, 2006*).

In tutta l'UE, i cetacei sono protetti da leggi nazionali ed internazionali. Accordi multilaterali, quali le Convenzioni di Barcellona, Bonn e Berna e l'ACCOBAMS agiscono per proteggere le specie di cetacei dal disturbo deliberato. La direttiva della Commissione Europea sulla conservazione degli habitat naturali e della flora e fauna selvatiche (Direttiva del Consiglio 92/43/CEE, 21 maggio 1992), meglio conosciuta come "Direttiva Habitat", annovera il tursiopo, sia nell'*Allegato IV - Specie di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa*, sia nell'*Allegato II - Specie di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione*, sia per la tutela della specie che del rispettivo habitat.

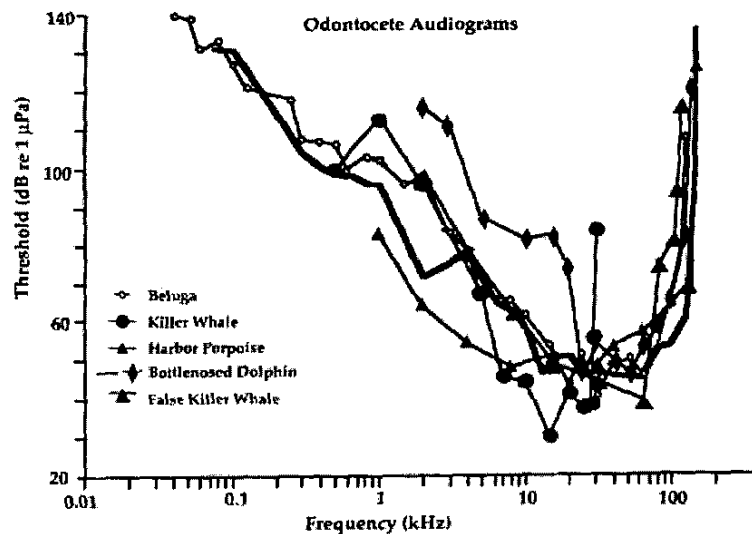
La sensibilità ai rumori subacquei dipende dalla capacità/gamma uditiva, e varia con la specie. Per molti cetacei le soglie uditive misurate sono state messe insieme per costruire un audiogramma. Questo è essenzialmente una curva che traccia la soglia di minima udibilità dell'animale, cioè la capacità di sentire un suono, attraverso una gamma di frequenze, che è appena udibile.

Gli audiogrammi dei delfini solitamente mostrano che sono più sensibili alle frequenze ultrasoniche in cui opera il loro sistema di ecolocalizzazione; con tipicità nella regione di 40 - 60 kHz (*comunicato, Seiche, 2011*). La Figura 5 mostra un audiogramma subacqueo per gli odontoceti, che include i dati relativi ai tursiopi (*Ketten, 1998*). I dati sui tursiopi sono stati tratti principalmente da Johnson (1967) e Ljungblad et al., (1982). Alla base della curva si osservano le parti più sensibili del campo uditivo, mentre alle frequenze in testa e in coda al grafico si riscontra una scarsa sensibilità. Questo grafico mostra che i tursiopi sono in grado di rilevare frequenze da 60 Hz a 200 kHz, ma il picco di sensibilità si verifica tra i 15 e i 50 kHz.

La maggior parte dell'energia degli air gun sismici è a frequenze al di sotto del campo uditivo ottimale di piccoli odontoceti, di conseguenza questi sono talvolta considerati relativamente insensibili ai rumori sismici (*Richardson et al., 1995*). Tuttavia, durante le operazioni sismiche, vengono emessi accidentalmente rumori ad alta frequenza. Le prospezioni sismiche utilizzano

generalmente frequenze fino a 220Hz, ma Goold & Fish (1998) hanno scoperto che il rumore degli air gun sismici dominava anche la larghezza di banda di 200 Hz - 22kHz a distanze fino a 2 km dalla sorgente e che persino a 8 km il rumore degli air gun superava il rumore di fondo a frequenze fino a 8kHz, giungendo alla conclusione che le emissioni sismiche sarebbero udibili dai delfini fino a distanze di almeno 8 km. Inoltre, i delfini potrebbero essere in grado di rilevare i suoni a bassa frequenza utilizzando alcuni meccanismi diversi da quelli acustici convenzionali. Turl (1993) ha scoperto che un tursiopo ha risposto a suoni di 50-100Hz e ha suggerito che ciò fosse dovuto alla rilevazione di velocità delle particelle o a una combinazione di pressione e velocità in campo vicino (estratto da Stone & Tasker, 2006).

Figura 5 - Audiogramma subacqueo per Odontoceti (Ketten, 1998)



Gli studi sugli effetti degli air gun sismici su piccoli odontoceti sono rari, la maggior parte dei lavori precedenti si è infatti concentrata su mysticeti e capodogli (Stone & Tasker, 2006). Evans et al., (1993) hanno effettuato avvistamenti da una motovedetta lavorando con una nave di prospezione sismica, e hanno effettuato confronti tra i tassi di incontro dei cetacei prima, durante e dopo la prospezione sismica. Ci sono state indicazioni di una diminuzione significativa del numero di tursiopi nell'area di studio, ma non del numero di gruppi di delfini. Evans et al., (1993) hanno concluso che i "vincoli nella progettazione dell'indagine hanno impedito un'analisi adeguata degli effetti delle attività sismiche sui cetacei".

Goold (1996) ha studiato l'abbondanza relativa di delfino comune prima, durante e dopo le prospezioni sismiche. La percentuale di contatti acustici con i delfini durante la prospezione sismica è stata più bassa che prima della stessa, ed è stata minima nei periodi in cui gli air gun stavano effettivamente sparando. Inoltre, un numero minore di delfini è stato osservato cavalcare le onde di prua durante le prospezioni sismiche. Questi risultati sono stati utilizzati per indicare che entro 1 km i segnali provenienti da una sorgente sismica risultavano stressanti per i delfini. In un documento successivo, Goold & Fish (1998) hanno riportato un singolo caso in cui un delfino comune è rimasto ad una distanza media di 1,34 km e ad una distanza minima di 1,1 km per oltre due ore, ma questo sembra essere stato un evento singolare ed eccezionale (Stone & Tasker, 2006).

Il probabile evitamento delle sorgenti sismiche attive da parte degli odontoceti è suggerito dall'analisi delle relazioni di osservatori sulle navi sismiche al largo del Regno Unito raccolte dal UK Joint Nature Conservation Committee (Stone 1997; Stone 1998; Stone & Tasker, 2006). Sia

il lagenorinco rostralbano (*Lagenorhynchus albirostris*) che il lagenorinco acuto atlantico (*L. acutus*) sono stati osservati meno frequentemente, e l'insieme di avvistamenti di lagenorinco acuto è stato maggiore durante i periodi di attività degli array sismici (guns-on) che durante i periodi di inattività (guns-off). Al contrario, i globicefali (*Globicephala melas*) sono stati osservati più durante i periodi di sparo che nei periodi di silenzio (Stone, 1998). È probabile che queste risposte contrastanti rappresentino l'adozione di diverse strategie di evitamento da parte delle due specie: i delfini dai movimenti più veloci fuggono, mentre i globicefali possono avvicinarsi alla superficie perché sono allarmati o perché qui i livelli sonori sono più bassi. Altre osservazioni di Stone (1998) suggeriscono che i globicefali osservati in superficie stavano tentando di evitare la sorgente sismica. Era più probabile registrarli mentre si spostavano velocemente e si allontanavano dalla nave sismica durante i periodi di attività degli air gun che durante i periodi di silenzio (Stone & Tasker, 2006).

Sebbene le balene dentate (in particolare i tursiopi) siano in grado di rilevare i suoni in un'ampia gamma di frequenze, la massima sensibilità si verifica nella gamma di 15-50 kHz. Click e fischi sono comunemente prodotti a 0,8 - 24 kHz (massima energia a 3,5 - 14,5 kHz) (Ketten, 1998), ben all'interno della gamma del picco uditivo, permettendo agli individui di contattare altri tursiopi a molti chilometri di distanza. L'introduzione di una batteria di air gun nell'ambiente marino produrrà una gamma di suoni sia di bassa che di alta frequenza, che saranno entrambi udibili dai tursiopi e spesso all'interno della gamma di massima sensibilità. Il mascheramento dei suoni è probabile, e potrebbe avere potenziali impatti sociali e comportamentali.

I livelli di pressione sonora generati da batterie di air gun sono elevati, e spesso al di sopra dei criteri di lesione di Southall et al., (2007) per i cetacei di media frequenza a 1 metro. Con la propagazione dalla sorgente il livello SPL scende rapidamente ed entro 30 metri un SPL di 260 dB re: 1µPa @ 1m (caso peggiore ipotizzato di livello della sorgente della batteria di air gun) sarebbe diminuito ad un SPL al di sotto dei criteri di lesione di Southall et al., (2007) (cioè 230 dB re: 1µPa @ 1m) (modello di propagazione presupponendo la propagazione sferica).

Sono state sviluppate diverse linee guida di settore per la gestione delle emissioni acustiche da prospezioni sismiche. Le più utilizzate sono la guida del Minerals Management Service (MMS) del Ministero degli Interni degli Stati Uniti (2007) e la guida del Joint Nature Conservation Committee (JNCC) del Regno Unito (2010). IAGC e OGP hanno pubblicato un documento congiunto di sintesi sulle Prospezioni Sismiche e Mammiferi Marini, che si riferisce alla stessa serie di misure di mitigazione (OGP-IAGC, 2004).

Entrambi gli insiemi di linee guida raccomandano una serie analoga di misure per mitigare l'impatto delle prospezioni sismiche sui mammiferi marini. Queste includono (ma non sono limitate a): pianificazione delle attività al fine di evitare i periodi sensibili; limitazione della sorgente ove possibile; monitoraggio della presenza di mammiferi marini prima e durante le prospezioni sismiche; osservatori di mammiferi marini a bordo dedicati all'avvistamento delle specie nella zona; procedure di avviamento graduale per "innalzare" l'intensità della sorgente, destinate a fare allontanare i mammiferi marini, e procedure per lo spegnimento e per il riavvio dell'emissione dopo un'interruzione.

È da notare che sia le linee guida di JNCC (2010) che di MMS (2007) fanno riferimento all'utilizzo di un limite di 500 metri all'interno del quale i mammiferi marini avvistati prima dell'inizio della prospezione sismica daranno luogo ad un riavvio del processo. Dato che i modelli di propagazione e i criteri di lesione di Southall et al. (2007) stimano che è probabile che la lesione si verifichi soltanto entro 30 metri della sorgente sismica, l'uso di queste misure di mitigazione chiaramente ridurrà notevolmente l'impatto delle prospezioni sismiche sui tursiopi nel mare Adriatico centrale.

Conclusioni

Il rumore di origine antropica sono in aumento negli oceani del mondo, e l'effetto di questi cambiamenti sui mammiferi marini richiede una riflessione e una ricerca approfondita. Focalizzando l'attenzione sulla regione del Mar Adriatico, questo lavoro ha valutato l'impatto che una prospezione sismica avrebbe sulle popolazioni locali di cetacei, in particolare sui tursiopi. Si è visto che mentre le società di prospezione sismica puntano a un ritorno sempre più accurato e ad alta risoluzione durante la progettazione dell'indagine, le frequenze a banda larga e SPL elevati possono causare problemi per i mammiferi marini in prossimità della sorgente di energia. Gli impatti possono essere ampi, e vanno da effetti comportamentali minori come evitamento e cambi di direzione ed in casi estremi a potenziali danni all'udito o ferite.

Le osservazioni sul campo dei tursiopi durante le prospezioni sismiche hanno mostrato un impatto limitato, evidenziando solo lievi cambiamenti comportamentali. I modelli di propagazione semplice hanno dimostrato che utilizzando una sorgente di energia molto robusta nell'ambito di 30 metri si potrebbe creare ferimento dell'animale ma al di fuori dei 30 metri si indurrebbe solo un effetto comportamentale.

Vi sono diverse possibilità per ridurre l'impatto potenziale sulla vita marina. Sono possibili perfezionamenti nelle attrezzature e procedure operative in grado di ridurre l'esposizione dei mammiferi marini al rumore. Sono già stati fatti alcuni sforzi per ridurre i livelli della sorgente al minimo efficace, e per migliorare la formazione del fascio in modo da ridurre le radiazioni sonore in direzioni inutili. Inoltre, tali attività rumorose possono essere oggetto di normative in relazione a dove e quando vengono effettuate (*Wursig & Richardson, 2009*).

Petroceltic farà in modo che vengano utilizzate le migliori pratiche del settore nella progettazione delle misure di mitigazione impiegate per ridurre il potenziale impatto ambientale derivante dal lavoro di indagine proposto.

Al fine di rafforzare la guida normativa, oltre alla nostra comprensione degli effetti che le prospezioni sismiche hanno sui mammiferi marini, sono necessarie ulteriori ricerche. La conoscenza della dinamica di popolazioni localizzate, le osservazioni in campo degli impatti comportamentali, e i meccanismi di TTS e PTS consentirebbero di mettere in atto misure più adeguate per proteggere i mammiferi marini dagli effetti dell'inquinamento acustico di origine antropica.

Bibliografia

- ASCOBANS (2011)
http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=8_67&catid=34&Itemid=27 [Accessed Oct-2011].
- Barberi, G., M. T. Cosentino, A. Gervasi, I. Guerra, G. Neri, and B. Orecchio (2004). Crustal seismic tomography in the Calabrian Arc region, south Italy, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 147, 297–314.
- Bearzi G, Costa M, Politi E, Agazzi S, Pierantonio N, Tonini D (2009). Cetacean Records and Encounter Rates in the Northern Adriatic Sea During the Years 1986-2007. *Annales Ser. Hist. nat.* 19 (2).
- Bearzi G., Notarbartolo di Sciara G. (1997). Bottlenose dolphins following bottom trawlers in the Kvarneric (northern Adriatic Sea). *European Research on Cetaceans* 11:202-204.
- Bearzi, G., Holcer, D., Notarbartolo di Sciara, G. (2004). The role of historical dolphin takes and habitat degradation in shaping the present status of northern Adriatic cetaceans. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14:363-379.
- Blanco C., Salomon O., Raga J.A. (2001). Diet of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biology Association U.K.* 81:1053-1058.

Bruno D.L. (2006). "Interaction between bottlenose dolphins and fisheries off Sardinia". ICES Journal of Marine Science 63 (5): 946-951.

Cimini, G. B., and P. D. Gori (2001). Nonlinear P-wave tomography of subducted lithosphere beneath central-southern Apennines (Italy), Geophys. Res. Lett., 22, 4387-4390.

Cushman-Roisin, B, Gacic, M, Poulin, P. (2001). Physical Oceanography of the Adriatic Sea: past, present, and future. Pubblicato da Kluwer Academic Publishers.

Di Stefano, R., C. Chiarabba, F. Lucente, and A. Amato (1999). Crustal and uppermost mantle structure in Italy from the inversion of P-wave arrival times: Geodynamic implications, Geophys. J. Int., 139, 483-498.

Evans, P.G.H., Lewis, E.J., & Fisher, P. (1993). A study of the possible effects of seismic testing upon cetaceans in the Irish Sea. Unpublished Report for Marathon Oil UK Ltd. Sea Watch Foundation, Oxford.

Faccenna, C., F. Speranza, F. D. Caracciolo, M. Mattei, and G. Oggiano (2002). Extensional tectonics on Sardinia (Italy): Insights into the ark-back-arc transitional regime, Tectonophysics, 356, 213-232.

Finneran, J. J., Carder, D. A., Schlundt, C. E., & Ridgway, S. H. (2005). Temporary threshold shift (TTS) in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) exposed to mid-frequency tones. Journal of the Acoustical Society of America, 118, 2696-2705.

Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Branstetter, B., & Dear, R. L. (2007). Assessing temporary threshold shift in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) using multiple simultaneous auditory evoked potentials. Journal of the Acoustical Society of America, 122, 1249-1264.

Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Carder, D. A., Clark, J. A., Young, J. A., Gaspin, J. B., et al. (2000). Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and white whales (*Delphinapterus leucas*) to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions. Journal of the Acoustical Society of America, 108, 417-431.

Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Dear, R., Carder, D. A., & Ridgway, S. H. (2002). Temporary shift in masked hearing thresholds (MTTS) in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. Journal of the Acoustical Society of America, 111, 2929-2940.

Fortuna C.M. (2006). Ecology and Conservation of Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) in the North-Eastern Adriatic Sea. PhD Thesis, University of St Andrews.

Fortuna CM, Wilson B, Wiemann A, Riva L, Gaspari S, Matesic M, Oehen S, PRibanic S (2000). How many dolphins are we studying and is our study area big enough? European Research on Cetaceans 14, 370-373.

Frantzis, A. (1998). Does acoustic testing strand whales? Nature, 392, 29.

Genov, T., Fortuna, C.M. (2005). Towards the definition of the northern Adriatic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) home range. 19th Annual Conference of the European Cetacean Society and Associated Workshops, April 2-7, 2005 La Rochelle, France.

Giuseppe Notarbartolo Di Sciarra, Maria Cristina Venturino, Margherita Zanardelli, Giovanni Bearzi, Fabrizio J. Borsani & Benedetta Cavalloni (1993): Cetaceans in the central Mediterranean Sea: Distribution and sighting frequencies, Bollettino di Zoologia, 60:1, 131-138.

Goold, J.C. (1996). Acoustic assessment of populations of common dolphin (*Delphinus delphis*) in conjunction with seismic surveying. J. Mar. Biol. Assoc. UK 76:811-20.

Goold, J.C. and Fish, P.J. (1998). Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions with reference to dolphin auditory thresholds. J. Acoust. Soc. Am. 103(4):2,1 77-84.

Gordon JCD, Gillespie D, Potter J, Frantzis A, Simmonds MP, Swift R (2006). The effects of seismic surveys on marine mammals.

Hanski I., Gaggiotti O.E. (2004). Metapopulation biology: past, present, and future. Pp. 3-22 in: I. Hanski and O.E. Gaggiotti (Eds.) "Ecology Genetics and Evolution of Metapopulations: Standard Methods for Inventory and Monitoring", Elsevier Academic Press, Inc.

- IAGC (2008). Fundamentals of underwater sound. International Association of Oil & Gas Producers, Report No: 406, May 2008.
- IAGC (2002). Airgun Arrays and Marine Mammals. August 2002. International Association for Geophysical Contractors. [www.iagc.org].
- Impetuoso A., Fortuna C.M., Wiemann A., Antolovich W., Holcer D. (2003). A pilot study on the presence and the distribution of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the archipelago of Kornati (Croatia). 17th Annual Conference of the European Cetacean Society, Las Palmas de Gran Canaria, March 2003, Spain.
- Jacques Whitford (2007). Sydney Basin SEA – Final Report. Chapter 5: Potential environmental effects from exploration and production activities. [Disponibile su: http://www.cnlopb.nl.ca/env_strategic.shtml].
- JNCC (2010). JNCC guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys.
- Johnson C.S., McManus M.W., & Skaar D. (1989). Masked tonal hearing thresholds in the beluga whale. Journal of the Acoustical Society of America, 85: 2651-2654.
- Johnson C. S. (1967). Sound detection thresholds in marine mammals. In W. N. Tavolga (Ed.), Marine bioacoustics (pp. 247-260). New York: Pergamon.
- Ketten DR (1998). Marine Mammal Auditory Systems: A Summary of Audiometric and Anatomical Data and its Implications for Underwater Acoustic Impacts. NOAA Technical Memorandum NMFS.
- Ljungblad D. K., Scoggins P. D., & Gilmartin W. G. (1982). Auditory thresholds of a captive Eastern Pacific bottle-nosed dolphin, *Tursiops* spp. Journal of the Acoustical Society of America, 72, 1726-1729.
- MMS (2007). NTL No. 2007-G02, Notice to Lessees and Operators (NTL) of Federal Oil, Gas, and Sulphur Leases in the outer continental shelf.
- Nachtigall P. E., Pawloski J. L., & Au W. W. L. (2003). Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*). Journal of the Acoustical Society of America, 113, 3425-3429.
- Nachtigall P. E., Supin A. Ya., Pawloski J. L., & Au W. W. L. (2004). Temporary threshold shifts after noise exposure in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) measured using auditory evoked potentials. Marine Mammal Science, 20, 673-687.
- OGP-IAGC (2004). Joint paper - Seismic surveys & Marine mammals.
- Perry C. (1998). A review of the impact of anthropogenic noise on cetaceans, IWC, IWC51SC/50/E9 1998.
- Policy Research Corporation (2011) The potential of Maritime Spatial Planning in the Mediterranean Sea. Case Study Report: The Adriatic Sea. Study carried out on behalf of the European Commission. Scaricabile dal sito: [http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/studies/msp_med/case_study_adriatic_sea_en.pdf].
- Richardson W. J., Greene C. R. Jr., Koski W. R., Smultea M. A., Cameron G., Holdsworth C., et al., (1991). Acoustic effects of oil production activities on bowhead and white whales visible during spring migration near Pt. Barrow, Alaska - 1990 phase (OCS Study MMS 91-0037; NTIS PB92-170430). LGL Ltd. report for U.S. Minerals Management Service, Herndon, VA. 311 pp.
- Richardson W.J., Greene C.R. Jr., Malme C.I., Thomson D.H. (1995). Marine Mammals and Noise. Academic, San Diego, USA.
- Ridgway S. H., & Carder, D. A. (1997). Hearing deficits measured in some *Tursiops truncatus* and the discovery of a deaf/mute dolphin. Journal of the Acoustical Society of America, 101, 590-594.
- Roussel E. (2002). Disturbance to Mediterranean cetaceans caused by noise. In: G. Notarbartolo di Sciara (Ed.), Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies. A report to the ACCOBAMS Secretariat, Monaco, February 2002. Section 13, 18 p.
- Schlundt, C. E., Dear, R. L., Carder, D. A., & Finneran, J. J. (2006). Growth and recovery of temporary threshold shifts in a dolphin exposed to midfrequency tones with durations up to 128 s. Journal of the Acoustical Society of America,

120, 3227.

Schlundt C. E., Finneran J. J., Carder D. A., & Ridgway S. H. (2000). Temporary shift in masked hearing thresholds (MTTS) of bottlenose dolphins and white whales after exposure to intense tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107, 3496-3508.

Schusterman, R.J. and Kastak, D., (2000). Why Pinnipeds don't echolocate. *Journal of the Acoustical Society of America*, pp 2256 - 2264.

Seiche (2011) - pers comms Professor Rodney Coates, Seiche Technical Education.

Simmonds M.P., Dolman S. (1999). A note on the vulnerability of cetaceans to acoustic disturbance. IWC, IWC51/E15 1999.

Southall BL, Bowles AE, Ellison WT, Finneran JJ, Gentry RL, Greene Jr. CR, Kastak D, Ketter DR, Miller JH, Nachtigall PW, Richardson WJ, Thomas JA, Tyack PL (2007). *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations*. *Aquatic Mammals*, 33 (4).

Stewart, S.E. (2004). Diet analysis of Bottlenose Dolphin population (*Tursiops truncatus*, Montagu, 1821) in proposed Cres-Losinj Marine Protected Area (MPA), Croatia. MSc thesis, University College of London, UK.

Stone CJ and Tasker ML (2006). The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *J. Cetacean Res. Manage* 8(3): 255-263.

Stone, C.J. (1997). Cetacean observations during seismic surveys in 1996. JNCC Report 228. 41pp. [disponibile dal Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen].

Stone, C.J. (1998). Cetacean observations during seismic surveys in 1997. JNCC Report 278. 57pp. [disponibile dal Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen].

Turt, W.C. (1993). Low frequency sound detection by a bottlenose dolphin. *J. Acoust. Soc. Am.* 94(5):3006-08.

Ward W. D. (1997). Effects of high-intensity sound. In M. J. Crocker (Ed.), *Encyclopedia of Acoustics*, Volume III (pp. 1497-1 507). New York: John Wiley & Sons.

Wartzok, D., Popper, A. N., Gordon, J., & Merrill, J. (2004). Factors affecting the responses of marine mammals to acoustic disturbance. *Marine Technology Society Journal*, 37, 6-15.

Wells, R. and Scott, M. (2002). "Bottlenose Dolphins". In Perrin, W.; Wursig, B. and Thewissen, J. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press. pp. 122-127.

[Woodshole.er.usgs.gov](http://woodshole.er.usgs.gov) [accessed October 2011] <http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/airgun.htm>.

Wursig B, Richardson WJ (2009) Effects of Noise. *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)* Pages 765 - 773.

www.ismar.cnr.it (2011). Wave data accessed Oct. 2011.