

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in Biologia del Comportamento

Ciclo XXIII°

EFFETTO DEL TRAFFICO MARITTIMO E
DEL RUMORE ANTROPICO SUI MAMMIFERI
MARINI

Coordinatore:
Chiar.mo Prof. Stefano Parmigiani

Tutor:
Dott. Gianni Pavan
Dott.sa Paola Valsecchi

Dottoranda: Gabriella La Manna

ABSTRACT

Nelle ultime decadi si è assistito a un crescente interesse in merito agli effetti del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sugli ecosistemi marini e, in particolare, su quelle specie, come i Cetacei, che utilizzano i suoni e la comunicazione acustica per l'orientamento, l'alimentazione e il comportamento sociale. Nonostante siano presenti in letteratura numerosi studi sull'argomento, l'entità di questi effetti e le loro conseguenze a livello di individuo e di popolazione sono ancora oggi in gran parte sconosciuti.

Lo scopo di questa tesi è stato di aumentare le conoscenze relative alla problematica descritta affrontandola da diverse prospettive, sia su una scala generale che in riferimento a due specie particolari: il tursiope (*Tursiops truncatus*) e il capodoglio (*Physeter macrocephalus*). Il primo obiettivo è stato la realizzazione di una revisione sistematica della letteratura (*Systematic review*) che, attraverso tecniche rigorose di ricerca della letteratura e sintesi quantitativa dei risultati, fornisse alla comunità scientifica una misura oggettiva dell'effetto del traffico marittimo e del rumore antropico sul comportamento dei Cetacei, differenziando per specie o gruppi di specie e per tipologia di rumore antropico. Il secondo obiettivo è stato lo studio della risposta comportamentale del tursiope alla presenza di imbarcazioni nelle acque di Lampedusa (Stretto di Sicilia). In particolare, è stato valutato se: i) i tursiopi adottano una strategia di *displacement*, *avoidance* o di tolleranza alla presenza di imbarcazioni, e quali sono i fattori che la influenzano (durata del disturbo, tipo di imbarcazione); ii) i tursiopi modificano il loro comportamento acustico per eludere l'effetto *masking* del rumore delle imbarcazioni e se la strategia adottata cambia in funzione del tipo di imbarcazione ed è stabile tra diversi gruppi di animali. Infine, l'ultimo obiettivo è stato verificare se i rumori antropici di tipo continuo e impulsivo influenzano la presenza di capodogli nelle acque del Golfo di Catania (Mar Ionio) e se il rumore impulsivo è causa di un'alterazione del comportamento acustico della specie, in particolare, se provoca interruzione o cambiamento delle vocalizzazioni o variazioni nel ritmo di emissione delle sequenze di *click* di ecolocalizzazione.

I risultati conseguiti hanno consentito di ottenere evidenze scientifiche utili alla comprensione del fenomeno, sia in generale che in merito alle due specie studiate, di valutare l'efficienza dei diversi sistemi di monitoraggio acustico passivo (PAM) impiegati e di delinearne linee guida per il perfezionamento dei disegni sperimentali delle ricerche future.

INDICE

RINGRAZIAMENTI	6
CAPITOLO I.....	7
INTRODUZIONE GENERALE	7
1.1 I SUONI IN AMBIENTE ACQUATICO	7
1.1.1 Il suono e la sua trasmissione in acqua	7
1.1.2 Il rumore sottomarino e le sue origini: ambientale, biologica e antropica.....	9
1.2 CONTESTO DELLA TESI, SCOPO, OBIETTIVI E OUTLINES	13
1.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	16
CAPITOLO II.....	18
EFFETTI DEL TRAFFICO MARITTIMO E DEL RUMORE SUL COMPORTAMENTO DEI CETACEI: REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA.....	18
2.1 INTRODUZIONE ALLA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA	18
2.2 CONTESTO, SCOPO ED OBIETTIVI	21
2.3 METODI	22
2.4 RISULTATI E DISCUSSIONI	33
2.4.1 Campione statistico.....	33
2.4.2 Effetto del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei.....	39
2.5 CONCLUSIONI	49
2.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	51
CAPITOLO III.....	61
RISPOSTA DEL TURSIOPE (TURSIOPS TRUNCATUS) AL TRAFFICO MARITTIMO	61

3.1 INTRODUZIONE	61
3.1.1 <i>Storia naturale del tursiope</i>	61
3.1.2 <i>Comportamento acustico e capacità uditiva</i>	63
3.1.3 <i>Minacce per la specie: impatto del traffico marittimo e del rumore</i>	66
3.2 CONTESTO, SCOPO E OBIETTIVI	67
3.3 MATERIALI E METODI GENERALI	69
3.3.1 <i>Area di studio</i>	69
3.3.2 <i>Stazioni di campionamento</i>	70
3.3.3 <i>Strumentazione PAM (Passive Acoustic Monitoring) e sua messa in opera</i>	72
3.3.4 <i>Sforzo di ricerca complessivo</i>	73
3.3.5 <i>Prime analisi acustiche delle registrazioni</i>	75
3.3.6 <i>Caratterizzazione dell'uso dell'habitat del tursiope e interazione con il traffico marittimo: analisi statistiche</i>	76
3.3.7 <i>Risposta dei tursiopi alla presenza di imbarcazioni: estrazione dei dati e analisi statistiche</i>	78
3.4. RISULTATI	82
3.4.1 <i>Caratterizzazione dell'uso dell'habitat del tursiope e interazione con il traffico marittimo</i>	82
3.4.2 <i>I tursiopi tollerano la presenza delle imbarcazioni?</i>	88
3.4.3 <i>I tursiopi adottano una strategia acustica per evitare il rumore delle barche?</i>	91
3.5 DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	97
3.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	103
CAPITOLO IV	109
IMPATTO DEL RUMORE SOTTOMARINO SUL CAPODOGLIO (PHYSETER MACROCEPHALUS) NEL GOLFO DI CATANIA	109
4.1 INTRODUZIONE	109
4.1.1 <i>Storia naturale del capodoglio</i>	109
4.1.2 <i>Comportamento acustico e capacità uditiva</i>	112

<i>4.1.3 Minacce per la specie: impatto del rumore di origine antropica</i>	<i>117</i>
4.2 CONTESTO, SCOPI ED OBIETTIVI	120
4.3 MATERIALI E METODI GENERALI	122
<i>4.3.1 La stazione acustica OnDE.....</i>	<i>122</i>
<i>4.3.2 Acquisizione, registrazione e catalogazione dei dati.....</i>	<i>124</i>
<i>4.3.3 Area di studio</i>	<i>124</i>
<i>4.3.4 Misura del rumore sottomarino</i>	<i>125</i>
<i>4.3.5 Presenza del capodoglio in funzione del rumore sottomarino.....</i>	<i>129</i>
<i>4.3.6 Analisi del comportamento acustico del capodoglio in presenza di suoni impulsivi.....</i>	<i>131</i>
4.4 RISULTATI E DISCUSSIONI	133
<i>4.4.1 Andamento temporale della potenza del rumore sottomarino.....</i>	<i>133</i>
<i>4.4.2 La presenza del capodoglio è influenzata dal rumore sottomarino continuo?.....</i>	<i>149</i>
<i>4.4.3 La presenza del capodoglio è influenzata dal rumore sottomarino impulsivo?</i>	<i>154</i>
<i>4.4.4 Il comportamento acustico del capodoglio cambia in presenza di suoni impulsivi?</i>	<i>156</i>
4.5 CONCLUSIONI	170
4.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	173
APPENDICE I	179

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro non sarebbe arrivato alla fine senza l'aiuto di alcune persone speciali.

I miei maestri.

Gianni Pavan (CIBRA): grazie per aver seminato in me l'amore per la ricerca bioacustica e per avermi aiutato in tutti questi anni a farlo crescere e fruttare.

Giorgio Riccobene (INFN): grazie per avermi insegnato tutto quello che oggi conosco sul mondo inizialmente oscuro del rumore, con pazienza infinita ed estrema tolleranza per la mia mente da biologa.

Michele Manghi (NAUTA): grazie per l'amicizia, per non aver mai detto no alle mie richieste di aiuto e di strumenti e per avere sempre assecondato le mie idee bizzarre.

Un ringraziamento speciale a Gianluca Sarà (Università di Palermo): senza di te mi sarei persa anni fa e non sarei riuscita a concludere questo progetto. Grazie per avermi accolto da amica e collega nel tuo laboratorio. Grazie per le illuminazioni, gli incoraggiamenti e le strigliate.

Grazie alla mia famiglia per la presenza, il sostegno e la gioia.

Grazie a Francesco, di cuore, per tutti i motivi che conosci.

Grazie a me stessa, per la forza e la determinazione.

Grazie al Profondo Blu e alle sue creature meravigliose.

CAPITOLO I

INTRODUZIONE GENERALE

1.1 I SUONI IN AMBIENTE ACQUATICO

1.1.1 Il suono e la sua trasmissione in acqua

Per la fisica, il suono è un'oscillazione (un movimento nello spazio) compiuta dalle particelle in un mezzo. E' una forma di energia meccanica che consiste in successive fasi di compressione e rarefazione di molecole in un mezzo elastico (liquido, gas o solido), una vibrazione quindi che viaggia causando variazioni di pressione nel mezzo attraversato. Le onde sonore sono classificate come onde longitudinali in quanto l'energia si propaga parallelamente alla direzione di propagazione dell'onda. Esse sono caratterizzate da *ampiezza*, *frequenza*, *lunghezza d'onda*, *fase*, *velocità* e *intensità*. L'*ampiezza* è il valore massimo dello spostamento di un mezzo in un'oscillazione periodica. La *frequenza* è l'intervallo di oscillazione o vibrazione dell'onda. Essa si misura in cicli/sec o hertz (Hz). La *lunghezza d'onda* è la distanza fra due successive compressioni o rarefazioni del mezzo o la distanza tra due massimi o nodi dell'onda che viaggia in un periodo. La *fase* di un'onda acustica può essere descritta come il suo allineamento alle altre onde che si propagano nel mezzo rispetto al tempo. La *velocità* di un'onda è la velocità con cui le vibrazioni attraversano il mezzo elastico in cui l'onda si propaga. L'*intensità* dell'onda è definita come la potenza acustica media incidente sulla superficie perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda. La *velocità del suono* (c) è un parametro fondamentale per descrivere la propagazione del suono in mare. In ambiente acquatico essa dipende sostanzialmente da una funzione complessa della temperatura (t), della profondità (pressione) e della salinità. Le misure mostrano che c cresce circa con la radice quadrata della temperatura cioè di circa ± 0.60 m/s per ogni variazione di $\pm 1^\circ\text{C}$. Il profilo della velocità del suono è quindi molto variabile vicino alla superficie, in funzione delle stagioni e delle ore del giorno, a causa dello scambio termico tra acqua e atmosfera che modifica la temperatura e la salinità del mare. Nelle stagioni più calde (o nella parte più calda del giorno), la temperatura aumenta vicino la superficie e qui la velocità del suono diminuisce con la profondità. Nelle regioni non polari, le proprietà oceanografiche dell'acqua vicino la superficie dipendono fortemente dall'interfaccia aria-mare. Se gli strati vicini alla superficie hanno temperatura e salinità costante, il profilo della velocità del suono aumenta con la profondità a causa del gradiente di pressione. Questa è la regione del

cosiddetto “profilo superficiale”. Sotto gli strati superficiali c’è lo strato del termoclino dove la temperatura non è influenzata dallo scambio termico con l’atmosfera e diminuisce drasticamente e, con esse la velocità del suono. Sotto lo strato del termoclino la temperatura dell’acqua è costante ($\sim 4^\circ\text{C}$ in oceano, $\sim 13.5^\circ$ nel Mediterraneo) e la velocità del suono aumenta con la profondità a causa dell’aumento di pressione. Quindi, esiste una profondità tra la regione profonda isoterma e gli strati superficiali dove la velocità del suono assume un valore minimo. Nella regione polare l’acqua è più fredda vicino la superficie, e qui il minimo della velocità del suono è prossimo all’interfaccia aria-acqua. Infine, nelle regioni costiere (in acque profonde poche centinaia di metri) la velocità del suono ha un profilo molto complesso che dipende dalle stagioni e dalle ore giornaliere.

Il profilo di velocità del suono in funzione della profondità mostra che negli oceani e nella maggior parte dei mari il suono può essere ‘intrappolato’ in regioni in cui la velocità del suono è quasi costante. In queste regioni infatti, i raggi acustici si propagano entro una sorta di “condotto acustico”. Solitamente si definiscono due regioni: il condotto superficiale e il condotto profondo (Deep Sound Channel - DSC). Il condotto superficiale è presente sotto la superficie del mare ogni qualvolta si ha mescolamento dei processi di convezione causati dal raffreddamento superficiale e dall’evaporazione, che producono uno strato di acqua quasi isoterma. Nelle acque isoterme, il gradiente della velocità del suono in funzione della profondità aumenta di 0.017 m/sec . Se contemporaneamente il gradiente delle velocità del suono in funzione della salinità compensa questo effetto allora si forma un condotto acustico. In questi strati, chiamati “*mixed-layer*” dagli oceanografi e “*surface duct*” dagli acustici, il suono rimane intrappolato. Il “*mixed-layer*” è caratteristico delle regioni oceaniche molto ventilate. La profondità dello strato varia con le stagioni: la profondità media nel Nord Atlantico tra latitudine 40°N e 50°N è 60 m in inverno (Gennaio-Marzo), 30 m in Primavera (Aprile-Giugno), 20 m in Estate (Giugno-Settembre) e 50 m in Autunno (Ottobre-Dicembre). I processi che conducono al “*mixed-layer*” sono processi di mescolamento dovuti all’azione del vento e agli scambi termici con l’atmosfera. Quando il vento soffia, in primavera ed estate il calore degli strati superficiali è trasportato verso il basso. In autunno ed in inverno, l’effetto del vento è quello di trasportare gli strati superficiali più freddi verso il basso. Tuttavia le dinamiche associate al condotto superficiale sono così complesse che piccoli cambiamenti di temperatura sia in funzione della profondità (verticali) sia laterali, anche su un breve periodo di tempo, possono distruggere il condotto *mixed-layer*. La propagazione del suono nel DSC,

invece, è molto più efficiente. Sin dai tempi della seconda guerra mondiale si osservò che in oceano aperto il profilo della velocità del suono mostra un minimo a circa 100-1000 m di profondità creando un condotto acustico nel quale l'onda sonora può viaggiare per enormi distanze. Il suono è focalizzato nel condotto acustico perché le onde sonore sono continuamente curvate o rifratte verso la regione in cui si ha la più bassa velocità del suono. Quindi il percorso dei raggi acustici è una serie di archi diretti verso l'alto e verso il basso, alternativamente concavi e convessi, causati dall'inversione di segno del gradiente di velocità. Il DSC (storicamente chiamato SOFAR: Sound Fixing And Ranging) è dovuto al fatto che l'oceano aperto è caldo in superficie e freddo in profondità. L'effetto del riscaldamento superficiale non è sufficiente per propagarsi fino al fondo ed è limitato nella parte superficiale dalla colonna d'acqua fino al termoclino. Al di sotto di esso, il mare è quasi isoterma $\sim 4^{\circ}\text{C}$ e quindi ha un gradiente di velocità positivo dovuto alla pressione. Di conseguenza, esiste una profondità in cui la velocità è minima, che è chiamata l'asse del DSC. Il limite superiore e inferiore del DSC sono determinati dal profilo della velocità e dalle profondità delle acque. Se la colonna d'acqua è abbastanza profonda, c'è una profondità, al di sotto dell'asse, dove la velocità del suono è la stessa che in superficie. Questa profondità è chiamata profondità critica e forma il limite inferiore del DSC. Un ricevitore posto al di sotto della profondità critica riceverà solamente suoni deboli. Analogamente un ricevitore posto vicino la superficie, fuori dal DSC, non può ricevere trasmissioni a lunga distanza.

1.1.2 Il rumore sottomarino e le sue origini: ambientale, biologica e antropica.

Il rumore è genericamente definito come un disturbo rispetto all'informazione trasmessa in un sistema. Generalmente i rumori sono suoni caratterizzati da un andamento di pressione non periodico e armonicamente molto complesso, ma la percezione di suono oppure di rumore è soggettiva. In mare il rumore è prodotto da innumerevoli fonti sia naturali che antropiche. Questi suoni possono essere divisi in due classi di rumore: *rumore impulsivo* e *rumore continuo*. Il *rumore impulsivo* è un suono di breve durata che può ripetersi o meno nel tempo; mentre il *rumore continuo* è un suono lungo che persiste nel tempo.

La maggior parte dei rumori naturali non biologici sono determinati da fenomeni strettamente legati al compartimento aereo e al fondale marino. Il vento è il principale fattore legato al compartimento aereo responsabile della produzione di rumore; esso è in grado di generare un rumore ambientale nella banda di frequenze comprese tra circa 50 e 100 Hz. La pioggia è un

fenomeno meteorologico che genera rumore nella banda di frequenza compresa tra 10 e 15 kHz. Durante le precipitazioni, lampi e tuoni contribuiscono ad aumentare il rumore nella banda di frequenza compresa tra 10 Hz e 1 kHz. Nelle regioni polari in cui sono presenti ghiacciai, la loro rottura, per effetto meccanico del vento o per l'aumento delle temperature, è responsabile dell'aumento del rumore naturale non biologico del sistema.

Nel fondale marino la maggior parte dei rumori sono dovuti ad eventi geologici, quali terremoti, spostamenti di faglie, eruzioni ed esplosioni vulcaniche sottomarine ed idrotermali. Questi fenomeni geologici producono rumori che si aggirano intorno a valori di frequenza inferiori a 1 kHz. Un'altra sorgente significativa di rumore è data dal movimento dei sedimenti a causa del flusso delle correnti sul fondale oceanico; il rumore prodotto si aggira su bande di frequenza tra 1 e 200 Hz.

Nelle profondità oceaniche caratterizzate dall'assenza quasi totale della luce, il suono è utilizzato dagli organismi più evoluti, principalmente dai Cetacei, come strumento primario per l'esplorazione dell'ambiente. Tutti i cetacei usano il suono come strumento per navigare, comunicare con altri animali, e interagire con l'ambiente circostante. Le frequenze usate variano dagli infrasuoni (10 Hz) dei richiami della balenottera azzurra, alle frequenze ultrasoniche dei *click* della focena comune (120 kHz). Odontoceti e Mysticeti differiscono molto, tra l'altro, anche per la tipologia e la funzione dei suoni prodotti. Gli Odontoceti producono un'ampia varietà di suoni che includono suoni brevi a larga banda (come i *click*) e suoni a modulazione di frequenza (come i fischi), con caratteristiche differenti a seconda della specie. I fischi hanno solitamente un intervallo di frequenza tra 1 e 25 kHz, con armoniche sopra i 100 kHz; i treni di *click*, invece, possono raggiungere frequenze sopra i 100 kHz. I vocalizzi dei Mysticeti sono significativamente più bassi in frequenza rispetto a quelli degli Odontoceti; le frequenze raggiungono raramente i 10 kHz. Segnali infrasonici (10-20 Hz) sono prodotti da due specie di balenottera: la balenottera azzurra, *Balaenoptera musculus*, e la balenottera comune, *Balaenoptera physalus*. Esse producono vocalizzazioni a una potenza tale che possono essere rivelati a enormi distanze, anche centinaia di chilometri.

Un contributo al rumore sottomarino viene anche da pesci e invertebrati. Molte specie di pesci producono suoni per navigare, scegliere l'habitat, accoppiarsi e comunicare (Bass & McKibben 2003, Simpson et al. 2005); a questi suoni prodotti intenzionalmente deve essere aggiunto il rumore prodotto dal movimento nello spazio dei branchi. I pesci producono suoni con svariati meccanismi, ad esempio con fibre muscolari specializzate per contrarsi ad alta

frequenza (centinaia di Hz) o con lo sfregamento dei denti faringei. I suoni prodotti dai pesci sono tipicamente segnali impulsivi con frequenze tra 100 Hz e 1 kHz ma comprendono anche segnali tonali. In generale il contributo del suono dei pesci al rumore oceanico non è noto; quello maggiore è dato dalle specie che stanno in gruppo e vocalizzano in “coro”. Meno riconoscibili come suoni individuali rispetto a quelli dei pesci e dei mammiferi marini sono i suoni emessi dagli invertebrati marini. I suoni più conosciuti tra le specie di invertebrati sono gli schiocchi dei gamberetti del genere *Alpheidae*. Nelle vicinanze delle colonie di gamberetti si sono misurati picchi nella banda 2-15 kHz ma recenti studi hanno mostrato che essi contengono componenti in frequenze oltre i 200 kHz.

Le sorgenti di rumore antropico sottomarino possono produrre rumore intenzionalmente (sonar militari e civili, pinger di posizionamento acustico, esplosioni, *air-gun*, deterrenti acustici) oppure come sottoprodotto delle loro attività (attività industriali, traffico marittimo).

Il rumore del traffico marittimo, che può essere tonale o impulsivo, ha caratteristiche di intensità e frequenze dipendenti dalle dimensioni dell'imbarcazione, dalla potenza del motore e dalla struttura e stato delle eliche. Le sue frequenze sono comprese tra 100 Hz e 20 kHz: il rumore prodotto dal sistema di propulsione è solitamente inferiore a 200 Hz, mentre il rumore della cavitazione generata dall'elica produce rumore fino alle alte frequenze. Ogni nave o barca produce uno spettro di rumore riconoscibile, che può variare in funzione della velocità o delle attività compiute su di essa. Le navi possono produrre rumori nella banda di frequenza 10-50 Hz ad una potenza tra 195 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m (per le grosse navi mercantili a velocità maggiori di 20 nodi) e 140 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m (per le piccole barche da pesca) (NRC 2003). Le piccole imbarcazioni da diporto con motore entro bordo o fuoribordo generalmente producono rumore alle più alte frequenze (1-5 kHz) con potenze più moderate (da 150 a 180 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @ 1 m) (Erbe, 2002; Kipple & Gabriele, 2003, 2004). In media è stato misurato che i livelli di rumore sono più alti per le grosse navi e aumentano con il crescere della velocità di spostamento (Hildebrand, 2009).

Sonar e pinger sono degli strumenti acustici che producono rumori impulsivi, rumori cioè a larga banda, di brevissima durata ed intensità variabile. I *Sonar* (*Sound Navigation and Ranging Technology*) sono sistemi che usano l'energia acustica per localizzare e caratterizzare alcune proprietà fisiche degli oggetti in mare, analizzando la riflessione dell'onda sul bersaglio. La distanza dall'oggetto o dal fondo del mare è calcolata misurando il tempo che intercorre tra l'invio del segnale e il ritorno del suono (o eco) che viene ricevuto. I sistemi

sonar hanno applicazioni sia in campo militare che civile e vengono suddivisi in sonar di basse frequenze (1 kHz), di medie frequenze (tra 1 e 10 kHz), e di alte frequenze (>10 kHz). Generalmente, i sistemi complessi militari utilizzano sonar in tutti gli intervalli di frequenza, invece i sistemi civili utilizzano solo le alte frequenze. I sonar civili sono utilizzati per l'individuazione di branchi di pesci, per il rilevamento di ostacoli e per l'individuazione di cavi e piattaforme sottomarine. I sonar militari operano tipicamente ad un livello di potenza più alto rispetto ai sonar civili e sono usati per rilevare, localizzare e identificare bersagli "ostili". I sonar civili sono meno potenti ma sono una sorgente più ubiquitaria in quanto quasi tutte le navi e le imbarcazioni ne sono provvisti. I pinger sono strumenti che usano i segnali acustici per individuare la posizione di oggetti sott'acqua, ad esempio sono impiegati nelle navi posacavi. Nel campo della pesca, si definiscono pinger anche quegli strumenti, meglio noti come AHD (*Acoustic Arressement Device*) e ADD (*Acoustic Deterrent Device*), che vengono utilizzati come deterrenti al fine di evitare l'interazione tra mammiferi marini e attrezzi da pesca e le relative conseguenze: *bycatch* (intrappolamento nella rete di specie non target) e depredazione. Tipicamente essi operano ad alte frequenze (fino a 200 kHz) e bassa potenza, inoltre, rispetto ai sonar militari, l'impulso è molto più breve. Gli AHD hanno generalmente una potenza maggiore degli ADD perchè vengono impiegati per suscitare una risposta di allerta e paura, allontanando così i pinnipedi dagli impianti di maricoltura.

Le esplosioni di origine antropica provocano rumori impulsivi di forte intensità. Le esplosioni sono causate da esercitazioni militari oppure da attività industriali e operazioni off-shore o ancora dall'utilizzo di cariche esplosive durante attività illecite di pesca. Le esplosioni hanno frequenze variabili tra 1-1000 Hz, si propagano in modo omnidirezionale e possono essere percepite su larga scala (anche da un oceano all'altro).

Gli *air-gun* sono dei sistemi utilizzati nelle campagne di esplorazioni sismiche e geofisiche; essi operano sparando all'improvviso getti d'aria ad alta pressione lungo la colonna d'acqua con lo scopo di produrre una cavità riempita d'aria che si espande violentemente: la rapida contrazione ed espansione di questa cavità crea un rumore simile a quello di un'esplosione. Gli *air-gun* hanno una frequenza variabile generalmente tra 5 e 300 Hz, anche se sono stati documentati *air-gun* fino a 3 kHz (Madsen et al. 2006).

Le attività industriali (piattaforme petrolifere, pale eoliche, dragaggi, trivelle) producono rumore solitamente alle basse frequenze (20-1000 Hz) e intensità variabile (minore per le piattaforme petrolifere maggiore per le pale eoliche).

1.2 CONTESTO DELLA TESI, SCOPO, OBIETTIVI E OUTLINES

Nelle ultime decadi si è assistito a un incremento esponenziale delle domande e dell'interesse circa l'effetto del rumore di origine antropica sui mammiferi marini (NRC, 2003); ciò è una conseguenza della cresciuta preoccupazione del pubblico, della comunità scientifica e degli amministratori per l'innalzamento dei livelli di rumore sottomarino in tutti gli oceani e per gli effetti che il rumore può avere sulla salute dei mammiferi marini.

I danni che il rumore può provocare spaziano dai traumi fisici alla perdita temporanea o permanente dell'udito, dalla perdita di habitat disponibili al mascheramento dei segnali di comunicazione e all'alterazione del comportamento degli animali.

Il danneggiamento agli apparati uditivi può riguardare gravi traumi ai tessuti (come quelli causati dalla detonazione di grosse cariche esplosive), perdita temporanea di sensibilità uditiva (PTS), se la normale condizione si ripristina in tempi brevi (da pochi minuti e qualche ora) o perdita permanente della sensibilità uditiva (TTS), quando il danno è irreversibile. Mentre numerosi studi hanno evidenziato fenomeni di PTS in diverse specie di Cetacei (tursiopi, beluga, focene), non esistono studi che riportano danni ai tessuti riconducibili al rumore di origine antropica, ad eccezione di quello di Ketten et al. (1993) che ha documentato barotraumi in due megattere catturate nelle reti da pesca dopo la detonazione nelle vicinanze di alcune cariche esplosive.

I Cetacei sono animali che dipendono dai segnali acustici per molte funzioni vitali quali la navigazione e l'orientamento, la cattura delle prede, la coesione sociale, il corteggiamento. I segnali emessi hanno una capacità di trasmissione dell'informazione dipendente dal rumore ambientale: maggiore è il rapporto tra l'intensità del segnale di comunicazione e il rumore ambientale, più elevata è la probabilità di detezione del segnale stesso. L'aumento progressivo di rumore sottomarino, legato alle attività antropiche, riduce tale rapporto e conseguentemente l'efficienza nella trasmissione delle informazioni. Per aggirare questo impedimento i Cetacei hanno adottato diverse strategie: l'innalzamento dell'intensità delle vocalizzazioni o il cambiamento delle frequenze di emissione (Au et al. 1985; Lesage et al. 1999); l'alterazione del ritmo di emissione (Lesage et al. 1999) o della durata (Miller et al. 2000; Frstrup et al. 2003); il cambiamento del tipo di vocalizzazione (Rendell and Gordon, 1999). Le conseguenze di questi cambiamenti, a livello di individuo e di popolazione, sono ad oggi sconosciuti.

Oltre alla variazione del comportamento acustico, i mammiferi marini hanno mostrato di rispondere al rumore modificando vari aspetti dal comportamento superficiale e di immersione: uso dell'habitat, ritmo respiratorio, distanza dalla sorgente acustica, formazione, dimensione e coesione del gruppo, frequenza e successione di stati ed eventi comportamentali (Richardson J. et al. 1995).

Nonostante lo sforzo di ricerca si sia intensificato notevolmente negli ultimi decenni, sono ancora numerose le questioni irrisolte. Lo scopo di questa tesi è di aumentare le conoscenze sull'effetto del rumore e del traffico marittimo sul comportamento dei Cetacei, sia da un punto di vista globale che in riferimento a due differenti specie, il tursiope (*Tursiops truncatus*) e il capodoglio (*Physeter macrocephalus*), studiate in due diverse aree di studio. In particolare gli obiettivi sono:

1. Realizzare una revisione sistematica della letteratura (*Systematic review*) sugli effetti del traffico marittimo e del rumore antropico sul comportamento dei Cetacei.
2. Studiare la risposta comportamentale del tursiope (*Tursiops truncatus*) alla presenza di imbarcazioni nelle acque di Lampedusa.
3. Studiare la risposta comportamentale del capodoglio (*Physeter macrocephalus*) al rumore continuo e impulsivo nel Golfo di Catania.

La tesi affronta quindi la problematica del traffico marittimo e del rumore in un contesto ampio e diversificato e da diverse prospettive.

Nel capitolo II vengono esposti metodi e risultati della revisione sistematica della letteratura finalizzata alla misurazione dell'effetto del traffico marittimo e del rumore sul comportamento dei Cetacei. In letteratura esistano numerose revisioni descrittive e qualitative sull'argomento, tra le più recenti Weilgart 2007 e Nowacek et al. 2007. La revisione qui presentata rappresenta invece il primo tentativo di analisi e sintesi quantitativa della letteratura sull'argomento, basate sull'applicazione di procedure statistiche, con lo scopo di trarre da esse delle conclusioni oggettive. Allo stato attuale infatti la gestione politica e amministrativa dell'impatto del rumore sui mammiferi marini, problematica che ha pesanti ricadute sia economiche che conservazionistiche, si basa essenzialmente sul principio cautelativo e sull'opinione degli esperti, piuttosto che su solide evidenze scientifiche. La revisione affronta inoltre, per la prima volta, l'effetto del traffico marittimo, non dal punto di vista del rumore da

esso prodotto, quanto piuttosto del disturbo provocato dalla presenza fisica delle imbarcazioni.

Nel capitolo III viene presentato lo studio della risposta comportamentale del tursiope alla presenza di imbarcazioni nelle acque circostanti Lampedusa. In particolare, è stato verificato se i tursiopi mostrano tolleranza alla presenza delle barche o se piuttosto manifestano una reazione di allontanamento dall'area (*displacement*) o dal disturbo (*avoidance*) e se la strategia adottata è dipendente dal tipo di imbarcazione presente (barche da diporto o barche da pesca). Inoltre, è stato studiato se i tursiopi adottano una strategia acustica per aggirare l'incremento di rumore sottomarino legato al traffico marittimo, e il conseguente mascheramento dei segnali di comunicazione (*masking*), e se tale strategia è influenzata dal tipo di barca presente e dai differenti gruppi registrati (residenti o migranti).

Nel capitolo IV viene presentato lo studio della risposta del capodoglio al rumore di tipo continuo e impulsivo nelle acque del Golfo di Catania. In particolare è stato verificato se il rumore continuo e quello impulsivo rappresentano un fattore associato alla probabilità di presenza degli animali nell'area e se il capodoglio risponde acusticamente all'emissione di rumori impulsivi interrompendo le vocalizzazioni, cambiando il tipo di vocalizzazione o alterando il ritmo di emissione delle sequenze di *click*.

Infine, poiché in entrambi i casi studio per la registrazione di presenza e comportamento acustico sono state impiegate strumentazioni di monitoraggio acustico passivo (*Passive Acoustic Monitoring*), è stata discussa la validità, i vantaggi e gli svantaggi dei metodi adottati e le potenziali linee di ricerca future.

1.3 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. AU, W.W., CARDER, D.A., PENNER, R.H. AND SCRONE, B.L. (1985). Demonstration of adaptation in beluga whale echolocation signals. *Journal of the Acoustical Society of America* 77: 726–730.
2. BASS, A.H, MCKIBBEN. JR (2003) Neural mechanisms and behaviors for acoustic communication in teleost fish. *Prog Neurobiol* 69:1–26.
3. ERBE, C. (2002) Underwater noise of whale-watching boats and potential effects on killer whales (*Orcinus orca*), based on an acoustic impact model. *Marine Mammals Science* 18:394–418.
4. KETTEN, D.R., LIEN, J. AND TODD, S. (1993). Blast injury in humpback whale ears: evidence and implications. *Journal of the Acoustical Society of America* 94: 1849–1850.
5. KIPPLE B., GABRIELE C. (2004) Glacier Bay watercraft noise—noise characterization for tour, charter, private, and government vessels. Technical Report NSWCCDE-71-TR-2004/545, prepared for Glacier Bay National Park and Preserve, Naval Surface Warfare Center, Bremerton, WA.
6. HILDEBRAND, J.A. (2009) Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress series* Vol. 395: 5–20.
7. LESAGE, V.C., BARRETTE, M., KINGSLEY, C.S. AND SJARE, B. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary. *Marine Mammal Science* 15: 65–84.
8. MADSEN P.T., JOHNSON M., MILLER P.J., AGUILAR SOTO N., LYNCH J., TYACK P. (2006) Quantitative measures of air-gun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments. *Journal of the Acoustical Society of America* 120:2366–2379.
9. MILLER, G. W. (2000). Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature* 405(6789)-903.
10. NOWACEK, D., THORNE, L.H., JOHNSTON, D.W, TYACK, P.L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review* Vol. 17(2): 81–115.
11. NRC (National Research Council) (2003) Ocean noise and marine mammals. NRC, Washington DC.

- 12.RENDELL, L. AND GORDON, J.C.D. (1999). Vocal response of long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) to military sonar in the Ligurian Sea. *Marine Mammal Science* 15: 198–204.
- 13.RICHARDSON J., GREEN, C.R., MALME, C.I., THOMSON, D.H. (1995) *Marine mammals and Noise*. Academic Press.
- 14.SIMPSON S.D., MEEKAN M., MONTGOMERY J., MCCAULEY R., JEFFS A. (2005) Homeward sound. *Science* 308:221.
- 15.WEILGART, L. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology* 85(11): 1091-1116.

CAPITOLO II

EFFETTI DEL TRAFFICO MARITTIMO E DEL RUMORE SUL COMPORTAMENTO DEI CETACEI: REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA

2.1 INTRODUZIONE ALLA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA

Una revisione sistematica della letteratura (*systematic review* o *research synthesis*) è un'analisi d'informazioni finalizzata a trovare risultati, a sintetizzare la sostanza della letteratura analizzata e a trarre delle conclusioni da essa, rispetto ad una specifica questione (*Educational Resources Information Center*). Essa quindi non si basa su nuovi fatti e risultati ma sulle pubblicazioni di queste informazioni primarie, che sono digerite, setacciate, classificate, semplificate e sintetizzate (Mantén 1973). Lo scopo di una revisione è quello di integrare i risultati di ricerche empiriche per creare una generalizzazione, di cui vengono chiaramente definiti i limiti.

Il processo di realizzazione di una revisione della letteratura comprende diverse fasi successive:

- Formulazione del problema: qual'è l'argomento di cui si occupano le ricerche che si vogliono sintetizzare? Una revisione della letteratura comincia con una specifica domanda a cui è possibile rispondere in termini scientifici (Cooper & Hedges, 1994). Il principale aspetto da considerare nella formulazione del problema è la sua estensione: una problematica troppo ampia metterebbe insieme studi dalle caratteristiche troppo diverse per poter sintetizzare e generalizzare i risultati, tuttavia una problematica troppo ristretta e definita rischia di rendere troppo esiguo il numero di studi trovati (*sensu*, Pullin et al, 2006). Quest'ultimo caso tuttavia, anche se rende impossibile una sintesi quantitativa dei risultati, mette in evidenza delle lacune di conoscenza, che possono indirizzare le ricerche future. La formulazione della domanda prevede la definizione di: i) soggetto (l'unità di studio, ecosistema, habitat, specie o gruppo di specie) cui è stato sottoposto l'intervento; ii) intervento (l'azione, impatto, decisione cui è stato sottoposto il soggetto); iii) risposta del soggetto all'intervento; iv) confronto (tra intervento e non intervento o tra interventi diversi o tra fasi diverse di esposizione all'intervento).
- Stesura del protocollo. Esso è il documento che definisce come la revisione deve essere condotta e che ne rende trasparente il processo e i risultati. Esso deve comprendere, oltre alla definizione chiara della domanda, le modalità di ricerca della letteratura e i criteri di

inclusione ed esclusione dei dati. Il protocollo è un processo retrospettivo, in quanto può essere modificato durante il corso della revisione, man mano che vengono raccolti gli articoli ed estratti i dati (Pullin et al, 2006).

- Ricerca della letteratura. E' la fase in cui si ricercano tutti gli studi che presentano risultati primari sull'argomento d'interesse. L'intento di reperire tutta la letteratura disponibile può essere abbandonato nel caso in cui si ritiene che aggiungere altro materiale non cambierebbe la comprensione del fenomeno e le conclusioni sull'argomento d'interesse oppure se reperire la letteratura diventa difficile in misura inaccettabile, in termini di tempo e impiego di risorse economiche e umane (Cooper & Hedge, 2009). Si deve sottolineare tuttavia che il concetto di tutta la letteratura riferita ad un dato argomento dovrebbe includere anche il materiale non pubblicato su riviste internazionali, solitamente più difficile da reperire (report interni, manoscritti, poster e atti di congressi, ecc). Infatti, la tendenza comune di pubblicare su riviste con referaggio solo gli studi che presentano risultati a sostegno dell'ipotesi presentata e a non pubblicare invece quelli in cui è stato riscontrato risultato opposto o neutrale porterebbe ad una sovrastima della misura dell'effetto dell'intervento.

- Selezione degli articoli ed estrazione dei dati. Una volta reperita la letteratura rilevante, è necessario selezionarla sulla base dei criteri di inclusione ed esclusione operando un processo a più passaggi: la prima selezione è basata sull'analisi del titolo, la seconda sull'analisi dell'*abstract* e la terza sull'analisi del testo. I primi due passaggi devono seguire un approccio conservativo, in caso di dubbi cioè l'articolo deve essere trattenuto per la successiva analisi del testo. Infine, da ogni documento pertinente, è necessario estrarre quella parte di informazioni che aiutano a rispondere alle domande della revisione. Prima però gli studi devono essere valutati in termini di qualità, quindi è necessario rispondere ad alcuni quesiti: i) come si definisce la qualità di uno studio? ii) se e come vanno pesati studi di diversa qualità al momento della sintesi. Le scelte fatte dall'autore della *review* vanno specificate e giustificate.

- Sintesi dei dati. Il passaggio include sia una sintesi di tipo qualitativo che una sintesi di tipo quantitativo, che utilizzi appropriate tecniche statistiche. La sintesi qualitativa consente una valutazione informale dell'effetto dell'intervento sul soggetto. Un primo semplice approccio di sintesi quantitativa prevede che i dati estratti vengano sintetizzati in modo da evidenziare il numero di studi con risposta negativa, positiva o neutra alla

domanda che è stata formulata, con una procedura nota come *vote counting*. Le sintesi quantitative migliori invece forniscono una misura dell'*effect size*, gli studi sono pesati differentemente in funzione di alcune misure di importanza (ad esempio maggiore peso agli studi con un grande campione e stime precise dell'effetto e meno a studi con stime imprecise dell'effetto), e vengono impiegate tecniche statistiche di meta-analisi (Figura 2.1).

- Il passaggio finale riguarda l'interpretazione dei risultati e soprattutto la loro presentazione alla comunità scientifica.

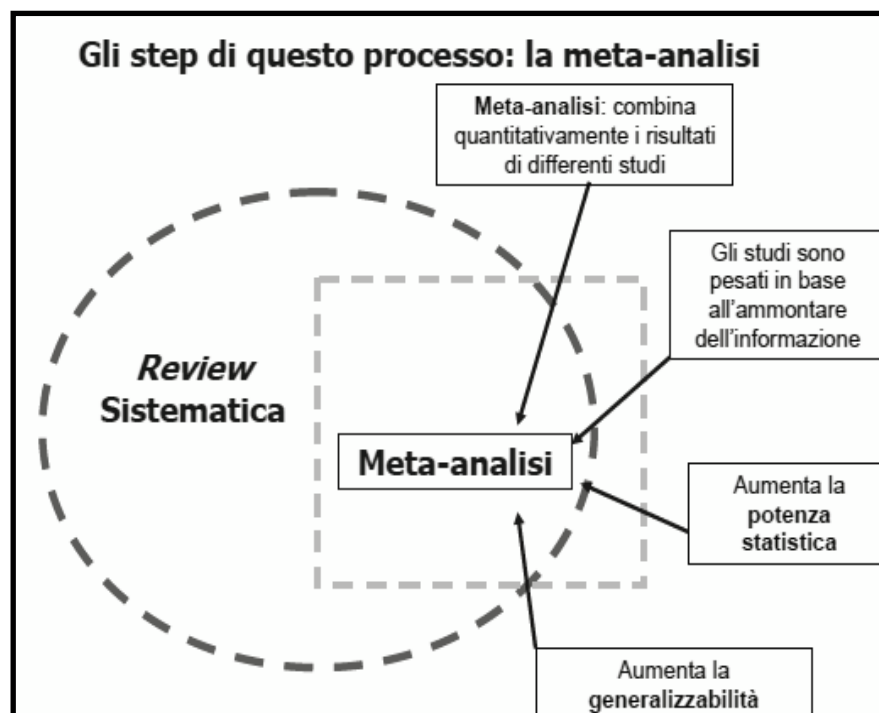


Figura 2.1 La revisione sistematica e la meta-analisi.

2.2 CONTESTO, SCOPO ED OBIETTIVI

L'inquinamento acustico ha una rilevanza particolare per i Cetacei, un gruppo tassonomico estremamente “vocale” e che dipende dal suono e dalla comunicazione acustica per l'espletamento di alcune funzioni primarie (ad esempio, l'alimentazione) e per la biologia sociale (*sensu* Weilgart 2007). L'inquinamento acustico sottomarino è raddoppiato ogni decade negli ultimi 40 anni, come conseguenza dell'incremento del traffico marittimo, espresso come numero di navi e imbarcazioni naviganti (Mc Donald et al. 2006), ma anche a causa dell'innalzamento dei livelli di rumore prodotti, dovuto al potenziamento dei motori e all'aumento della velocità di navigazione. Tuttavia, altre fonti antropiche di rumore contribuiscono in misura diversa all'inquinamento acustico (sonar militari e civili, attività industriali, *airguns* impiegati per le esplorazioni sismiche, sistemi acustici per i rilevamenti termici, AHD/ADD).

In letteratura sono presenti numerose revisioni narrative in cui si sintetizzano qualitativamente gli effetti fisiologici, comportamentali e acustici del rumore antropico sui mammiferi marini. Tali revisioni però, pur fornendo importanti intuizioni, utili alla comprensione di come il rumore agisce (ad esempio Nowacek et al, 2007) e di quali possano essere le conseguenze a livello di individuo e popolazione, i possibili effetti cumulativi o le potenziali implicazioni gestionali (ad esempio, Weilgart, 2007), non forniscono però misure quantitative e oggettive relativamente all'effetto del traffico marittimo e del rumore. Infine non esiste, a nostra conoscenza, alcuna revisione che si occupi dell'impatto del traffico marittimo, non dal punto di vista del rumore da esso prodotto, quanto piuttosto del disturbo legato alla presenza fisica delle imbarcazioni.

Il primo obiettivo di questa revisione sistematica della letteratura è quindi la raccolta e la sintesi di studi scientifici relativi alla comprensione e misurazione dell'effetto del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei. L'obiettivo secondario è di chiarire se questo effetto varia in funzione della specie, del tipo di sorgente di rumore antropico e della tipologia di risposta comportamentale analizzata. A differenza delle altre revisioni in cui l'effetto del rumore viene affrontato da tutti i possibili punti di vista (spiaggiamenti, danni fisiologici, alterazioni comportamentali, stress), in questo lavoro di revisione ci si è concentrati esclusivamente sulle risposte comportamentali al rumore e al traffico marittimo, intendendo per comportamento sia quello superficiale e d'immersione che quello acustico.

2.3 METODI

La stesura del protocollo di una revisione sistematica della letteratura comincia con la definizione delle domande primarie e secondarie a cui la revisione vuole trovare risposta. In questo studio definiamo quindi come domanda principale e come domande secondarie le seguenti:

1. Esiste un effetto misurabile del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei?

1.1 Quali sono le specie che maggiormente subiscono l'impatto del traffico marittimo e del rumore?

1.2 Quali tra gli interventi definiti hanno il maggior impatto sul comportamento dei Cetacei?

1.3 Quali sono gli aspetti del comportamento maggiormente influenzati dal traffico marittimo e dal rumore di origine antropica?

1.4 Assumendo uno sviluppo scientifico e tecnologico progressivo nel tempo, esiste una differenza nei risultati conseguiti in funzione del periodo temporale?

Il passo successivo nella stesura del protocollo consiste nella precisa definizione dei componenti della domanda principale (soggetto, intervento, risposta e confronto); quelli utilizzati nel nostro studio sono illustrati nella Tabella 2.1.

Soggetto	Tutte le specie di Cetacei, sia marine che d'acqua dolce.
Intervento	Traffico marittimo Rumore di origine antropica: <i>airguns</i> , esplosioni, operazioni industriali e <i>off-shore</i> , sonar militari e civili, navi e imbarcazioni, AHD (<i>Acoustic Arressement Device</i>), ATOC.
Risposte	• <i>Displacement</i>: abbandono o riduzione nell'uso dell'habitat. • <i>Avoidance</i>: reazioni di allontanamento dalla sorgente d'impatto. • Alterazioni del comportamento superficiale e d'immersione. • Variazione dei ritmi respiratori. • Cambiamenti nel comportamento acustico.
Confronti	Studi in natura che valutano gli effetti prima e dopo l'impatto o gli effetti in presenza o assenza dell'impatto.

Tabella 2.1. Soggetti, interventi, risposte e confronti definiti nel protocollo.

Strategia di ricerca

La ricerca della letteratura è stata effettuata attraverso i seguenti database elettronici:

1. *Web of Science*
2. ASFA
3. *Cambridge Journals*

Sono stati impiegati anche motori di ricerca, come Google, Google Scholar e DogPile, tenendo in considerazione i primi 50 risultati mostrati. Sono stati inoltre consultati i seguenti siti specializzati:

- www.unipv.it/cibra
- www.birds.cornell.edu
- <http://asa.aip.org>
- www.afsc.noaa.gov
- <http://interact.uoregon.edu/MediaLit/WFAE/about/index.html>
- <https://darchive.mblwhoilibrary.org>
- www.dosits.org
- <http://scitation.aip.org/journals/doc/ASALIB-home/jrnls/top.jsp?key=JASMAN>
- www.acousticecology.org

La ricerca è stata inizialmente condotta usando le seguenti combinazioni di termini:

1. “Marine mammal*” AND noise
2. Whale* AND Dolphin* AND noise
3. “Marine mammal*” AND “noise (response OR impact OR effect)”
4. Whale* AND Dolphin* AND “noise (response OR impact OR effect)”
5. “Marine mammal*” AND Noise AND (behaviour OR behavior)
6. Whale* AND Dolphin* AND Noise AND (behaviour OR behavior)
7. “Marine mammal*” AND Masking
8. Whale* AND Dolphin* AND Masking
9. “Marine mammal*” AND “seismic survey” OR air-gun OR airgun*
10. Whale* AND Dolphin* AND “seismic survey” OR air-gun OR airgun*
11. “Marine mammal*” AND sonar
12. Whale* AND Dolphin* AND sonar
13. “Marine mammal*” AND AHD

14. "Whale* AND Dolphin* AND AHD
15. "Marine mammal*" AND "Boat traffic" OR "Vessel traffic"
16. Whale* AND Dolphin* AND "Boat traffic" OR "Vessel traffic"
17. "Marine mammal*" AND "frequency sound"
18. Whale* AND Dolphin* AND "frequency sound"
19. "Marine mammal*" AND avoidance OR displacement
20. Whale* AND Dolphin* AND avoidance OR displacement

La bibliografia e le citazioni degli articoli rilevanti e di altre revisioni già pubblicate sono state analizzate allo scopo di trovare articoli non ancora individuati. Quando non è stato possibile reperire la letteratura identificata sul web, gli autori dei lavori sono stati contattati allo scopo di ottenere i dati d'interesse.

Criteri di inclusione

Il periodo temporale cui la revisione fa riferimento è l'intervallo tra il 1996 e la prima metà del 2011. Sono stati esclusi gli articoli precedenti al 1996 perchè nel 1995 è stata pubblicata la più grande revisione nel campo dei mammiferi marini e del rumore (Richardson et al. 1995). Nell'inclusione degli articoli non è stata invece applicata alcuna restrizione geografica. Per quanto riguarda la lingua, non sono stati rinvenuti articoli in lingua diversa dall'inglese quindi nessuno di essi è stato eliminato per motivi linguistici.

Il processo di inclusione ha previsto una prima selezione basata su titolo e parole chiave, successivamente gli articoli sono stati selezionati in relazione al contenuto dell'*abstract* e infine al contenuto del testo. Sono stati inclusi gli articoli conformi alle seguenti caratteristiche:

- **Soggetto:** tutte le specie di Cetacei, sia marine che d'acqua dolce, indipendentemente dal tipo di habitat (pelagico o costiero). Sono stati invece esclusi Pinnipedi e Sirenidi, per non includere ulteriori fonti di eterogeneità legate alle differenze comportamentali tra questi gruppi e i Cetacei.
- **Tipo di intervento:** impatto derivante dal traffico marittimo (di seguito nominato Traffico Marittimo) e da rumore sottomarino di origine antropica proveniente da: *airguns* impiegati nelle esplorazioni sismiche (di seguito nominati *Airguns*), sorgenti di rumore legati alle attività industriali (esplosioni, dragaggi, trivelle - di seguito nominati Attività industriali),

navi e imbarcazioni (di seguito nominato Rumore di imbarcazioni), deterrenti acustici (*Acoustic Harressement Device*, di seguito nominato AHD), sonar militari e civili (di seguito nominato Sonar), sistemi acustici per la determinazione della temperatura oceanica (di seguito nominato ATOC) e segnali vari di allerta. Traffico marittimo e Rumore di imbarcazioni sono stati separati perchè, pur derivando dalla stessa sorgente (l'imbarcazione), il potenziale impatto deriva o dalla presenza fisica delle barca oppure dal rumore da essa prodotto. Gli studi che valutano l'impatto delle barche presenti hanno come intervento Traffico Marittimo, mentre gli studi che valutano esclusivamente l'impatto del rumore attribuibile alle imbarcazioni hanno come intervento Rumore di Imbarcazione. Negli studi in cui si valuta la risposta a entrambi gli interventi, i casi studio sono stati trattati separatamente. Infine sono stati esclusi gli studi che si occupano della risposta dei Cetacei agli ADD (*Acoustic Deterrent Device*), strumenti progettati con lo scopo di suscitare una risposta di allontanamento degli animali da alcune zone o dalle reti da pesca. Si ritiene che la loro inclusione avrebbe portato ad una sovrastima dell'effetto, inoltre numerose sono le revisioni dedicate esclusivamente a questi strumenti e al loro miglioramento tecnologico e di efficienza.

- **Tipo di confronto:** sono stati inclusi gli studi che prevedevano un confronto tra situazioni di impatto e situazioni di controllo, ad esempio presenza/assenza di intervento o diverse fasi di esposizione all'intervento (prima, durante e dopo).
- **Tipo di risposta:** cambiamenti nell'abbondanza relativa o nell'uso dell'habitat (*displacement*), risposte varie di allontanamento dalla sorgente d'impatto (*avoidance*), alterazione del comportamento superficiale e d'immersione, variazione del *pattern* respiratorio, alterazione del comportamento acustico.
- **Tipo di studio:** studi che descrivono l'impatto del traffico marittimo e del rumore antropico sui cetacei, presentando dati originali relativi al soggetto d'interesse e ai vari interventi. Le revisioni sono state considerate solo per reperire i dati originali degli articoli citati. Sono stati esclusi gli studi basati sulle previsioni d'impatto realizzate tramite modelli e gli studi compiuti su animali in ambiente controllato, per eliminare un ulteriore fonte di eterogeneità (la cattività).
- **Potenziali sorgenti di eterogeneità:** risposta variabile del soggetto all'intervento e in funzione delle sue caratteristiche (distanza dagli animali, intensità e frequenze del rumore); variabilità della risposta legata alla specie, alla popolazione, al sesso e all'età degli individui.

Definizione della qualità degli studi.

La maggior parte delle riviste scientifiche tendono a pubblicare studi con risultati significativi dell'effetto in considerazione e ciò porta a una sovrastima del numero dei risultati significativi o alla distorsione di un certo effetto poiché gli studi che non presentano conclusioni statisticamente significative hanno *chance* inferiori di essere pubblicati. Per minimizzare il problema del *bias* derivante dal tipo di pubblicazione, sia i lavori con referaggio (articoli pubblicati su riviste scientifiche internazionali e nazionali) che i lavori senza referaggio (report, poster, presentazioni a convegni, ecc) sono stati inclusi, uno criterio questo che raramente è soddisfatto nelle revisioni tradizionali (Popper & Stewart, 2006). Sono stati invece esclusi i lavori di tesi (laurea, master) che non sono stati in alcun modo presentati alla comunità scientifica. La qualità degli studi è stata definita in funzione della disponibilità d'informazioni statistiche fondamentali nel calcolo dell'*effect size* (misure di tendenza centrale, misure di dispersione, dimensione del campione) e in funzione della presenza di un controllo. Sono state definite tre categorie: 1. studi descrittivi, cioè studi privi di un controllo e/o nei quali non sono riportate informazioni statistiche o non sono stati applicati test statistici; 2. studi in cui sono presenti risultati statistici ma non sono contenute tutte le informazioni necessarie per il calcolo dell'*effect size* (ad esempio studi che non riportano la dimensione del campione) e che sono quindi valutabili solo tramite *vote counting*; 3. studi utili alla meta-analisi, cioè studi riportanti tutte le informazioni necessarie per il calcolo dell'*effect size*.

Estrazione dei dati

I dati d'interesse di ogni caso studio sono stati registrati in un apposito database excel, riportando le seguenti informazioni:

1. Elementi descrittivi dello studio: numero progressivo identificativo, autore, anno, titolo, tipo di studio (articolo, poster, report, manoscritto, *review*, ecc).
2. Elementi descrittivi del soggetto: specie, classe d'età, sesso.
3. Elementi descrittivi dei materiali e metodi dello studio: disegno sperimentale e attrezzatura acustica, se presente.
4. Tipo di intervento: tipologia d'intervento, indicazioni su distanza della sorgente dagli animali, intensità e frequenze del rumore.

5.Tipo di risposta: categoria della risposta (*displacement*, *avoidance*, comportamento superficiale e d'immersione, *pattern* respiratorio e comportamento acustico) e modalità di misurazione (vedi Tabella 2.2).

6.Qualità dello studio (descrittivo, *vote-counting*, meta-analisi).

7.Informazioni statistiche e tipo di analisi.

8.Descrizione del risultato ottenuto e direzione della risposta (positiva, negativa, non definita).

RISPOSTE				
Generale	Sub-categorie	Definizione	Varianti	
DISPLACEMENT	Presenza	La presenza/assenza è espressa come variabile dicotomica 0-1	P1	Presenza/assenza come variabile dicotomica 0-1
	Abbondanza	E' definita dal rapporto tra numero animali-gruppi-avvistamenti sull'unità di tempo	A1	N°gruppi/1000 ore di osservazione
			A2	Numero minimo animali/ora
			A3	Numero gruppi e animali/ora-giorno
			A4	Numero gruppi e animali osservati nel periodo di studio
			A5	Numero medio di giorni di avvistamento/anno
			A6	Numero animali e gruppi/ <i>scan</i>
			A7	Numero giorni di avvistamento per stagione/ numero giorni di osservazione per stagione
			A8	Percentuale delfini in funzione dell'ora del giorno
	Densità	E' definita dal numero o frequenza o percentuale degli animali per unità di spazio ed eventualmente di tempo	D1	Numero gruppi/15'/estensione area
			D2	Numero animali identificati/ numero osservazioni per area e per periodo
			D3	Densità stimata col <i>Distance Sampling</i>

RISPOSTE				
Generale	Sub-categorie	Definizione	Varianti	
			D4	Numero gruppi/km o miglia di osservazione
	Occorrenza acustica	E' definita dal numero o percentuale di contatti acustici sull'unità di tempo	O1	Percentuale di contatti acustici/settimana
			O2	Numero contatti acustici/min-ora
	Distribuzione/uso dell'habitat	E' definita dal numero, percentuale, frequenza o posizione degli animali in funzione di diverse zone dell'area di studio o tipo di habitat	H1	Percentuale dei contatti acustici/zona dell'area di studio
			H2	Numero di posizioni georeferenziate per tipo di habitat o zona dell'area di studio
			H3	Posizioni georeferenziate degli animali
			H4	Posizioni georeferenziate degli animali rispetto alla costa
			H5	Posizioni georeferenziate degli animali in funzione della profondità del fondale
	Permanenza nell'area	E' definita dal tempo medio di avvistamento acustico o visivo	Pm1	Durata media dell'avvistamento
		E' definita dal tempo trascorso all'interno dell'area di studio	Pm2	Proporzione di tempo trascorso all'interno dell'area di studio (anche in funzione dell'ora del giorno)
	Spostamento relativo alla sorgente d'impatto	E' definita dal numero, percentuale o frequenza di reazioni di spostamento da o verso la sorgente di impatto e da o verso gli altri membri del gruppo	S1	Allontanamento/avvicinamento alla sorgente d'impatto
			S2	Distanza tra gli animali del gruppo
			S3	Dimensione media del gruppo
			N1	Orientamento in gradi rispetto al nord vero, espresso in gradi o classi percentuali.
			N2	Orientamento in classi di gradi rispetto alla sorgente d'impatto
			N3	Probabilità di cambiamento dell'orientamento rispetto alla sorgente d'impatto
			N4	Cambiamenti medi della direzione
			N5	<i>Directness index</i> : rapporto tra il diametro della traccia e il suo perimetro

RISPOSTE				
Generale	Sub-categorie	Definizione	Varianti	
AVOIDANCE	Orientamento	E' definita da variazioni nell'orientamento degli animali rispetto alla sorgente d'impatto.	N6	Numero di avvistamenti in cui c'è un cambiamento di almeno 10° nella direzione di spostamento degli animali dall'inizio alla fine dell'avvistamento
			N7	<i>Linearity index</i> : rapporto tra la lunghezza lineare tra il punto di inizio e il punto di fine del percorso e la lunghezza del reale percorso compiuto
			N8	<i>Reorientation index</i> : rapporto tra la sommatoria in gradi degli angoli tra un tratto di percorso e il successivo e la sommatoria della distanza o durata dei singoli percorsi (gradi/km-min)
			N9	<i>Deviation index</i> : Media delle deviazioni di orientamento (in gradi) tra un'emersione e la precedente in un'intera traccia percorsa
	Distanza	E' definita dalla distanza tra il gruppo e la sorgente di impatto	Z1	Distanza media o mediana del gruppo dalla sorgente, in km o m
			Z2	Numero medio di giorni di riavvistamento in funzione di categorie di distanza
			Z3	Frequenza di avvistamento in funzione di classi di distanza
	Velocità di spostamento	E' definita da una qualche misura di velocità di spostamento	V1	Km-Mn/Ora
			V2	Variazione della velocità
			V3	Classi di velocità espresse in nodi
			V4	Classi di velocità misurata con il tipo di nuoto
			C1	Alterazione improvvisa del comportamento in risposta all'impatto
			C2	Frequenza del comportamento alimentare (determinato acusticamente)
			C3	Alterazione del tipo di movimento (direzionale o erratico)
			C4	Numero medio di eventi comportamentali superficiali all'ora
			C5	Probabilità di successione di stati comportamentali
			C6	Percentuali di cambiamento degli stati comportamentali

RISPOSTE				
Generale	Sub-categorie	Definizione	Varianti	
COMPORTAMENTO	Alterazioni comportamentali	E' definita come alterazione del numero, percentuale o frequenza di stati o eventi comportamentali	C7	Numero medio di eventi o stati comportamentali/numero totale campioni
			C8	Frequenza di stati comportamentali
			C9	Percentuali di gruppi in attività alimentare
			C10	Numero individui in attività alimentare
			C11	Percentuale di tempo trascorso in uno stato comportamentale e tipo di movimento
			C12	Probabilità di cambiamento di stati comportamentali
			C13	Numero di <i>scan</i> trascorsi in un dato stato comportamentale
			C14	Numero medio di un dato stato comportamentale per delfino
	Alterazione del comportamento d'immersione	E' definita come alterazione di una qualche caratteristica del <i>pattern</i> d'immersione	I1	Tempo di emersione
			I2	Durata immersione in sec-min-ore
			I3	Percentuale di tempo in immersione
			I4	Distanza tra punti di emersione successivi
			I5	Tempo o ritmo di ascesa/discesa e profondità dell'immersione
PATTERN RESPIRATORIO	Alterazione del <i>pattern</i> di respirazione	E' definita come alterazione del ritmo respiratorio	R1	Numero esalazioni/balena/minuto-ora
			R2	Lunghezza media dell'intervallo tra respirazioni
			R3	Numero di animali del gruppo che emergono insieme in un periodo di 3 sec.
			R4	Numero medio o totale emersioni per minuto
	Comportamento generale	E' definito da caratteristiche generali o inusuali del comportamento acustico	G1	Tempo compreso tra l'immersione e la produzione del primo click
			G2	Cambiamento generali
	Interruzione vocalizzazioni	E' definita dall'interruzione della vocalizzazione	Si1	Interruzione della vocalizzazione
			F1	Frequenza media
			F2	Intervallo di frequenza
			F3	<i>Adopted frequency</i> : distribuzione di 20 punti di frequenza della vocalizzazione

RISPOSTE				
Generale	Sub-categorie	Definizione	Varianti	
COMPORTAMENTO ACUSTICO	Frequenza	E' definita come variazione delle caratteristiche di frequenza delle vocalizzazioni	F4	Frequenza minima
			F5	Frequenza iniziale
			F6	Frequenza massima
			F7	Picco di frequenza
			F8	Modulazione di frequenza
			F9	Frequenza in 1/3 di banda d'ottava
	Durata	E' definita dalla durata della vocalizzazione	Sd1	Durata della vocalizzazioni in sec o min
	Intensità	E' definita dall'intensità della vocalizzazione	Am1	Livello medio della vocalizzazione (dB re 1 uPa)
	Tasso di emissione delle vocalizzazioni	E' definita dal numero di vocalizzazioni per unità di tempo	Tr1	Numero medio/mediano vocalizzazioni al min/sec/ora/giorno
			Tr2	Tempo tra una vocalizzazione e la successiva
			Tr3	Numero medio vocalizzazioni/delfino/min-sec
			Tr4	Intervallo tra click (<i>Inter Click Interval</i>) in sec

Tabella 2.2. Tipo di risposte analizzate negli studi raccolti e modalità di misura.

Analisi dei dati

Lo scopo di una revisione sistematica è quello di fornire una misura quantitativa dell'effetto che un intervento ha sulla risposta di un dato soggetto. Per fare questo è necessario che tutti i casi studio siano tra loro confrontabili, in modo da poter assumere che essi appartengano alla stessa popolazione statistica, e che siano disponibili le informazioni statistiche fondamentali per il calcolo dell'*effect size* (media, deviazione standard, dimensione impatto e controllo, significatività statistica). Quando questo non si verifica, e quando sono almeno disponibili informazioni quali la significatività statistica e la sua direzione, il metodo quantitativo utilizzabile è quello del *vote-counting*, che mette a confronto le risposte che hanno dato una risposta positiva con quelle che hanno dato una risposta negativa. Il metodo presenta alcuni svantaggi: 1. non tiene in considerazione la dimensione del campione (generalmente la probabilità di trovare una significatività statistica aumenta con la dimensione del campione); 2. non fornisce informazioni sull'entità della "vittoria" dell'intervento (cioè non da una

misura di *effect size*) (Cooper & Hedges, 2009). Tuttavia, tale procedura rappresenta l'unica alternativa nelle situazioni sopra descritte.

In questo studio il modo estremamente variabile di misurare la risposta comportamentale alle sorgenti d'impatto definite ha ridotto sensibilmente il numero di casi studio tra loro confrontabili e quindi analizzabili con tecniche di meta-analisi e ha costretto a un'analisi di tipo *vote-counting*. Il *Sign* test è stato applicato per verificare l'ipotesi che gli *effect size* dal *dataset* di studi indipendenti siano tutti pari a zero, quindi che la probabilità di trovare un risultato positivo sia 0.5. L'ipotesi alternativa è quindi che la probabilità di un effetto positivo è maggiore del 50%.

Per risposta positiva si intende quella che dimostra almeno un impatto dell'intervento sulla risposta del soggetto (ad esempio, il traffico marittimo altera il comportamento acustico del tursiopo); per risposta negativa si intende invece quella in cui l'intervento non dimostra un impatto sulla risposta del soggetto (ad esempio, la distanza della megattera dagli *airguns* non cambia in presenza di esplosioni rispetto che in assenza oppure è minore in presenza di esplosioni piuttosto che in assenza). Per rispondere alla prima domanda (esiste un effetto misurabile del traffico marittimo e del rumore sul comportamento dei Cetacei?), il *Sign* test è stato applicato a tutto il *dataset*, escludendo quegli studi classificati come descrittivi. Successivamente, è stato applicato su *dataset* ridotti per testare se esiste un effetto differente in funzione della specie o gruppi di specie, in funzione del tipo di risposta analizzata e in funzione del tipo di intervento. Infine, quando reso possibile dalla dimensione del campione, il G-test è stato applicato per verificare se esiste un'associazione tra l'effetto e le varie specie (o gruppi di specie), tra l'effetto e i vari tipi di intervento e tra l'effetto e i vari tipi di risposta.

2.4 RISULTATI E DISCUSSIONI

2.4.1 Campione statistico

La ricerca della letteratura tramite parole chiave ha restituito più di 16000 risultati. Dopo l'eliminazione dei duplicati (8995) e delle citazioni (7719), la fase di selezione per titoli ha ridotto il numero di studi da 790 a 562. Nella selezione per *abstract*, la maggior parte di questi studi è stata esclusa per i seguenti motivi: limiti temporali, cioè studi realizzati precedentemente al 1996 (27%); impossibilità di reperire lo studio, neanche dopo aver contattato l'autore (3%); studi presentati alla comunità scientifica solo in forma di *abstract* (5%); non pertinenza del soggetto (10%); non pertinenza dell'intervento (6%); non pertinenza della risposta all'intervento (7%); motivi metodologici, ad esempio studi in cattività o studi basati su modelli (15%); assenza di casi studio o risultati già presentati in altri articoli (9%). Il rimanente 18% (n=100) è stato ritenuto idoneo e incluso per la fase di analisi (elenco dettagliato in Appendice I).

Gli articoli hanno la distribuzione temporale mostrata nella Figura 2.2: non si osserva l'incremento progressivo che ci sarebbe potuti aspettare considerando che negli ultimi 25 anni l'interesse per la problematica affrontata è cresciuto notevolmente.

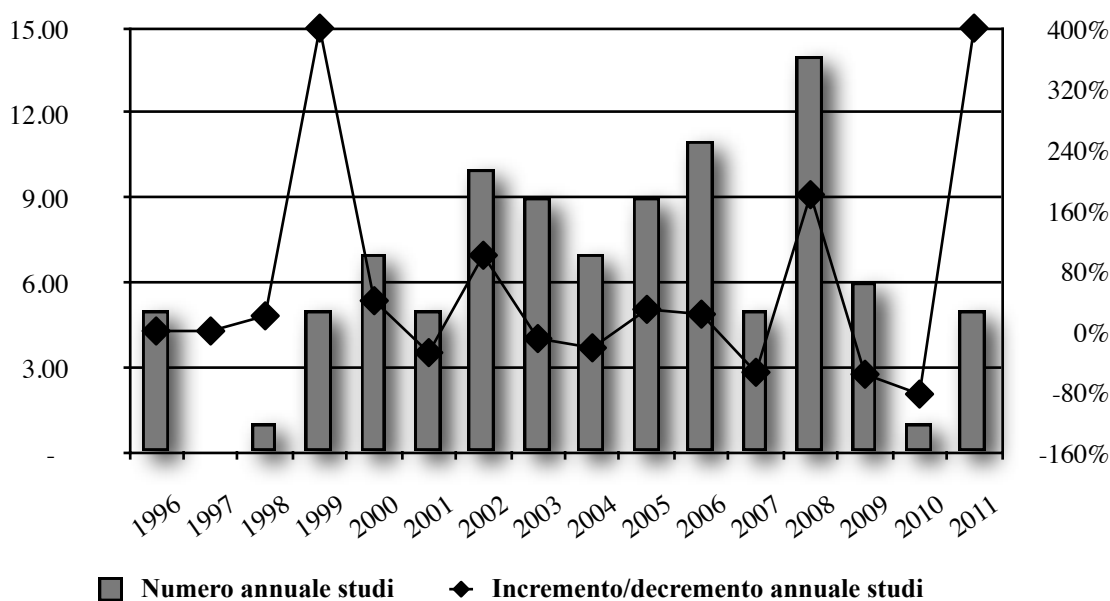


Figura 2.2. Numero e andamento degli studi inclusi nella revisione, in funzione dell'anno.

Dai 100 studi inclusi sono stati estratti 295 casi studio, 46 descrittivi e 249 inclusi nelle analisi statistiche. I soggetti considerati nei casi studio appartengono a 35 specie differenti, 8 del

sottordine dei Mysticeti e 27 del sottordine degli Odontoceti (Figura 2.3). La maggior parte delle specie sono state oggetto di studio in poche occasioni e solo 7 contano più di 10 casi studio. Questo risultato mostra che circa il 90% delle specie conosciute di Cetacei non è stato mai oggetto di studio o è stato studiato in rarissime occasioni. Ciò significa che per esse non esistono evidenze scientifiche che possano consentire la misura quantitativa dell'effetto del rumore antropico e del traffico e che potrebbero esistere quindi potenziali situazioni di rischio attualmente sconosciute.

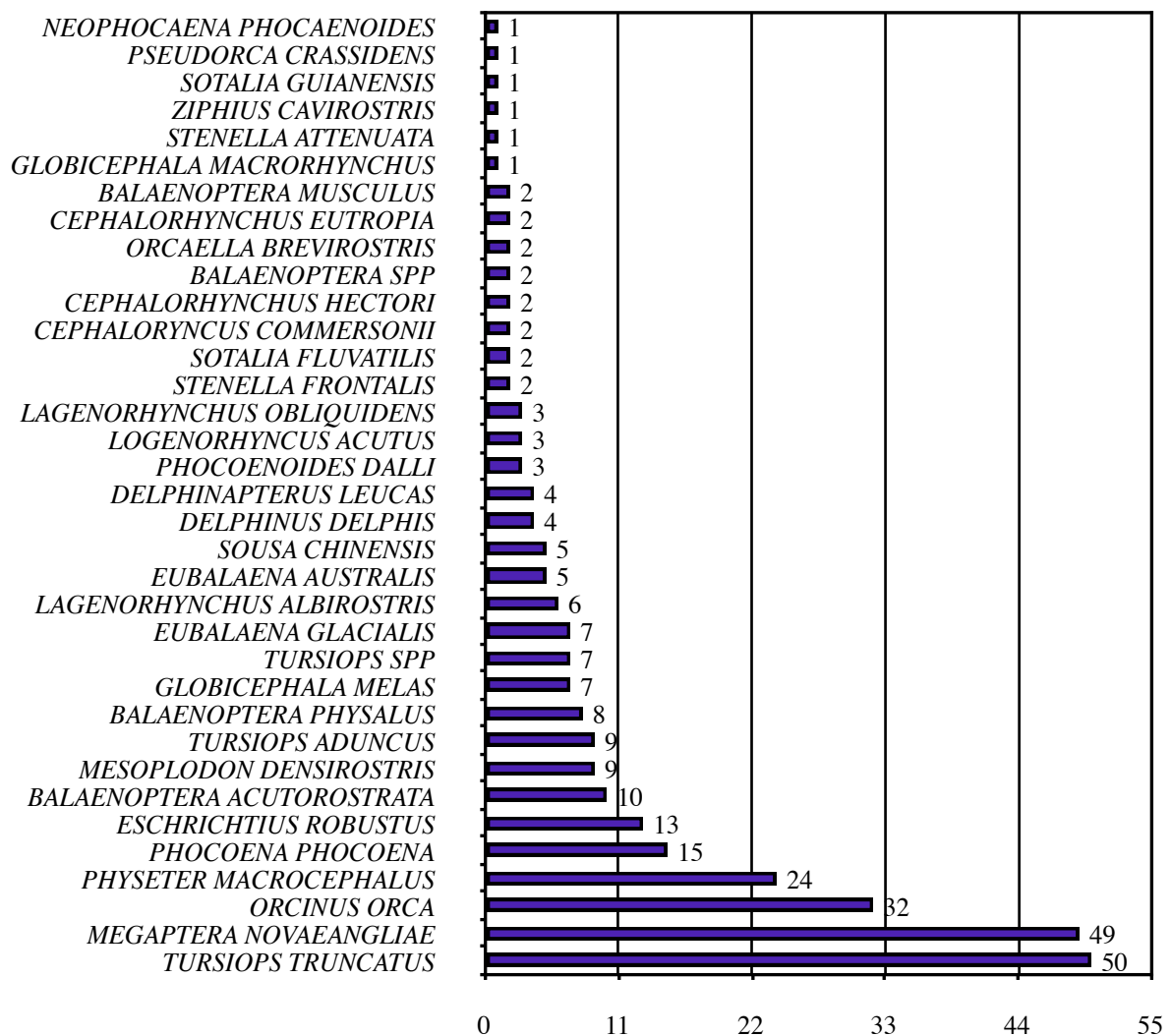


Figura 2.3. Numero di casi studio in funzione della specie.

Gli studi inseriti hanno una distribuzione geografica ampia, con alcune aree più studiate di altre, ad esempio il nord Atlantico e il nord Pacifico (Figura 2.4). Il Mediterraneo è un bacino chiuso particolarmente vulnerabile al traffico marittimo, a causa dell'elevato volume di rotte di navigazione di navi mercantili (dal 1985 al 2001 esse sono aumentate del 70%; Ameer &

Olof 2008) e dell'uso storico delle sue acque e delle sue coste, (anche a scopi ricreativi); esso è inoltre un'area popolata da numerose specie di Cetacei, la totalità delle quali è in uno stato di conservazione critico o sconosciuto (Reeves & di Sciara 2006). Tuttavia gli studi che hanno cercato di misurare l'effetto del traffico e del rumore sul comportamento dei Cetacei sono risultati in numero assolutamente inadeguato e insufficiente.

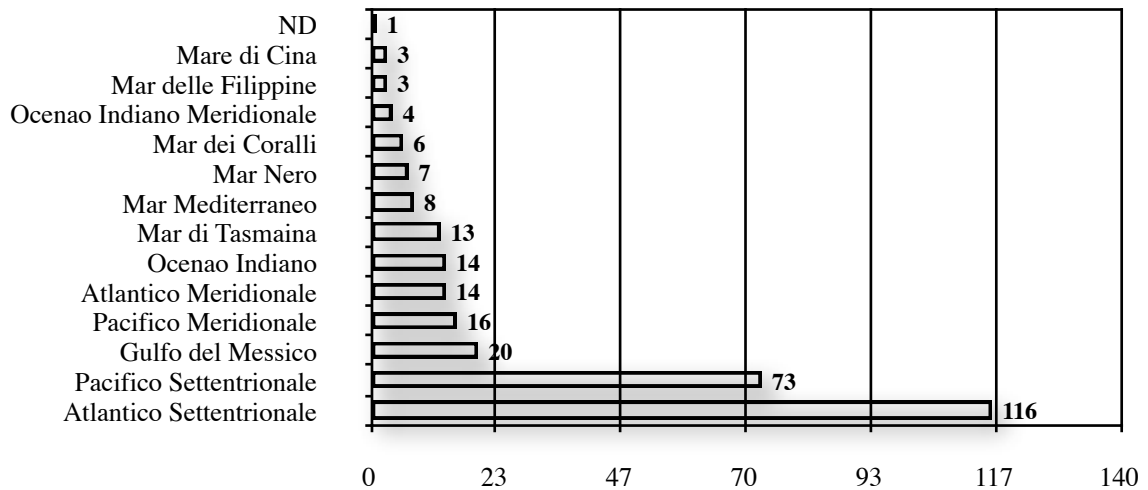


Figura 2.4. Numero di casi studio in funzione dell'area geografica.

Per quanto riguarda gli interventi, la maggior parte dei casi studio ha affrontato l'impatto del Traffico marittimo (42%) e degli *Airguns* (31%). Il 3-7% dei casi studio riguarda Rumore di imbarcazioni, ATOC, Sonar e Attività industriali. Infine, circa l'1% riguarda l'impatto di Wind Farm, AHD e Suoni di Allerta (Figura 2.5). Anche in questo caso le evidenze scientifiche riguardanti alcune comuni sorgenti di rumore (ad esempio i Sonar) o che si stanno rapidamente diffondendo (ad esempio le *Wind Farm* o gli AHD), risultano insufficienti per poterne misurare gli effetti sul comportamento dei Cetacei.

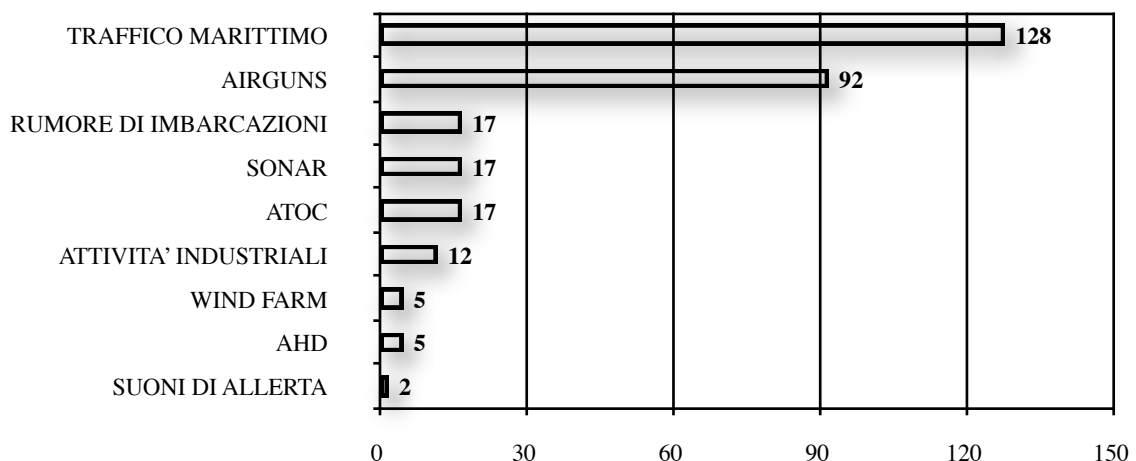
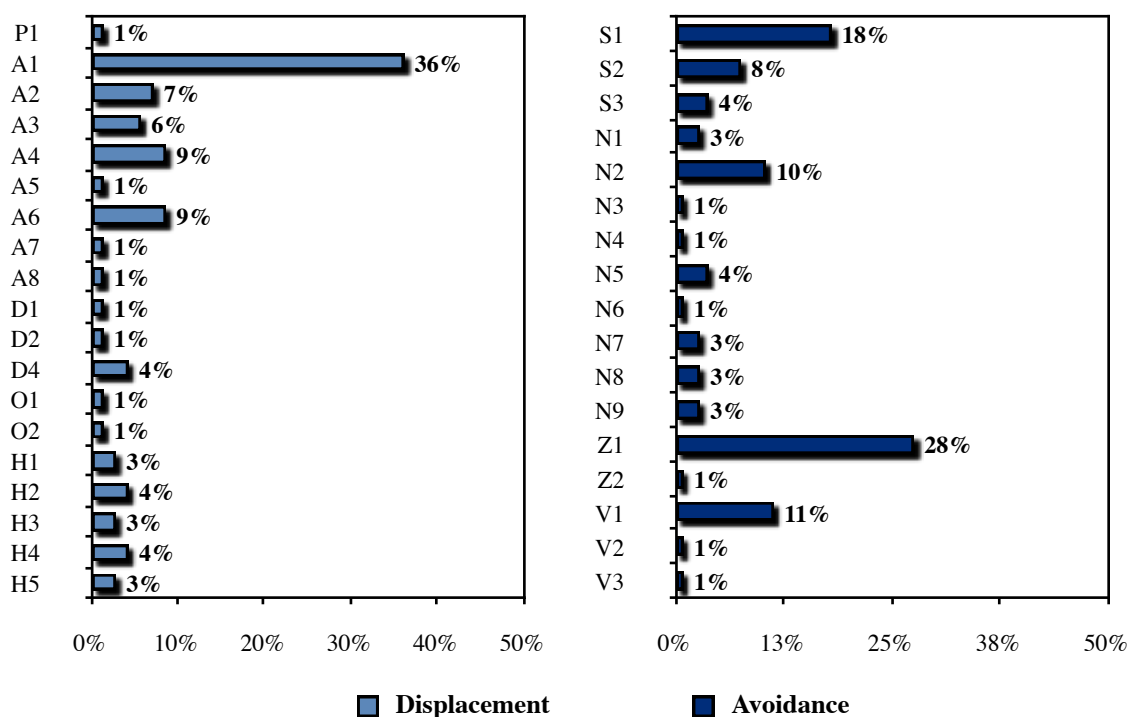


Figura 2.5. Numero di casi studio in funzione del tipo di intervento.

Le risposte dei Cetacei agli interventi sono state raggruppate in 5 categorie, ognuna delle quali contiene innumerevoli modalità di misura della risposta (Tabella 2.2, Figura 2.6). Questa disomogeneità nelle metodologie applicate per lo studio dei diversi aspetti del comportamento dei Cetacei ha reso impossibile l'applicazione di tecniche di meta-analisi e di *vote-counting* a causa della difficoltà di assumere che i casi studio appartengano alla stessa popolazione statistica.

Considerando il numero di casi studio per tipo di risposta, stratificando in funzione della specie, si osserva che solo per poche specie la risposta comportamentale è stata osservata da diversi punti di vista: il capodoglio, il tursiope e l'orca tra gli Odontoceti (Figura 2.6) e la megattera tra i Mysticeti (Figura 2.7). Per la maggior parte delle specie quindi numerosi aspetti del comportamento che possono essere influenzati dal traffico e dal rumore rimangono oggi totalmente sconosciuti.

Infine, soltanto per gli interventi Traffico Marittimo e Airguns, che rappresentano insieme il 70% dei casi studio, la risposta ha riguardato tutte le 5 categorie comportamentali definite (Figura 2.8).



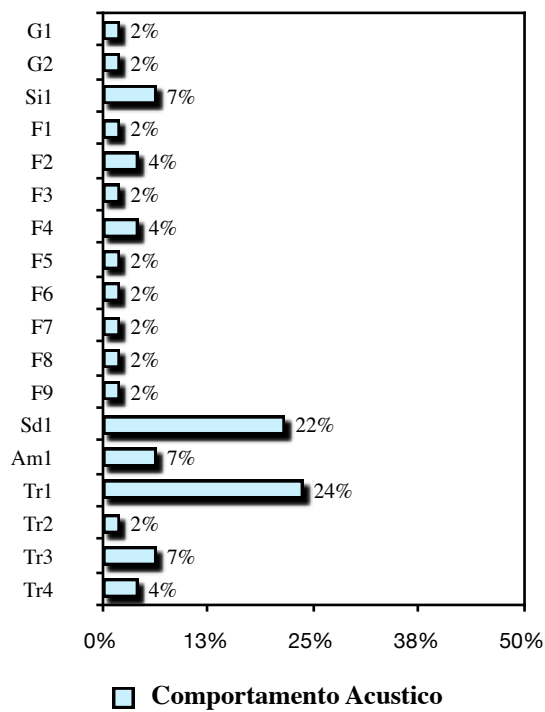
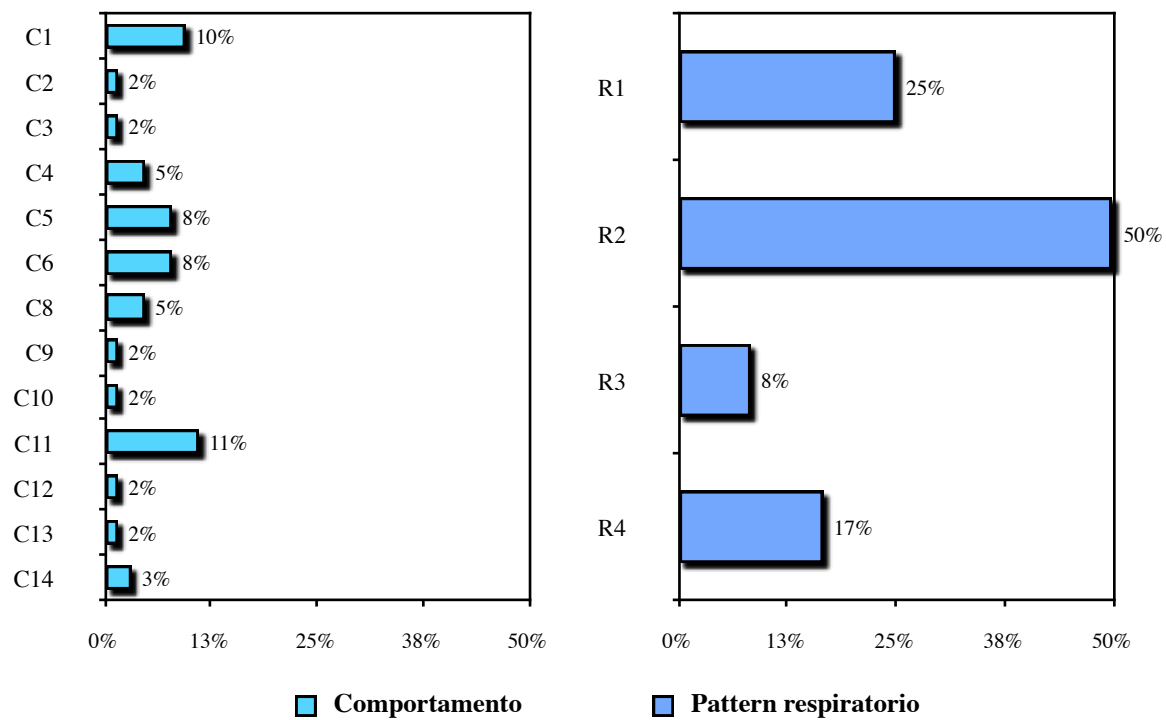


Figura 2.6. Percentuale di casi studio in funzione delle varie modalità di misura, differenziate per categoria di risposta. Per la legenda si rimanda alla tabella 2.1.

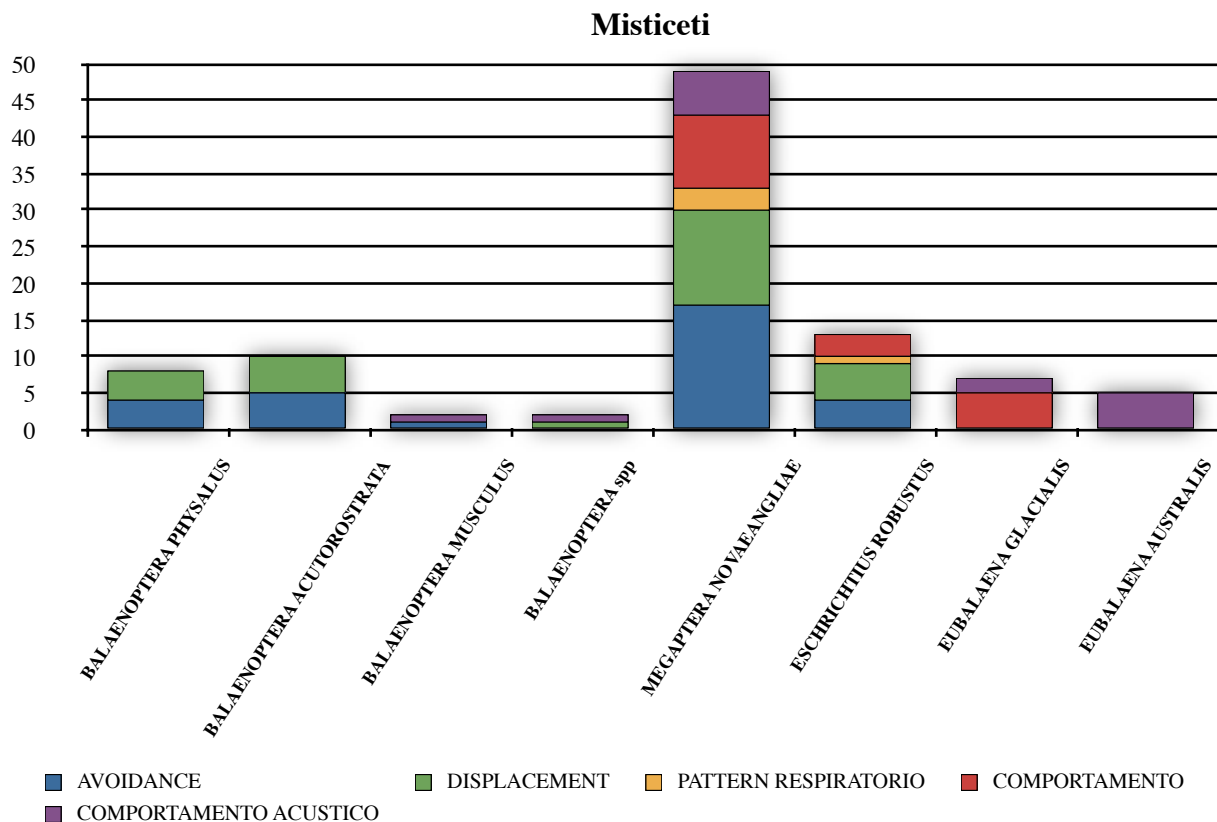


Figura 2.7. Numero di casi studio per tipologia di risposte in funzione della specie di Misticete.

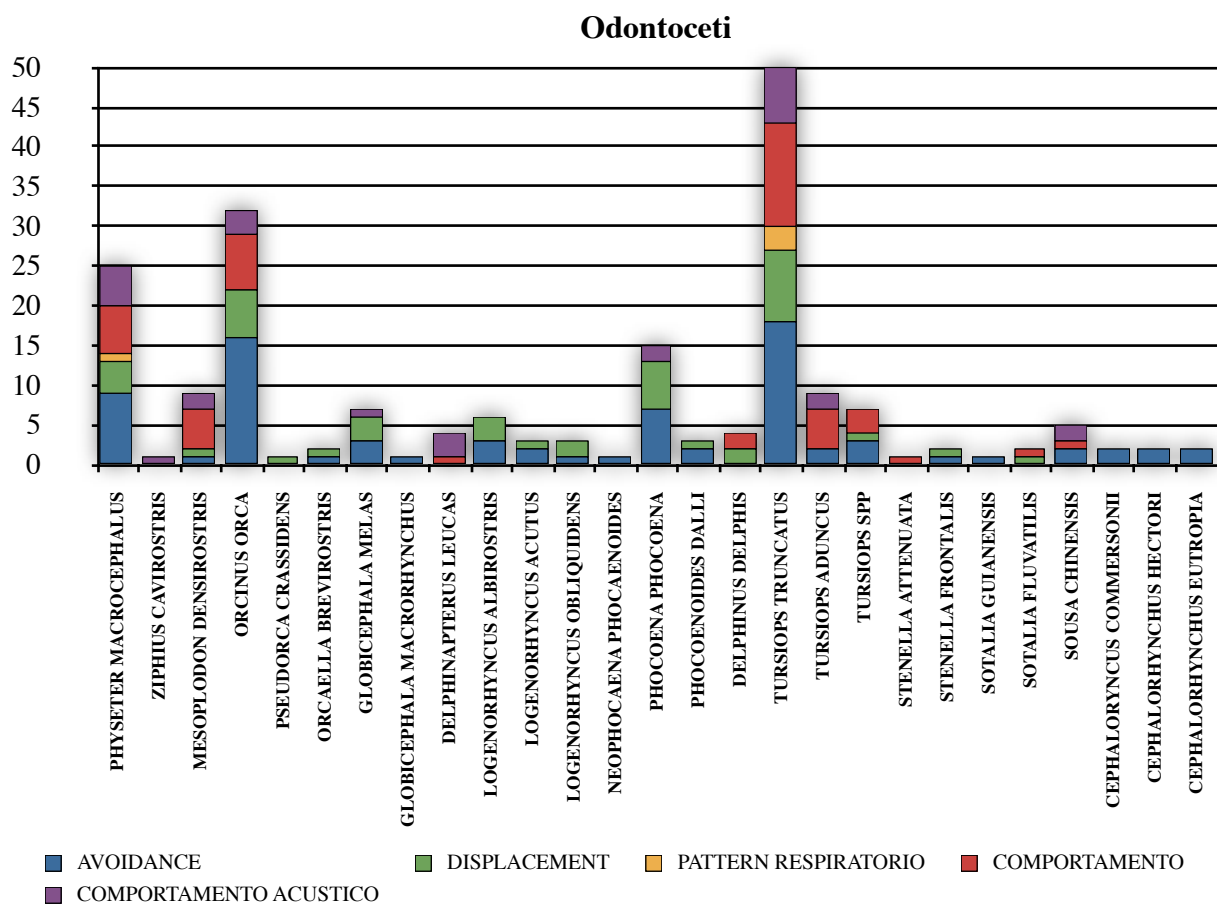


Figura 2.8. Numero di casi studio per tipologia di risposte in funzione della specie di Odontocete.

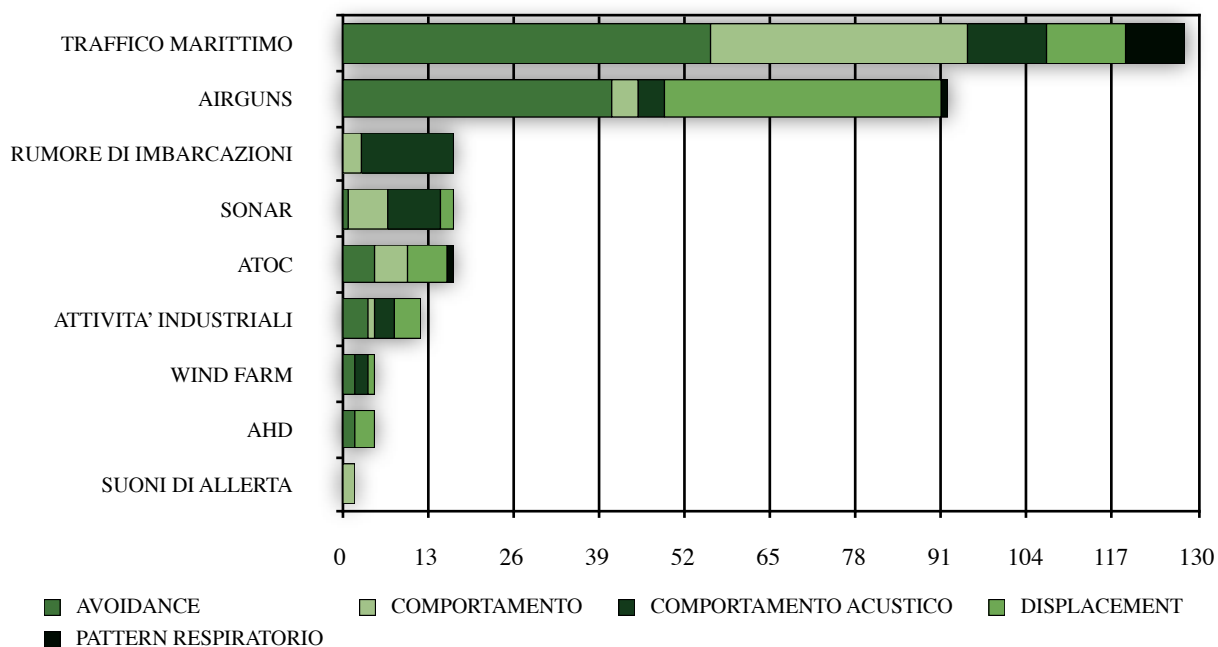


Figura 2.9. Numero di casi studio per tipi di intervento in funzione della risposta.

2.4.2 Effetto del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei

Esiste un effetto misurabile del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei?

Per rispondere alla domanda sono stati innanzitutto esclusi tutti gli studi descrittivi. I casi studio considerati si sono quindi ridotti da 295 a 249. Il modo estremamente variabile di misurare la risposta comportamentale alle sorgenti d'impatto definite ha ridotto sensibilmente il numero di casi studio tra loro confrontabili e quindi analizzabili con tecniche di meta-analisi e ha costretto a un'analisi di tipo *vote-counting*.

Per testare se esiste una differenza statisticamente significativa tra il numero di risposte positive e il numero di risposte negative in tutti i casi studio, senza tenere in considerazione la variabilità legata al tipo di intervento e al tipo di risposta, è stato applicato il *Sign test*. Il 53% dei casi studio ha rilevato una risposta positiva (impatto del traffico marittimo e del rumore di origine antropica sul comportamento dei Cetacei), ma la differenza tra impatto e non impatto non è significativa (*Sign test*, $n=249$, $p>0.05$). Tuttavia, tale risultato cambia se si tengono in considerazione il tipo di soggetto, il tipo di intervento e il tipo di risposta, come è mostrato dai risultati delle analisi successive.

Qual'è la specie che maggiormente subisce l'impatto del traffico marittimo e del rumore?

La Figura 2.10 mostra la risposta positiva o negativa di tutte le 27 specie trattate nei casi studio (non descrittivi). Nel caso del tursiope, poiché in diversi studi non è stata riportata la specie esatta di riferimento (*Tursiops truncatus*, *Tursiops aduncus* o altre specie non ancora riconosciute a livello sistematico), tutti i casi studio ad esso relativi sono stati uniti nella categoria unica *Tursiops spp.*

Per 8 delle 18 specie con più di un caso studio si osserva una percentuale superiore di risposte d'impatto (SI).

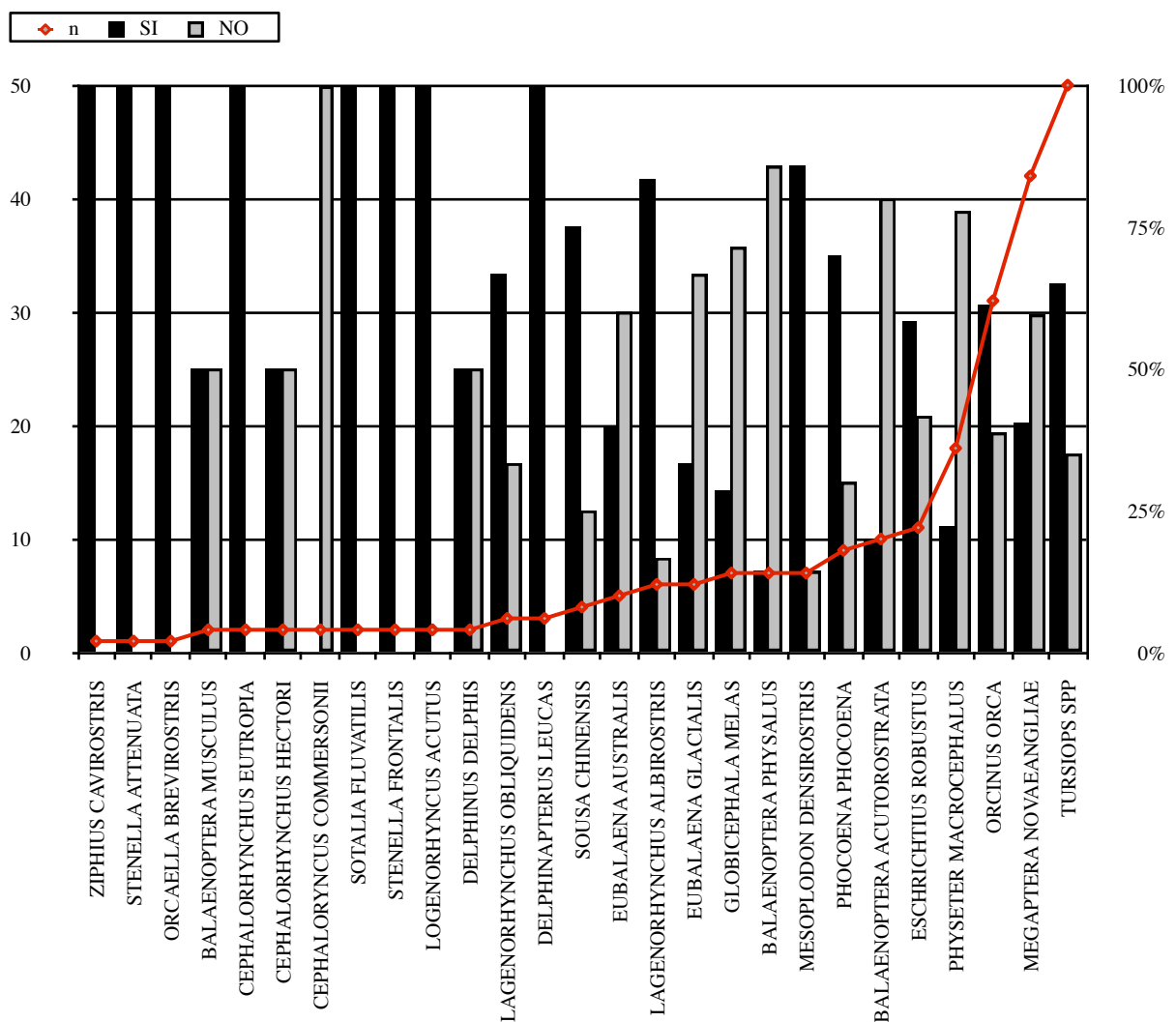


Figura 2.10. Risposte all'intervento per ognuna delle specie considerate. I pallini neri indicano il numero di casi studio per specie.

La risposta è stata testata statisticamente a due livelli: sottordine (Misticeti e Odontoceti) e specie, per quelle specie con un numero sufficiente di casi studio, cioè orca (*Orcinus orca*), megattera (*Megaptera novaeangliae*) e tursiope (*Tursiops spp*) (Figura 2.11).



Figura 2.11. Megattera (*Megaptera novaeangliae*), orca (*Orcinus orca*) e tursiope (*Tursiops spp*).

Nei Misticeti, esiste una differenza statisticamente significativa tra risposte positive e risposte negative (*Sign test*, $n=82$, $p<0.05$). In particolare, il numero di risposte negative è maggiore di quelle positive (Figura 2.12). Negli Odontoceti, esiste una differenza statisticamente significativa tra risposte positive e risposte negative (*Sign test*, $n=167$, $p<0.01$), ma in questo caso il numero di risposte positive è superiore al numero di risposte negative (Figura 2.12). Inoltre, il numero di risposte positive differisce statisticamente tra Odontoceti e Misticeti (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p < 0.05$) (Figura 2.12).

Si osserva quindi che il gruppo di appartenenza del soggetto influenza l'effetto su di esso dell'intervento. Gli Odontoceti sembrano essere il gruppo di Cetacei maggiormente minacciato dall'impatto del traffico e del rumore. Tuttavia occorre fare alcune considerazioni in merito ai risultati ottenuti per i Misticeti. Questo gruppo di Cetacei comprende specie di grandi dimensioni, con una socialità di gruppo e una capacità di comunicare acusticamente molto diverse rispetto agli Odontoceti. I Misticeti infatti utilizzano suoni a bassissime frequenze che possono essere sentiti a distanza di decine di chilometri e che consentono di mantenere in contatto membri del gruppo molto lontani fra loro. Quindi, gli effetti del rumore sul comportamento di questi animali possono essere molto più complessi da rilevare, da un punto di vista metodologico, rispetto a quanto è possibile fare con gli Odontoceti.

Per quanto riguarda le tre specie considerate, il numero di risposte positive è statisticamente differente da quelle negative solo nel caso di *Tursiops spp* (*Sign test*, $n=60$, $p<0.05$) mentre non differisce per *Orcinus orca* (*Sign test*, $n=31$, $p>0.05$) e per *Megaptera novaeangliae* (*Sign*

test, $n=42$, $p>0.05$). Esiste una differenza statisticamente significativa tra le tre specie (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p < 0.01$) (Figura 2.12).

Le diverse specie appartenenti al genere *Tursiops* appaiono quindi quelle maggiormente minacciate dalle sorgenti d'impatto studiate. Questo risultato potrebbe essere legato ad alcuni fattori: a) l'habitat delle specie, prevalentemente costiero e quindi particolarmente soggetto all'attività umana; b) il potere attrattivo che questa specie esercita sul genere umano (il tursiope è infatti una delle specie target più comuni nelle attività di *dolphin-watching*); c) essa è la specie maggiormente studiata in tutti i mari del mondo, sia dal punto di vista ecologico che comportamentale, e ciò consente l'elaborazione di disegni sperimentali più efficienti nella rilevazione delle risposte comportamentali all'impatto antropico; d) l'elevato numero di casi studio raccolti.

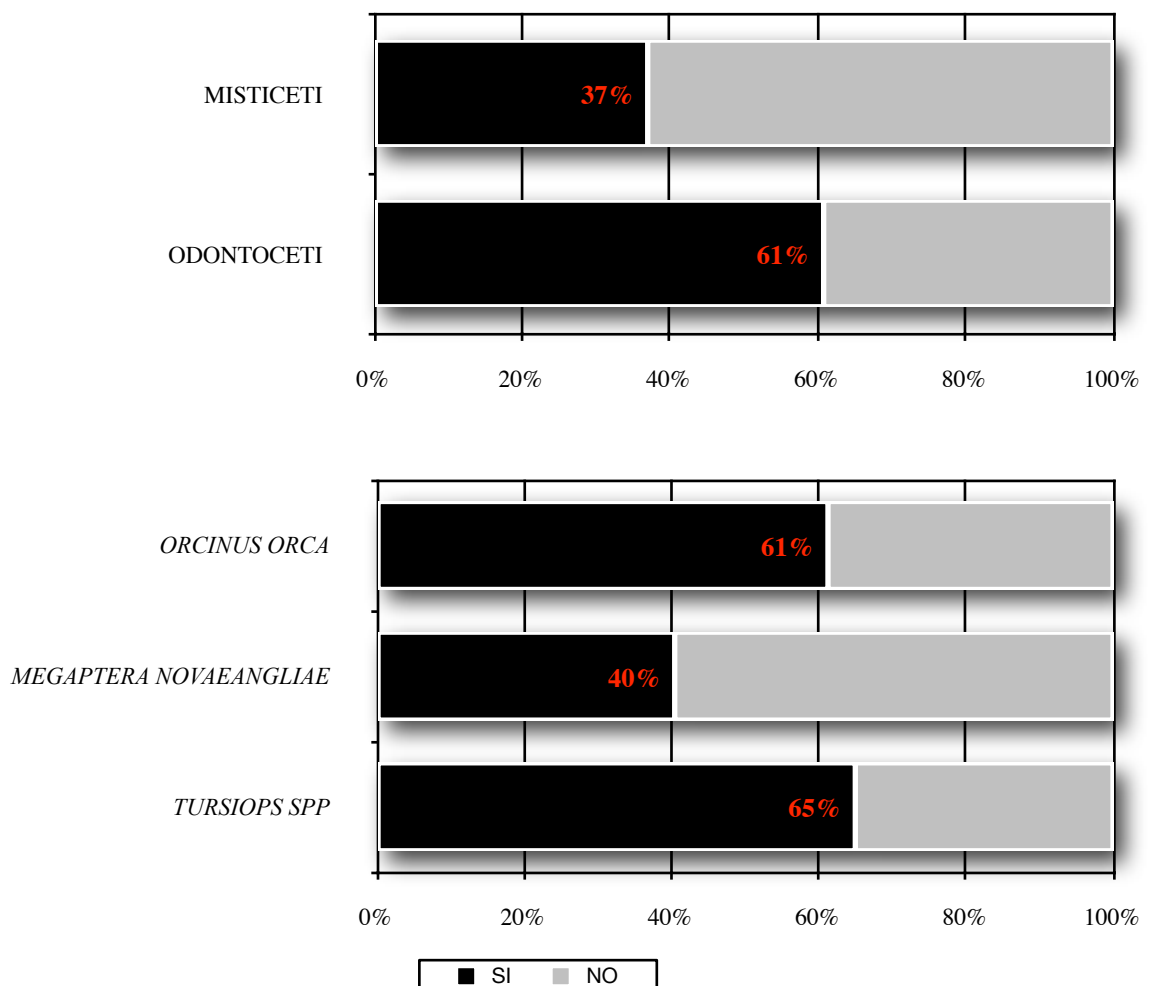


Figura 2.12. Risposte a tutti gli interventi considerati distinte per Mysticeti e Odontoceti (sopra) e per le tre specie testate (sotto).

Quali sono le sorgenti di rumore antropico che hanno il maggior impatto sul comportamento dei Cetacei?

Gli interventi con un numero sufficiente di casi studio per essere testati statisticamente sono 3 degli 8 originari: sono stati esclusi ATOC, AHD, Wind Farm, Sonar e Suoni di allerta. Il numero di risposte positive differisce statisticamente rispetto alle negative per *Airguns* (*Sign test*, $n=75$, $p<0.01$) e per Traffico Marittimo (*Sign test*, $n=115$, $p<0.001$) ma non per Rumore di imbarcazioni (*Sign test*, $n=19$, $p>0.05$). Esiste una differenza statisticamente significativa nella risposta tra i tipi di intervento; in particolare, il Traffico marittimo e quello che ha il maggiore impatto sul comportamento dei Cetacei (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p<0.05$) (Figura 2.13).

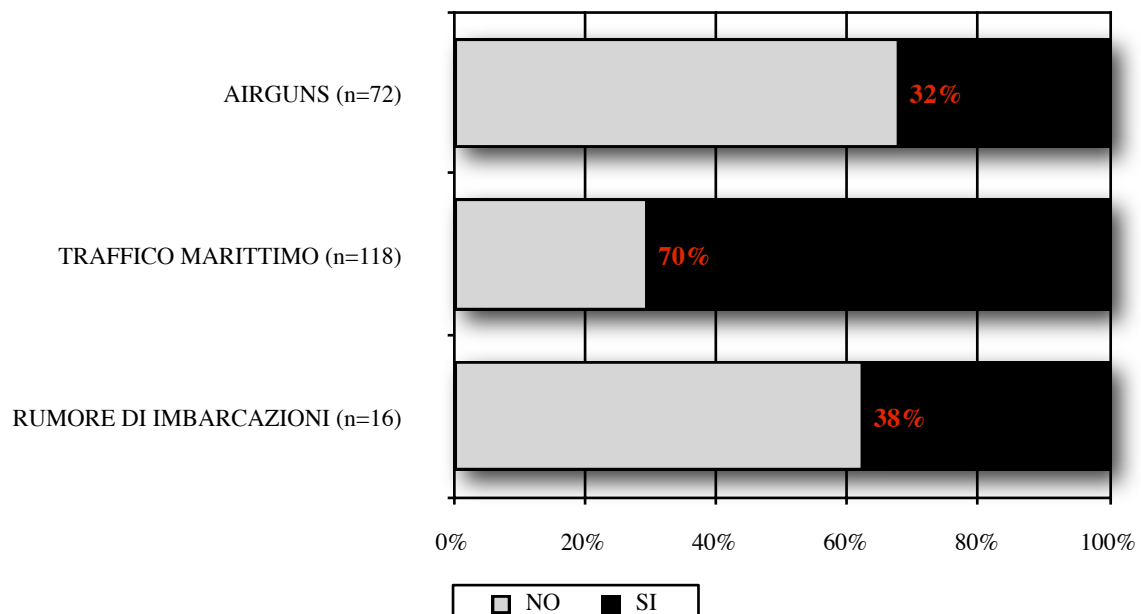


Figura 2.13. Risposte alle varie tipologie di intervento.

La risposta differente al tipo di intervento (*Airguns* e Traffico Marittimo) è stata testata statisticamente tenendo in considerazione il sottordine. Per quanto riguarda i Mysticeti, il numero di risposte positive non differisce da quelle negative né nel caso degli *Airguns* (*Sign test*, $n=29$, $p>0.05$), né nel caso del Traffico Marittimo (*Sign test*, $n=17$, $p>0.05$). Non esiste inoltre una differenza statisticamente significativa nel numero di risposte negative e positive tra i due interventi considerati (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p>0.05$). Per quanto riguarda gli Odontoceti invece il numero di risposte positive è statisticamente inferiore a quelle negative nel caso degli *Airguns* (*Sign test*, $n=46$, $p<0.05$), mentre è statisticamente

superiore nel caso del Traffico Marittimo (*Sign test*, $n=98$, $p<0.001$). Infine, gli effetti di Traffico Marittimo e *Airguns* differiscono statisticamente fra loro (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p<0.001$) (Figura 2.14).

E' importante sottolineare che gli studi che hanno valutato l'impatto degli *Airguns* riguardano nella stragrande maggioranza dei casi (>80%) le risposte di *displacement*. Il *displacement* è stato valutato attraverso indici di abbondanza relativa o di uso dell'habitat; tali indici, qualora non validati, rappresentano una modalità di misurare l'abbondanza o l'uso dell'habitat di una popolazione che può portare a risultati controvertibili.

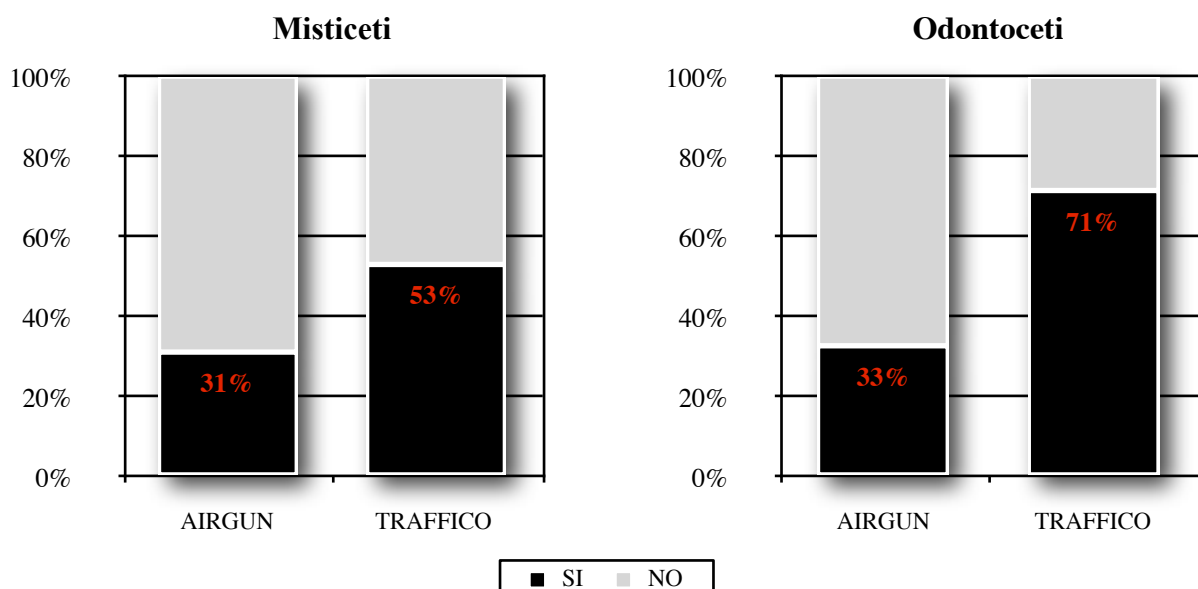


Figura 2.14. Risposte di Misticeti (a sinistra) e Odontoceti (a destra) a due delle tipologie d'intervento.

Infine, il numero di risposte positive relativamente all'intervento Traffico Marittimo è stato testato per le tre specie con un numero sufficiente di casi studio. (*Orcinus orca*, *Megaptera novaeangliae* e *Tursiops spp.*). Per *Megaptera novaeangliae* il numero di risposte positive, pur essendo superiore al 50%, non differisce statisticamente da quelle negative (*Sign test*, $n=15$, $p>0.05$), mentre differisce per *Orcinus orca* (*Sign test*, $n=23$, $p<0.05$) e per *Tursiops spp* (*Sign test*, $n=60$, $p<0.01$). Infine, la risposta al Traffico Marittimo differisce statisticamente tra le tre specie (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p<0.001$) (Figura 2.15).

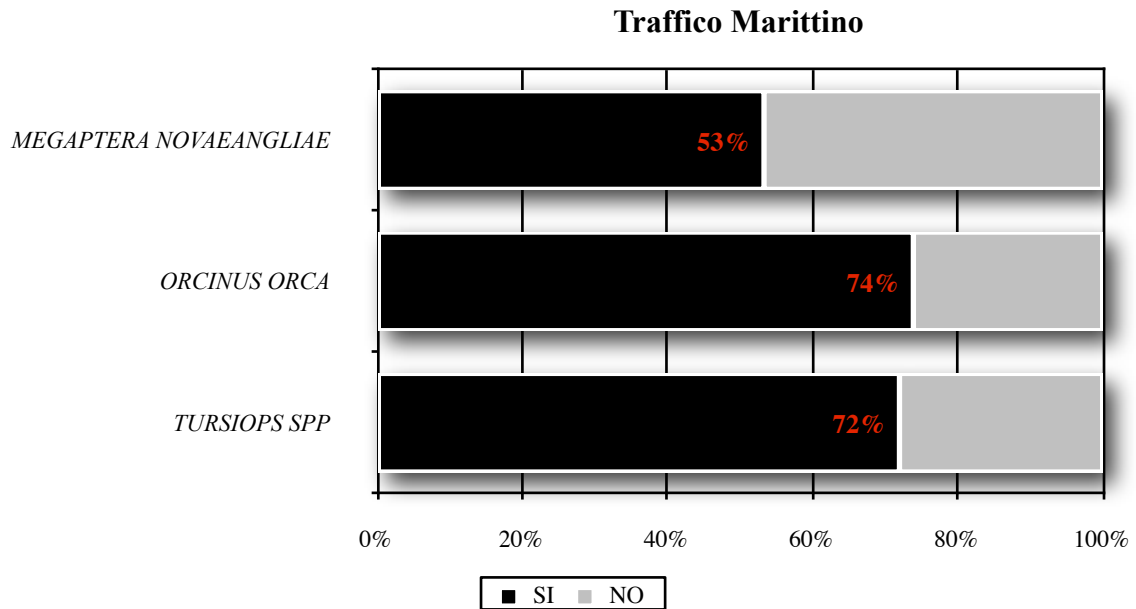


Figura 2.15. Risposte al traffico marittimo tra le tre specie testate.

Il traffico marittimo sembra quindi determinare variazioni del comportamento più sensibili negli Odontoceti, e in particolare nell'orca e nel tursiope, piuttosto che nella megattera. Ciò potrebbe essere una conseguenza del minor numero di casi studio riguardanti le megattere oppure potrebbe dipendere dalle differenti capacità uditive delle tre specie. La megattera produce suoni a bassissima frequenza capaci di viaggiare per miglia; orche e tursiopi invece producono suoni alle medie e alte frequenze che tendono ad attenuarsi a minore distanza. La ridotta capacità di comunicazione dovuta all'effetto *masking* del rumore proveniente dalle imbarcazioni (100-10000 Hz) potrebbe scatenare quindi una maggiore quantità di risposte comportamentali nel breve termine negli Odontoceti, orche e tursiopi, piuttosto che nei Mysticeti.

Quali sono gli aspetti del comportamento maggiormente influenzati dal traffico marittimo e dal rumore di origine antropica?

Le risposte positive o negative agli interventi sono state testate per verificare se esiste una differenza in funzione del tipo di risposta comportamentale analizzata nei casi studio. Le uniche misure di risposta comportamentale con un numero sufficiente di casi studio per poter essere testate sono A1 (*Displacement* misurato come: n°gruppi/1000 ore di osservazione) e Z1 (*Avoidance* misurato come Distanza media o mediana del gruppo dalla sorgente, in km o m). Il numero di risposte positive per la risposta A1 differisce statisticamente rispetto alle risposte

negative, in particolare il numero di risposte positive è inferiore al numero di risposte negative (*Sign test*, $n=25$, $p<0.01$), mentre nessuna differenza tra risposte positive e negative è risultata per la risposta Z1 (*Sign test*, $n=25$, $p>0.05$).

Le categorie comportamentali non sono state testate singolarmente per verificare eventuali differenze nelle risposte perchè le innumerevoli modalità di misurazione all'interno di ogni categoria non rende possibile assumere che esse appartengono a un'unica popolazione. E' stata testata quindi solo la differenza delle risposte tra le categorie: tale differenza è risultata significativa, in particolare le categorie comportamento, comportamento acustico e *pattern* respiratorio sono quelle con il maggior numero di risposte positive (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p<0.05$) (Figura 2.16).

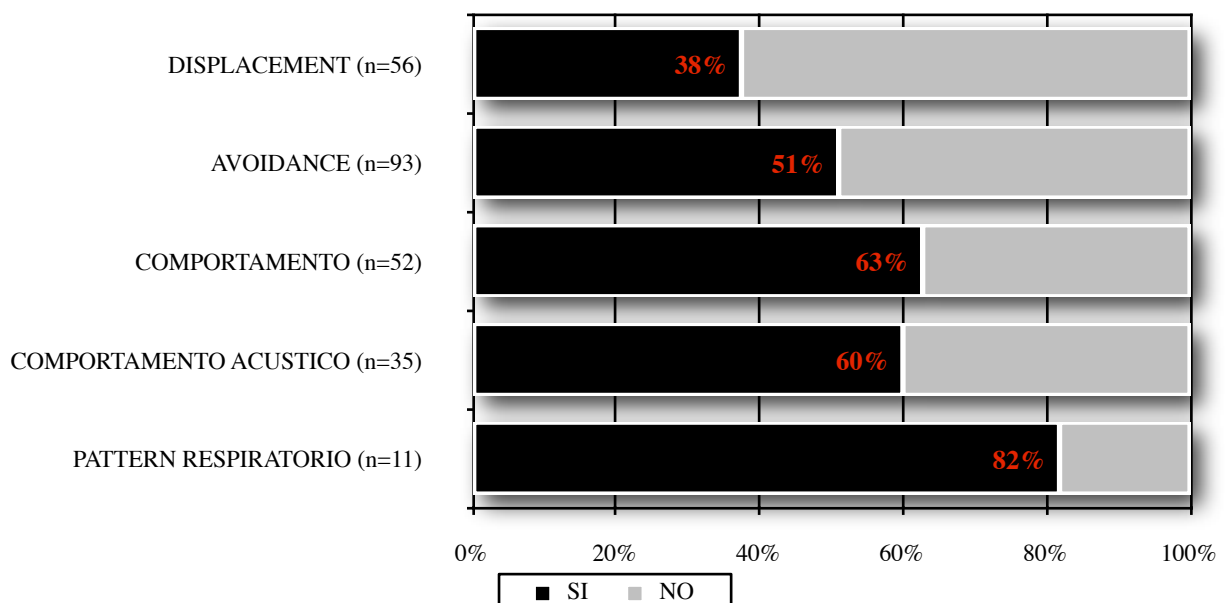


Figura 2.16. Risposte agli interventi in funzione delle varie tipologie di risposta.

Così come nel caso precedente, le risposte con un numero sufficiente di casi sono state testate separatamente tra Misticieti e Odontoceti: le risposte differiscono statisticamente tra categorie solo nel caso degli Odontoceti (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p<0.05$) (Figura 2.17).

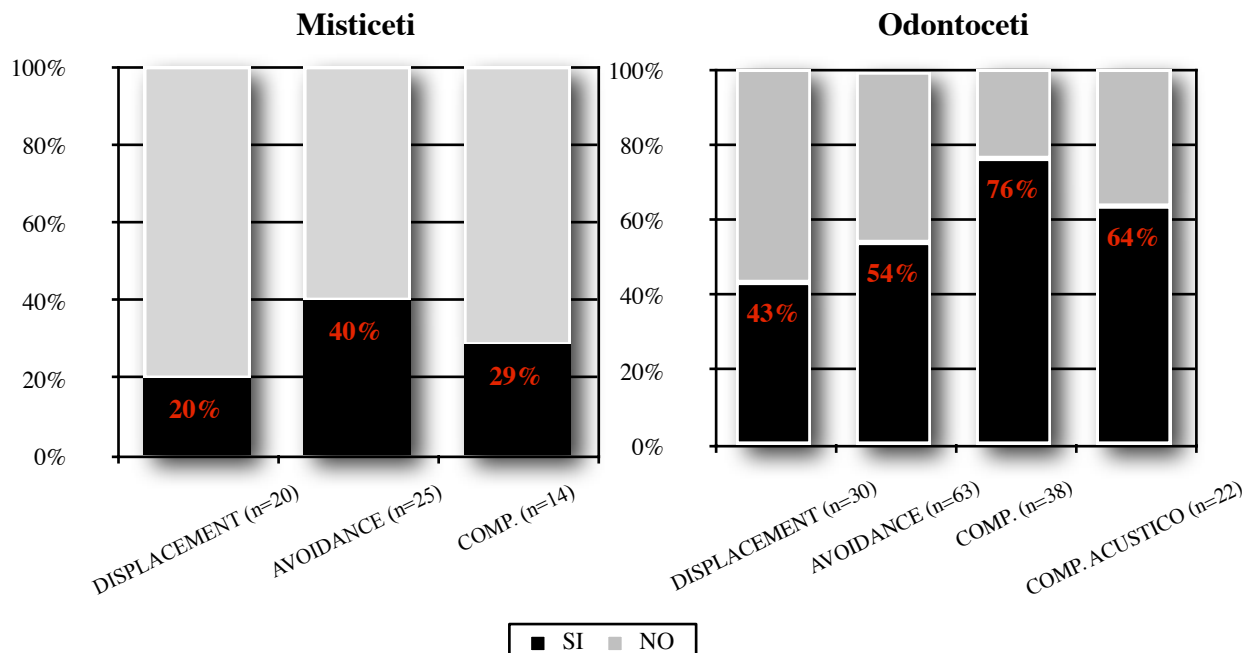


Figura 2.17. Risposte distinte per Misticeti (a sinistra) e Odontoceti (a destra).

Gli Odontoceti sembrano essere il gruppo il cui comportamento è maggiormente influenzato dal traffico e dal rumore antropico, soprattutto per quanto riguarda le alterazioni del comportamento superficiale e d'immersione e il cambiamento del comportamento acustico.

Assumendo uno sviluppo scientifico e tecnologico progressivo nel tempo, esiste una differenza nei risultati conseguiti in funzione del periodo temporale?

Negli ultimi 25 anni si è osservato un crescente interesse nei confronti dell'impatto del rumore e del traffico marittimo sull'ecosistema marino, accompagnato da un notevole sviluppo tecnologico delle apparecchiature utilizzate per le misurazioni acustiche. Per verificare se i progressi scientifici e tecnologici degli anni più recenti hanno avuto una influenza nella capacità di rilevare l'impatto, il numero di risposte positive e negative è stato testato in funzione di gruppi di tre anni. Nonostante il leggero incremento progressivo di risposte positive nell'intervallo 2003-2011, i risultati non hanno mostrato alcuna differenza statisticamente significativa (*Log likelihood ratio statistic* (G), $p > 0.5$) (Figura 2.18).

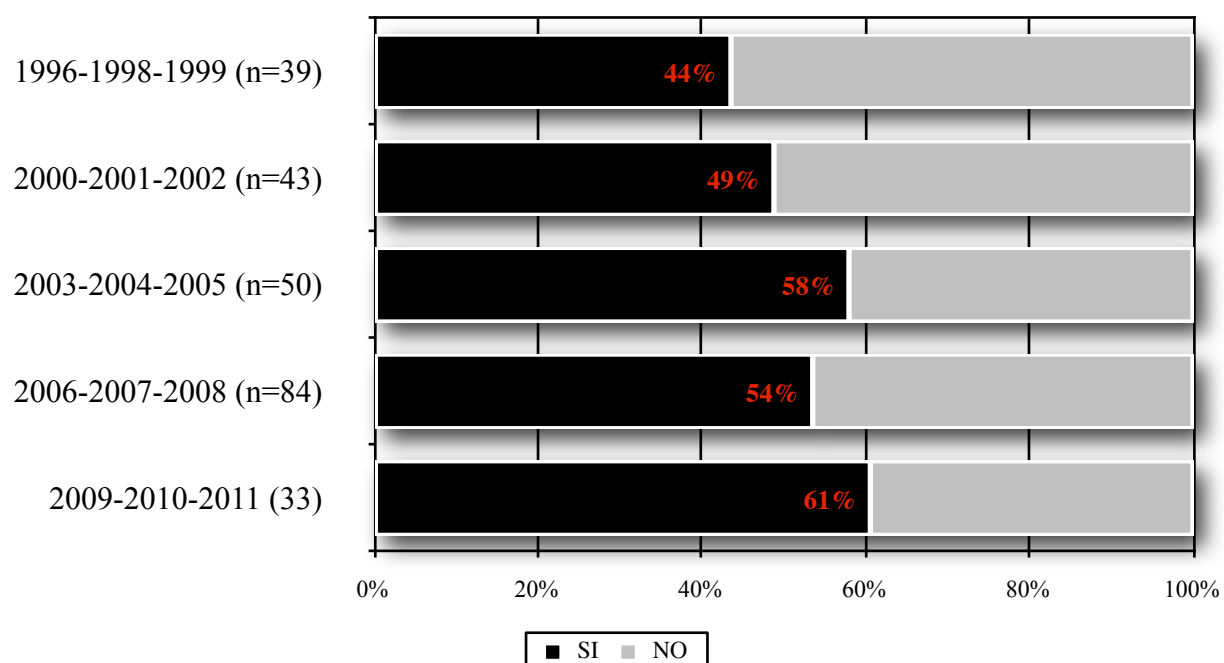


Figura 2.18. Percentuali di risposte positive e negative in funzione del periodo temporale.

2.5 CONCLUSIONI

Limiti metodologici della revisione

Questo studio rappresenta il primo tentativo di misurare quantitativamente e oggettivamente l'effetto del traffico marittimo e del rumore antropico sul comportamento dei Cetacei.

Il primo aspetto da sottolineare è la variabilità riscontrata nei metodi di misurazione delle risposte comportamentali. Nello studio sono state individuati 5 possibili categorie risposte comportamentali: il *displacement* (l'allontanamento o la variazione nell'uso dell'habitat), l'*avoidance* (le reazioni di allontanamento dalla sorgente di impatto), il comportamento superficiale e d'immersione, il *pattern* respiratorio e il comportamento acustico. Ogni categoria comportamentale è stata misurata con un numero di metodi differenti variabile da 4 a 18. Questa disomogeneità nelle misurazioni ha reso impossibile assumere che i casi studio appartenessero alle stesse popolazioni statistiche. Inoltre in un gran numero di casi studio non sono state riportate le informazioni statistiche necessarie per la stima dell'*effect size*, e cioè l'indicatore di tendenza centrale e di dispersione dei dati, la dimensione del campione (impatto e controllo) e la significatività statistica. Ciò ha reso impossibile l'applicazione di tecniche di meta-analisi e ha costretto all'utilizzo della tecnica del *vote-counting*. Il *vote-counting* ha permesso di stimare quantitativamente l'effetto del traffico e del rumore sul comportamento dei Cetacei ma non di avere una stima dell'entità di questo effetto.

Un altro aspetto da sottolineare è l'elevato numero di fonti di eterogeneità che possono influenzare radicalmente la risposta comportamentale dei Cetacei:

1. La specie. I Cetacei sono un gruppo numeroso che comprende animali dalle caratteristiche anatomico-fisiologiche, ecologiche e comportamentali molto diverse.
2. La popolazione studiata. Ad esempio, popolazioni diversamente esposte al traffico marittimo o al rumore possono avere una risposta differente, diventando maggiormente sensibili all'impatto o maggiormente familiari ad esso e quindi più tolleranti.
3. L'età e il sesso degli individui. Ad esempio, alcuni studi hanno evidenziato che la risposta comportamentale è differente tra maschi e femmine e tra femmine con e senza piccoli.

4. La distanza che separa gli animali dalla sorgente d'impatto. Ad esempio, alcuni studi hanno evidenziato la presenza di una risposta ad una certa distanza e l'assenza a distanze superiori.

5. L'intensità della sorgente sonora e il *range* di frequenza. Esse sono informazioni fondamentali per comprendere perché un rumore altera il comportamento di una specie e in che modo.

Tra i casi studio analizzati soltanto il 19% riporta il sesso degli individui e il 12% l'età; il 68% ha misurato la distanza tra gli animali e la sorgente, il 48% fornisce valori sull'intensità del rumore antropico e il 60% informazioni sulle frequenze.

Linee guida

I risultati della revisione sistematica consentono di delineare alcune caratteristiche che dovrebbero essere tenute in considerazione nei disegni sperimentali degli studi che mirano a valutare l'effetto del traffico marittimo e del rumore antropico sul comportamento dei Cetacei:

- a) Pianificare studi che tengano in considerazione sesso ed età degli individui oggetto di studio e che raccolgano un numero sufficiente di dati da poter consentire analisi stratificate per sesso e classi di età.
- b) Prevedere misure della distanza tra gli animali e la sorgente d'impatto, delle frequenze del rumore e dei livelli di intensità ricevuti dagli animali.
- c) Elaborare un disegno sperimentale che preveda un campione d'impatto e un campione di controllo, entrambi con un numero sufficiente di repliche.
- d) Preferire, sulla base della letteratura già esistente, metodi di misura delle risposte comportamentali che siano conformi a quelle già adottate, in modo da poter consentire il confronto statistico tra gli studi.
- e) Migliorare la presentazione dei risultati per rendere facilmente accessibili le informazioni statistiche necessarie all'applicazione di tecniche di meta-analisi.
- f) Intensificare gli sforzi di ricerca sulle specie meno comuni e meno studiate, su alcune sorgenti di rumore (Sonar, ATOC, AHD, *Wind Farm*) e nell'area mediterranea.

2.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1.ACEBES, J.M.V., DARLING, J. (2008). Dynamite Blasts in a Humpback Whale *Megaptera Novaeangliae* Breeding Ground, Babuyan Islands, Philippines. *Bioacoustics* 17: 1-3.
- 2.AGUILAR SOTO, N. (2006). Does Intense Ship Noise Disrupt Foraging in Deep-Diving Cuvier's Beaked Whales (*Ziphius cavirostris*)? *Marine Mammal Science* 22(3): 690-699.
- 3.ALLEN, M.C. (2000). Habitat selection of foraging bottlenose dolphins in relation to boat density near Clearwater, Florida. *Marine Mammal Science* 16: 815-824.
- 4.ARAUJO, J.P., SOUTO, A. (2008). The behavior of *Sotalia guianensis* in Pernambuco coastal waters, Brazil, and a further analysis of its reaction to boat traffic. *Revista Brasileira De Zoologia* 25(1): 1-9.
- 5.ARCANGELI, A. AND CROSTI, R. (2009) The short-term impact of dolphin-watching on the behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in western Australia. *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 2(1).
- 6.BAIN, D.E., AND WILLIAMS, R. (2006) Long-range effects of airgun noise on marine mammals: Responses as a function of received sound level and distance. Paper SC/58/E35 presented to the IWC Scientific Committee, June 2006 (unpublished). 13 pp. [Available from the Office of the Journal of Cetacean Research and Management and reported out of the IWC Scientific Committee.
- 7.BEJDER, L. (1999). Responses by Hector's dolphins to boats and swimmers in Porpoise Bay, New Zealand. *Marine Mammal Science* 15(3): 738-750.
- 8.BEJDER, L., SAMUELS, A. (2006). Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. *Animal Behaviour* 72: 1149-1158.
- 9.BEJDER, L.,SAMUELS, A. (2006). Decline in relative abundance of bottlenose dolphins exposed to long-term disturbance. *Conservation Biology* 20(6): 1791-1798.
- 10.BIASSONI, N. (2001). Humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, alter their song to compensate for man-made noise. 14th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Vancouver, Canada.
- 11.BORGGAARD, D. (1999). Assessing the effect of industrial activity on large cetaceans in Trinity Bay, Newfoundland (1992-1995). *Aquatic Mammal* 25: 149-161.

12. BRISTOW, T. AND REES, E.I.S. (2001). Site fidelity and behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Cardigan Bay, Wales. *Aquatic Mammals* 27(1): 1-10.
13. BRITO, M., TYACK, P.L. (2008). Do North Atlantic Right Whales Compensate for Increases in Short Term Ambient Noise? 2000 Florida Ave., N.W. Washington DC 20009 , [URL [http //www.agu.org](http://www.agu.org)], American Geophysical Union.
14. BUCKSTAFF, K.C. (2004). Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 20 (4): 709-725.
15. CARRERA, M.L., FAVARO, E.G.P. (2008). The response of marine tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) towards tourist boats involves avoidance behaviour and a reduction in foraging. *Animal Welfare* 17(2): 117-123.
16. CONSTANTINE, R., BRUNTON, D.H. (2004). Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour. *Biological Conservation* 117(3): 299-307.
17. Cooper, H. and Hedges, L.V. (eds), 1994 *The Handbook of Research Synthesis*, New York, Russell Sage Foundation.
18. Cooper, H.M., Hedges, L.V., Valentine, J.C. (2009). *The handbook of research synthesis and meta-analysis*.
19. CROLL, D.A., CLARK, C.W. (2001). Effect of anthropogenic low-frequency noise on the foraging ecology of Balaenoptera whales. *Animal Conservation* 4: 13-27.
20. DI IORIO, L., CLARK, C.W. (2009). Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. *Biology letters*, doi:10.1098/rsbl.2009.0651.
21. DOUGLAS, A.B. (2002). *Marine Mammal Observations Associated With Seismic Surveys Off Washington and British Columbia in May 2002*. US Geological Survey of Canada & NMFS.
22. FAILLA, M. (2002). Effect of vessel traffic on Commerson's dolphin (*Cephalorhynchus commersonii*) in Bahia San Julian, Patagonia, Argentina. SC/56/WW7
23. FOOTE, A. D. (2004). Whale-call response to masking boat noise. *Nature* 428.

- 24.FRANKEL, A.S. AND CLARK, C.W. (1998) Results of low-frequency playback of M-sequence noise to humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in Hawaii. Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie 76(3): 521-535.
- 25.FRANKEL, A.S. AND CLARK, C.W. (2000). Behavioral responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to full-scale ATOC signals. Journal of the Acoustical Society of America 108(4): 1930-1937.
- 26.FRANKEL, A.S. AND CLARK, C.W. (2002). Atoc and other factors affecting the distribution and abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off the north shore of Kauai. Marine Mammal Science 18(3): 644-662.
- 27.FRISTRUP, K.M., HATCH, L.T. (2003). Variation in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song length in relation to low-frequency sound broadcasts. Journal of the Acoustical Society of America 113(6): 3411-3424.
- 28.GAILEY, G., WURSIG, B. (2007). Abundance, behavior, and movement patterns of western gray whales in relation to a 3-D seismic survey, Northeast Sakhalin Island, Russia. Environmental Monitoring and Assessment 134(1-3): 75-91.
- 29.GOODWIN, L. AND COTTON, P.A. (2004). Effects of Boat Traffic on the Behaviour of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*). Aquatic Mammals 30(2):279-283.
- 30.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(3): 811-820.
- 31.GREGORY, P.R. AND ROWDEN, A.A. (2001). Behaviour patterns of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) relative to tidal state, time-of-day, and boat traffic in Cardigan Bay, West Wales. Aquatic Mammals 27(2): 105-113.
- 32.HASTIE, G.D. (2003). Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. Marine Mammal Science 19(1): 74-84.
- 33.HOLT, M.M., NOREN, D.P. (2009). Speaking up: Killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. The Journal of the Acoustical Society of America 125(1): 27-32.

- 34.JANIK, V.M. AND THOMPSON, P.M. (1996). Changes in surfacing patterns of bottlenose dolphins in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 12(4): 597-602.
- 35.JELINSKI, D.E. (2002). Geostatistical analyses of interactions between killer whales (*Orcinus orca*) and recreational whale-watching boats. *Applied Geography* 22(4):393-411.
- 36.JOCHENS, A.E. (2008). Sperm Whale Seismic Study in the Gulf of Mexico Final Report, U.S. Department of the Interior Minerals Management Service Gulf of Mexico OCS Region.
- 37.JOHNSON, M.P. AND TYACK, P.L. (2003). A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild marine mammals to sound. *Ieee Journal of Oceanic Engineering* 28(1): 3-12.
- 38.JOHNSTON, D.W. (2002). The effect of acoustic harassment devices on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Bay of Fundy, Canada. *Biological Conservation* 108(1): 113-118.
- 39.KOSCHINSKI, S., CULIK, B.M. (2003). Behavioural reactions of free-ranging porpoises and seals to the noise of a simulated 2 MW windpower generator. *Marine Ecology-Progress Series* 265: 263-273.
- 40.KREB, D. (2004). Living under an aquatic freeway: effects of boats on Irrawaddy dolphins (*Orcaella brevirostris*) in a coastal and riverine environment in Indonesia. *Aquatic Mammal* 30(3): 363-375.
- 41.LAMB, J. AND UGARTE, F. (2005) Relationships between presence of bottlenose dolphins, environmental variables and boat traffic; visual and acoustic surveys in New Quay Bay, Wales. P. 56. In: Abstracts, 19th Annual Conference of the European Cetacean Society, La Rochelle, France, 2-7 April 2005
- 42.LEMON, M., CATO, D., LYNCH, T. AND HARCOURT, R. (2008) Short-Term Behavioural Response of Bottlenose Dolphins *Tursiops aduncus* to Recreational Powerboats. *Bioacustics* 17(1-3):171-173.
- 43.LEMON, M., LYNCH, T.P. (2006). Response of travelling bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) to experimental approaches by a powerboat in Jervis Bay, New South Wales, Australia. *Biological Conservation* 127(4): 363-372.
- 44.LESAGE, V., BARRETTE, C. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behavior of Belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. *Marine Mammal Science* 15(1): 65-84.

- 45.LI S., AKAMATSU, T., WANG DING, WANG KEXIONG, DONG SHOUYUE, ZHAO XIUJIANG, WEI ZHUO, ZHANG XIANFENG, TAYLOR, B., BARRETT, L.A., TURVEY, S.T., REEVES, R.R., STEWART, B.S., RICHLIN, M. AND BRANDON, J.R. (2008). Indirect evidence of boat avoidance behavior of Yangtze finless porpoises. *Bioacoustics* 17: 174-176.
- 46.LUSSEAU, D. (2003). Effects of tour boats on the behavior of bottlenose dolphins: Using Markov chains to model anthropogenic impacts. *Conservation Biology* 17(6):1785-1793.
- 47.LUSSEAU, D. (2003). Male and female bottlenose dolphins *Tursiops* spp. have different strategies to avoid interactions with tour boats in Doubtful Sound, New Zealand. *Marine Ecology-Progress Series* 257: 267-274.
- 48.LUSSEAU, D. (2004). The hidden cost of tourism: Detecting long-term effects of tourism using behavioral information. *Ecology and Society* 9(1).
- 49.LUSSEAU, D. (2005). Residency pattern of bottlenose dolphins *Tursiops* spp. in Milford Sound, New Zealand, is related to boat traffic. *Marine Ecology-Progress Series* 295: 265-272.
- 50.LUSSEAU, D. (2006). The short-term behavioral reactions of bottlenose dolphins to interactions with boats in Doubtful Sound, New Zealand. *Marine Mammal Science* 22(4): 802-818.
- 51.MADSEN, P.T. (2000). Sperm whales (*Physeter catodon* L. 1758) do not react to sounds from detonators. *Journal of Acoustic Society of America* 107(1): 668:671.
- 52.MADSEN, P.T., MOEHL, B. (2002). Male sperm whale behaviour during exposures to distant seismic survey pulses. *Aquatic Mammals* 28(3): 231-240.
- 53.MAGALHÃES, S., PRIETO, R., SILVA, M.A., GONÇALVES, J., AFONSO-DIAS, M. & SANTOS, R.S. (2002) Short-term reactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) to whale-watching vessels in the Azores. *Aquatic Mammals*, 28(3), 267-274.
- 54.MANTEN, A.A. (1973). Scientific literature reviews. Scholarly Publishing. 5:75-89.
- 55.MATTSON, M.C. (2005). Effects of boat activity on the behavior of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in waters surrounding Hilton Head Island, South Carolina. *Aquatic Mammal* 31(1): 133-140.

- 56.McCAULEY, R.D., FEWTRELL, J., DUNCAN, A.J., JENNER, C., JENNER, M.N., PENROSE, J.D., PRINCE, R., ADHITYA, A., MURDOCH, J. & McCABE, K. 2000. Marine seismic surveys: a study of environmental implications. *APPEA Journal*, 40:692-708.
- 57.MCDONALD, M. A., HILDEBRAND, J. A., AND WIGGINS, S. M. (2006). Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *Journal of Acoustic Society of America* 120, 711–718.
- 58.MILLER P., JOHNSON M., MADSEN P. T., QUERO M.E., BIASSONI N., KING R. AND TYACK P.L. (2009) Using at-sea experiments to study the effects of airguns on the foraging behavior of sperm whales in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research II* 56 (2009) 1168–1181.
- 59.MILLER, G.W. (2000). Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature* 405(6789)-903.
- 60.MILLER, L. J., SOLANGI, M. (2008). Immediate response of Atlantic bottlenose dolphins to high-speed personal watercraft in the Mississippi Sound. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88(6): 1139-1143.
- 61.MOBLEY, J.R. (2005). Assessing responses of humpback whales to NPAL transmissions: Results of 2001-2003 aerial surveys north of Kauai. *Journal of the Acoustical Society of America* 117: 1666:1673.
- 62.MONTERO-CORDERO, A. AND LOBO, J. (2010) Effect of tourist vessels on the behaviour of the pantropical spotted dolphin, *Stenella attenuata*, in Drake Bay and Caño Island, Costa Rica. *Journal of Cetacean Research and Management* 11(3):285-291.
- 63.MORISAKA, T., SHINOHARA, M. (2005). Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. *Journal of Mammalogy* 86(3): 541-546.
- 64.MORTON, A.B. AND SYMONDS, H.K. (2002). Displacement of *Orcinus orca* by high amplitude sound in British Columbia, Canada. *Ices Journal of Marine Science* 59(1): 71-80.
- 65.NEUMANN, D. R. AND ORAMS, M.B. (2005). Behaviour and ecology of common dolphins (*Delphinus delphis*) and the impact of tourism in Mercury Bay, North Island, New Zealand. *Science For Conservation* 254,1-40
- 66.NG, S.L. AND LEUNG, S. (2003). Behavioral response of Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) to vessel traffic. *Marine Environmental Research* 56(5):555-567.

- 67.NOWACEK, D.P., JOHNSON, M.P. (2004). North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) ignore ships but respond to alerting stimuli. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences* 271(1536): 227-231.
- 68.NOWACEK, D., THORNE, L.H., JOHNSTON, D.W, TYACK, P.L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review* Vol. 17(2): 81–115.
- 69.NOWACEK, S.M., WELLS, R.S. (2001). Short-term effects of boat traffic on bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 17(4): 673-688.
- 70.NUR AZEYANTI NOR HASHIM & SAIFULLAH A. JAAMAN (2011). Boat Effects on the Behaviour of Indo-Pacific Humpback (*Sousa chinensis*) and Irrawaddy Dolphins (*Orcaella brevirostris*) in Cowie Bay, Sabah, Malaysia. *Sains Malaysiana* 40(12)(2011): 1383–1392
- 71.OLESIUK, P.F., NICHOL, L.M. (2002). Effect of the sound generated by an acoustic harassment device on the relative abundance and distribution of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) in Retreat Passage, British Columbia. *Marine Mammal Science* 18(4): 843-862.
- 72.PAPALE, E., AZZOLIN, M., GIACOMA C. (2011) Vessel traffic effects bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour in waters surrounding Lampedusa island, south Italy. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, Available on CJO 2011 doi: 10.1017/S002531541100083X
- 73.PARKS, S.E., CLARK, C.W. (2007). Short- and long-term changes in right whale calling behavior: The potential effects of noise on acoustic communication. *Journal of the Acoustical Society of America* 122(6): 3725-3731.
- 74.PARKS, S.E., URAZGHILDIEV, I., CLARK, C.W. (2009). Variability in ambient noise levels and call parameters of North Atlantic right whales in three habitat areas. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2), 1230-1239.
- 75.Pullin, A.S. and Stewart, G.B. (2006) Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. *Conservation Biology* 20: 1647-1656.

- 76.RENDELL, L.E. AND GORDON, J.C.D. (1999). Vocal response of long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) to military sonar in the Ligurian Sea. *Marine Mammal Science* 15(1): 198-204.
- 77.RIBEIRO, S. (2005). Behavioural Responses of Chilean Dolphins (*Cephalorhynchus eutropia*) to Boats in Yaldad Bay, Southern Chile. *Aquatic Mammal* 31(2): 234-242.
- 78.RICHTER, C. (2006). Impacts of commercial whale watching on male sperm whales at Kaikoura, New Zealand. *Marine Mammal Science* 22(1): 46-63.
- 79.SCARPACI, C., BIGGER, S.W., CORKERON, P.J., NUGEGODA, D. (2000) Bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* increase whistling in the presence of swim-with-dolphin tour operations. *Journal of Cetacean Research and Management* 23: 183-185.
- 80.SCHAFFAR, A., MADON, B., GARRIGUE, C. AND CONSTANTINE, R. (2009) Avoidance of whale watching boats by humpback whales in their main breeding ground in New Caledonia. SC/61/WW/6 Paper SC/34/WW6 presented to the IWC Scientific Committee, June 2009 (unpublished). [Available from the IWC Office]
- 81.SCHEIDAT, M., CASTRO, C. (2004). Behavioural responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whalewatching boats near Isla de la Plata, Machalilla National Park, Ecuador. *Journal of Cetacean Research and Management* 6(1): 63-68.
- 82.SCHEIFELE, P.M., MUSIEK, F.E., MAX, L., COOPER, R.A., ANDREW, S., DARRE, M. (2005) Indication of a Lombard vocal response in the St. Lawrence River beluga using a vocal classification identifier. *Journal of the Acoustical Society of America* 117(3):1486-1491
- 83.SINI, M.I., CANNING, S.J. (2005). Bottlenose dolphins around Aberdeen harbour, north-east Scotland: a short study of habitat utilisation and the potential effects of boat traffic. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 85(06): 1547-1554.
- 84.STECKENREUTER, A., HARCOURT, R., MÖLLER, L. (2011). Distance does matter: close approaches by boats impede feeding and resting behaviour of Indo-Pacific bottlenose dolphins. *Wildlife Research* 38: 455-463.
- 85.STENSLAND, E. AND BERGGREN, P. (2007). Behavioural changes in female Indo-Pacific bottlenose dolphins in response to boat-based tourism. *Marine Ecology-Progress Series* 332: 225-234.

- 86.STOCKIN, K.A., LUSSEAU, D. (2008). Tourism affects the behavioural budget of the common dolphin *Delphinus* sp in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Marine Ecology-Progress Series* 355: 287-295.
- 87.STONE, C.J. (1997). Cetacean observations during seismic surveys in 1996. Aberdeen., Joint Nature Conservation Committee.
- 88.STONE, C.J. (2003). The Effects of Seismic Activity on Marine Mammals in UK Waters, 1998-2000. *JNCC* 323.
- 89.STONE, C. J. AND TASKER, M. L. (2006). The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of cetacean research and management* 8(3): 255-263.
- 90.TEILMANN, J., TOUGAARD, J., AND CARSTENSEN, J. (2007) Effects from offshore wind farms on harbour porpoises In Denmark. *PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON OFFSHORE WIND FARMS AND MARINE MAMMALS: IMPACTS & METHODOLOGIES FOR ASSESSING IMPACTS*
- 91.TODD, S. (1996). Behavioral effects of exposure to underwater explosions in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Canadian Journal of Zoology* 74:1661-1672.
- 92.TRITES, A. W. (1996). Killer Whales & Vessel Activity. Marine Mammal Reserch Unit.
- 93.TYACK P.L., ZIMMER, W.M., MORETTI, D., SOUTHALL, B.L., CLARIDGE, D.E., DURBAN, J.W., CLARK, C.W., D'AMICO, A., DIMARZIO, N., JARVIS, S., MCCARTHY, E., MORRISSEY, R., WARD, J., BOYD, I.L. (2011). Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar. *PLoS One*. 2011 Mar 14;6(3):e17009.
- 94.VAN PARIJS, S.M. AND CORKERON, P. (2001). Boat traffic affects the acoustic behaviour of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81(3): 533-538.
- 95.VENERUSO, G., MAGILEVICIUTE, E., NUUTTILA, H., EVANS, P.G.H. (2011) Habitat use and effects of boat traffic on bottlenose dolphins at New Quay Harbour, Cardigan Bay. Poster at the 25th Annual Conference of the European Cetacean Society, Cadiz, Spain, 21-23 March 2011
- 96.WEILGART, L. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology* 85(11): 1091-1116.

- 97.WEIR, C. (2008). Short-Finned Pilot Whales (*Globicephala macrorhynchus*) Respond to an Airgun Ramp-up Procedure off Gabon. *Aquatic Mammal* 34(3): 349-354.
- 98.WELLER, D.W. (2006). A re-evaluation of the influences of 2001 seismic surveys on western gray whales of Sakhalin Island, Russia. Cambridge, UK., International Whaling Commission Committee.
- 99.WILLIAMS, R. (2006). Estimating relative energetic costs of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). *Biological Conservation* 133(3)301-311
- 100.WILLIAMS, R., BAIN, D.E., SMITH, J.C., AND LUSSEAU, D. (2009). Effects of vessels on behaviour patterns of individual southern resident killer whales *Orcinus orca*. *Endangered Species Research* 6, 199–209.
- 101.WILLIAMS, R., TRITES, A.W.(2002). Behavioural responses of killer whales (*Orcinus orca*) to whale-watching boats: opportunistic observations and experimental approaches. *Journal of Zoology* 256: 255-270.
- 102.WINSOR, M.H. AND MATE, B.R. (2008). Seismic Survey Activity and the Proximity of Satellite-Tagged Sperm Whales *Physeter Macrocephalus* in the Gulf of Mexico. *Bioacoustics* 17: 1-3.
- 103.YAZVENKO, S.B., MCDONALD, T.L. (2007). Feeding of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment* 134 (1-3): 93-106.
- 104.YAZVENKO, S.B., MCDONALD, T.L. (2007). Distribution and abundance of western gray whales during a seismic survey near Sakhalin Island, Russia. *Environmental Monitoring and Assessment* 134(1-3): 45-73.

CAPITOLO III

RISPOSTA DEL TURSIOPE (TURSIOPS TRUNCATUS) AL TRAFFICO MARITTIMO

3.1 INTRODUZIONE

3.1.1 Storia naturale del tursiope

Ordine: Cetacei

Sottordine: Odontocetae

Famiglia: Delphinidae

Genere: *Tursiops*

Specie: *Tursiops truncatus*

Nome comune: Tursiope



Figura 3.1 Esempolari di Tursiops truncatus.

Il tursiope ha un corpo fusiforme, simile a quello dei pesci, che gli assicura una grande idrodinamicità; è un delfino di grande mole, che raggiunge, nel Mediterraneo, una lunghezza media di 2.5-3.5 metri, con un massimo di 4 metri. Il peso si aggira tra i 270 e i 350 kg, con il maschio di dimensioni maggiori rispetto alla femmina. I neonati misurano circa 1 metro di lunghezza e 15 Kg di peso (Notarbartolo di Sciara, 2004). Non esiste dimorfismo sessuale

nella specie; il riconoscimento tra maschi e femmine è possibile soltanto attraverso l'osservazione delle fessure genitali e anali, ravvicinate nella femmina, maggiormente distanziate nel maschio.

La specie presenta una colorazione grigio scura dorsalmente, grigio chiara o bianca ventralmente e la testa scura. Sul capo è presente un melone pronunciato e il rostro è breve, con la mandibola più corta della mascella. Diversamente da tutti gli altri mammiferi, nei cetacei le narici si sono spostate all'apice della testa per facilitare la respirazione in superficie, andando a costituire lo sfiatatoio, la cui apertura e chiusura è regolata da una potente muscolatura; inoltre si osserva una marcata asimmetria di ossa e strutture anatomiche molli della testa, che sembra dovuta a una diversa specializzazione dei due lati del cranio: il lato destro per la produzione dei suoni, il sinistro per la respirazione.

Il tursiope presenta un'ampia distribuzione su scala mondiale, essendo distribuito in tutte le acque tropicali e temperate del globo. Esso è uno dei cetacei più frequenti nel Mediterraneo (Notarbartolo di Sciara e Demma, 2004; Reeves & Notarbartolo di Sciara, 2006). Questa specie si osserva nella maggior parte delle acque costiere del bacino ed è stata documentata la sua presenza nelle acque di: Albania, Algeria, Croazia, Cipro, Francia, Gibilterra, Grecia, Israele, Italia, Montenegro, Marocco, Slovenia, Spagna, Tunisia e Turchia. Studi basati sull'analisi di DNA mitocondriale hanno individuato la presenza di popolazioni distinte tra il mar Nero, il mar Mediterraneo e l'Atlantico adiacente (Natoli et al. 2005). Sono stati trovati dei confini nelle strutture delle popolazioni coincidenti con la transizione tra diversi tipi di habitat, diverse topografie, salinità, produttività e temperatura. In totale sono state individuate cinque sub-popolazioni: Mar Nero, Mediterraneo orientale, Mediterraneo occidentale, Atlantico nord-orientale e Atlantico scozzese. Questi risultati suggeriscono che oltre ai più evidenti confini fisici dati dallo Stretto di Gibilterra e dallo Stretto dei Dardanelli, anche lo Stretto di Sicilia e, più in generale, le differenze tra habitat possono limitare e influenzare i movimenti dei delfini (Natoli et al. 2005).

I tursiopi del Mediterraneo sono spesso considerati prevalentemente "costieri", in realtà si possono incontrare anche sulla piattaforma continentale ed a qualsiasi distanza dalla costa (Notarbartolo di Sciara et al. 1993; Bearzi et al. 2004; Naceur Ben et al. 2004; Gomez de Segura & Tomas Raga, 2004; Gannier et al. 2005; Gnone et al. 2006; Azzellino et al. 2008b). Essi popolano una grande varietà di habitat, tra i quali la piattaforma continentale (Gomez de Segura et al. 2006; Azzellino et al. 2008b), lagune e mari chiusi (Bearzi et al. 2008), e le

acque che circondano le isole e gli arcipelaghi (Bearzi et al. 1997; Mussi & Miragliuolo 2003; Forcada et al. 2004; Fortuna et al. 2007). Nello Stretto di Gibilterra e nella regione del Mediterraneo i delfini si ritrovano principalmente a profondità di 200-600 m. e su pendii ripidi (De Stephanis et al. 2008).

Il tursiope è prevalentemente ittiofago e i pesci più frequentemente catturati sono quelli più abbondanti nelle acque basse in cui vive: cefali, acciughe, sardine, sgombri, aringhe, triglie, sugherelli. Essendo però molto flessibile, adatta la sua dieta alla preda più facilmente ottenibile, così si ciba anche di calamari, seppie, polpi, crostacei e altri invertebrati del benthos.

L'apparato riproduttore è molto simile a quello dei mammiferi terrestri. Gli accoppiamenti e le nascite avvengono di solito nella stagione più calda. La femmina partorisce un solo piccolo alla volta. La gestazione dura 12 mesi e lo svezzamento avviene alla fine del secondo anno di vita. Il latte, che viene letteralmente spruzzato in bocca al cucciolo, è particolarmente ricco di grassi, e l'allattamento prosegue per oltre un anno. La maturità sessuale avviene tra i 9 e i 10 anni per le femmine e tra i 10 e i 13 anni per i maschi (Notarbartolo di Sciara 2004). Le dimensioni dei gruppi di tursiopi variano a seconda delle regione biogeografiche, della disponibilità di prede ed in risposta ad altri molteplici fattori. Associazioni con altre specie di cetacei sono rari, anche se in alcune zone sono state osservate aggregazioni con delfini comuni (Notarbartolo di Sciara et al. 1993; Bearzi & Notarbartolo di Sciara, 1995; Cañadas et al. 2002; Bearzi et al. 2003).

3.1.2 Comportamento acustico e capacità uditiva

Nei Cetacei quella acustica è sicuramente la più importante forma di comunicazione: udito e produzione di suoni rivestono quindi una funzione primaria rispetto alla vista. La maggiore densità dell'ambiente acquatico rispetto all'aria rende più difficile la penetrazione della luce lungo la colonna d'acqua (questa può inoltre subire ulteriori variazioni anche in base al grado di torbidità) mentre facilita la propagazione del suono. L'udito è quindi il senso più sviluppato; esso non solo viene utilizzato per la ricezione dei suoni, ma anche per l'ecolocalizzazione. L'ecolocalizzazione è la capacità di utilizzare suoni ad alta frequenza, per rilevare distanza, forma, dimensioni, consistenza e direzione di spostamento di oggetti presenti nella colonna d'acqua, anche in condizioni di scarsa visibilità (Notarbartolo di Sciara,

1997), grazie all'analisi delle onde sonore emesse che ritornano indietro dopo essere state riflesse dall'ambiente circostante.

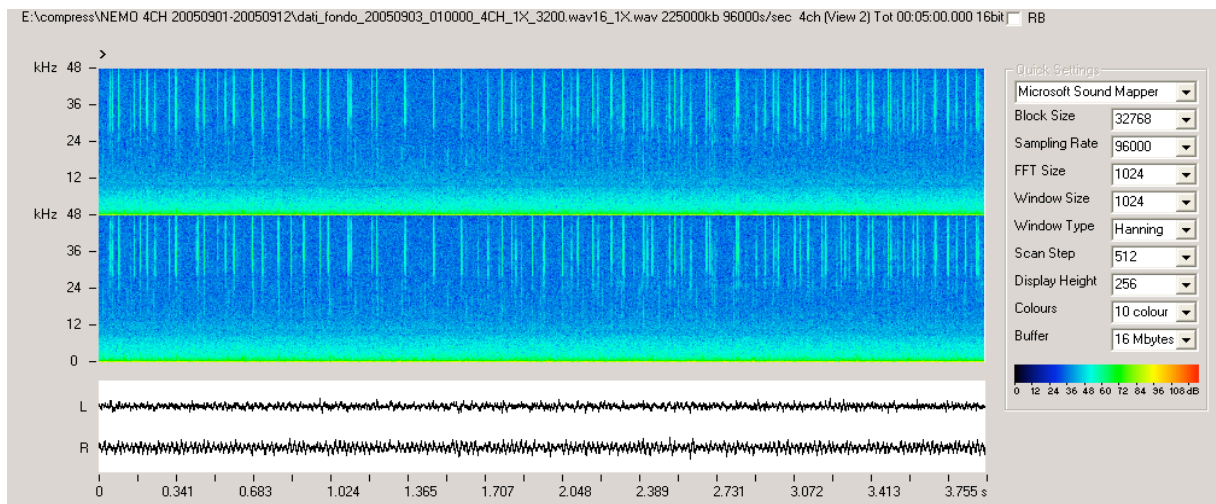
Generalmente i suoni emessi dai tursiopi vengono divisi in tre principali categorie: *click*, fischi e buzz (Figura 3.2).

I *click* sono suoni a larga banda di frequenza con un rapido inizio e una rapida fine. Le sequenze o “treni di *click*” sono definiti come una serie di distinti e rapidi *click* con un intervallo (tra i *click*) minore di un secondo. (Caldwell& Caldwell 1966). I *click* possono raggiungere la frequenza di 200 kHz e possono essere ripetuti fino a 6.000 volte al secondo (Figura 3.2a). Questi suoni, prodotti dalle sacche nasali, vengono utilizzati per l'ecolocalizzazione; l'impulso passa attraverso il melone che, agendo come una lente acustica, lo concentra e lo indirizza verso l'esterno. Quando le onde sonore colpiscono un bersaglio, una parte di esse viene riflessa verso la sorgente, e captata dalle ossa mandibolari che le trasmettono alla bulla timpanica e quindi all'orecchio interno. Il tempo richiesto ad un click per viaggiare dalla sorgente al bersaglio e ritornare, consente all'animale di stimare la distanza del bersaglio.

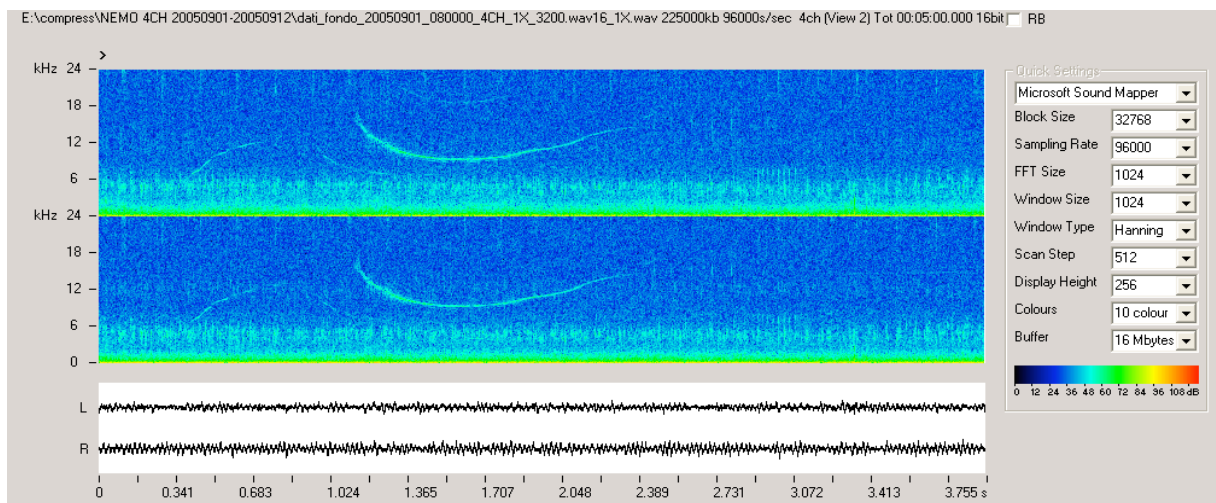
Tipicamente, i fischi sono toni puri spesso modulati in frequenza, limitati alla banda medio alta (Caldwell& Caldwell 1966). Essi servono per comunicare con altri individui della stessa specie e hanno frequenze comprese tra 1 e 25 kHz (Figura 3.2 b). Tra i fischi sono stati riconosciuti alcuni particolari segnali caratteristici per ogni individuo, per questo definiti *signature whistle* (fischio firma). Ogni tursiope ha quindi un suo fischio caratteristico, una sorta di “firma”, con frequenze e contorni unici, che lo rende identificabile immediatamente dai suoi conspecifici. Questi fischi sarebbero importanti per il riconoscimento individuale e per la coesione del gruppo (Caldwell & Caldwell, 1966).

I *buzz* sono vocalizzazioni costituite da sequenze di molti *click*, emessi in rapida successione (Figura 3.2 c), percepiti dall'orecchio umano come un unico ronzio (Caldwell& Caldwell 1966); quando emette questo tipo di suono, l'individuo si trova di fronte all'oggetto/ostacolo e lo ha localizzato. La produzione continua di suoni, può indicare anche velocità e direzione di un oggetto in movimento. La penetrazione delle onde sonore è inversamente proporzionale alla frequenza, così in condizioni di nuoto normali, vengono emessi suoni a bassa frequenza, che hanno un raggio d'azione di qualche chilometro; quando viene identificato qualcosa di interessante, l'animale si avvicina e aumenta la frequenza per ottenere informazioni più dettagliate (Notarbartolo di Sciara, 2004).

a.



b.



c.

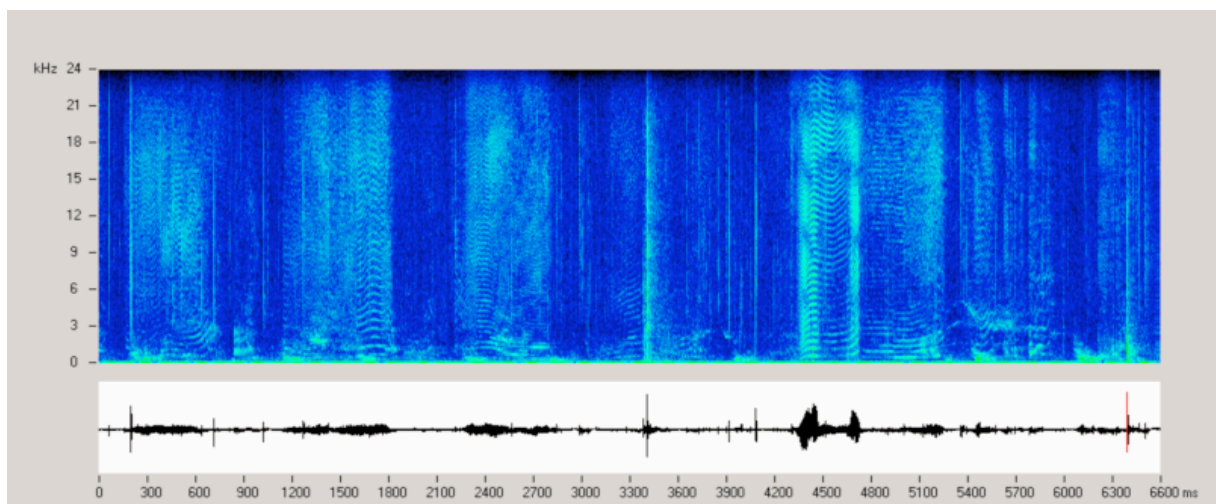


Figura 3.2. Vocalizzazioni tipiche del tursiopo: click (a), fischi (b) e buzz (c).

SPECIE	Suoni emessi	Intervalli di Frequenze (kHz)
Tursiope (<i>Tursiops truncatus</i>)	Whistles	0.8-24
	Click	0.2-150
	Buzz	0.2-16
	Low frequency call	0.05-0.9

Tabella 3.1. Catalogazione tipi di suoni emessi dal tursiope e relativi intervalli di frequenza.

3.1.3 Minacce per la specie: impatto del traffico marittimo e del rumore

Il tursiope in Mediterraneo è una delle specie più comuni, tuttavia la popolazione mediterranea appare essere sempre più frazionata in nuclei isolati (Natoli et al. 2005). Molte delle zone mediterranee abitate da questi delfini sono soggette ad un intenso impatto antropico. In alcuni di questi settori, come il Mare Adriatico, la specie è diminuita drasticamente (molto probabilmente di almeno il 50%) negli ultimi 50 anni (Bearzi et al. 2004). Per le altre parti del Mediterraneo settentrionale, ad esempio, Spagna, Italia e sud della Francia, le informazioni sono meno precise e chiare, ma suggeriscono simili tendenze (Silvani et al. 1992). Le popolazioni di tursiopi si sono considerevolmente ridotte in tutto il bacino mediterraneo al punto che l'IUCN (*International Union for the Conservation of the Nature*) ha preso in considerazione la possibilità di un loro inserimento nella Lista Rossa alla voce “specie vulnerabile” (VU). L'IUCN definisce vulnerabile un taxon ad alto rischio di estinzione allo stato selvatico in un futuro a medio termine.

Le minacce alle quali va incontro il tursiope sono molteplici: cambiamenti climatici, *overfishing*, patologie, traffico marittimo ed inquinamento chimico ed acustico. Sempre più studi evidenziano l'effetto diretto ed indiretto del traffico marittimo sul comportamento e sull'habitat dei cetacei, tra i quali i delfinidi (Bejder & Samuels, 2003; Nowacek et al. 2007). Il traffico marittimo si è notevolmente intensificato nel Mediterraneo negli ultimi decenni, ma il potenziale effetto della perdita di habitat è stato studiato solo in misura limitata. Il rumore proveniente da varie attività umane, oltre alle imbarcazioni, ad esempio esplorazioni sismiche, dragaggi, perforazioni, esplosioni subacquee, sonar militari e civili, è motivo di una crescente preoccupazione per gli eventi di mortalità ad esso correlati, per le possibili perdite temporanee o permanenti dell'udito, e per i cambiamenti del comportamento, anche vocali (Scarpaci et al. 2000; Buckstaff 2004; Morisaka et al. 2005; Richardson et al. 1995; Nowacek et al. 2007).

Nelle aree costiere, dove i tursiopi vivono, navi e imbarcazioni da diporto sembrano rappresentare le principali sorgenti di rumore antropico (Payne and Webb, 1971; Buckstaff, 2004; Holt, 2008). L'energia delle imbarcazioni a motore è compresa nell'intervallo 0.1-20 kHz (Richardson, 1995); questo intervallo si sovrappone a quello dei segnali di comunicazione dei delfini, i fischi (suoni a modulazione di frequenza utilizzati nell'organizzazione e funzionamento del gruppo (Norris, 1994). Per evitare che il rumore delle imbarcazioni possa coprire le loro comunicazioni, un effetto noto come *masking*, gli animali possono adottare diverse strategie: i) aumentare l'efficienza di trasmissione dei segnali nell'habitat (May Collado, 2008; Morisaka, 2004); ii) allontanarsi temporaneamente o definitivamente dall'area (Allen, 2001; Bejder, 2006); iii) interrompere le vocalizzazioni e attendere fino a quando il rumore diminuisce (Lesage et al., 1999; Sun and Narins, 2005). Molti studi hanno dimostrato che il tursiopo reagisce al traffico marittimo in differenti maniere: i) modificando le caratteristiche del loro comportamento acustico (May Collado 2008; Buckstaff 2004; Morisaka et al. 2005); ii) alterando il loro normale comportamento (Acevado 1991; Lusseau 2005; Papale et al. 2011); iii) aumentando la velocità di spostamento e modificandone la direzione, cambiando la dimensione, compattezza e formazione del gruppo (Nowacek et al. 2001; Bejder 2005; Mattson 2005; Miller 2008); iv) riducendo l'uso dell'habitat quando il traffico raggiunge livelli troppi elevati (Allen et al. 2001; Bejder et al. 2006); v) riducendo i tempi di riposo (Constantine, 2004; Lusseau, 2005) e vi) alterando i ritmi di respirazione (Janik et al. 1996; Hastie, 2003). Nonostante la maggior parte degli studi abbiano enfatizzato la risposta di *avoidance* dei tursiopi nei confronti delle imbarcazioni, in alcuni casi sono state riscontrate risposte opposte, ad esempio la risposta di attrazione esercitata dalle imbarcazioni da pesca (Miller, 2008). In ogni caso, qualunque sia la strategia degli animali per ridurre l'effetto nocivo del rumore e del traffico, essa comporta un maggior dispendio energetico che può compromettere la *fitness* degli individui (Bejder, 2005).

3.2 CONTESTO, SCOPO E OBIETTIVI

Nel 2006 nell'ambito del progetto europeo LIFE "Riduzione impatto attività umane su Caretta e Tursiopo e loro conservazione in Sicilia" (LIFE NAT/IT/000163) è stato condotto nelle acque di Lampedusa uno studio volto alla caratterizzazione dell'andamento temporale e spaziale del traffico nautico nelle acque costiere, alla verifica di eventuali differenze nella presenza di tursiopi in quattro differenti aree geografiche intorno all'isola e a determinare se

tali differenze potessero essere influenzate dal numero e dalla tipologia di imbarcazioni presenti (La Manna *et al.*, 2010). Tale studio, condotto sulla base di osservazioni compiute da postazioni fisse a terra e sul conteggio a intervalli di tempo predeterminati del numero/ tipologia di imbarcazioni e del numero di delfini presenti entro due chilometri dalla costa, aveva evidenziato: i) una concentrazione del traffico nelle aree meridionali dell'isola; ii) una maggiore presenza di imbarcazioni in transito nell'area SW, prevalentemente pescherecci a strascico in spostamento e imbarcazioni da diporto; iii) una maggiore abbondanza e dimensione media dei gruppi di tursiopi nell'area geografica SW, rispetto alle altre 3 investigate (SE, NE, NW). Nello studio suddetto è stato argomentato che la sovrapposizione tra aree a maggiore traffico e aree a più alta presenza di tursiopi potesse essere spiegata in due modi, fra loro non mutualmente esclusivi: 1) l'area SW rappresenta un'area ecologicamente rilevante per la specie, probabilmente per la disponibilità di prede e la possibilità di interagire con i pescherecci a strascico nell'esecuzione di un comportamento alimentare opportunistico (*sensu* Pulcini *et al.* 2004, Pace *et al.* 2003); 2) i tursiopi sono in grado di tollerare elevati livelli di traffico e rumore, essendo diventati a esso “familiari”.

Un nuovo esperimento è stato condotto nel 2006, e replicato nel 2009, impiegando stavolta una metodologia di monitoraggio acustico basata su sistemi autonomi passivi di registrazione (di seguito definiti PAMs), del tipo *bottom recorder*. Gli obiettivi generali di tale esperimento sono stati:

1. Studiare l'uso dell'habitat dei tursiopi e determinare le sue variazioni spaziali e temporali e l'eventuale interazione con il traffico marittimo.
1. Verificare se i tursiopi adottano una strategia di tolleranza, rimangono cioè nell'area anche se esposti al disturbo derivante dalle imbarcazioni, o una di “*avoidance*” si allontanano cioè dalle imbarcazioni abbandonando l'area.
2. Individuare se la tipologia di imbarcazione e l'intensità del suo disturbo influenzano tale strategia.
3. Analizzare se esiste una risposta acustica alla presenza di imbarcazioni e se essa varia in funzione del tipo di imbarcazione e dei gruppi di animali registrati.

3.3 MATERIALI E METODI GENERALI

3.3.1 Area di studio

Lampedusa fa parte dell'Arcipelago delle Isole Pelagie, insieme a Linosa e Lampione, piccole isole disperse al centro dello Stretto di Sicilia. Il loro nome deriva dal greco *pelaghia* che significa appunto isole d'alto mare. Pur appartenendo al territorio italiano l'isola fa parte della piattaforma africana; essa dista 205 km dalla Sicilia e 113 km dalla Tunisia, dalla quale è separata da un braccio di mare profondo non più di 120 m. L'appartenenza di Lampedusa e Lampione alla zolla africana spiega la grande differenza tra queste e la terza isola delle Pelagie, Linosa: le prime due sono calcaree, brulle aride e piatte; Linosa è un piccolo lembo di terra staccatosi dalla Sicilia, costituito da rocce scure e frastagliate di origine vulcanica e ricoperto da una ricca vegetazione mediterranea.

Lampedusa ha una forma allungata in direzione est-ovest, si estende per circa 9 km in lunghezza e per 3 km in larghezza ed ha un'altezza massima di 133 m. Nel settore settentrionale le coste sono costituite da alte falesie, mentre nel settore meridionale si trovano insenature, spiagge e calette.

Lampedusa è un pezzo d'Africa non solo dal punto di vista geologico ma anche da quello naturalistico, per i suoi aspetti zoologici e fitogeografici del tutto peculiari. Esso è un sito straordinario in Mediterraneo anche per quanto riguarda la biodiversità marina. Da un punto di vista faunistico, la fascia costiera riveste una particolare importanza per la presenza sia di specie residenti che di specie pelagiche che qui vengono a nutrirsi, a riprodursi o a trascorrere i loro stadi giovanili. Il sistema infralitorale è quello che presenta caratteristiche più peculiari essendo caratterizzato da un'elevata produzione primaria e secondaria, dall'eterogeneità dei fondali e da una notevole variabilità dei fattori fisici; inoltre, questa zona è fortemente soggetta all'impatto antropico, a causa dell'immissione di sostanze di rifiuto, in particolare in vicinanza delle zone abitate, e del sovrasfruttamento delle risorse trofiche mediante l'utilizzo di diverse tecniche di pesca. Le famiglie di Teleostei numericamente più rappresentate sono i labridi e gli sparidi, particolarmente legati al poseidonieto. Complessivamente, il numero di specie ittiche presenti a Lampedusa risulta più alto che in altre parti del Mediterraneo e ciò è un indice dell'elevata ricchezza faunistica dell'isola. Nelle acque dell'Arcipelago delle Pelagie sono inoltre presenti numerose specie inserite in Direttiva Habitat, tra le quali la tartaruga comune (*Caretta caretta*), la balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), il

delfino comune (*Delphinus delphis*), il tursiope (*Tursiops truncatus*) e alcune specie di squalo, come lo squalo bianco (*Carcharodon carcharias*).

L'importanza delle Pelagie per il tursiope e altre specie minacciate ha incoraggiato l'adozione di misure volte alla conservazione del suo ecosistema: nel 2002 è stata istituita l'Area Marina Protetta Isole Pelagie e nel 2008 è stato formalmente adottato dall'ente gestore dell'AMP il "Piano d'Azione per la conservazione dei Tursiope nelle Isole Pelagie".

3.3.2 Stazioni di campionamento

L'area oggetto di studio nel 2006 è una zona dello Stretto di Sicilia circostante l'isola di Lampedusa, estesa circa 410 km². Le 14 stazioni di campionamento all'interno di quest'area sono state scelte tenendo in considerazione:

- Le caratteristiche del fondale. Sono stati evitati fondali ritenuti troppo accidentati per evitare il rischio di non recuperare la strumentazione.
- La lontananza e la difficoltà di raggiungimento del sito. Sono stati privilegiati siti raggiungibili in gommone in un tempo non superiore a circa 30 minuti, per ridurre l'impiego di risorse umane ed economiche.
- Il rischio di captazione degli strumenti di registrazione nelle reti da pesca a strascico. Il mare intorno a Lampedusa è infatti intensamente sfruttato da questo tipo di pesca e, inizialmente, non è stata rara la cattura degli strumenti nelle loro reti. Solo la scelta di punti di lancio evitati dai pescherecci, perché in prossimità di secche o relitti o perché al di sotto della batimetrica dei 50 m (profondità minima consentita per legge per questo tipo di pesca), ha permesso di portare a zero la perdita degli strumenti.

A ogni campionamento i *bottom recorder* sono stati lanciati in un punto casuale della stazione di campionamento (o aree di lancio) (Figura 3.3). Le aree sono state distinte in funzione della distanza dalla costa in "in-shore", (distanza media in miglia nautiche: 0.40 ± 0.20 ; profondità media 42 ± 8 m) e "off-shore" (distanza media in miglia nautiche: 4.9 ± 2.2 ; profondità media 104 ± 48 m). Le caratteristiche morfologiche dei fondali nelle varie aree sono piuttosto omogenee: ad eccezione di 2 di queste infatti, caratterizzate da una struttura mista di roccia e sabbia e da popolamenti di posidonia, tutte le altre sono esclusivamente di tipo sabbioso (Tabella 3.2).

ID	Nome Stazione	Latitudine - Longitude (gradi decimali)	Distanza dalla costa (miglia)	Profondità (metri)	Caratteristiche fondale
1	NEos	35.600240° - 12.697570°	5.9	90	sabbia
2	NWos	35.605898° - 12.447272°	6.08	150	sabbia
3	NNWos	35.574180° - 12.529588°	2.50	160	sabbia
4	SEos	35.386400° - 12.706390°	7.3	60	sabbia
5	SWos	35.506854° - 12.466951°	2.60	60	sabbia
6	Nis	35.526090° - 12.593350°	0.25	50	sabbia
7	Eis	35.494783° - 12.638983°	0.28	35	sabbia
8	NEis	35.523930° - 12.624690°	0.15	40	roccia, sabbia, posidonia
9	NWis	35.533917° - 12.542333°	0.30	60	sabbia
10	SEis	35.482930° - 12.624320°	0.62	35	sabbia
11	Sis	35.496220° - 12.557960°	0.78	40	sabbia
12	SSEis	35.486240° - 12.605070°	0.38	35	sabbia
13	SWis	35.511170° - 12.515290°	0.48	40	sabbia
14	Wis	35.525840° - 12.514260°	0.34	40	roccia, sabbia, posidonia

Tabella 3.2. Posizione e caratteristiche delle aree di lancio.

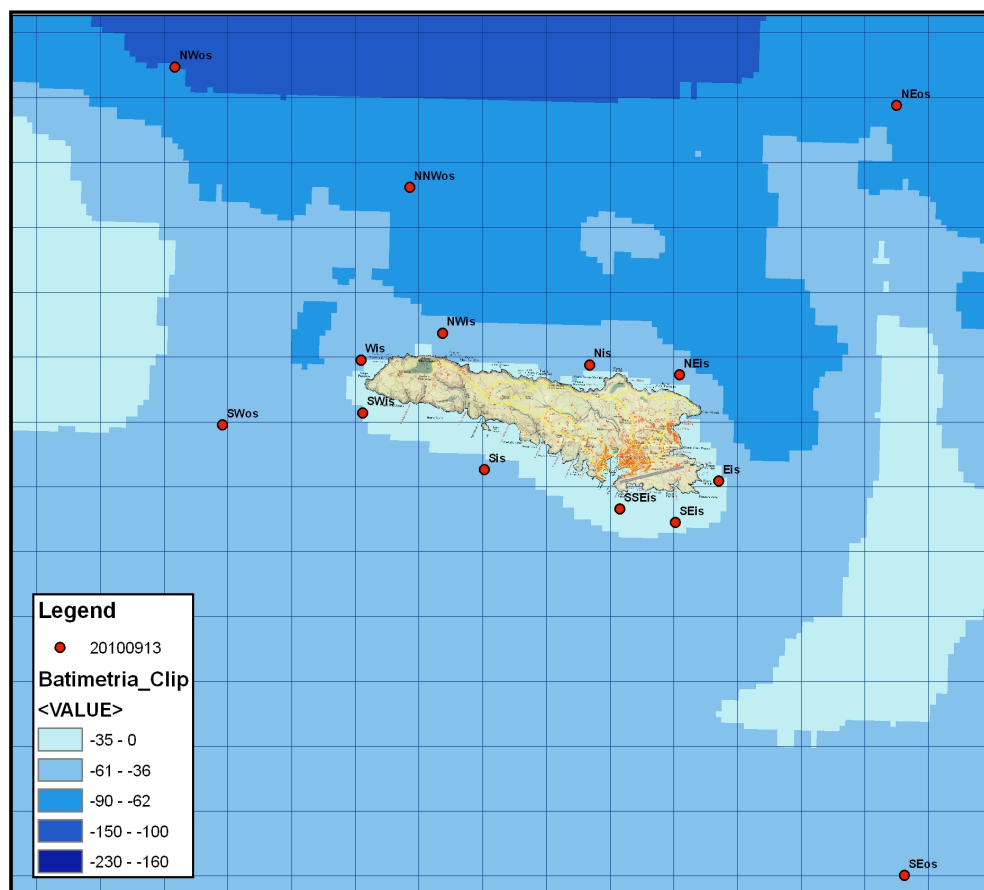


Figura 3.3. Aree di lancio bottom recorder.

3.3.3 Strumentazione PAM (Passive Acoustic Monitoring) e sua messa in opera

Lo strumento utilizzato nello studio è uno sistema di registrazione acustico passivo (PAM) posizionato sul fondo (*bottom recorder*), che non richiede la presenza del ricercatore, né emette segnali nell'ambiente.

Ogni *bottom recorder* è costituito da un contenitore cilindrico stagno metallico di circa 50 cm di lunghezza e 9 cm di diametro. Sul tappo del cilindro è presente il sensore idrofonico; l'idrofono ha un'estensione di banda compresa tra 10 Hz e 48 kHz; il campionamento è stato realizzato a 96 e 48 kHz di frequenza di campionamento, con una risposta in frequenza rispettivamente di 48 e 24 kHz. L'idrofono è collegato ad un registratore digitale alimentato a batterie. Il registratore è stato programmato per acquisire segnali audio dalle caratteristiche desiderate, in termini di bande di frequenze, livello di compressione e qualità del campionamento. Esso inoltre ha registrato secondo uno schema di campionamento predeterminato, grazie alla configurazione di un timer ad esso collegato. I registratori dei vari sistemi impiegati sono stati forniti di una scheda di memoria con una capacità variabile da 4 a 32 Gb. Il cilindro è stato associato ad una zavorra sacrificale per spingerlo fino al fondale marino, generalmente costituita da materiale ferroso a minimo impatto ambientale, a un sistema di rilascio acustico della zavorra (*release*) e a un galleggiante rosso su cui è posta una bandierina che facilita l'individuazione del sistema a mare (Figura 3.4).



Figura 3.4. PAMs.

Lo strumento è idoneo per essere utilizzato da un operatore a bordo di una imbarcazione, anche di piccole dimensioni. Nel nostro caso è stato sufficiente un gommone di 5.70 m con un motore fuoribordo 40 Cv. Una volta programmato, il sistema di registrazione è stato lanciato in mare e portato al fondo dalla zavorra; qui ha registrato i segnali ricevuti dal suo sensore, seguendo lo schema di campionamento programmato inizialmente. Una volta esaurito il ciclo di registrazione (programmato in funzione della durata della batteria e della capacità della scheda di memoria, il sistema è stato recuperato per poter avere accesso ai dati. Per il recupero è stato ancora una volta sufficiente un operatore da una piccola imbarcazione, che azionando dalla superficie un telecomando acustico, ha ordinato l'affioramento del sistema: la zavorra è stata così rilasciata e la spinta verso l'alto del galleggiante ha riportato il sistema in superficie.

Le prime registrazioni di test della strumentazione sono state effettuate sia in formato WAV lineare sia in formato MP3. Quest'ultimo, essendo un formato compresso, consente di prolungare la durata della registrazione ma causa una perdita d'informazione in termini di frequenze rilevabili. L'analisi di entrambi i tipi di registrazione ha mostrato la necessità di pianificare un campionamento in WAV, poiché la gran parte delle detezioni acustiche occupava la banda delle alte frequenze (superiore ai 10 kHz). Poiché in formato WAV i file di registrazione occupano più memoria ed essendo le memorie limitate, ciò ha richiesto l'intensificazione del campionamento (minore durata della registrazione, maggior numero di lanci della strumentazione).

Durante la fase iniziale della ricerca, uno studio pilota è stato condotto per identificare la migliore strategia di campionamento in termini di schema e durata delle registrazione: è stato cioè necessario trovare l'adeguato compromesso tra la probabilità di catturare i segnali di interesse, il consumo delle batterie e la capacità delle schede di memoria. Di conseguenza, in maggio e giugno 2006 il timer è stato programmato per registrare in continuo per circa 6 ore oppure ogni 30 minuti per 12 ore. Dopo un'analisi preliminare delle registrazioni e considerando frequenza e durata degli eventi acustici di maggiore interesse, si è deciso di registrare con uno schema del tipo 5:5 (5 minuti di registrazione, seguiti da 5 minuti di pausa).

3.3.4 Sforzo di ricerca complessivo

Il campionamento acustico è stato realizzato nei mesi compresi tra maggio e dicembre 2006, con l'esclusione di novembre, e tra luglio e settembre 2009. In totale sono state ottenute circa

380 ore di registrazione, suddivise in campioni di 5 minuti: 3010 nel 2006 e 1550 nel 2009. Nonostante l'iniziale intenzione di condurre un campionamento sistematico e bilanciato, sia spazialmente che temporalmente, a causa di difficoltà collegate al carattere sperimentale della strumentazione e alle condizioni meteo-marine, il numero di campioni nei 7 mesi del 2006 è risultato fortemente sbilanciato. In particolare, nei mesi di maggio, ottobre e dicembre 2006 sono state raccolte un numero molto più basso di registrazioni e, conseguentemente, la stagione estiva è risultata quella maggiormente studiata. Anche per quanto riguarda le aree di campionamento il campione è risultato fortemente sbilanciato. In totale sono stati realizzati 41 lanci (*deployment*), nelle 14 aree distribuite intorno all'isola di Lampedusa. Nessuna area di lancio è stata campionata in tutte le stagioni (Figura 3.5 e 3.6).

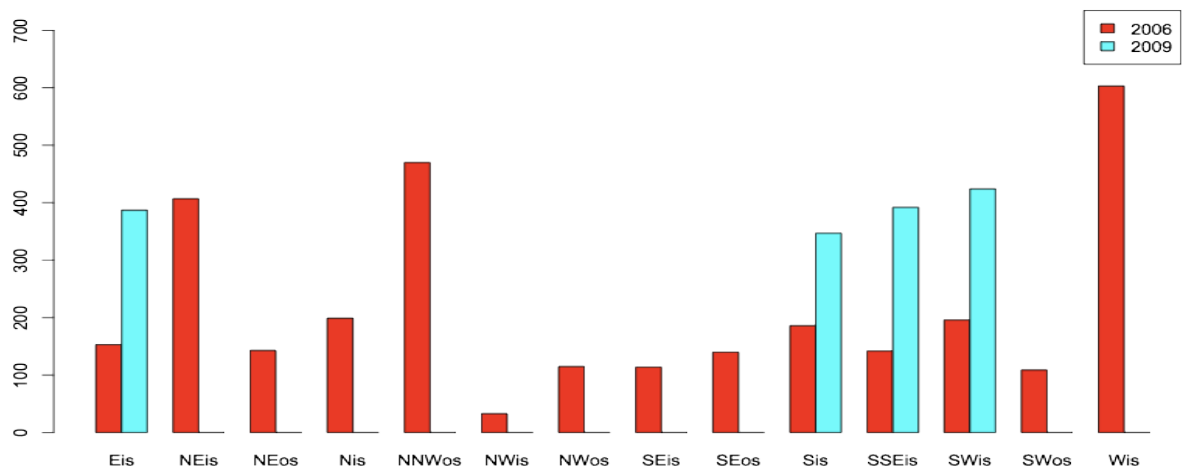


Figura 3.5. Numero campioni (registrazioni di 5') in funzione della stazione di campionamento e dell'anno.

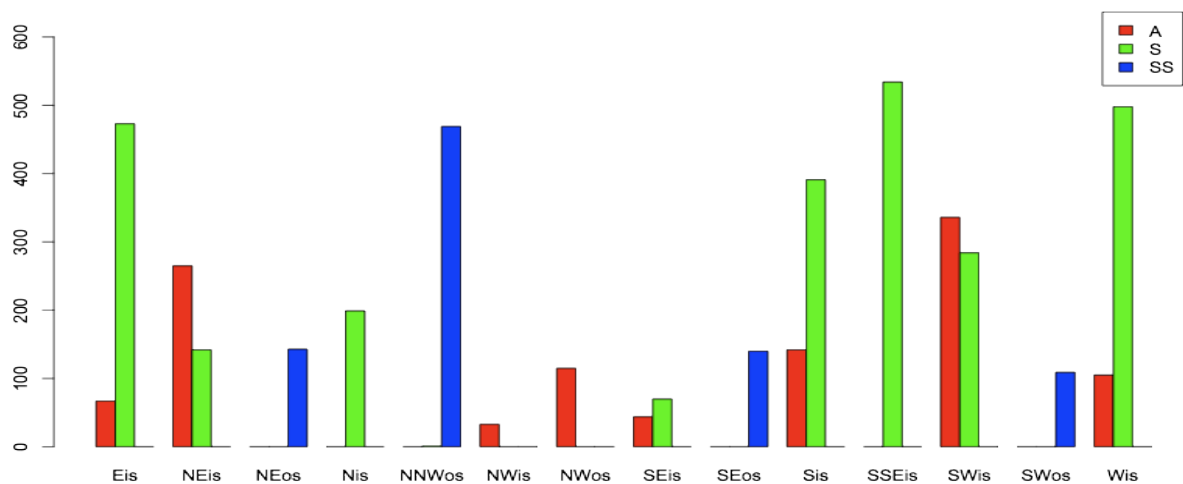


Figura 3.6. Numero campioni (registrazioni di 5') in funzione della stazione e della stagione.

Considerando la distanza dalla costa, il campione è risultato molto più numeroso nelle aree *in-shore* (entro 0.78 miglia e tra i 35 e i 60 m di profondità), piuttosto che in quelle *off-shore* (entro 6.08 miglia e tra i 60 e i 160 m di profondità) (Figura 3.7).

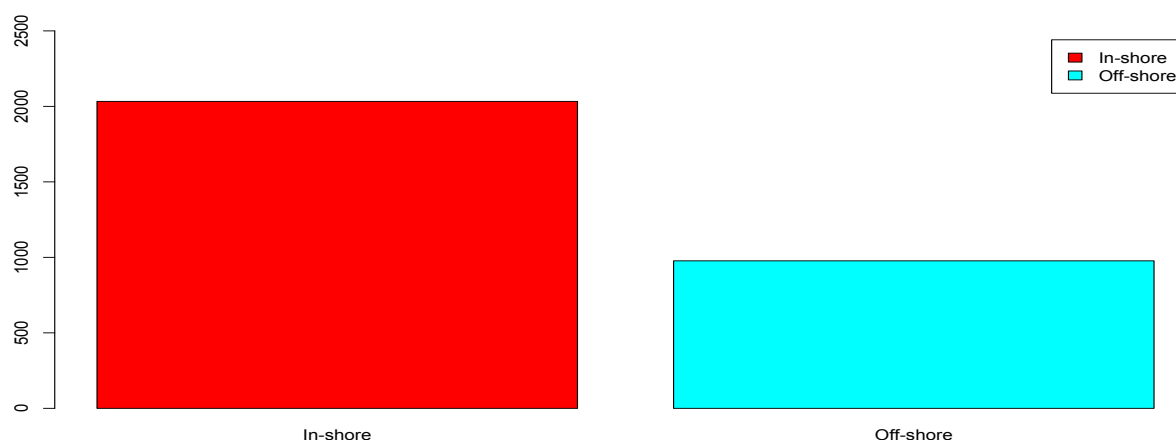


Figura 3.7. Numero campioni (registrazioni di 5') in funzione della distanza dalla costa.

Concentrare il campionamento sotto costa è stato necessario per ridurre il rischio di cattura degli strumenti nelle reti a strascico, evento verificatosi in tre occasioni. Tenendo in considerazione lo scopo generale dello studio, le difficoltà logistiche riscontrate nel 2006, relativamente alle condizioni meteo-marine e alla perdita di alcuni strumenti, e i risultati del campionamento del 2006, cioè la maggiore concentrazione di delfini e imbarcazioni sotto costa e durante il periodo estivo, nel 2009 si è scelto di condurre la raccolta dati solo nei mesi di luglio, agosto e settembre e in aree di lancio *in-shore* distribuite su due macro aree nel lato meridionale dell'isola (SW: comprendente le aree SWis e Sis; SE: comprendente le aree SSEis ed Eis).

Nel 2009 inoltre è stato inserito nel disegno sperimentale un ulteriore fattore non considerato nel 2006, la fascia oraria, e si è cercato di raccogliere un numero comparabile di registrazioni in ogni macro area e per ognuna delle sei fasce orarie individuate.

3.3.5 Prime analisi acustiche delle registrazioni

L'analisi dei dati acustici raccolti ha previsto l'ascolto, visualizzazione e classificazione dei contenuti delle registrazioni attraverso l'utilizzo del software Raven Pro 1.3 (Cornell University), programma interattivo di analisi audio destinato alla ricerca bioacustica, che consente l'acquisizione, visualizzazione, misura e analisi dei suoni (Figura 3.10).

Nonostante la mole considerevole di dati, è stata scelta un'analisi manuale delle registrazioni, piuttosto che una detezione automatica settata sulle caratteristiche di specifici segnali, per non rischiare falsi negativi, cioè di non rilevare segnali di interesse quando presenti, e per avere una descrizione completa dell'ambiente acustico sottomarino dell'area di studio, non essendo questo mai stato studiato prima.

La visualizzazione e classificazione dei contenuti delle registrazioni, è avvenuta attraverso: la taratura del software per i valori di spettrogramma (512/1024 punti della FFT; lunghezza del frame 10 sec; finestra di *Hann*; sovrapposizione 50%, frequenza di campionamento 24 kHz); l'ascolto e osservazione delle registrazioni in ciascun *frame* di 10 sec; la compilazione di apposite tabelle in cui vengono riportati dati relativi a: *file* di riferimento; data; presenza/assenza di delfini; presenza/assenza di barche; presenza/assenza di altri suoni di origine antropica; presenza/assenza di altri suoni biologici.

3.3.6 Caratterizzazione dell'uso dell'habitat del tursiope e interazione con il traffico marittimo: analisi statistiche

Per caratterizzare l'ambiente acustico sottomarino di Lampedusa, le analisi statistiche sono state realizzate sui dati di luglio, agosto e settembre 2006 e 2009. I fattori testati sono stati:

1. Macro-Area (fattore fisso, due livelli: SE e SW).

Le aree hanno un'estensione di circa 17 km² e sono entrambe caratterizzate da fondali di tipo sabbioso. L'area SE non è soggetta ad alcun regime di protezione, trovandosi al di fuori del perimetro dell'Area Marina Protetta, e comprende anche la zona di ingresso del porto. L'area SW invece ricade nella zona B e C (protezione parziale) dell'Area Marina Protetta.

2. Anno (fattore fisso, due livelli: 2006 e 2009).

3. Periodo (fattore fisso *nested* in anno: A, dal 20 al 31 luglio; B, dal 10 al 21 agosto; C, dal 5 al 16 settembre) (Tabella 3.3).

AREA	ZONA AMP	ANNO					
		2006			2009		
		PERIODO					
		A	B	C	A	B	C
SW	B-C	27 Luglio 28 Luglio	10 Agosto 14 Agosto	7 Settembre 8 Settembre 15 Settembre	20 Luglio	12 Agosto 13 Agosto 17 Agosto 18 Agosto	9 Settembre 10 Settembre 11 Settembre 12 Settembre
					21 Luglio		
					23 Luglio		
					24 Luglio		
					30 Luglio		
					31 Luglio		
SE	NO	25 Luglio 26 Luglio	21 Agosto	15 Settembre 16 Settembre	27 Luglio	13 Agosto 20 Agosto 21 Agosto	5 Settembre 7 Settembre
					28 Luglio		
					29 Luglio		

Tabella 3.3. Numero di sub-campioni (date) per fattore nel database 2006-2009.

Nel 2009 è stato inserito un ulteriore fattore, la fascia oraria, comprendente 3 livelli diurni, il primo dei quali caratterizzato dal sorgere del sole (05:01-09:00, 9:01-13:00, 13:01-17:00), e 3 livelli notturni, il primo dei quali caratterizzato dal tramonto del sole (17:01-21:00, 21:01-01:00, 01:01-05:00). Il database del 2009 è stato analizzato singolarmente per verificare l'interazione del fattore fascia oraria con i fattori Macro-Area e Periodo.

Dall'analisi preliminare delle registrazioni i suoni predominanti sono risultati: le imbarcazioni, tra le sorgenti di tipo antropico, e i tursiopi, tra le sorgenti di tipo biologico. Gli altri suoni registrati sono stati sonar, fish-finder, gamberetti del genere *Alpheidae*, e pesci, presumibilmente della specie *Dactylopterus volitans*.

Per definire l'occorrenza acustica di delfini e imbarcazioni, si è calcolato il numero medio di contatti acustici di 10 sec in una *slot* di 5 minuti, ottenendo così un numero compreso tra 0 (nessuna presenza) e 1 (presenza in tutta la slot). Le frequenze sono state definite DFREQ, per i delfini, e BFREQ, per le imbarcazioni.

Ognuna di queste frequenze è stata testata per verificare la normalità della sua distribuzione e l'omogeneità della sua varianza, rispettivamente con il test di *Shapiro-Wilk* e il test di *Leven*. Poiché nessuna di esse è risultata distribuita normalmente, neanche dopo trasformazione, per testare il loro andamento temporale (anno, periodo, fascia del giorno) e spaziale (macro-aree) è stata impiegata un'Analisi Multivariata della Varianza con Permutazioni (PERMANOVA), poiché essa consente di rilassare l'assunto della non-normalità della distribuzione dei dati.

La tradizionale ANOVA parametrica è molto usata nelle scienze mediche e biologiche ed è generalmente abbastanza robusta rispetto la violazione dell'assunto della distribuzione normale degli errori. Tuttavia l'assunzione della normalità è irragionevole per molti tipi di dati (es. variabili ecologiche). Nell'analisi dei dati univariati si può spesso evitare il problema della loro non normalità, trovando un'adatta trasformazione oppure usando i *Generalised Linear Models* (GLMs) o i *Generalised Linear Mixed Models* (GLMMs), dove una non normalità degli errori può essere resa esplicita. Un approccio alternativo è l'uso di test a permutazioni, dove non si assume che gli errori siano normalmente distribuiti. L'uso dei test a permutazioni ha ricevuto una rinnovata attenzione negli ultimi anni grazie alla diffusione di computer più veloci e potenti. In generale, per un test esatto con permutazioni la distribuzione di riferimento è costruita calcolando il suo valore per ogni possibile combinazione (permutazione) delle osservazioni (o di un largo casuale subset di queste combinazioni - Hope, 1968). Precedentemente all'applicazione della PERMANOVA, i dati sono stati trasformati in radice quadra, per garantire l'omogeneità della varianza ed è stata costruita la matrice delle distanze Euclideana (Anderson, 2001). La statistica descrittiva è stata realizzata usando il software R; le analisi statistiche invece sono state realizzate con Primer 6+ (licenza di Chiara Romano).

3.3.7 Risposta dei tursiopi alla presenza di imbarcazioni: estrazione dei dati e analisi statistiche

Effetto delle imbarcazioni sulla presenza e permanenza acustica dei tursiopi.

Per verificare la risposta comportamentale dei tursiopi alla presenza di imbarcazioni si è scelto di analizzare i mesi di campionamento in cui la programmazione del timer prevedeva la registrazione in continuo o in slot temporali di 30 minuti, cioè maggio e giugno 2006. Sono state estratte quindi, dall'intero database, 158 sessioni di 30 minuti. Tutte le sessioni disponibili sono state ascoltate manualmente; ad ognuno di essa è stato attribuito un punteggio, secondo la seguente scala: 0= sessioni senza rumore di imbarcazioni; 1= rumore di navi, caratterizzato da bassa intensità e da basse frequenze dominanti, (100-1000 Hz); 2= rumore di alta intensità, proveniente da imbarcazioni in transito in prossimità dal punto di registrazione. Sono state selezionate solo le sessioni classificate come 0 e 2, con l'intento di escludere dal campione le registrazioni contenenti rumore di navi o barche distanti; si è

ottenuto così un campione di 89 sessioni. All'interno di ogni sessione sono stati esclusi i primi e gli ultimi 5 minuti di registrazione per garantire l'indipendenza tra le osservazioni. Nelle risultanti sessioni di 20 minuti sono stati misurati:

1. la presenza di delfini (1= almeno un contatto acustico in 20 minuti; 0= nessun contatto acustico in 20 minuti);
2. la permanenza dei delfini, espressa come l'intervallo, in secondi, tra la prima e l'ultima vocalizzazione registrata nella sessione;
3. il disturbo delle imbarcazioni, espresso in termini di durata della presenza;
4. il tipo di imbarcazione: MB (generica imbarcazione a motore), TR (peschereccio a strascico).

In accordo con Nisbet (2000), che definisce il disturbo antropico come “ogni attività umana che cambia il comportamento o la fisiologia di uno o più individui”, è stato considerato “disturbo da imbarcazione” la presenza di una o più barche capace di alterare il comportamento dei tursiopi. Conseguentemente, il disturbo è stato espresso in termini della durata della presenza della barca nella sessione di 20 minuti e sono state individuate 4 categorie di disturbo (Tabella 3.4).

CATEGORIE DI DISTURBO	
Nessun Disturbo (NO DIST)	Nessun rumore di imbarcazione registrato in tutta la sessione
Basso Disturbo (LOW)	Rumore di imbarcazione registrato continuamente da un minimo di 60 sec (5%) ad un massimo di 480 sec (40%).
Alto Disturbo (HIGH)	Rumore di imbarcazione registrato continuamente da un minimo di 600 sec (50%) ad un massimo di 1080 sec(90%).
Disturbo costante (CONSTANT)	Rumore di imbarcazione registrato continuamente in tutta la sessione.

Tabella 3.4. Definizioni delle 4 categorie di disturbo.

Il *Pearson chi squared test* è stato applicato per testare se: 1) la percentuale di presenza/ assenza dei tursiopi è indipendente dalla presenza di barche oppure esiste associazione tra essi; 2) la permanenza dei delfini è indipendente dalla presenza di barche per ognuno dei 4 livelli di disturbo, oppure esiste associazione tra essi. L'ANOVA ad una via è stata impiegata per testare la permanenza dei tursiopi in funzione della categoria di disturbo per verificare

l'ipotesi nulla che la permanenza dei delfini non diminuisce all'aumentare del disturbo delle barche. I dati di permanenza delfini sono stati trasformati (*Box Cox transformation*) per rendere normale la distribuzione e omogenea la varianza. Infine, per verificare se i delfini rispondono diversamente in funzione della tipologia di imbarcazione, il *Welch Two Sample t-test* è stato applicato per testare la differenza nella permanenza delfini in funzione della presenza di barche a motore e pescherecci a strascico, nelle 27 sessioni appartenenti alla categoria "disturbo costante".

Analisi delle caratteristiche dei fischi.

Le frequenze e la durata dei fischi sono state misurate usando il software Raven 1.3 (*Cornell University*), così impostato: 1024 punti *Fast Fourier transform* (FFT); lunghezza del *frame* 10 sec; finestra di Hanning; sovrapposizione al 50%; frequenza di campionamento= 24 kHz. I fischi con un rapporto tra intensità del segnale e rumore ambientale (*signal to noise ratio*) sufficiente da consentire l'individuazione precisa di inizio, fine e contorno, sono stati classificati come *Good Whistle*; gli altri fischi non presentanti queste caratteristiche sono stati classificati come *Bad Whistle* e scartati dal campione. Per ogni *Good Whistle* il software ha calcolato diverse variabili (Tabella 3.5).

VARIABILE	DEFINIZIONE
<i>Low Frequency</i>	Limite inferiore della frequenza del fischio (in Hz)
<i>High Frequency</i>	Limite superiore della frequenza del fischio (in Hz)
<i>Maximum Frequency</i>	La frequenza in cui si ha la massima potenza del fischio (in Hz)
<i>Centre Frequency</i>	La frequenza che divide il fischio in due intervalli di uguale potenza (in Hz)
<i>Delta Frequency</i>	La differenza tra il limite superiore e il limite inferiore della frequenza del fischio (in Hz)
Durata	L'intervallo tra la fine e l'inizio del fischio (in sec)

Tabella 3.5. Variabili dei fischi oggetto di misurazione.

Inoltre, per ogni fischio è stato calcolato il Coefficiente di Modulazione di Frequenza (COFM), con la seguente procedura: 1) nel contorno del fischio sono stati individuati 20 punti separati da 21 intervalli di uguale durata; 2) il software ha elaborato automaticamente i valori

di frequenza per ogni punto selezionato; 3) è stato infine calcolato il Coefficiente di Modulazione di Frequenza, come segue:

$$\text{COFM} = \sum_{(n=1, 20)} |Y_{n+1} - Y_n| / 10000$$

dove y è la frequenza nell' n -esimo intervallo (McCowan and Reiss 1995). Un elevato valore di COFM indica che il fischio è maggiormente modulato in frequenza rispetto ad un fischio con un COFM più basso.

I tursiopi producono fischi con un contorno stereotipato, noti come fischi firma (*signature whistle*), considerati segnali di riconoscimento individuale, spesso ripetuti in sequenze (*loop*). Per ridurre il rischio di analizzare più fischi provenienti dallo stesso individuo, i fischi riconosciuti come fischi firma dall'analizzatore sono stati considerati una sola volta nelle analisi successive.

Il campione di fischi così ottenuto è stato testato con lo *Shapiro Wilk* test, per verificare la normalità della distribuzione dei dati, e con il test di *Leven* per verificare l'omogeneità della varianza. Un'Analisi Multivariata della Varianza con Permutazioni (PERMANOVA) è stata applicata per verificare l'ipotesi che i parametri dei fischi cambino in presenza di strascichi, barche a motore o in assenza di barche. La PERMANOVA è stata applicata anche su un database ridotto per testare la differenza nella risposta acustica in presenza di strascichi/ assenza di barche fra i due anni di campionamento, 2006 e 2009, sulla base dell'ipotesi, supportata da dati di foto-identificazione, che in questi due periodi siano stati registrati gruppi diversi di tursiopi: gruppi più residenti nel 2006 e gruppi più migranti nel 2009. Le variabili sono state trasformate in funzione logaritmica ($y = \ln(y+1)$) per mantenere l'informazione sulle concentrazioni relative ma ridurre le differenze in scala tra le variabili. I dati sono stati trasformati con la Distanza Euclidea e analizzati con 9999 permutazioni, seguendo il modello ridotto (Anderson 2001b). Le differenze tra i livelli dei fattori (barche e anno) sono state testate in dettaglio con il *Pair wise* test. La statistica descrittiva e tutte le analisi sono state realizzate usando il software R per Mac, ad eccezione della PERMANOVA, elaborata con Primer 6+ (licenza di Chiara Romano).

3.4. RISULTATI

Da luglio a settembre 2006 e da luglio a settembre 2009 sono state raccolte circa 119 ore di registrazione, durante 34 giorni di campionamento. A causa dei limiti logistici e delle condizioni meteo-marine il numero di giorni di campionamento tra i diversi livelli dei fattori non è uguale, ma sono state raccolte 42 repliche per ogni giorno.

3.4.1 Caratterizzazione dell'uso dell'habitat del tursiope e interazione con il traffico marittimo

La frequenza delfini (espressa come numero medio contatti acustici in 5' di registrazione e definita DFREQ) ha un valore medio di 0.12 ($ds \pm 0.26$) ed è risultata differente in maniera statisticamente significativa per tutti i fattori, ad eccezione dell'anno (Tabella 3.6). Considerando l'area, DFREQ è risultata di poco superiore a SE (media $\pm ds = 0.13 \pm 0.30$) rispetto che a SW (media $\pm ds = 0.11 \pm 0.23$) (Figura 3.8), ma se consideriamo l'anno, nel 2006, DFREQ è superiore a SW piuttosto che a SE, mentre nel 2009 è vero il contrario. Infine, considerando il periodo, a SW nel 2006, A e B sono entrambi maggiori di C mentre nel 2009 A è maggiore di B e di C; a SE nel 2006, tra i tre periodi di campionamento non esiste una differenza mentre nel 2009 A e B sono entrambi maggiori di C (Figura 3.9). In sintesi, la frequenza di occorrenza delfini non mostra alcun *pattern* temporale o spaziale costante.

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
AREA	1	2.2624	27.686	0.0001
ANNO	1	0.016818	0.20581	0.6438
PERIODO(ANNO)	4	1.9898	24.351	0.0001
AREAxANNO	1	8.143	99.651	0.0001
AREAxPERIODO(ANNO)	4	0.44315	5.4231	0.0002
Res	1416	0.081715		
Total	1427			

Tabella 3.6. Risultati PERMANOVA condotta sulla matrice Euclidea della frequenza di occorrenza delfini (DFREQ), trasformazione in radice quadra, 9999 permutazioni. MS = Mean Square.

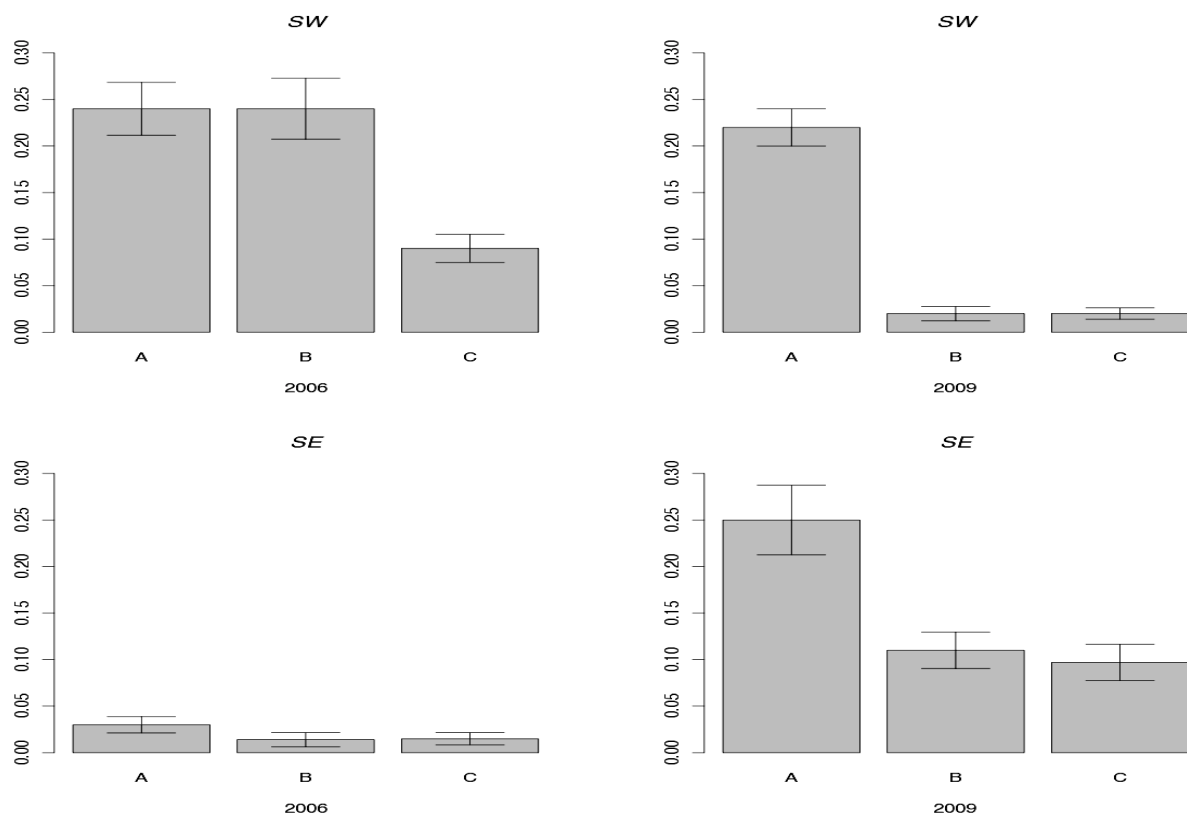


Figura 3.8. DFREQ in funzione di anno (2006 e 2009), macro-area (SW e SE), periodo di campionamento (A, B e C).

La frequenza imbarcazioni (BFREQ) ha un valore medio molto alto: 0.82 ($ds = \pm 0.36$) ed è risultata differente in maniera statisticamente significativa in funzione di ogni fattore, ad eccezione dell'Area (Tabella 3.6). Essa è superiore nel 2006 (media $\pm ds = 0.98 \pm 0.11$) rispetto al 2009 (media $\pm ds = 0.73 \pm 0.41$) (Figura 3.9). Nel 2006 non sono state riscontrate differenze tra SE e SW, mentre nel 2009 SE è statisticamente superiore a SW (Tabella 3.6). Considerando il periodo, i risultati non mostrano alcun trend regolare tra area e anno: a SW e nel 2006, A e B hanno una frequenza imbarcazioni maggiori rispetto a C, mentre nel 2009 la frequenza imbarcazioni è maggiore in A e C rispetto che in B; a SE nel 2006 A e C (Figura 3.9, Tabella 3.6) hanno una frequenza imbarcazioni maggiore rispetto a B, mentre nel 2009, A e B hanno una frequenza imbarcazioni maggiore rispetto a C (Figura 3.9).

Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)	U.
AREA	1	0.28218	2.7753	0.0955	9839
ANNO	1	16.848	165.7	0.0001	9840
PERIODO(ANNO)	4	1.0171	10.004	0.0001	9947
AREAxANNO	1	0.33386	3.2835	0.0712	9829
AREAxPERIODO(ANNO)	4	0.53361	5.2481	0.0005	9952
Res	1416	0.10168			
Total	1427				

Tabella 3.6. Risultati PERMANOVA condotta sulla matrice Euclidea della frequenza di occorrenza barche (BFREQ), trasformazione in radice quadra, 9999 permutazioni. MS = Mean Square.

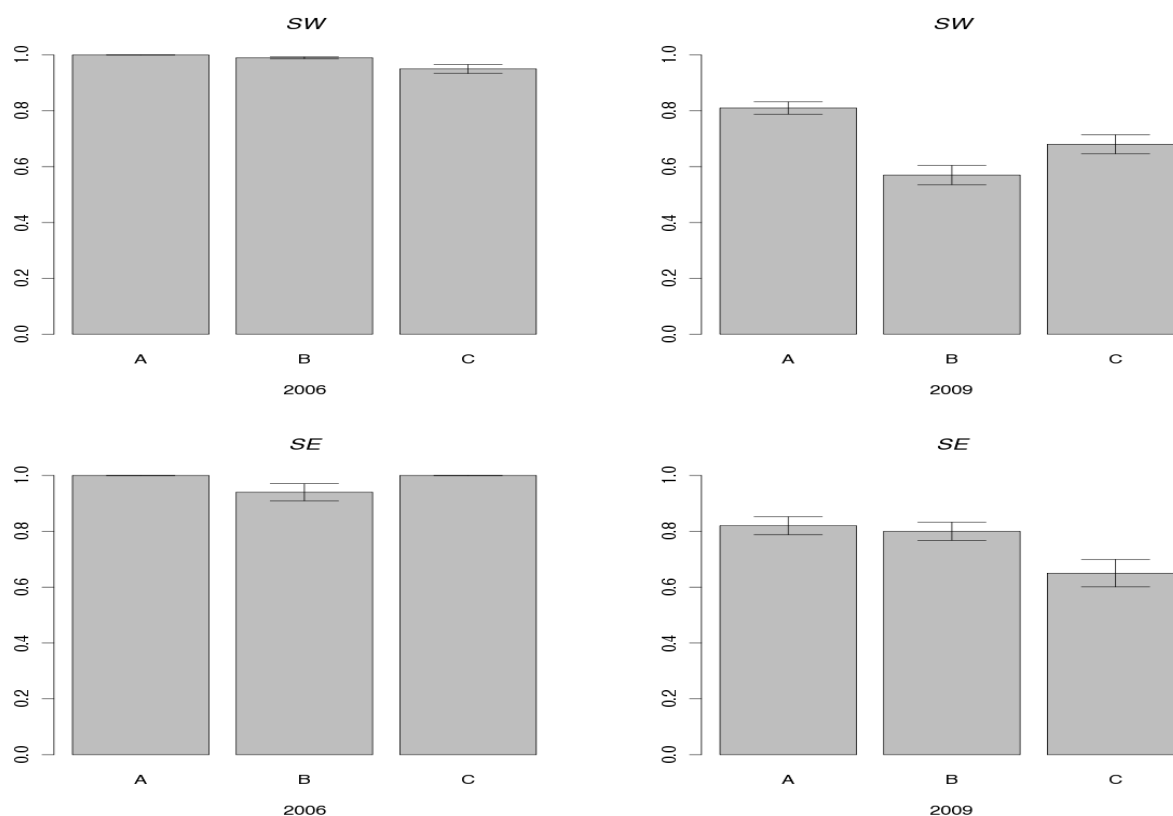


Figura 3.9. BFREQ in funzione di anno (2006 e 2009), macro-area (SW e SE) e periodo di campionamento (A, B, C).

Nel 2009 è stato introdotto un nuovo fattore temporale: la fascia oraria. Il database del solo 2009 è stato quindi testato in funzione di tre fattori: fascia oraria, area e periodo di campionamento. I risultati delle frequenze di occorrenza barche e delfini sono mostrati insieme per meglio cogliere eventuali relazioni nell'andamento tra esse (Tabella 3.7 e Figura

3.10). BFREQ e DFREQ sono risultate statisticamente differenti in funzione di tutti i fattori e delle interazioni fra essi.

	Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
BFREQ	FASCIA ORARIA	5	2.9862	24.161	0.0001
	PERIODO	2	3.0551	24.719	0.0001
	AREA	1	3.0636	24.788	0.0001
	FASCIA ORARIAxPERIODO	10	1.8412	14.897	0.0001
	FASCIA ORARIAxAREA	5	0.46509	3.763	0.0021
	PERIODOxAREA	2	1.9132	15.479	0.0001
	AREAxPERIODOxFASCIA ORARIA	10	0.66796	5.4044	0.0001
	Residui	1514	0.1236		
	Totale	1549			
	Source	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
DFREQ	FASCIA ORARIA	5	2.1404	33.561	0.0001
	PERIODO	2	5.8676	92	0.0001
	AREA	1	1.0489	16.446	0.0003
	FASCIA ORARIAxPERIODO	10	1.1658	18.279	0.0001
	FASCIA ORARIAxAREA	5	0.51744	8.113	0.0001
	PERIODOxAREA	2	0.77106	12.09	0.0001
	AREAxPERIODOxFASCIA ORARIA	10	0.21791	3.4167	0.0002
	Residui	1514	0.06377		
	Totale	1549			

Tabella 3.7. Risultati PERMANOVA condotta sulla matrice Euclidea della frequenza di occorrenza barche (BFREQ, in alto) e delfini (DFREQ, in basso), trasformazione in radice quadra, 9999 permutazioni. MS = Mean Square.

Per quanto riguarda la fascia oraria, DFREQ e BFREQ mostrano un andamento opposto. DFREQ infatti cresce dal tramonto all'alba, indicando un andamento prevalentemente notturno della presenza costiera del tursiope, mentre BFREQ cresce dall'alba al tramonto, mostrando un andamento prevalentemente diurno della presenza di imbarcazioni (Figura 3.10). I risultati mostrano un trend analogo anche considerando l'interazione col fattore area:

sia a SW che a SE, DFREQ cresce dal tramonto all'alba e BFREQ cresce dall'alba al tramonto (Tabella 3.8; Figura 3.11). Infine, considerando il periodo di campionamento, per tutte le fasce orarie (eccetto la terza) DFREQ è statisticamente maggiore nel periodo A piuttosto che in B e C, mentre BFREQ nel periodo A e B è statisticamente maggiore che in C (eccetto la prima e l'ultima fascia oraria) (Figura 3.12).

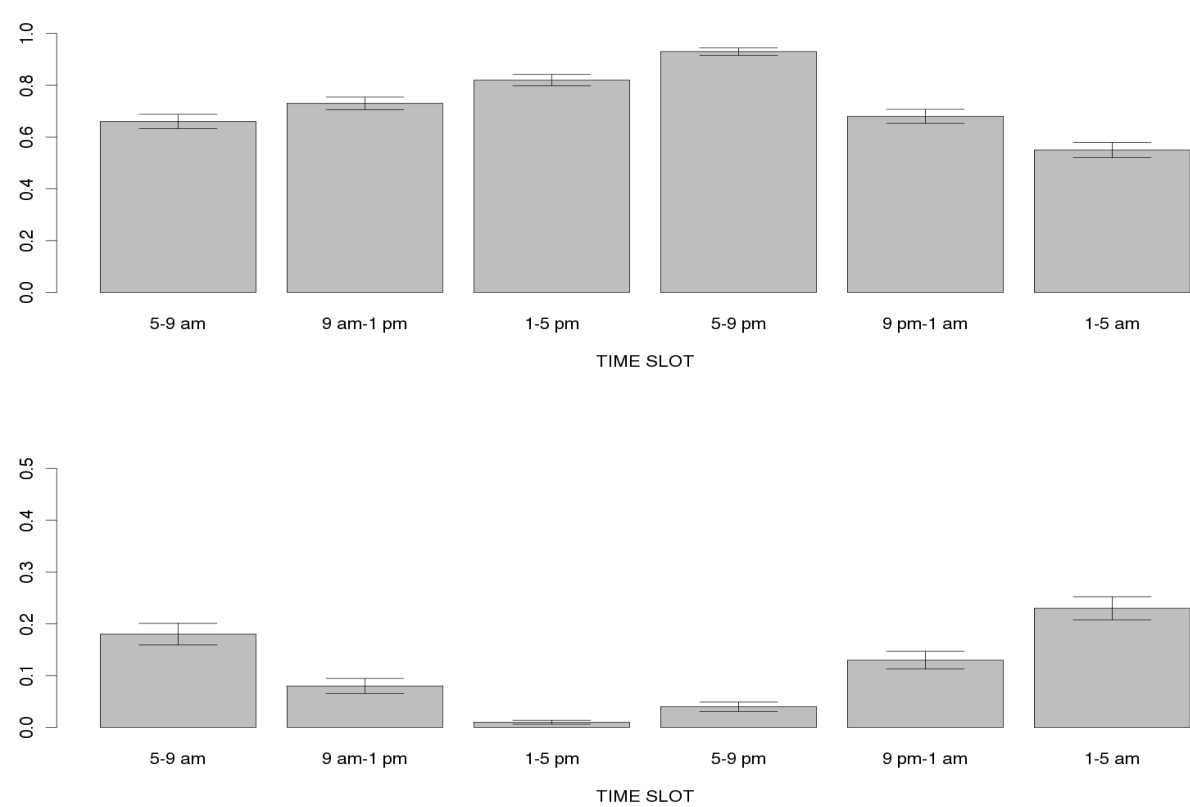


Figura 3.10. BFREQ (in alto) e DFREQ (in basso) in funzione della fascia oraria (TIME SLOT).

BFREQ													
SW	5-9 am	9am-1pm	1-5 pm	5-9 pm	9pm-1am	1-5 am	SE	5-9 am	9am-1pm	1-5 pm	5-9 pm	9pm-1am	1-5 am
5-9 am	-						5-9 am	-					
9am-1pm	***	-					9am-1pm	**	-				
1-5 pm	***	ns	-				1-5 pm	**	***	-			
5-9 pm	***	*	*	-			5-9 pm	ns	**	**	-		
9pm-1am	ns	***	***	***	-		9pm-1am	***	**	***	***	-	
1-5 am	ns	***	***	***	**	-	1-5 am	***	**	***	***	ns	-

DFREQ													
SW	5-9 am	9am-1pm	1-5 pm	5-9 pm	9pm-1am	1-5 am	SE	5-9 am	9am-1pm	1-5 pm	5-9 pm	9pm-1am	1-5 am
5-9 am	-						5-9 am	-					
9am-1pm	***	-					9am-1pm	***	-				
1-5 pm	**	**	-				1-5 pm	**	*				
5-9 pm	***	ns	ns	-			5-9 pm	ns	***	*	-		
9pm-1am	***	***	***	***	-		9pm-1am	***	***	***	***	-	
1-5 am	*	***	***	***	ns	-	1-5 am	*	***	***	ns	***	-

Tabella 3.8. Risultati del Pair wise test su DFREQ, in funzione di area e fascia oraria.

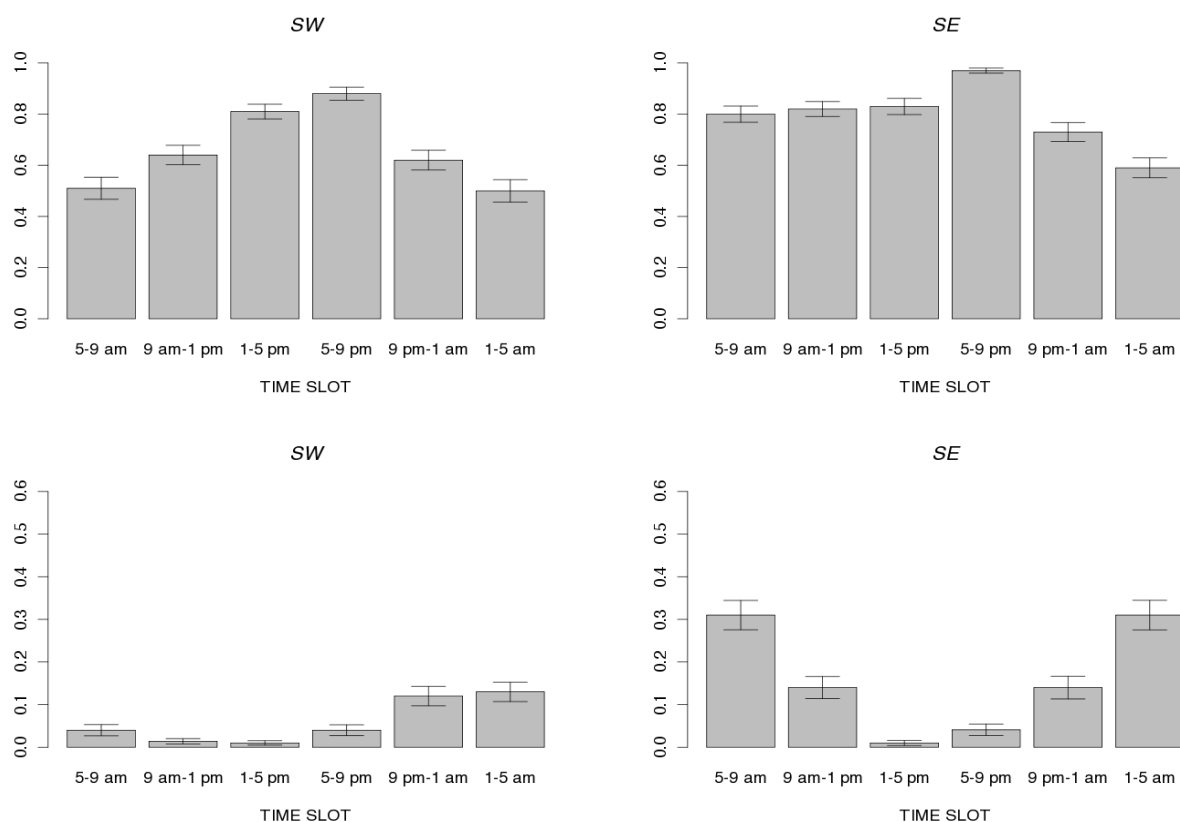


Figura 3.11. BFREQ (in alto) e DFREQ (in basso) in funzione di fascia oraria (TIME SLOT) e area.

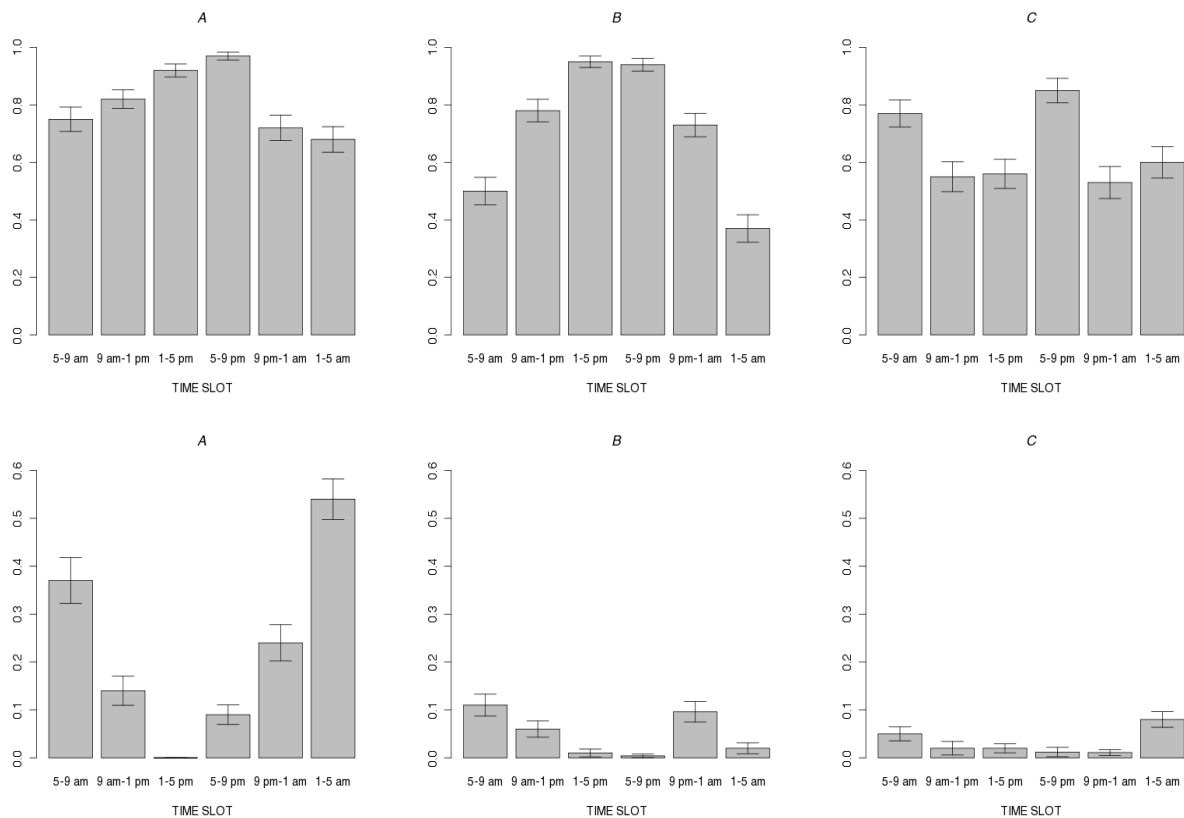


Figura 3.12. BFREQ (in alto) e DFREQ (in basso) in funzione della fascia oraria (TIME SLOT) e del periodo di campionamento.

3.4.2 I tursiopi tollerano la presenza delle imbarcazioni?

Da Maggio a Dicembre 2006, con l'eccezione di Novembre, e da Luglio a Settembre 2009, sono state raccolte in totale 380 ore di registrazioni. Settantotto ore sono state raccolte tra Maggio e Giugno 2006 con un programma di registrazione continuo o di 30 minuti ogni ora; 89 delle 158 sessioni di 30 minuti, selezionate come descritto nella sezione metodi, sono state usate per verificare l'ipotesi che i delfini tollerino la presenza delle imbarcazioni. Tra esse, 57 sessioni contenevano rumore di MB, 18 rumore di TR e 14 nessun rumore. Le dimensioni del campione per ogni categorie di disturbo, in funzione sia della presenza/assenza di delfini che del tipo di barche, sono illustrate in tabella 3.9. Infine, i delfini sono stati registrati prima dell'arrivo dell'imbarcazione nel 4.4% dei casi, durante nel 93.8% dei casi e dopo solo nel 1.8% dei casi.

DISTURBO	0		MB		TR	
	No delfini	Delfini	No delfini	Delfini	No delfini	Delfini
NO DIST (NESSUNO)	5 (5.3%)	9 (10.1%)	-	-	-	-
LOW (BASSO)	-	-	8 (9%)	6 (6.7%)	0	0
HIGH (ALTO)	-	-	12 (13.5%)	7 (7.9%)	0	0
CONSTANT (COSTANTE)	-	-	0 (0%)	9 (10.1%)	15 (16.8%)	18 (20.2%)

Tabella 3.9. Numero di sessioni e relativa percentuale per categoria di disturbo, in funzione del tipo di barca e della assenza/presenza di delfini; MB=barche a motore, TR=strascico.

La percentuale di assenza/presenza di delfini non varia in assenza di barche o in presenza di barche a motore o pescherecci a strascico (*Pearson's Chi-squared test*, $X\text{-squared} = 0.6069$, $df = 2$, $p\text{-value} > 0.1$) e neanche per nessuno dei 4 livelli di disturbo da imbarcazione a motore (*Pearson's Chi-squared test*, $X\text{-squared} = 3.1542$, $df = 3$, $p\text{-value} > 0.1$). L'ANOVA ha evidenziato una differenza statisticamente significativa della permanenza dei delfini in funzione dei 4 livelli di disturbo proveniente da imbarcazioni a motore. (Tabella 3.10). In assenza di disturbo la permanenza media dei tursiopi è 741 sec (± 441); essa decresce a 358 sec. (± 313) in caso di basso disturbo e a 343 sec. (± 352) in caso di alto disturbo. Quando l'imbarcazione è presente costantemente per 20 minuti, i tursiopi rimangono nell'area in media 87 sec. (± 90) (Figura 3.13).

	Df Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
CATEGORIE DI DISTURBO BARCHE	352.165	17.3884	5.24	0.005572**
Residuals	27	89.596	3.3184	
---Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Tabella 3.10. Risultati ANOVA sulla permanenza delfini in funzione del disturbo da barche a motore.

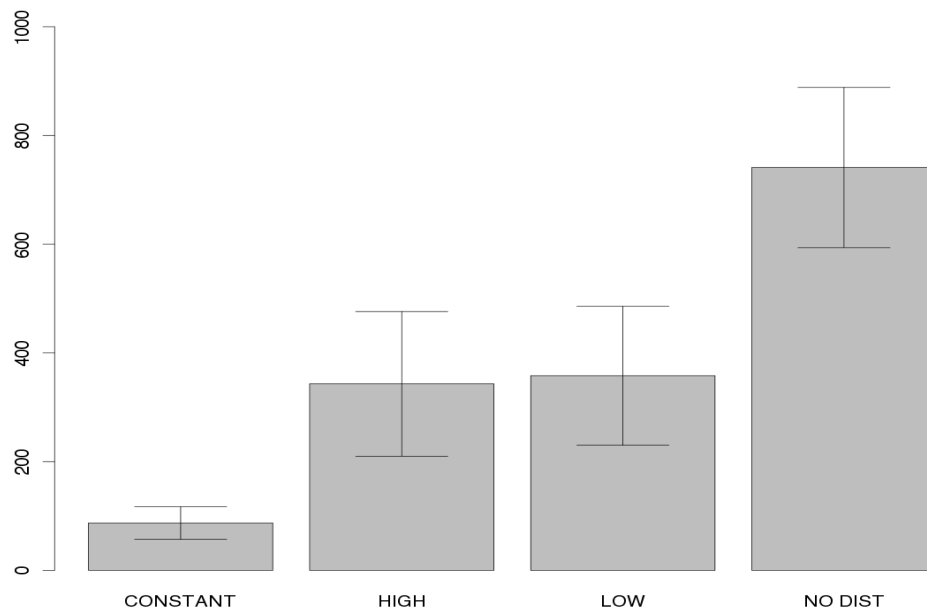


Figura 3.13. Permanenza dei tursiopi (in sec) in funzione delle 4 categorie di disturbo da barca a motore ($n=31$).

Infine, la permanenza delfini (in sec) è minore in maniera statisticamente significativa in caso di disturbo costante da imbarcazione a motore (87 ± 90 sec), rispetto che in caso di disturbo costante da peschereccio a strascico (247 ± 127 sec) (*Welch Two Sample t-test*, $t = -3.7762$, $df = 21.767$, $p\text{-value} < 0.001$) (Figura 3.14).

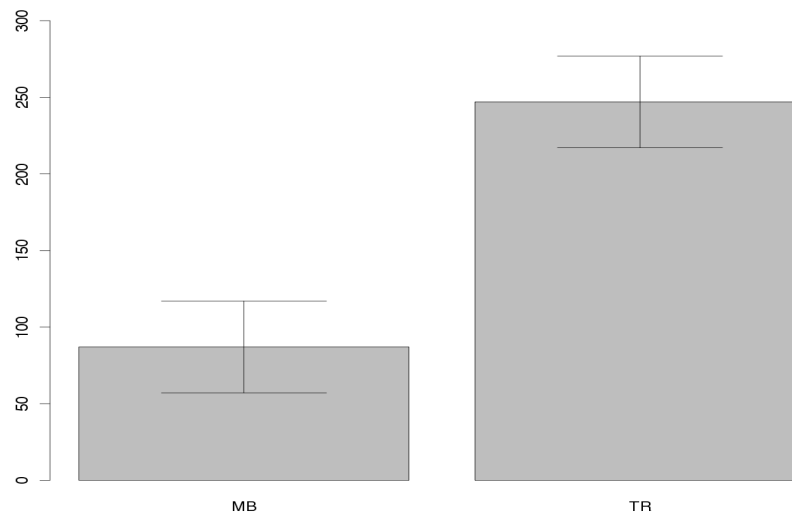


Figura 3.14. Permanenza delfini (in sec) in funzione della categoria di barca presente: MB (generica imbarcazione a motore), TR (peschereccio a strascico).

3.4.3 I tursiopi adottano una strategia acustica per evitare il rumore delle barche?

Su oltre 3000 fischi registrati, circa l'85% di questi sono stati classificati come *Bad Whistle* (fischi dal contorno non interamente visibile); solo 437 fischi classificati come *Good Whistle* (fischi udibili e visibili dall'inizio alla fine) sono stati inclusi nelle analisi successive. Il campione è distribuito come segue: 120 fischi registrati in assenza di barche, 16 fischi registrati in presenza di barche a motore, 301 fischi registrati in presenza di strascichi. La statistica descrittiva per tutti i parametri è illustrata in Tabella 3.11.

Parametro	Min	Mediana	Media	Max
Durata (sec)	0.057	0.691	0.925	5.216
Low Frequency (Hz)	1326	6595	7087	16304
High Frequency (Hz)	1802	15427	14526	22946
Centre Frequency (Hz)	1594	10125	10546	17812
Maximum Frequency (Hz)	1594	10078	10597	21938
Delta Frequency (Hz)	198	7863	7438	18769
COMF	0.02	1.463	2.025	8.741

Tabella 3.11. Statistica descrittiva di tutti i parametri dei fischi misurati.

Tutti i parametri analizzati sono risultati differenti in assenza di barche piuttosto che in presenza di MB o di TR (Tabella 3.12). In particolare il *Pair-wise Test* ha evidenziato che: i) tutti i parametri non differiscono statisticamente in presenza di MB e in assenza di barche; ii) tutti i parametri, ad eccezione del COFM, differiscono in presenza di strascichi piuttosto che in assenza di barche; iii) con l'eccezione di *Low Frequency* e *Centre Frequency* tutti i parametri differiscono statisticamente in presenza di TR piuttosto che in presenza di MB; iv) tutti i parametri in presenza di MB sono più alti che in assenza di barche e più bassi che in presenza di TR, ad eccezione di COFM e Durata, che risultano invece entrambi più bassi (Tabella 3.13, Figura 3.15).

Parametri fischi	Source	df	MS	Pseudo-F	P (perm.)
Low Frequency (Hz)	Barche	2	0.37301	2.9893	0.0507
	Res	434	0.12478		
	Total	436			
High Frequency (Hz)	Barche	2	1.6907	18025	0.0001
	Res	434	0.0937		
	Total	436			
Delta Frequency (Hz)	Barche	2	4.8353	10.294	0.0002
	Res	434	0.46974		
	Total	436			
Centre Frequency (Hz)	Barche	2	1.4687	14.093	0.0001
	Res	434	0.10421		
	Total	436			
Max Frequency (Hz)	Barche	2	2.4965	17.312	0.0001
	Res	434	0.14421		
	Total	436			
COMF	Barche	2	1.3809	4.1032	0.024
	Res	434	0.33655		
	Total	436			
Durata	Barche	2	0.59908	5.733	0.0045
	Res	434	0.1045		
	Total	436			

Tabella 3.12. Risultati della PERMANOVA condotta sulla matrice Euclidea dei parametri dei fischi, trasformazione logaritmica, 9999 permutazioni. MS = Mean Square.

<i>Low Frequency (Hz)</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	0.08412	ns
NO BARCHE, TR	2.4545	*
MB, TR	0.91825	ns
<i>High Frequency (Hz)</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	0.09327	ns
NO BARCHE, TR	6.0965	***
MB, TR	2.4339	*
<i>Delta Frequency (Hz)</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	0.6619	ns
NO BARCHE, TR	4.1984	***
MB, TR	2.473	*
<i>Centre Frequency (Hz)</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	0.36393	ns
NO BARCHE, TR	5.4092	***
MB, TR	1.8043	ns
<i>Max Frequency (Hz)</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	0.25635	ns
NO BARCHE, TR	5.7638	***
MB, TR	2.7474	**
<i>COFM</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	1.1877	ns
NO BARCHE, TR	1.8971	ns
MB, TR	2.7331	**
<i>Durata</i>	t	P (perm)
NO BARCHE, MB	1.5939	ns
NO BARCHE, TR	2.4642	**
MB, TR	2.5376	**

Tabella 3.13. Risultati del Pair Wise Test (ns, non significativo; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$).

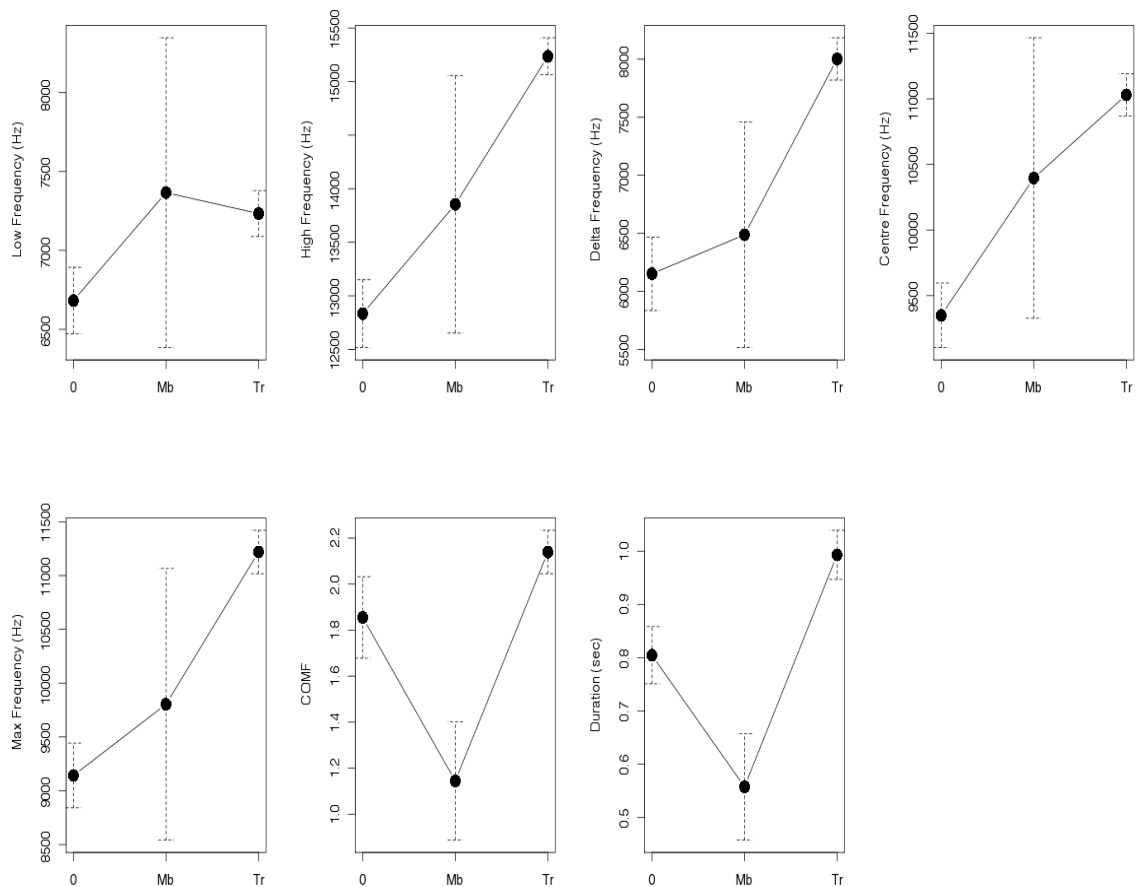


Figura 3.15. Media ($\pm$ ES) dei parametri dei fischi misurati in assenza di barche (0), in presenza di barche a motore (MB) e in presenza di strascichi (Tr) ($n=437$).

L'ipotesi che la risposta acustica dei tursiopi alle imbarcazioni fosse stabile negli anni, e quindi tra differenti gruppi di animali registrati, è stata testata considerando oltre il fattore barca anche il fattore anno. In questa analisi, il livello MB è stato eliminato a causa dell'insufficiente dimensione di questa porzione del campione quando stratificato per anno. I risultati della PERMANOVA mostrano che: i) l'effetto principale del fattore anno è statisticamente significativo per tutti i parametri, ad eccezione della Low Frequency e della High Frequency; ii) l'effetto principale del fattore barca è statisticamente differente per tutti i parametri con l'eccezione della Low Frequency; iii) l'effetto principale e d'interazione di entrambi i fattori è statisticamente differente solo per Low Frequency, COFM e Durata (Tabella 3.14, Figura 3.16).

Parametri fischi	Source	df	MS	Pseudo-F	P (perm.)
<i>Low Frequency (Hz)</i>	Anno	1	0.32587	2.9097	0.0855
	Barche	1	0.061542	0.54952	0.4604
	AnnoXBarche	1	1.8969	16.937	0.0001
	Res	417	0.11199		
	Total	420			
<i>High Frequency (Hz)</i>	Anno	1	0.26358	3.1365	0.0776
	Barche	1	2.3314	27.744	0.0001
	AnnoXBarche	1	0.08	0.95199	0.328
	Res	417	0.08403		
	Total	420			
<i>Delta Frequency (Hz)</i>	Anno	1	1.9549	4.4961	0.0332
	Barche	1	8.2593	18.996	0.0001
	AnnoXBarche	1	0.60826	1.3989	0.2444
	Res	417	0.43481		
	Total	420			
<i>Centre Frequency (Hz)</i>	Anno	1	0.88246	9.3675	0.003
	Barche	1	1.7608	18.692	0.0001
	AnnoXBarche	1	0.33127	3.5165	0.0621
	Res	417	0.0942		
	Total	420			
<i>Max Frequency (Hz)</i>	Anno	1	1.7417	13.462	0.0003
	Barche	1	3.1956	24.7	0.0001
	AnnoXBarche	1	0.15747	1.2171	0.2688
	Res	417	0.12938		
	Total	420			
<i>COMF</i>	Anno	1	11.042	49.55	0.0001
	Barche	1	3.7168	16.679	0.0003

Parametri fischi	Source	df	MS	Pseudo-F	P (perm.)
Durata	AnnoXBarche	1	2.4143	10.834	0.0014
	Res	417	0.22285		
	Total	420			
	Anno	1	8.1152	111.71	0.0001
	Barche	1	1.2185	16.773	0.0002
	AnnoXBarche	1	0.96707	13.312	0.0011
	Res	417	0.07264		
	Total	420			

Tabella 3.14. Risultati della PERMANOVA condotta sulla matrice Euclidea dei parametri dei fischi, trasformazione logaritmica, 9999 permutazioni. MS = Mean Square ($n=421$).

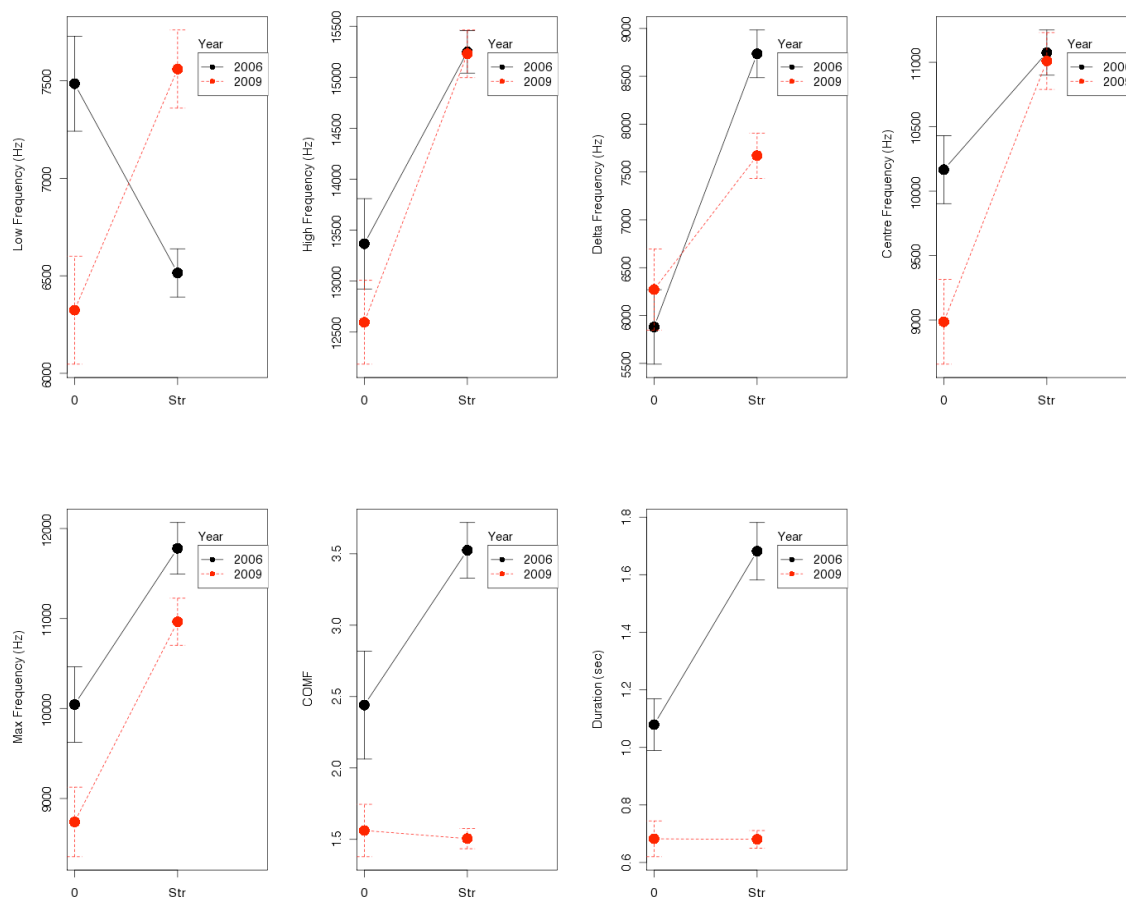


Figura 3.16. Media ($\pm$ ES) dei parametri dei fischi misurati in assenza di barche (0) e in presenza di strascichi (Tr), in funzione dell'anno; $n=421$.

3.5 DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

La risposta degli animali selvatici alla presenza umana dipende da vari fattori (specie, individuo, stato comportamentale, fattori ambientali, ecc), ma in genere gli stimoli provenienti dall'uomo possono essere raggruppati in tre categorie: i) positivi (conducono all'attrazione), negativi (conducono all'avversione), neutri (conducono all'abituazione). Il traffico marittimo e il relativo rumore delle imbarcazioni sono un tipo di disturbo che solitamente determina una risposta nei mammiferi marini. Ciò è particolarmente vero nel caso di una specie, quale il tursiope, che vive generalmente in ambienti costieri, dove il traffico marittimo raggiunge i suoi massimi livelli d'intensità.

I nostri risultati mostrano che i tursiopi nelle acque di Lampedusa tollerano la presenza delle imbarcazioni fino a certi livelli di disturbo. Le percentuali di presenza/assenza dei delfini sono indipendenti dalle percentuali di assenza/presenza di tutti i tipi di barca (a motore e da pesca a strascico), quindi per i tursiopi di Lampedusa la presenza di barche non rappresenta un fattore discriminante nella scelta dell'uso dell'habitat nè uno stimolo che porta all'abbandono dell'area (*displacement*). Tuttavia, in presenza di barche i tursiopi permangono fino a quando il disturbo raggiunge un certo limite di durata: più persistente nel tempo è il disturbo, minore è il tempo di permanenza dei tursiopi nell'area. Infatti, quando nessuna barca è presente la permanenza acustica media dei delfini è circa 12 minuti; in caso di presenza di barche la permanenza si riduce a meno del 50% (circa 6 minuti) e a circa il 16% (meno di 2 minuti) quando il disturbo delle imbarcazioni diventa costante. Questo risultato è in accordo con quanto riscontrato da uno studio basato su osservazioni visive condotte da terra nella stessa area da Papale et al. (2011), e cioè un decremento del 50% nel tempo medio di avvistamento dei delfini in presenza di barche.

In questo studio, la presenza e la permanenza dei tursiopi sono state misurate sulla base delle loro vocalizzazioni. Un'altra possibile spiegazione dei risultati potrebbe essere che i delfini interrompono le loro comunicazioni acustiche, piuttosto che lasciare l'area, per esempio per minimizzare l'effetto *masking* del rumore delle imbarcazioni. Tuttavia solo nell'1.8% dei casi è stato riscontrato che i tursiopi vocalizzano, quindi sono ancora presenti nell'area, dopo che il rumore delle imbarcazioni cessa, cioè dopo che le barche si sono allontanate. Sembrerebbe quindi che, ad eccezione di rare occasioni, i tursiopi preferiscono allontanarsi se il disturbo delle barche diventa troppo per essere tollerato.

La risposta degli animali al disturbo antropico può essere influenzato da diversi fattori: 1) il tipo di attività; 2) il comportamento umano; 3) la prevedibilità; 4) la frequenza e l'intensità; 5) il tempo; 6) la localizzazione. Questi fattori possono agire in modo sinergico, incrementando l'impatto del disturbo sugli animali (Knight and Gutzwiller, 1995). Nel nostro studio la risposta al disturbo delle barche è differente in funzione del tipo di barca che lo causa: i delfini tendono a essere meno tolleranti in caso di presenza di barche a motore piuttosto che di barche da pesca a strascico. Confrontando questi due tipi di disturbo, si osserva che le barche a motore producono uno stimolo più variabile e meno prevedibile (dipendente dalla velocità e della direzione scelta dal pilota), più frequente (nelle acque di Lampedusa, le imbarcazioni a motore sono molto più numerose delle barche da pesca; La Manna et al. 2010) e più concentrato in alcune ore del giorno e in alcune località. Le imbarcazioni da pesca a strascico navigano solitamente a velocità costante e con direzione lineare, sono localizzate in un'ampia zona delle acque meridionali dell'isola e sono presenti sia di giorno che di notte; esse rappresentano quindi uno stimolo molto più prevedibile rispetto alle imbarcazioni a motore.

La risposta comportamentale a una fonte di disturbo dipende inoltre dal bilancio tra i benefici di rimanere nella porzione di habitat scelta e i costi dell'impatto antropico ed è infine

influenzata dalla distanza e dalla disponibilità di altri habitat simili (Bejder et al. 2006). Nelle acque di Lampedusa i tursiopi vivono in un habitat piuttosto omogeneo, dove le prede sono abbondanti, come dimostrato dal gran numero di strascichi che pescano nella regione. In quest'area i tursiopi hanno probabilmente la possibilità di sfuggire al disturbo delle barche e al loro impatto, spostandosi in zone più tranquille. La loro tolleranza è maggiore quando il vantaggio di rimanere in presenza di barche aumenta, come nel caso dei pescherecci a strascico, perchè questo tipo di pesca fornisce buone opportunità di catturare prede e perchè rende la caccia più efficiente (Ng, 2003). La motivazione di trovare cibo quindi può rendere gli animali più tolleranti al disturbo antropico (Bowles, 1995).

La selezione naturale agisce sui caratteri morfologici e su quelli comportamentali che hanno un componente ereditaria, come i segnali di comunicazione. Alcuni studi hanno dimostrato che la modificazione dei segnali di comunicazione si verifica in risposta a differenti pressioni selettive (Lawrence, 2002). La rapida modificazione dell'ambiente a causa dell'impatto antropico può ridurre la probabilità di adattamenti che necessitano di tempi su scala evolutiva. Quindi, per quelle specie con un lungo ciclo vitale che preclude l'adattamento ad un passo coerente con quello dei cambiamenti dell'habitat, come i delfini, le modificazioni ontogenetiche possono rappresentare l'unica via per mantenere l'efficienza dei segnali in un ambiente disturbato. Questa potrebbe essere la strategia adottata dal tursiope grazie: i) alle caratteristiche del comportamento vocale che rimane plastico durante lo sviluppo ontogenetico e anche durante lo stadio adulto; ii) all'abilità di variare entro certi limiti l'intervallo di frequenze e l'intensità dei segnali di comunicazione.

Con l'aumento del rumore ambientale, l'interferenza con i segnali di comunicazioni, o *masking*, diventa più probabile, perchè il rapporto tra segnale e rumore diminuisce; inoltre, se le frequenze del rumore si sovrappongono a quelle dei segnali di comunicazione, la loro

probabilità di detezione si riduce. Sono stati riconosciuti 5 differenti meccanismi con i quali gli animali possono ridurre l'effetto *masking* del rumore ambientale: i) aumentando l'intensità del segnale; ii) aumentando il tasso di emissione; iii) incrementando la durata; iv) modificando la struttura di frequenza; v) interrompendo le vocalizzazioni fino a quando il rumore diminuisce o cessa (Parks et al. 2007).

Nel nostro studio i tursiopi mostrano di reagire alla presenza di imbarcazioni e al relativo rumore, scegliendo almeno il terzo e il quarto tra i meccanismi descritti precedentemente. La risposta è anche variabile in funzione del tipo di barca. La durata dei fischi è risultata statisticamente maggiore in presenza di strascichi piuttosto che in assenza di barche. Il suo valore elevato, se comparato con quello riscontrato in altri studi, potrebbe indicare che esso rappresenti un adattamento a elevati livelli di rumore ambientale (Wang et al. 1995).

Anche per quanto riguarda le caratteristiche di frequenza dei fischi (con l'eccezione della frequenza minima), che sono superiori in presenza di strascichi piuttosto che in assenza di barche, si può ipotizzare che ci sia un tentativo di adattamento al rumore ambientale. Infatti, il rumore prodotto dai pescherecci ha frequenze dominanti comprese tra 0.5 e 10 kHz. Spostando le frequenze dei fischi su bande meno rumorose i delfini potrebbero aumentare la probabilità di detezione dei loro segnali.

La risposta osservata in presenza di barche a motore è più variabile. Tutti i parametri dei fischi misurati, ad eccezione della frequenza minima, non sono statisticamente differenti in presenza di barche a motore piuttosto che in assenza di barche. Questo risultato potrebbe indicare che i tursiopi scelgono di alterare il loro comportamento acustico per consentire la trasmissione delle informazioni durante il comportamento alimentare opportunistico in prossimità di pescherecci a strascico, poiché la coesione del gruppo e lo scambio di informazioni sono essenziali per il successo della caccia; invece, in presenza di barche a

motore, il costo di modificazione del comportamento acustico potrebbe essere superiore al beneficio di rimanere nell'area contemporaneamente al disturbo antropico, quindi i tursiopi preferiscono lasciare temporaneamente l'area.

La minore precisione dei parametri misurati in presenza di barche a motore (errore standard maggiore) potrebbe essere dovuto, oltre che alla minore dimensione del campione, a una risposta meno omogenea dei delfini nei confronti di uno stimolo molto più variabile e meno prevedibile. Infatti, mentre il rumore degli strascichi è quasi costante, a causa dell'omogeneità delle imbarcazioni che pescano intorno all'isola (in termini di dimensione della barca e potenza del motore) e del loro comportamento standard durante la navigazione (traiettorie lineari percorse a velocità costante di 2-3 nodi), il rumore prodotto dalle barche a motore cambia maggiormente a causa della maggiore diversità delle imbarcazioni e soprattutto del comportamento di navigazione molto più vario e imprevedibile. In altre parole, la risposta acustica più stabile in presenza di strascichi potrebbe essere dovuta alla minore variabilità dello stimolo e al comportamento standard a esso associato (comportamento alimentare).

Sulla base degli studi di foto-identificazione, condotti contemporaneamente nell'area, è stata ipotizzata la registrazione di gruppi differenti nei due anni di campionamento: una parte più residente della comunità nel 2006 e gruppi di individui migranti da altre zone dell'areale nel 2009. Quindi è stata testata l'ipotesi che la strategia acustica adottata nei confronti dei pescherecci a strascico sia influenzata dall'anno di campionamento, come conseguenza dei gruppi differenti registrati. E' risultato che i parametri di frequenza, con l'eccezione della frequenza minima, sono influenzati principalmente dalla presenza di barche (più alti in presenza di pescherecci che in assenza di barche); i valori medi di questi parametri sono maggiori nel 2006 piuttosto che nel 2009. Quindi la strategia acustica

appare abbastanza stabile nel tempo e in funzione di gruppi di animali differenti, probabilmente perchè queste caratteristiche dei fischi dipendono o da fattori anatomico-fisiologici, come la dimensione degli organi di produzione e dei muscoli, o da fattori ambientali, quali il rumore sottomarino (Wang et al, 1995; Morisaka et al, 2005).

Considerando COFM e durata invece, è risultato che la risposta agli strascichi dipende dall'anno, quindi dal gruppo registrato: nel 2009 non ci sono differenze in funzione dell'assenza o presenza di pescherecci. Ipotizzare una causa in questo caso risulta più complesso a causa delle limitate conoscenze relative alle informazioni differenziali che possono essere contenute nella modulazione di frequenza. Questa risposta differente tra i due gruppi potrebbe essere correlata proprio al tipo di informazione "analogica" che si suppone sia contenuta nelle caratteristiche di durata e modulazione di frequenza del segnale, ad esempio l'identità dell'individuo o il suo stato emotivo (Wang et al. 1995).

L'utilizzo di un sistema di registrazione passivo, che prescinde l'osservazione diretta del ricercatore, non ha consentito di verificare se i delfini smettono di vocalizzare in risposta all'incremento di rumore ambientale. Tuttavia, su più di 3000 fischi, circa il 98% di essi è stato registrato in presenza di barche; inoltre, se la strategia adottata fosse stata l'interruzione delle vocalizzazioni fino alla cessazione del rumore, avremmo dovuto trovare un numero maggiore di casi in cui i delfini vocalizzano dopo il passaggio della barca, invece dell'1.98% riscontrato. Quindi, è presumibile escludere che la comunità di delfini interrompa le vocalizzazioni per evitare l'alto rumore ambientale. Al contrario, non si possono escludere cambiamenti nel tasso di emissione dei fischi perchè non si ha alcuna informazione sul numero di animali che hanno prodotto le vocalizzazioni. Questo aspetto del comportamento necessita di altri studi che prevedano anche l'impiego di metodologie visive.

3.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. ACEVEDO-GUITIÉRREZ A. AND STIENESSEN S.C. (1991). Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) increase number of whistles when feeding. *Journal of Aquatic Mammals* 30 (3): 357-362.
2. ALLEN, M.C. AND A.J. READ (2000). Habitat Selection of Foraging Bottlenose Dolphins in Relation to Boast Density Near Clearwater, Florida. *Marine Mammal Science* 16(4): 815-824.
3. ANDERSON, M.J. (2001). Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 629-636.
4. AZZELLINO, A., AIROLDI, S., LANFREDI, C., GASPARI, S. (2008b) Biological consequences of global warming: Does sea surface temperature affect cetacean distribution in the western Ligurian Sea? *J Mar Biol Assoc UK* 88:1145–1152
5. 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. *Aquat. Conserv.* 14:363-379.
6. BEARZI G., NOTARBARTOLO DI SCIARA G., POLITI E. (1997). Social ecology of bottlenose dolphins in the Kvarneric (northern Adriatic Sea). *Marine Mammal Science* 13(4): 650-668.
7. BEARZI G., REEVES R.R., NOTARBARTOLO DI SCIARA G., POLITI E., CAÑADAS A., FRANTZIS A., MUSSI B. (2003). Ecology, status and conservation of short-beaked common dolphins (*Delphinus delphis*) in the Mediterranean Sea. *Mammal Rev.* 33:224-252.
8. CALDWELL & CALDWELL, D. K. & CALDWELL, M. C. (1966). Observations on the distribution, coloration, behavior and audible sound production of the spotted dolphin, *Stenella plagiodon*. *Contributions in Science* 104, 1–28.
9. BEARZI, G. POLITI, E. & NOTARBARTOLO DI SCIARA, G. (1995). Bottlenose dolphins off Croatia: a socio-ecologic study. *European Research on Cetacean* 6:130-133.
10. BEARZI, G., FORTUNA C. M. AND REEVES, R.R. (2008). Ecology and conservation of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Mediterranean Sea. *Mammal Review* 39(2)-92:123

- 10.BEJDER, L. (2005). Linking short and long-term effects of nature-based tourism on cetaceans. Unpublished PhD, Dalhousie University, Halifax.Mattson, 2005
- 11.BEJDER, L. AND SAMUELS, A. (2003) Evaluating impacts of nature-based tourism on cetaceans. In: N. Gales, M. Hindell, R. Kirkwood (eds.) pp. 229-256. *Marine Mammals: Fisheries, Tourism and Management Issues*. CSIRO Publishing. 480 pp.
- 12.BEJDER, L., SAMUELS, A., WHITEHEAD, H. & GALES, N.J. (2006A) Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. *Animal Behaviour*, 72, 1149–1158.
- 13.BEJDER, L., SAMUELS, A., WHITEHEAD, H., GALES, N.J., MANN, J., CONNOR, R.C., HEITHAUS, M., WATSON-CAPPS, J., FLAHERTY, C. & KRÜTZEN, M. (2006b) Decline in relative abundance of bottlenose dolphins exposed to long-term disturbance. *Conservation Biology*, 20, 1791–1798.
- 14.BEN NACEUR L., GANNIER A., BRADAI M.N., DROUOT V., BOURREAU S., LARAN S., KHALFALLAH N., MRABET R., BDIQUI M. (2004). Recensement du grand dauphin *Tursiops truncatus* dans les eaux tunisiennes. *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô* 31:75-81.
- 15.BOWLES, A., SMULTEA, M., WLIKSIG, S., DEMASTERAN, D.P., PALKA, D.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* 96:2469-2484.
- 16.BUCKSTAFF, K.C. (2004) Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota bay. *Florida Marine Mammal Science*, 20, 709–725.
- 17.CAÑADAS, A., SAGARMINAGA, R. & GARCÍA-TISCAR, S. (2002) Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep Sea Research I*, 49, 2053–2073.
- 18.CONSTANTINE, R., BRUNTON, D.H. AND DENNIS, T. (2004) Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour. *Biological Conservation*. 117:299-307.

- 19.DE STEPHANIS, R., CORNULIER, T., VERBORGH, P., SALAZAR SIERRA, J., PEREZ GIMENO, N., GUINET, C. (2008a) Summer spatial distribution of cetaceans in the Strait of Gibraltar in relation to the oceanographic context. *Mar Ecol Prog Ser* 353:272–288
- 20.FORCADA, J., GAZO, M., AGUILAR, A., GONZALVO, J., FERNANDEZ-CONTRERAS, M. (2004). Bottlenose dolphin abundance in the NW Mediterranean: addressing heterogeneity in distribution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 275:275-87.
- 21.FORTUNA, C., CANESE, S., GIUSTI, M., REVELLI, E., CONSOLI, P., FLORIO, G., GRECO, S., ROMEO, T., ANDALORO, F., FOSSI M.C., LAURIANO G. (2007). An insight into the status of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) of the southern-Tyrrhenian sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 87, 1321-1326
- 22.GANNIER A. (2005). Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Rev. Écol. (Terre Vie)* 60:223-238.
- 23.GNONE, G., NUTI, S., BELLINGERI, M., PANNONCINI, R., BEDDOCCHI, D. (2006). Spatial behaviour of *Tursiops truncatus* along the Ligurian sea coast: preliminary results. *Biol. Mer. Medit.* 13(2):272-273.
- 24.GOMEZ DE SEGURA, A., TOMAS, J., RAGA, J.A. (2004). Sector Centro (Comunidad Valenciana y Region de Murcia). Pages 67-131 in Raga, J.A., Pantoja, J. (eds.) “Proyecto mediterraneo: zonas de especial interes para la conservation de los cetaceos en el Mediterraneo espanol”. *Naturaleza y Parques Nacionales, Serie tecnica*. Ministerio de Medio Ambiente, Organismo autonomo Parques Nacionales.
- 25.HASTIE, G., WILSON, D.B., TUFFTAN, L.H., THOMPSON, D P. M. (2003) Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 19:74-84.
- 26.HOLT, M.M., NOREN, D.P., VEIRS, V., EMMONS, C.K., VEIRS, S. (2008). Speaking up: Killer whales (*Orcinus orca*) increase their call amplitude in response to vessel noise. *Acoustical Society of America*. 125: 27-32.
- 27.JANIK V.M. & SLATER P.J.B (1998). Context-specific use suggests that bottlenose dolphin signature whistles are cohesion calls. *Animal Behavior*, 56 (4): 829–838.

28. KNIGHT, R.L., GUTZWILLER, K.J. (1995). Wildlife and recreationists: coexistence through management and research. Washington, DC: Island Press.
29. LA MANNA, G., CLÒ, S., PAPALE, E. SARÀ, G. (2010). Boat traffic in the Lampedusa waters (Strait of Sicily, Mediterranean Sea) and its relationship to common bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* distribution. *Ciencias Marinas* 36: 71-81.
30. LAWRENCE, A.R. AND CORREIGH, M.G. (2002). Changes to acoustic communication systems in human altered environments. *Journal of Comparative Psychology* 116(2) 137-141.
31. LESAGE, V., BARRETTE, C., KINGSLEY, M.C.S., SJARE, B. (1999) The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. *Marine Mammal Science* 151: 65-84.
32. LUSSEAU, D. (2005a). The residency pattern of bottlenose dolphins (*Tursiops* spp.) in Milford Sound, New Zealand, is related to boat traffic. *Marine Ecology Progress Series*, 295, 265-272.
33. MAY-COLLADO, L.J. AND WARTZOK D. (2008) A comparison of bottlenose dolphin whistle in the Western Atlantic Ocean: insights on factors promoting whistle variation. *Journal of Mammalogy*. 89:205-216.
34. MILLER, J.L., SOLANG, M. AND KUCZAJ, S.A. (2008). Immediate response of Atlantic bottlenose dolphins to high-speed personal watercraft in the Mississippi Sound. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2008, 88(6), 1139–1143.
35. MORISAKA, T., SHINOHARA, M., NAKAHARA, F. AND AKAMATSU, T. (2005a) Geographic variation in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. *Fisheries Science* 71:568–576.
36. MORISAKA, T., SHINOHARA, M., NAKAHARA, F. & AKAMATSU, T. (2005). Effects of ambient noise on the whistles of Indo-Pacific bottlenose dolphin populations. *Journal of Mammalogy*, 86(3), 541-546
37. MUSSI B., MIRAGLIUOLO A. (2003). I cetacei della costa nord occidentale dell'isola d'Ischia (Canyon di Cuma). Pp. 213-232 in: M. C. Gambi, M. De Lauro and F. Jannuzzi, eds. *Ambiente marino e costiero e territorio delle isole Flegree (Ischia, Procida e Vivara - Golfo di*

- Napoli). Risultati di uno studio multidisciplinare. Memorie dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche, Società Italiana di Scienze, Lettere e Arti in Napoli. Liguori Editore. 425 pp.
- 38.NATOLI A., BIRKUN A., AGUILAR A., LOPEZ A., HOELZEL A.R. (2005). Habitat structure and the dispersal of male and female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Proc. R. Soc. B. 272: 1217–1226.
- 39.NORRIS, K.S., WURSIG, B., WELLS, R.S. & WURSIG, M. (1994) The Hawaiian Spinner Dolphin p. 408. University of California Press: Berkeley, CA.
- 40.NOTARBARTOLO DI SCIARA G., DEMMA M. (2004). Guida dei mammiferi marini del Mediterraneo (nuova edizione aggiornata). Franco Muzzio Editore, Padova 264 p.
- 41.NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., VENTURINO, M.C., ZANARDELLI, M., BEARZI, G., BORSANI, J.F. & CAVALLONI, B. (1993) Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. Bollettino di Zoologia, 60, 131–138.
- 42.NOWACEK S.M., RANDALL S. W. (2001). Short term effect of boat traffic on bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. Marine Mammal Science, 17 (4): 673-688.
- 43.NOWACEK, D.P., THORNE, L.H., JOHNSTON, D.W. & TYACK, P.L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. Mammalian Review, 37(2), 81-115
- 44.PACE, D.S. AND TRIOSSI, F. (1999). *Tursiops truncatus* population at Lampedusa Island (Italy): preliminary results. European research on Cetaceans 12: 165-169.
- 45.PAPALE, E., AZZOLIN, M., GIACOMA C. Vessel traffic effects bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour in waters surrounding Lampedusa island, south Italy. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Available on CJO 2011 doi: 10.1017/S002531541100083X
- 46.PAYNE, R. & WEBB, D. (1971). Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. Annals of the New York Academy of Sciences, 188, 110-141.
- 47.PULCINI M., TRIOSSI F., PACE D.S. (2004). Distribution, habitat use and behaviour of bottlenose dolphins at Lampedusa Island (Italy): results of five years of survey. European Research on Cetacean 15:453-456.

- 48.REEVES R., NOTARBARTOLO DI SCIARA G. (compilers and editors) (2006). The status and distribution of cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation, Malaga, Spain. 137 pp.
- 49.RICHARDSON, W.J., GREENE, C.R.,MALME, C.I. & THOMSON, D.H. (1995) Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego, CA.
- 50.SCARPACI, C., BIGGER, S.W., CORKERON, P.J., NUGEGODA, D. (2000) Bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* increase whistling in the presence of swim-with-dolphin tour operations. Journal of Cetacean Research and Management 23: 183-185.
- 51.SUN J. W. C., NARINS P. M. (2005) Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biol. Conserv.* 121, 419–427
- 52.WANG, W. WURSIG, B., AND EVANS, W. E. (1995). Whistles of bottlenose dolphins: Comparisons among populations. *Aquat. Mamm.* 21, 65–77.

CAPITOLO IV

IMPATTO DEL RUMORE SOTTOMARINO SUL CAPODOGLIO (*PHYSETER MACROCEPHALUS*) NEL GOLFO DI CATANIA

4.1 INTRODUZIONE

4.1.1 Storia naturale del capodoglio

Ordine: Cetacei

Sottordine: Odontocetae

Famiglia: Physeteridae

Genere: *Physeter*

Specie: *Physeter macrocephalus*

Nome comune: Capodoglio



Figura 4.1. Physeter macrocephalus in immersione

Il capodoglio è il più grande Odontocete oggi esistente e, come tutti gli appartenenti a questo sottordine, è dotato di denti, seppure nella sola mascella inferiore, ed è un attivo predatore. E' un mammifero marino dall'aspetto caratteristico, ben diverso da quello degli altri Odontoceti più noti (delfini, focene e orche). Esso appare come un grosso e rugoso tronco in superficie,

poiché di esso si riescono a scorgere solo il dorso ed il capo squadrato, ricoperti da una pelle spessa e grinzosa di colore grigio scuro, la piccola pinna dorsale di forma triangolare e la serie di gibbosità che la seguono fino all'estremità del peduncolo caudale. A volte si può osservare la maestosa pinna caudale, triangolare, con marcato seno interlobare e margine posteriore rettilineo, che viene esposta prima di ogni immersione, ed il soffio caratteristico, inclinato in avanti e leggermente a sinistra, a causa della posizione dello sfiatatoio. Soltanto l'osservazione subacquea mostra interamente la mole colossale del capodoglio (il maschio può raggiungere 18 m, la femmina 13 m) in tutte le sue fattezze: capo enorme e tronco anteriormente (rappresenta 1/3 dell'intera lunghezza dell'animale), mandibola corta, sottile, orlata di bianco e con l'apice arretrato rispetto alla punta del capo, pinne pettorali corte e allargate.

Il capodoglio è dotato di alcuna peculiarità anatomiche, tra le quali l'organo dello spermaceti. Esso è una struttura allungata e cilindrica, situata in posizione sopra-craniale, rivestita da tessuto muscolare e contenente un tessuto spugnoso ed una sostanza grassa, lo spermaceti, costituita da cere e trigliceridi. La funzione dell'organo dello spermaceti, nei secoli ampiamente dibattuta, è ancora non completamente chiarita. Secondo la teoria di Norris e Harvey (1972), l'organo dello spermaceti è coinvolto nella produzione di suoni impiegati nell'orientamento e nella ricerca del cibo, i cosiddetti *click* di ecolocalizzazione, risultanti dalla multipla riflessione all'interno del capo di un suono impulsivo prodotto per compressione di aria (vedi paragrafo successivo).

L'alimentazione dei capodogli è teutofaga, cioè prevalentemente costituita da cefalopodi mesopelagici di medie e larghe dimensioni (da 100 g ad oltre 100 kg). A differenza di altre specie di Cetacei sembra che essi si alimentino durante tutto l'anno e a qualsiasi ora del giorno e della notte (Papastavrou et al. 1989). Per catturare le loro prede i capodogli si spingono a profondità abissali (in media 500-800 m ma anche oltre i 2000 m; Wahlberg 2002; Amano & Yoshioka 2003, Drout et al. 2004), compiendo immersioni eccezionali (solitamente 30-45 minuti, ma anche più di 1 ora; Amano & Yoshioka 2003, Drout et al. 2004); la coscienza della propria posizione nello spazio e l'individuazione della preda in un ambiente buio e senza punti di riferimento avviene attraverso l'emissione di sequenze continue di *click* di ecolocalizzazione.

I capodogli sono mammiferi a strategia K, raggiungono quindi molto tardi la maturità sessuale (intorno a 9 anni le femmine, tra i 10 e i 20 anni i maschi); le femmine danno alla luce un solo

piccolo ogni 4-5 anni; i cuccioli prendono il latte per almeno due anni, ma l'età dello svezzamento può essere molto posticipata; la durata della vita può superare i 50 anni. L'organizzazione sociale di questi animali prevede la formazione di due tipi di gruppo: gruppi misti (detti *breeding schools*), composti da femmine di tutte le età e piccoli di entrambi i sessi, e gruppi di maschi sessualmente maturi, solitamente della stessa taglia, che formano aggregazioni lasse, probabilmente in aree ad elevata concentrazione di cibo (detti *bachelor schools*).

I capodogli sono distribuiti in tutti i mari del mondo, dall'equatore al *pack* polare, tuttavia soltanto i maschi maturi vengono trovati alle latitudini più alte, mentre le femmine e i giovani difficilmente si spingono al di là dei 40° N e 40° S. E' generalmente accettata l'ipotesi che i maschi compiano stagionali migrazioni verticali tra aree deputate alla riproduzione in prossimità dell'equatore e aree deputate all'alimentazione a latitudini più alte, mentre le femmine sarebbero più sedentarie (Whitehead 2002).

In Mediterraneo il capodoglio è una delle otto specie comuni ed è ampiamente distribuito in tutto il bacino, anche se le conoscenze relative all'abbondanza, all'ecologia, al comportamento e allo stato di conservazione sono piuttosto scarse in questa regione. Esso sembra più ampiamente distribuito nella parte nord occidentale del bacino, dove la produttività primaria raggiunge valori più elevati che in altre aree (Gannier et al. 2002). Qui si osservano soprattutto animali solitari, anche di grosse dimensioni (Drouot 2003) e piccole aggregazioni, impegnate soprattutto in attività di alimentazione (Drouot et al. 2004). A latitudini più basse sono invece più frequenti gruppi misti, composti anche da femmine e giovani, specialmente intorno le isole Baleari, nel Tirreno centrale, nello Ionio e intorno alle isole della Grecia (Drouot et al. 2004).

In Mar Ionio gli studi relativi ai capodogli sono pochi. Tale area viene solitamente considerata come una regione di abbondanza moderata, con la maggior parte degli avvistamenti riguardanti le acque della Grecia, dal Peloponneso a Creta. Le acque abissali del Mar Ionio centrale sono considerate non idonee alla presenza della specie a causa della permanente oligotrofia. Le condizioni trofiche migliorano lungo le coste della Sicilia, al di sopra della scarpata continentale dove possono verificarsi fenomeni di upwelling e dove infatti è nota la presenza della specie, anche se essa non è mai stata studiata in modo approfondito.

4.1.2 Comportamento acustico e capacità uditiva

Per molti anni il meccanismo di produzione dei suoni nei capodogli è rimasto pressoché sconosciuto; i primi studi sono stati condotti su esemplari morti attraverso l'utilizzo di tecniche di tomografia a raggi X e di risonanza magnetica. Successivamente, attraverso l'impiego di tecniche di sezionamento di esemplari morti sono state osservate le singole parti anatomiche; queste osservazioni hanno consentito la formulazione della teoria di Norris e Harvey (1972) e Cranford e colleghi (1996).

Secondo Norris e Harvey (1972), il grosso complesso nasale del capodoglio, è coinvolto nella produzione dei suoi suoni caratteristici, i *click*. Tale complesso, definito “generatore pneumatico di suoni” è stato messo in evidenza, con strutture omologhe, in quasi tutti gli Odontoceti (Cranford et al., 1996). Il complesso nasale è costituito da alcuni elementi fondamentali: le “*monkey lip*”, l'organo dello spermaceti e due sacche d'aria, quella frontale e quella distale (Cranford et al., 1996). Successivamente è stata evidenziata la struttura detta “*junk compartment*”, una stratificazione di tessuto connettivo e muscolare che riveste l'organo dello spermaceti. L'organo dello spermaceti è formato da una sostanza grassa e spugnosa, composta principalmente da trigliceridi (Mohl & Thiele 1983; Cranford 1999; Mohl et al. 2001; Mohl et al. 2006), mentre le “*monkey lip*” sono costituite da tessuto connettivo. I suoni sono prodotti con il seguente meccanismo. L'aria proveniente dalla narice destra viene forzata nelle *monkey lips* (MO), che sbattendo producono un suono molto intenso; l'energia dell'onda sonora viene convogliata in piccola parte all'esterno, amplificata dalla sacca aerea distale (Di), generando il primo dei molti impulsi che costituiscono un *click* di capodoglio (P0). La maggior parte dell'energia sonora invece viene ridiretta indietro verso il sacco frontale (Fr); il sacco frontale funge da lente e riflette l'energia in avanti verso l'organo dello spermaceti (So). Lo spermaceti, modificando la sua forma, definisce la direzionalità dell'impulso (Figura 4.2). Questo impulso, detto P1, viene in parte diretto in acqua, mentre una parte della sua energia viene riflessa nuovamente indietro dal sacco distale e ripercorre lo stesso percorso, generando l'impulso P2. Il processo si ripete con gli impulsi P3, P4, P5, ecc (Figura 4.3).

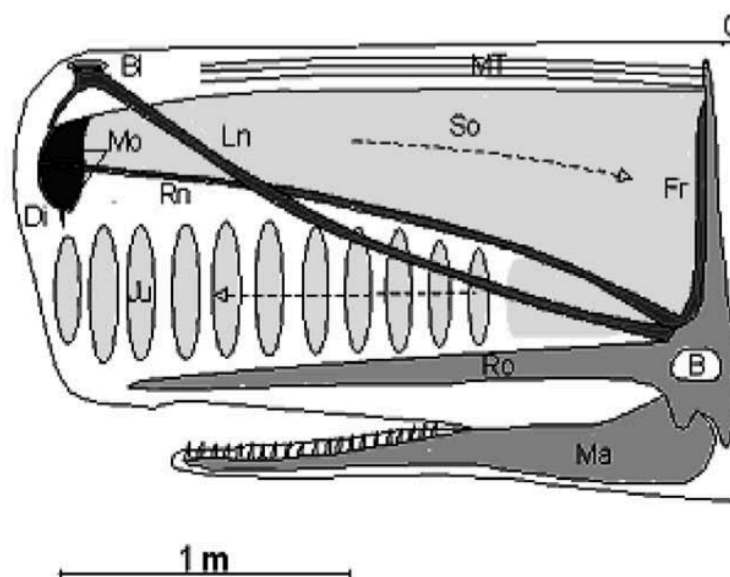


Figura 4.2. Struttura della testa di capodoglio. In evidenza le componenti anatomiche coinvolte nella produzione dei suoni (da Cranford, 1999).

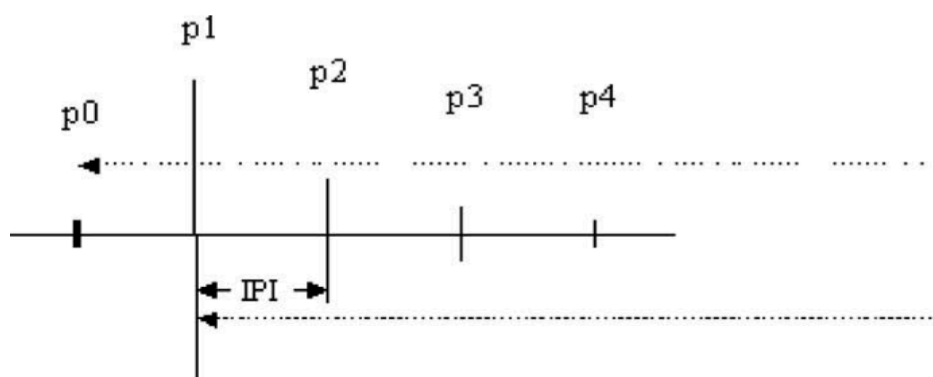


Figura 4.3. Struttura multi impulsiva del click di capodoglio (da Zimmer 2005); IPI=Inter Pulse Interval.

I suoni così prodotti sono utilizzati per vari scopi: richiamo e raggruppamento di individui della stessa specie, orientamento, navigazione, ecolocalizzazione e cattura delle prede (Cranford et al. 1996). Fino ad oggi, sono stati discriminati 5 diversi suoni prodotti dalla specie: *click*, *chirrup*, *creack*, *coda* e *trumpet*.

Il *click* è il principale suono emesso dal capodoglio ed è costituito da impulsi multipli a larga banda, nell'intervallo di frequenza tra 0.2 e 32 kHz (Figura 4.4 a). Esso viene prodotto in maniera costante all'interno di sequenze, con intervalli variabili tra 0.5 e 2 sec. Le sequenze di *click* iniziano solitamente con un intervallo tra *click* (*Inter Click Interval* o ICI) di circa 1 sec, man mano che l'animale si avvicina alla massima profondità di immersione, l'ICI si stabilizza intorno a 0.5 sec. Durante la risalita verso la superficie, gli ICI diminuiscono di 100-200 ms per poi ritornare ai valori precedenti; ciò si ripete generalmente per 3-4 cicli. Le sequenze di

click sono spesso interrotte da pause di lunghezza variabile tra 4 e 117 sec (Goold et al. 1995). Si pensa che i *click* possano avere due principali funzioni, a seconda del pattern di emissione: ecolocalizzazione della preda, durante le immersioni finalizzate all'alimentazione e comunicazione intraspecifica (Norris & Harvey, 1972; Mullins et al. 1988; Goold & Jones 1995; Drouot 2003). L'elevata direzionalità, l'alta potenza e l'intervallo di frequenza rendono i *click* particolarmente adatti alla detezione di prede quali i cefalopodi (Madsen et al. 2002; Zimmer et al. 2005). Generalmente durante l'attività di ecolocalizzazione delle prede, il capodoglio emette principalmente sequenze di “*regular click*”, mentre per la comunicazione con i suoi simili usa principalmente sequenze di “*slow click*”, dette anche “*coda*”.

I *chirrup* sono sequenze ripetute di *click* lunghe 10-25 sec. emesse con un tasso di ripetizione di 220 *click* al secondo (Figura 4.4 b). Essi sono stati descritti come “suono sociale” (Drouot, 2003), la cui funzione non è stata ancora chiarita esattamente. In letteratura, inoltre, sono state descritte emissioni di *chirrup* da capodogli vicini alle imbarcazioni, per cui si è ipotizzata una funzione di ecolocalizzazione di oggetti sconosciuti (Drouot, 2003).

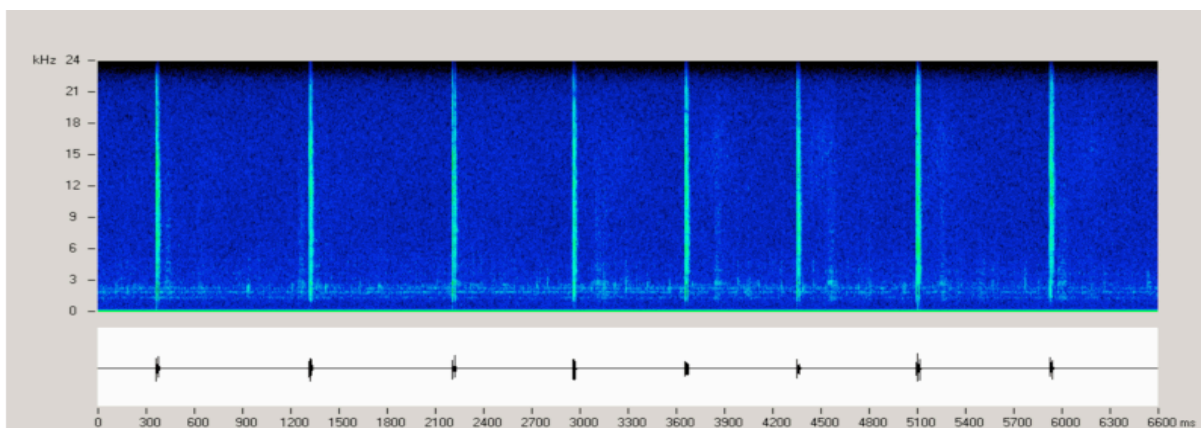
I *creack* rappresentano un ulteriore pattern di *click* e sono caratterizzati da sequenze con altissimo tasso di ripetizione. L'intervallo tra i singoli *click* si riduce a 5-100 ms, e la durata della sequenza è compresa tra 0.1 e 45 sec (Figura 4.4 c). Ad essi si attribuisce il significato di *homing* sulla preda, cioè di avvicinamento alla preda, e vengono interpretati come tentativi alimentari (Drouot 2003). Uno studio effettuato da Miller e colleghi (2004) ha evidenziato che la maggiore produzione di *creack* si ha alle profondità maggiori: prendendo 4 punti a profondità crescente lungo la colonna d'acqua si osserva che nel punto più prossimo alla superficie si ha il 50% di *creack* prodotti, nel punto successivo si ha un valore di *creack* tra il 50-70%, nel terzo punto la percentuale cresce all'85%, e infine nel punto di massima profondità d'immersione si ha un valore >85% (Miller et al. 2004). Inoltre il tasso di *creack* aumenta ogni qualvolta il capodoglio compie delle manovre durante l'immersione (Miller et al., 2004). Queste osservazioni confermano l'utilizzo dei *creack* nell'ecolocalizzazione della preda, sia perché le prede preferite dai capodogli, i cefalopodi di grosse dimensioni, si trovano a grandi profondità, sia perché le manovre repentine durante il nuoto in immersione vengono realizzate al fine di inseguire la preda (Miller et al. 2004). Risultati simili sono stati ottenuti da Teloni (2005) nel suo studio condotto in Mediterraneo, nel Golfo del Leone.

I *coda* rappresentano un altro pattern di *click*, sono sequenze di 3-20 *click* a banda larga con una durata di 0.2-5 sec (Frantizs et al. 2008) (Figura 4.4 d). Essi sono utilizzati come mezzo

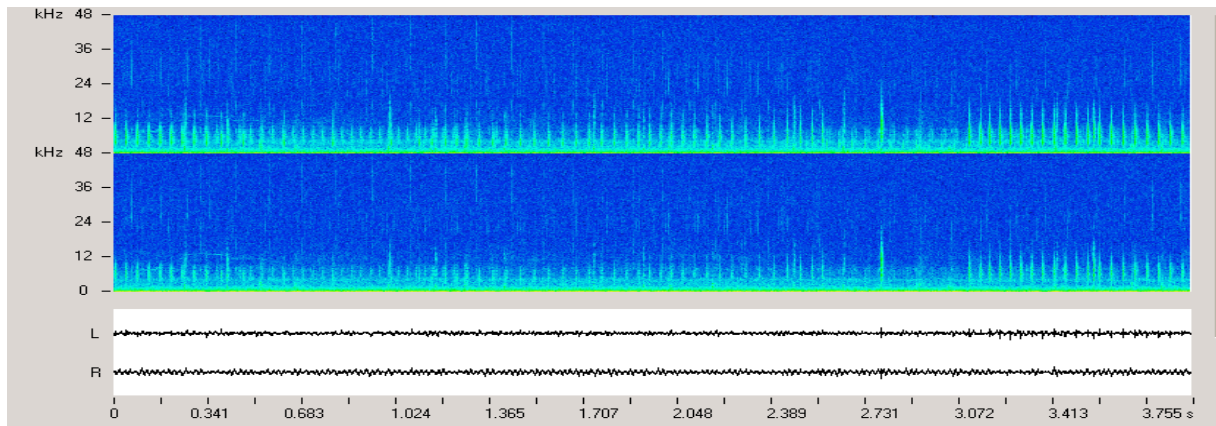
di comunicazione tra i membri del gruppo e sono molto frequenti all'interno delle “*mixed school*”. Studi effettuati da Rendell e Whitehead (2003) hanno evidenziato che soprattutto le femmine emettono questi suoni in circostanze di socializzazione. Raramente è stata evidenziata la produzione di coda da parte di maschi adulti. La sequenza dei coda è molto variabile, e fino adesso in soli due oceani sono stati evidenziati ben 70 tipi di coda diversi (Frantzis et al. 2008). Con molta probabilità i piccoli di capodoglio ereditano i coda dalle madri (Frantzis et al. 2008). Uno studio recente ha evidenziato che i coda sono prodotti durante tre distinti contesti: durante le immersioni a scopi alimentari; durante le immersioni disturbate dalla presenza di imbarcazioni; nelle immersioni sincronizzate di più capodogli (Frantzis et al. 2008). I coda possono essere classificati in base a durata, *pattern* (o ritmo) della sequenza dei *click* che lo costituiscono e numero di *click* (Frantzis et al. 2008). Per questo essi vengono rappresentati dalla formula: $n^{\circ} 1 + n^{\circ} 2$, dove $n^{\circ} 1$ rappresenta il numero di *click* precedenti alla pausa, il + rappresenta la pausa e $n^{\circ} 2$ rappresenta il numero di *click* emessi dopo la pausa; due ++ consecutivi rappresentano una pausa prolungata. I coda più comuni del Mediterraneo sono quelli appartenenti alla struttura 3+1 (Pavan et al. 2000). Esistono quindi delle variazioni considerevoli, sia temporali che spaziali, nei tipi di coda prodotti che in alcuni casi generano dei veri e propri dialetti locali (Rendell et al. 2003).

I *trumpet* sono dei suoni tonali, non appartenenti al pattern dei *click*, all'ascolto simili a trombette, di cui non si conosce il significato (Figura 4.4 e). In uno studio condotto da Teloni (2005) è stato evidenziato che questo suono è prodotto all'inizio dell'immersione; immediatamente dopo si registrano dei brevissimi *click* seguiti poi da *click* regolari, ed in casi rari da coda.

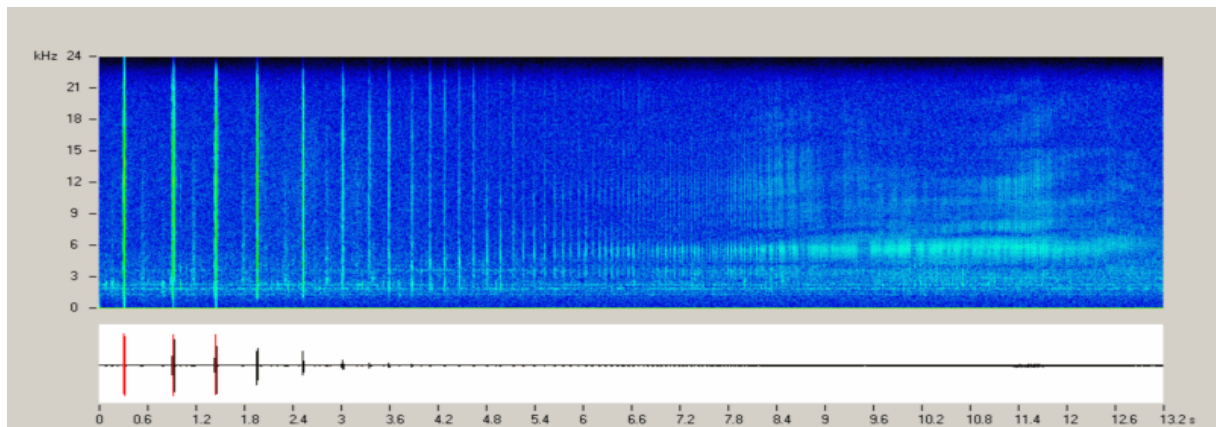
a.



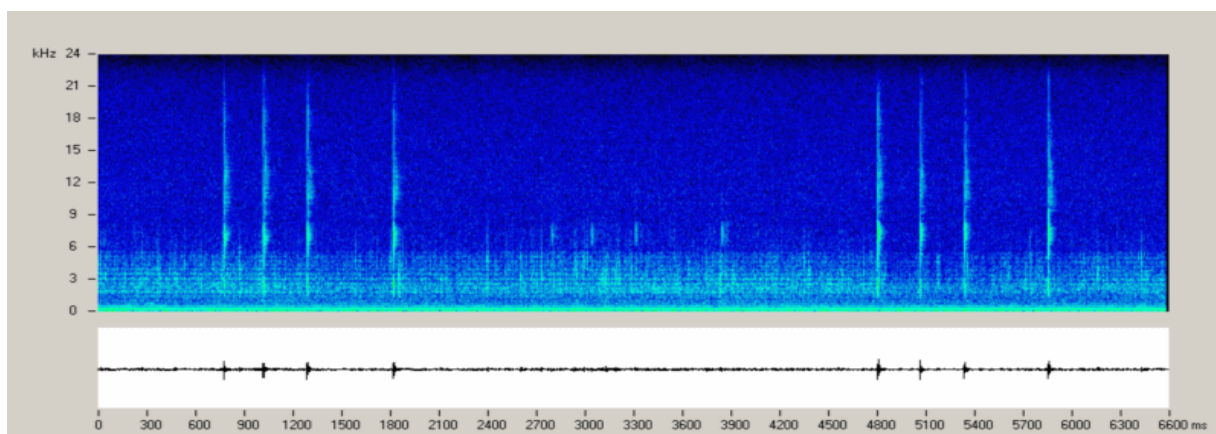
b.



c.



d.



e.

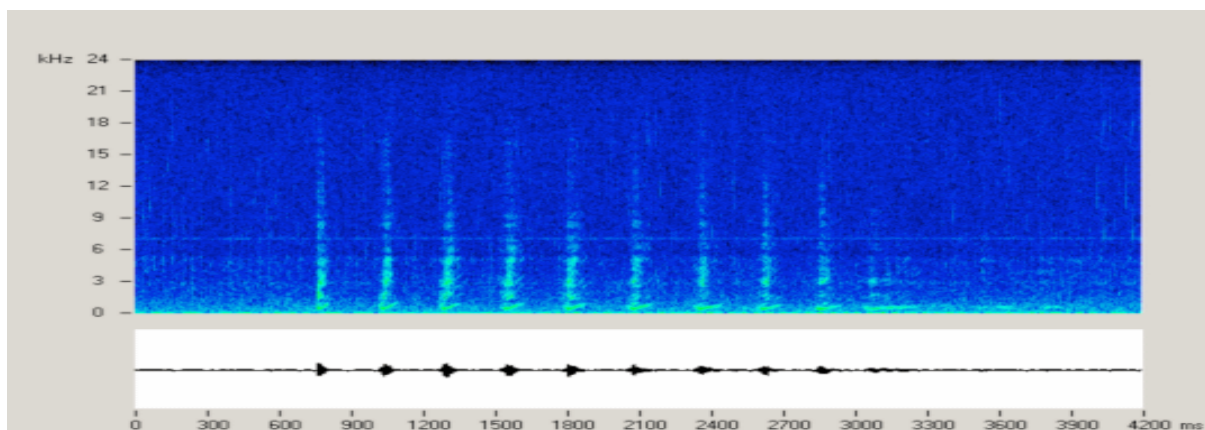


Figura 4.4. Suoni emessi dai capodogli: a. *click*; b. *chirrup*s; c. *creaks*; d. *coda*; e. *trumpet*.

La capacità uditiva dei capodogli è poco conosciuta. Gli odontoceti hanno in genere una maggiore sensibilità alle alte frequenze (30-120 kHz) rispetto ai mysticeti, che invece sono maggiormente sensibili alle basse frequenze. Il capodoglio tuttavia è un odontocete atipico e la sua curva di sensibilità uditiva non sembrerebbe assomigliare a quella degli odontoceti più piccoli (Madsen & Møhl 2000). Il solo studio esistente riguarda un esperimento condotto su un neonato; esso ha evidenziato una migliore sensibilità nell'intervallo tra 5 e 20 kHz, e, al di fuori di questo intervallo, una sensibilità superiore a 40 kHz piuttosto che a 2.5 kHz (Ridgway & Carder 2001). Questo intervallo di frequenza combacia con il contenuto spettrale di un *click* emesso da un maschio adulto (Madsen & Møhl 2000). Assumendo quindi che il capodoglio possieda la tipica curva di udibilità a forma di U riscontrata in molti mammiferi, è molto probabile che il capodoglio abbia un intervallo di frequenze udibili più basso di quello della maggior parte delle altre specie di odontocete, ma non così basso come quello dei mysticeti (Madsen & Møhl 2000).

4.1.3 Minacce per la specie: impatto del rumore di origine antropica

I capodogli sono stati vittime di un'intensa caccia in tutti gli oceani del mondo, soprattutto durante il diciottesimo e il diciannovesimo secolo ed ancora, dopo una pausa dovuta all'avvento del petrolio, a partire da metà del ventesimo secolo, dopo il crollo delle popolazioni mondiali di balene, anche loro soggette a caccia intensiva. Gli effetti di questo iper-sfruttamento non sono perfettamente conosciuti ma hanno sicuramente portato ad una riduzione degli stock e a un decremento del numero di maschi e quindi del potenziale

riproduttivo della specie. Oggi nuove minacce incombono sulla popolazione rimanente, stimata in 360 mila individui (Whitehead, 2002): la ripresa della caccia da parte dell'industria baleniera giapponese, giustificata da presunti motivi scientifici; l'inquinamento chimico, soprattutto quello dovuto a metalli pesanti e organoclorurati (DDT, PCB e diossine); le collisioni con le imbarcazioni (Laist et al. 2001); l'intrappolamento nelle reti da pesca, derivanti in Mediterraneo (Di Natale 1992) e palangresi in paesi quali il Cile, le isole Fauckland e l'Alaska (Taylor et al. 2008). Negli ultimi anni, a causa del suo costante e progressivo incremento in tutti gli oceani del mondo (McDonald et al. 2006), l'inquinamento acustico ha destato maggior interesse e preoccupazione nella comunità scientifica, poiché i capodogli, così come gli altri Cetacei, basano l'alimentazione, l'interazione con l'ambiente e la comunicazione esclusivamente sull'uso dei suoni.

L'effetto del rumore di origine antropica sui capodogli è ancora in gran parte sconosciuto a causa delle ridotte conoscenze sulla loro capacità uditiva e sul loro comportamento naturale. Non è ancora chiaro se il traffico marittimo e il rumore da esso prodotto possa avere effetti su questi animali. Alcuni studi hanno documentato la collisione di capodogli con grosse navi (Andre, 1997; Reeves & Whitehead, 1997) e reazioni di *avoidance* sono state registrate in presenza di barche, come ad esempio quelle del *whale-watching*. Nelle acque neozelandesi i capodogli evitano le barche del *whale-watching* a distanza di 2 km; inoltre, alterano il loro comportamento superficiale, il ritmo respiratorio e la direzione di spostamento (McGibbon in Cawthorn, 1992). Un altro studio compiuto nelle stesse acque ha evidenziato una diminuzione del ritmo respiratorio in prossimità delle barche (Ritcher et al. 2006). La risposta alle imbarcazioni può essere individuo-specifica: Ritcher et al. (2006) hanno mostrato che la risposta alla presenza di imbarcazioni di *whale-watching* è minore negli animali residenti nell'area e maggiore per quelli transienti mentre Megalhaes et al. (2002) ha dimostrato che la risposta alle barche è maggiore per gli individui accompagnati da cuccioli. Altri studi hanno riportato invece l'assenza di una risposta acustica al traffico marittimo (Gordon et al. 1992) o all'emissione di sonar (Backus & Scevill 1966; Watkins 1977). Watkins et al. (1985) e Papastavrou et al. (1989) non hanno evidenziato alcuna risposta ovvia durante l'emissione di un sonar a 30-60 kHz, mentre in altri studi i capodogli hanno reagito all'emissione di un sonar disperdendo il gruppo (Lockyer, 1977) o interrompendo la produzione di suoni (Watkins et al., 1993; Watkins & Schevill, 1975). Watkins and Schevill (1975) hanno riportato che durante l'emissione di un sonar i capodogli interrompono le vocalizzazioni, ma senza rispondere

acusticamente al suono, come se lo stessero ascoltando. Risultati analoghi sono stati trovati nell'Oceano Indiano e nel Golfo del Messico su capodogli esposti ad attività sismiche (Bowels et al.1994; Mate et al. 1992): esposti alle esplosioni i capodogli mostrano di allontanarsi dall'area.

Al contrario, Madsen et al. (2002) non hanno osservato alcuna reazione comportamentale o acustica di un maschio solitario esposto alle esplosioni ripetute di *airguns* ad un livello di intensità ricevuta pari a 146 dB re 1uPa. Madsen et al. (2002) hanno anche riportato che lo stesso maschio non cambia il suo tasso di produzione di *click* o il suo comportamento in risposta alla detonazione di 8 cariche esplosive a un livello ricevuto di 180 dB re 1uPa.

Alcuni esperimenti hanno dimostrato una risposta a rumori di breve durata. Andr  et al. (1997) hanno studiato la risposta dei capodogli al *playback* di alcuni suoni artificiali riportando che: 1) alcuni capodogli interrompono la produzione di *click* in risposta alla riproduzione di coda artificiali (180 dB re 1UPa/Hz, 2 sec); 2) una madre con un cucciolo risponde a un suono impulsivo a 180 dB re 1uPa/Hz interrompendo l'alimentazione e lasciando l'area; 3) animali in riposo rispondono allo stesso suono muovendosi rapidamente e immergendosi, mentre animali in movimento non alterano il loro comportamento. Inoltre dopo la seconda emissione del suono, i capodogli cominciano a non rispondere pi  a esso, ignorandolo.

In sintesi, la risposta dei capodogli ai rumori antropici appare estremamente variabile. Le cause di ci  possono essere diverse: 1. l'ambiente acustico sottomarino pu  variare a seconda della localizzazione geografica (le caratteristiche oceanografiche e del fondale influenzano la trasmissione e propagazione del suono); 2. gruppi di femmine con cuccioli possono assumere atteggiamenti pi  cauti e protettivi a stimoli esterni o sconosciuti rispetto a maschi adulti; 3. le caratteristiche del suono, in termini di intensit  e frequenze, possono influenzare il tipo di risposta; 4. il comportamento in atto degli animali pu  suscitare una risposta diversa al rumore antropico; 5. l'esposizione continua allo stesso suono pu  ridurre la risposta nel tempo, per l'insorgenza di fenomeni di abituazione.

4.2 CONTESTO, SCOPI ED OBIETTIVI

Tra il 2006 e il 2007, i biologi del CIBRA (Università di Pavia) hanno condotto un'analisi acustica preliminare dei dati raccolti dalla stazione OnDe, evidenziando un'inaspettata presenza di capodogli. (Pavan et al. 2007, 2008). La stazione acustica OnDE (*Ocean noise Detection Experiment*) è stata costruita all'interno del progetto scientifico NEMO (*Neutrino Mediterranean Observatory*), che è volto alla realizzazione di un rilevatore sottomarino di neutrini ad altissima energia (del tipo telescopio Cherenkov). NEMO è stato promosso dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), in collaborazione con l'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, l'Istituto per l'Oceanografia Fisica del CNR di La Spezia, l'Istituto Talassografico del CNR di Messina e l'Istituto di Biologia del Mare del CNR di Venezia. OnDE è stata la prima stazione di monitoraggio acustico in *real time* installata a grandi profondità nel Mediterraneo. Essa è stata posizionata nel gennaio 2005, a 20 km dal porto di Catania e 2050 metri di profondità, allo scopo di monitorare il rumore acustico sottomarino, inviando a terra dati 24h/24h. La stazione acustica è stata costruita allo scopo di equipaggiare il rilevatori di neutrini con sensori acustici che potessero esplorare energie di $E_\nu > 10^{18}$ eV, inaccessibili ai telescopi Cherenkov. Poiché l'efficienza della rilevazione acustica è fortemente limitata dal rumore sottomarino, di origine ambientale, biologica e antropica, la stazione OnDE ha avuto quindi lo scopo di condurre uno studio di fattibilità del rilevatore acustico sottomarino. La stazione ha inoltre fornito l'eccezionale opportunità di monitorare il rumore sottomarino per quasi due anni, fornendo dati sia sui livelli di rumore sia sulla presenza di mammiferi marini nell'area.

I risultati delle analisi preliminari condotte dal CIBRA sono mostrati in tabella 4.1 (Pavan et al. 2007, 2008).

MESE	2005		2006	
	Frequenza giornaliera	Frequenza per slot	Frequenza giornaliera	Frequenza per slot
MAGGIO	100.00%	57.64%	-	-
GIUGNO	50.00%	28.18%	-	-
LUGLIO	35.48%	7.93%	60.00%	47.50%
AGOSTO	70.97%	35.89%	0.00%	0.00%
SETTEMBRE	29.17%	9.46%	0.00%	0.00%
OTTOBRE	38.46%	21.59%	80.00%	59.96%
NOVEMBRE	56.67%	16.39%	57.14%	16.99%
DICEMBRE	14.29%	8.04%	-	-
TOTALE	51.85%	22.92%	35.00%	22.94%

Tabella 4.1. Frequenze giornaliere e per slot delle vocalizzazioni di capodoglio (analisi del CIBRA).

La tabella 4.1 mostra due frequenze di occorrenza: una frequenza per *slot*, espressa come percentuale del numero di file di 5 minuti (definiti *slot*) in cui sono presenti capodogli rispetto al numero totale di *slot*, e una frequenza giornaliera, espressa come percentuale del numero di giorni in cui sono presenti capodogli rispetto al numero totale di giorni di campionamento. Tali analisi hanno evidenziato una presenza più intensa e regolare nel 2005 rispetto che nel 2006. Inoltre non è stato riscontrato alcun trend mensile o stagionale costantemente mantenuto nei due anni. Nel 2005 la massima presenza di capodogli si ha in maggio, agosto e novembre; nel 2006 invece, in agosto e settembre i capodogli non sono mai stati ascoltati e la loro frequenza è maggiore ad ottobre rispetto che a luglio e novembre, in cui sono comunque molto frequenti.

Sulla base di queste informazioni preliminari sui capodogli e dell'elevata quantità di suoni di origine antropica rilevata durante le prime analisi, è stato scelto di utilizzare i dati della stazione OnDE per misurare i livelli di rumore nel Golfo di Catania e verificare se esiste un impatto delle varie sorgenti acustiche individuate su questa specie di Odontocete.

Gli obiettivi specifici di questo secondo caso studio sono:

1. Misurare nel lungo periodo i livelli di rumore sottomarino nell'area di studio e il loro andamento temporale.
2. Verificare se il rumore continuo e il rumore impulsivo possano influenzare la probabilità di presenza dei capodogli nell'area di studio.
3. Studiare l'impatto del rumore di tipo impulsivo sul comportamento acustico del capodoglio e, in particolare, verificare se:
 - 3.1 i capodogli smettono di vocalizzare dopo un rumore impulsivo;
 - 3.2 i capodogli reagiscono ad un rumore di tipo impulsivo cambiando il tipo di vocalizzazione.
 - 3.3 il ritmo di emissione dei *click* durante un'immersione cambia dopo un rumore di tipo impulsivo o se la sequenza progressiva di *click* diventa meno regolare.

4.3 MATERIALI E METODI GENERALI

4.3.1 La stazione acustica OnDE

La stazione OnDe è una piattaforma acustica dotata di quattro idrofoni omnidirezionali adatti alle alte profondità (modello *Reson TC4037*, modificato per la collaborazione NEMO) (Tabella 4.2), montati su un telaio metallico con tubolari di titanio e alloggiati all'interno di contenitori di forma cilindrica, realizzati in lega di alluminio. I contenitori sono stati disposti ai vertici di un tetraedro di lato 1 m, con la parte superiore dell'idrofono rivolta verso l'alto. I segnali che giungono a ciascun idrofono sono mandati a un preamplificatore ad alta impedenza d'ingresso, che amplifica il segnale ricevuto di 20 dB, e successivamente a due schede analogico-digitale (ADC) ad alta risoluzione. Gli idrofoni sono ottimizzati a frequenze diverse: due di essi (denominati H1 e H3) hanno una risposta in frequenza compresa tra 30 Hz e 40 kHz, mentre l'altra coppia (H2 e H4) hanno una risposta 1-40 kHz (per la presenza di un filtro passa alto applicato al preamplificatore). Gli ACD hanno una frequenza di campionamento di 96 kHz, quindi possono campionare senza perdita di informazione segnali fino a 48 kHz. Dagli ACD, i segnali rilevati vengono inviati a due modem elettro-ottici, che li convertono da segnali elettrici a segnali ottici, in modo da consentire loro di essere inviati tramite un cavo a fibra ottica al laboratorio di terra allestito al porto di Catania. A terra i segnali vengono riconvertiti in segnali elettrici, inviati ad un PC e registrati su hard disk. Tutta l'elettronica di distribuzione della potenza e l'elettronica di digitalizzazione e trasmissione dei dati è contenuta all'interno di una sfera di borosilicato per alta profondità, rivestita da un materiale plastico che l'ha protetta e ne ha facilitato l'ancoraggio al telaio metallico (Figure 4.5, 4.6 e 4.7).

CARATTERISTICHE IDROFONO RESON TC4042-C	
Intervallo di frequenza utilizzabile	1 Hz - 100 kHz
Intervallo di frequenza lineare	1 Hz to 50 kHz - 193 dB +2/-4 dB
Sensibilità nominale di ricezione	-193 dB $\pm$ 1,5 re 1V/uPa at 250 Hz
Direttività orizzontale	Omnidirezionale ($\pm$ 2dB at 40 kHz)
Direttività verticale	270° ($\pm$ 3 dB at 40 kHz)
Profondità massima raggiungibile	2500 m
Range di temperatura	-2°-+55° Celsius
Materiale per incapsulamento	Chloroprene
Struttura metallica	Alluminio
Peso in aria	86 g.

Tabella 4.2. Caratteristiche tecniche dell'idrofono Reson serie TC4042-C.



Figura 4.5. Struttura meccanica della stazione OnDe. Le lettere H1, H2, H3, H4 indicano la posizione degli idrofoni. La sfera arancione è il rivestimento della sfera di borosilicato. I cavi arancioni sono i cavi del ROV impiegato per il posizionamento della stazione.

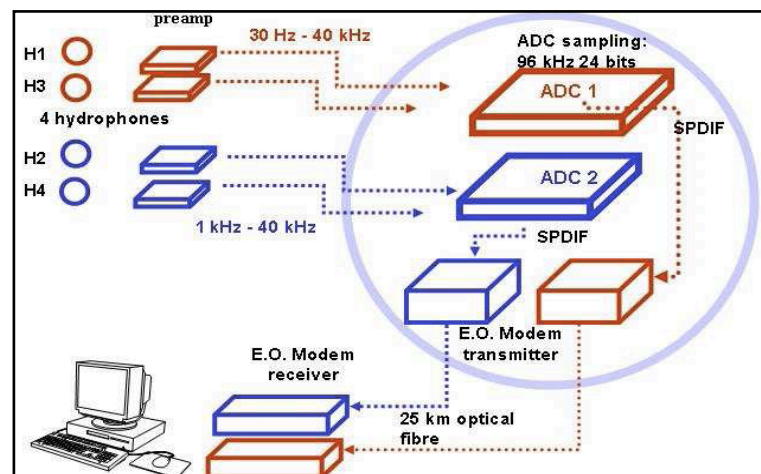


Figura 4.6. Schema della catena elettronica di acquisizione dati della stazione OnDe.



Figura 4.7. Contenitore che alloggia l'idrofono; a destra è mostrato il rivestimento con vernice poliuretanica che protegge il contenitore dalla corrosione.

4.3.2 Acquisizione, registrazione e catalogazione dei dati

Le schede ADC sono state impiegate per digitalizzare il segnale analogico proveniente dai quattro idrofoni, attraverso un campionamento nel tempo (frequenza di campionamento di 96 kHz) e una quantizzazione dell'ampiezza del segnale con dinamica di 24 bit. I dati digitali sono stati elaborati e visualizzati su PC attraverso un opportuno software di acquisizione dati sviluppato dal CIBRA, denominato *WaveInRecorder*. Il software è stato utilizzato per salvare i dati acustici in formato audio Wav con codifica PCM a 32 bit (float). Ogni file di registrazione è stato salvato con un codice univoco definito dal giorno e dall'ora di registrazione, dal numero di canali d'ingresso, dal guadagno software attribuito al file e dal formato del file Wav. Ad esempio il file *20050525133000_4CH_1X_3200* corrisponde al file registrato da tutti e quattro i canali (idrofoni), senza alcun guadagno di amplificazione, in formato 32 bit, nel giorno 25 maggio 2005 alle ore 13:30. Poiché il formato PCM consente di salvare i dati audio senza nessun tipo di compressione, producendo file di notevoli dimensioni (150 GB/giorno), dopo alcuni mesi di registrazione in continuo è stato scelto di registrare i dati provenienti dalla stazione 5 minuti ogni ora, ottenendo 24 file al giorno (450 MB per file, circa 10 GB al giorno). I 5 minuti di registrazione sono stati scelti in modo variabile tra i primi 50 di ogni ora.

4.3.3 Area di studio

La stazione OnDe è stata collocata a 25 km E del porto di Catania, ad una profondità di 2050 m (Lat 35°32.681 N, Long 015°23.773 E) (Figura 4.8). Quest'area è stata scelta come sito per verificare e validare le soluzioni tecnologiche proposte dalla Collaborazione NEMO per la costruzione del rilevatore di neutrini e risponde ad alcuni dei requisiti richiesti per il suo funzionamento: vicinanza dalla costa, per consentire la trasmissione via cavo dei dati e dell'energia, elevata profondità del fondale, ridotto rumore ottico, presenza di correnti sottomarine di intensità trascurabile e poco variabili in direzione, ridotta presenza di sedimenti in sospensione. Ai fini di questo studio, l'area d'interesse è quella che circonda la stazione acustica in un raggio di circa 15 km, che rappresenta il massimo *range* di detezione degli idrofoni in buone condizioni di registrazione (scarso rumore ambiente e di origine antropica). Questa zona è importante per la presenza di numerose specie di cetacei, delle quali però si hanno ridotte e incomplete conoscenze. Gli alti fondali creano un habitat idoneo a molte specie che prediligono la scarpata continentale, come la

stenella striata (*Stenella coeruleoalba*), il grampo (*Grampus griseus*) e il capodoglio (*Physeter macrocephalus*); più in prossimità della costa invece si osservano frequentemente tursiopi (*Tursiops truncatus*) e sporadicamente delfini comuni (*Delphinus delphis*) (Notarbartolo di Sciara 1993). Periodicamente, durante i mesi estivi ed autunnali, si osserva un passaggio di balenottere comuni (*Balaenoptera physalus*) (Catalano et al. 2000). Infine, il verificarsi di alcuni spiaggiamenti, dimostra la presenza o, quantomeno il passaggio, di una specie particolarmente rara ed elusiva in Mediterraneo: lo zifio (*Ziphius cavirostris*) (Pavan G., com. pers.).

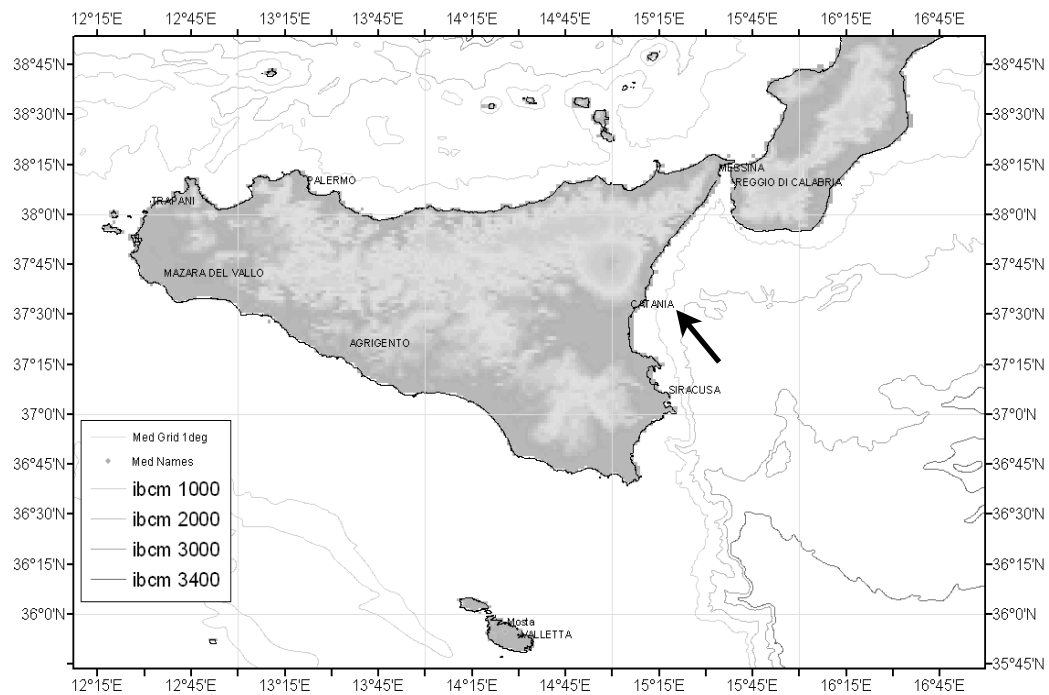


Figura 4.8. Area di studio (freccia nera).

4.3.4 Misura del rumore sottomarino

I dati utilizzati in questa tesi sono quelli registrati dall'idrofono H3. Essi sono stati analizzati *offline* in ambiente Matlab in collaborazione con i ricercatori dell'INFN. Il primo passo è stato l'applicazione sui segnali acustici digitali della Trasformata di Fourier per elementi discreti (*Discrete Fourier Transform, DFT*), che consente la decomposizione della serie originaria dei dati in una somma di funzioni periodiche di diversa frequenza. Poiché l'obiettivo era avere indicazioni sull'intensità acustica, è stato calcolato il periodogramma di ogni segnale acquisito, cioè la densità di potenza spettrale, di seguito definita PSD (*Power*

Spectral Density) associata alla frequenza k -esima dello spettro del segnale. La PSD è definita dalla relazione matematica:

$$PSD(f) = \frac{|X_{N_{DFT}}(f)|^2}{f_c L}$$

dove f_c è la frequenza di campionamento, L è la lunghezza dell'intervallo del segnale (ossia il numero di campioni su cui viene eseguito il calcolo del periodogramma) ed $X_{N_{DFT}}(f)$ è l'ampiezza della componente N -esima della trasformata di Fourier discreta del segnale (DFT) associata alla frequenza f . Per calcolare la PSD è stato selezionato un intervallo di campioni $N_c \geq$ del numero di punti su cui calcolare la DFT N_{DFT} . Nel nostro caso volendo calcolare, ad esempio, il valore medio della potenza del segnale (PSD) registrato durante i 5 minuti di registrazione, si è scelto di suddividere il campione di 5 minuti (5 min = 300 sec x 96000 campioni/secondo = 28.800.000 campioni per ogni singolo canale per ogni singola acquisizione) in un numero intero di blocchi da 2048 campioni in maniera tale da avere un numero di campioni N_c uguale a N_{DFT} . Tale numero è stato scelto opportunamente piccolo in modo da ottimizzare i tempi di calcolo della DFT, poiché esso dipende proprio dalla lunghezza della trasformata, cioè dal numero di campioni del segnale e dal numero di punti della FFT. Per ognuno di questi blocchi da 2048 campioni, pesato con una opportuna finestra temporale, è stata calcolata la DFT. Tale scelta è stata un buon compromesso per diminuire il tempo di calcolo e ottenere una buona risoluzione in frequenza (data dal rapporto f_c / N_{DFT} ossia 96.000 Hz / 2048 = 46,875 Hz). Poiché il calcolo della DFT restituisce $N/2$ componenti nel dominio delle frequenze per la parte reale del segnale ed $N/2$ per la parte immaginaria del segnale, i valori significativi della DFT sono soltanto $N/2$. In questo modo la frequenza massima che è possibile analizzare risulta essere 48.000 Hz in accordo col teorema di Nyquist, secondo il quale è possibile ricostruire, senza perdita d'informazione un segnale di frequenza minore o uguale alla metà della frequenza di campionamento (nel nostro caso $f_c = 96$ kHz). Il codice MATLAB utilizzato è stato implementato dalla Dott.ssa G. La Rosa, nel corso del suo lavoro di tesi all'interno dell'INFN; esso esegue il calcolo della DFT su blocchi da 2048 campioni alla volta, come spiegato precedentemente. Inoltre per una maggiore velocità di calcolo, per ogni "blocco" è stata eseguita la FFT (*Fast Fourier Transform*, Trasformata di Fourier Veloce) utilizzando l'algoritmo "*butterfly*" che è ottimizzato per un numero di campioni pari ad una potenza del 2 (per l'appunto 2048 = 2^{11}). Poiché i campioni

disponibili per ogni singolo file sono 28.800.000 (pari a 300 secondi, cioè 5 minuti) e il numero di campioni che vengono analizzati più vicino a quelli disponibili, e contemporaneamente multiplo intero di 2048, è 28.416.000, si è scelto di rinunciare a 4 secondi per file, in quanto il numero di campioni analizzato per ogni singolo file corrisponde ad una lettura di 296 secondi contro i 300 disponibili.

Prima di eseguire il calcolo della FFT, il blocco da 2048 campioni viene convoluto con una finestra di ponderazione. Se, infatti, si calcola la FFT su un singolo blocco di 2048 campioni utilizzando una finestra di selezione quadrata si esegue un taglio netto, nel dominio del tempo, sul segnale di ingresso; ciò può comportare che vengano introdotte nel calcolo della FFT frequenze spurie dovute alle condizioni al contorno della finestra quadrata. Per ovviare a questo problema i dati sono stati pesati con una finestra temporale nota come finestra di *Hanning*, caratterizzata da un picco simmetrico ed uno “*smoothing*” al contorno. Così facendo vengono eliminate le frequenze spurie introdotte dalla finestra temporale quadrata, ma, come contro, i dati degli estremi del blocco vengono pesati con un peso minore. Al fine di pesare correttamente tutti i campioni del segnale si utilizza la tecnica “*dell’overlapping*”: l’*overlap* utilizzato è pari al 50%; cioè si suddivide il segnale a blocchi di 2048 campioni e le finestre di interpolazione sono prese a metà dall’inizio di ogni blocco ossia a 1024 campioni dopo l’inizio del precedente. Quindi utilizzando la finestra di ponderazione di *Hanning* e la tecnica dell’*overlap* per il calcolo della FFT del segnale si ottiene un duplice vantaggio: di eliminare gli effetti di distorsione, dovuti allo spettro di frequenze introdotto dalla finestra quadra, e di non sottostimare porzioni del segnale.

Il valore così ottenuto è espresso in V/uPa. Per avere il valore della PSD in unità di dB re 1 uPa²/Hz, unità più comunemente impiegata in acustica, è stato necessario aggiungere al logaritmo della PSD il valore della sensibilità del canale utilizzato (idrofono H3 + preamplificatore) che è pari a -175 dB re 1V/uPa (-195 dB re 1V/uPa per l’idrofono e 20 dB re 1V/uPa per l’amplificazione), secondo la relazione:

$$10 \cdot \log (PSD) + 175$$

Dopo aver calcolato la PSD, è stata elaborata per ogni file il valore massimo, il valore minimo, il valore medio, la mediana e il 95% percentile della PSD in funzione della

frequenza. Massimi e percentili forniscono informazioni sui rumori impulsivi, quelli cioè solitamente caratterizzati da una brevissima durata e un'elevata intensità.

Infine, per avere una misura che fosse rappresentativa dei livelli di rumore sottomarino è stato sottratto il rumore elettronico del sistema di acquisizione (idrofono-preamplificatore), che è risultato essere sempre equivalente al valore della PSD minima (rumore bianco a $f > 7$ kHz). L'errore statistico su queste misure, data la sensibilità dell'apparato e l'enorme numero di dati acquisiti, è trascurabile. L'errore sistematico dipende dall'indeterminazione sulla sensibilità di ricezione dell'idrofono, ed è pari a ± 2 dB.

In Figura 4.9 è riportato un esempio di PSD.

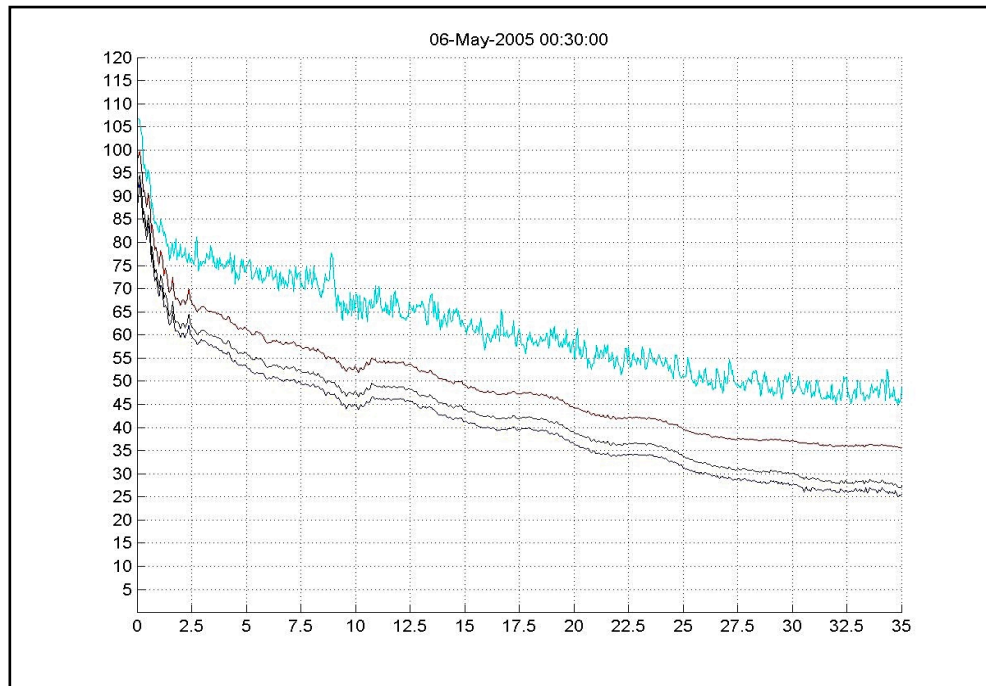


Figura 4.10. Massimo (magenta), mediana (rosso), media (nero) e 95% percentile (blu) della densità di potenza spettrale del file registrato il 6 maggio 2005 alle ore 00:30. In ascissa è riportata la frequenza da 0 a 35 kHz e in ordinata la potenza del segnale in dB re $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$

Una volta ottenuta la PSD è possibile calcolare l'ampiezza del rumore sottomarino (A_p) per determinati intervalli di frequenza, calcolando l'integrale della PSD, ponendo come estremi di integrazione gli estremi della banda di interesse (f_1 e f_2).

$$A_p(f_1, f_2) = \left[\int_{f_1}^{f_2} PSD_{mare}(f) df \right]^{\frac{1}{2}}.$$

L'analisi in bande di frequenza può essere condotta integrando su bande di larghezza costante o su bande aventi larghezza crescenti (bande d'ottava o di terzi d'ottava), nel caso si vogliano descrivere rumori che hanno ampiezze molto decrescenti in funzione della frequenza. In questo studio si è scelto di integrare in bande costanti, con intervalli di bande diversi:

- 1) Da 0.3 a 1 kHz, con un intervallo di 0.1 kHz per analizzare il rumore alle bassissime frequenze, che è quello riconducibile al traffico marittimo e che raggiunge le maggiori intensità. Si è scelto di partire da 0.3 kHz per non inserire nel calcolo dei livelli di rumore quello dovuto all'alimentazione della stazione.
- 2) Da 1 a 41 kHz, con intervallo tra bande di 5 kHz (1-6 kHz, 6-11 kHz, 11-16 kHz, 16-21 kHz, 21-26 kHz, 26-31 kHz, 31-36 kHz, 36-41 kHz) per indagare l'ampiezza del rumore relativamente alle sorgenti più rilevanti: traffico navale, prevalentemente nelle prime bande, capodogli, prevalentemente nella seconda, terza e quarta banda, delfinidi nelle ultime bande.
- 3) Da 1.1 e 5.6 kHz, con un intervallo tra bande di 0.5 kHz, per verificare l'effetto del rumore continuo sulla presenza dei capodogli.

4.3.5 Presenza del capodoglio in funzione del rumore sottomarino

Per verificare la risposta acustica del capodoglio al rumore, tutti i file raccolti dalla stazione OnDe in modo standardizzato e sistematico (da maggio 2005) sono stati selezionati e analizzati come segue: 1) sono stati elaborati i *plot* giornalieri della PSD di tutti i file per selezionare, dall'intero campione raccolto, i file contenenti suoni di tipo impulsivo e/o capodogli; 2) lo spettrogramma di ogni file selezionato è stato analizzato visualmente e acusticamente usando il software SeaPro Ultra (CIBRA, Università di Pavia), con le seguenti impostazioni: frequenza di campionamento 96 kHz, FFT 2048, finestra di ponderazione di tipo Hann; 3) per ogni file selezionato, sono state misurate le variabili mostrate in tabella 4.3.

VARIABILI	CODICE-UNITA'
Assenza-Presenza di esplosioni	0-1
Numero di esplosioni nella slot di 5'	da 1 a n
Intervallo medio tra le esplosioni	sec
Intervallo di frequenza dell'esplosione	kHz
Picco di frequenza delle esplosioni	kHz
Massima densità di potenza spettrale delle esplosioni	dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$
Assenza-Presenza di sonar/pinger	0-1

VARIABILI	CODICE-UNITA'
Numero di sonar/pinger nella slot di 5'	da 1 a n
Intervallo medio tra sonar/pinger	sec
Intervallo di frequenza del sonar/pinger	kHz
Picco di frequenza del sonar/pinger	kHz
Massima densità di potenza spettrale del sonar/pinger	dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$
Assenza-Presenza di capodogli	0-1
Massimo numero di capodogli	da 1 a più di 3
Tipo di vocalizzazione	RC (<i>regular click</i>); C (<i>coda</i>); CH (<i>chirrup</i>); CR (<i>creack</i>); T (<i>trumpet</i>)
Qualità della vocalizzazione di capodoglio	0 (appena percettibile); 1 (percettibile ma non chiaramente visibile nello spettrogramma); 2 (percettibile e visibile nello spettrogramma, ICI misurabile)
ICI	ms
ICI <i>variation</i> : differenza tra un ICI e il successivo	ms

Tabella 4.3. Variabili misurate.

La presenza di suoni impulsivi e capodogli è stata definita come la presenza di almeno un contatto acustico chiaramente attribuibile alla rispettiva categoria. L'intervallo tra segnali è stato calcolato come valore medio degli intervalli (in sec) tra segnali ripetuti in una serie. L'intervallo di frequenza, il picco di frequenza e la massima densità di potenza spettrale registrata dalla stazione sono stati calcolati dal periodogramma del file di interesse. Il numero massimo di capodogli è stato stabilito in ≥ 3 , a causa della difficoltà di contare acusticamente il numero di animali quando più di 3 individui stanno vocalizzando contemporaneamente. Le vocalizzazioni sono state attribuite alle categorie note in letteratura (*regular click*, *chirrup*, *creack*, *coda* e *trumpet*) sulla base delle loro caratteristiche di frequenza e dei loro *pattern* temporali. L'ICI, cioè l'*Inter Click Interval*, è stato misurato grazie alle funzionalità del software SeaPro Ultra ed è stato espresso in ms. La differenza tra un ICI e il successivo, denominata ICI *variation*, è stata assunta come indicatore della regolarità della sequenza di *click*: minore è tale differenza più regolare è l'andamento della sequenza di *click*, maggiore è la differenza più variabile è tale andamento. Per verificare l'effetto del rumore continuo sulla presenza dei capodogli, sono stati usati due differenti modelli: 1) la regressione logistica per testare l'assenza/presenza dei capodogli in funzione dell'ampiezza del rumore in 8 bande di frequenza, ad intervallo costante (vedi tabella 4.4); 2) la regressione lineare per testare la percentuale giornaliera di capodogli (numero di file contenenti capodogli sui 24 raccolti in un giorno) in funzione dell'ampiezza del rumore in 8 bande di frequenza, ad intervallo costante. La tabella 4.4 mostra le 8 bande di frequenza, comprese tra 0.6 e 5.1 kHz, con un intervallo di

circa 0.5 kHz. L'intervallo tra 0.6 e 5.1 kHz è stato scelto per due ragioni: 1) il rumore continuo dovuto a navi e imbarcazioni è generalmente più intenso alle frequenze inferiori ai 5 kHz; 2) nonostante i capodogli abbiano la maggiore sensibilità uditiva nell'intervallo tra 5 e 20 kHz, e una sensibilità migliore a 40 kHz piuttosto che a 2.5 kHz, essi producono anche *click* a basse frequenze, tra 500 e 3 kHz, che presuppongono una loro capacità uditiva anche a queste frequenze e un possibile impatto del rumore dovuto alle imbarcazioni nell'intervallo di frequenza prescelto.

Banda	Intervallo di frequenza (kHz)
1	0.65 - 1.17
2	1.21 - 1.73
3	1.78 - 2.30
4	2.34 - 2.86
5	2.90 - 3.42
6	3.47 - 3.98
7	4.00 - 4.55
8	4.59 - 5.10

Tabella 4.4. Bande di frequenza e relativi intervalli.

Per verificare l'esistenza di un'associazione tra la probabilità di presenza di rumori di tipo impulsivo (esplosioni e sonar/pinger) e la probabilità di presenza dei capodogli è stato applicato il *Pearson's Chi-squared test*.

4.3.6 Analisi del comportamento acustico del capodoglio in presenza di suoni impulsivi

Per studiare la risposta comportamentale del capodoglio ai suoni di tipo impulsivo sono stati selezionati solo quei file coerenti con i seguenti criteri: 1) presenza di esplosioni o sonar/pinger; 2) presenza di non più di due capodogli, per consentire di seguire la sequenza di *click* di un individuo senza confonderla con quella di altri individui; 3) presenza di sequenze di *click* con un buon rapporto rumore/segnale, classificate come 2 nella variabile "qualità delle vocalizzazioni" (*click* percettibile e visibile nello spettrogramma, ICI misurabile); 4) sequenze di *click* continue, interrotte da pause inferiori ai 100 sec (la pausa media tra *click* in una sequenza appartenente alla stessa immersione oscilla tra 4 e 117 sec - Goold et al. 1995).

L'impatto ambientale è stato definito come “qualsiasi cambiamento che può essere associato all'inizio di un'attività umana”. Il disegno sperimentale più semplice che può consentire di verificare la presenza di un impatto ambientale prevede di confrontare dati raccolti prima dell'inizio dell'attività umana con quelli raccolti dopo la fine di quest'attività. Ciò corrisponde ad un design di tipo *before/after* (BA). Seguendo questo tipo di disegno sperimentale, ogni sequenza di *click* corrispondente ai criteri sopra menzionati è stata trattata come un singolo caso studio e la sequenza è stata divisa in due parti: “*before*” (15 *click* emessi subito prima l'emissione del suono impulsivo) e “*after*” (15 *click* emessi subito dopo l'emissione del suono impulsivo). Successivamente alla selezione dei casi studio considerati validi è stato verificato se: 1) il capodoglio reagisce al suono impulsivo interrompendo la sequenza di *click* o cambiando il tipo di vocalizzazione; 2) l'ICI e l'ICI *variation* differiscono statisticamente tra le sequenze “*before*” e “*after*”, impiegando il t-test o il Permutation t-test (quando non era rispettato l'assunto della normalità della distribuzione dei dati). E' stato scelto di non riunire tutti i dati in un unico *dataset* ma di mantenere separati i singoli casi studio perchè la risposta degli animali al suono può variare a seconda dell'individuo (età, sesso, stato di salute, stato comportamentale) e a seconda della frequenza e dell'intensità del segnale impulsivo.

Infine, per verificare l'efficienza del disegno sperimentale e introdurre un controllo, sono state selezionate 10 sequenze casuali di 30 *click*, estratte da altrettanti file. Le sequenze erano coerenti ai criteri di selezione sopra definiti, con l'eccezione della presenza di suoni di tipo impulsivo. Ognuna di queste sequenze è stata divisa in due intervalli di 15 *click*. L'ICI e la ICI *Variation* di ogni sequenza è stata confrontata per verificare se esistevano differenze statisticamente significative tra i due intervalli. L'ipotesi è che se non esiste differenze tra i due intervalli in queste sequenze estratte casualmente, qualora si trovassero differenze tra le sequenze “*before*” e “*after*” è più probabile che queste possano essere attribuite all'impatto umano, quindi al suono di tipo impulsivo.

4.4 RISULTATI E DISCUSSIONI

Dall'intero campione di dati raccolti dalla stazione OnDE, che ha registrato da gennaio 2005 a novembre 2006, sono stati analizzati solo i file raccolti in modo standardizzato e sistematico (5 min ogni ora, 4 canali), quelli cioè da maggio a dicembre 2005 e da luglio a novembre 2006, per un totale di 6395 file (Tabella 4.5).

Mese	Giorni	Numero di file
Maggio 2005	6-20	352
Giugno 2005	25-30	130
Luglio 2005	1-31	738
Agosto 2005	1-31	744
Settembre 2005	1-24	563
Ottobre 2005	6-31	602
Novembre 2005	1-30	720
Dicembre 2005	1-14	336
Luglio 2006	1-31	369
Agosto 2006	4-27	576
Settembre 2006	2-22	493
Ottobre 2006	1-20	469
Novembre 2006	8-14	303

Tabella 4.5. Mesi e giorni di campionamento e relativo numero di file.

4.4.1 Andamento temporale della potenza del rumore sottomarino.

I livelli di rumore sottomarino, espressi come PSD e ampiezza del rumore in bande, sono stati analizzati in diversi intervalli temporali (annuale, mensile, giornaliero), per poter coglierne l'andamento e per verificare i periodi, a differenti scale, maggiormente soggetti a rumore di origine antropica e biologica.

I grafici sottostanti mettono in evidenza i valori della PSD massima e media, nell'intervallo di frequenza 0.3-1 kHz e 1-43 kHz, del 2005 e del 2006, con il dettaglio dei mesi.

Per quanto riguarda i valori massimi registrati, nel complesso si osserva una maggiore intensità del rumore sottomarino alle bassissime frequenze (< 1 kHz), con valori compresi tra 100 e 120 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$, con picchi di maggiore intensità nei mesi di maggio e agosto 2005

e agosto e settembre 2006 (Figura 4.10). A frequenze superiori, fino a circa 20 kHz, il rumore ha un'intensità compresa tra 60 e 80 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$. A frequenze superiori ai 20 kHz, il rumore decresce ancora a valori compresi tra 60 e 40 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$ (Figura 4.11). Questo andamento appare costante nei due anni, con l'eccezione di alcuni mesi particolarmente rumorosi alle basse frequenze (ad esempio maggio e agosto 2005) e alle medie frequenze (ad esempio agosto e ottobre 2005, luglio e ottobre 2006) (Figura 4.11).

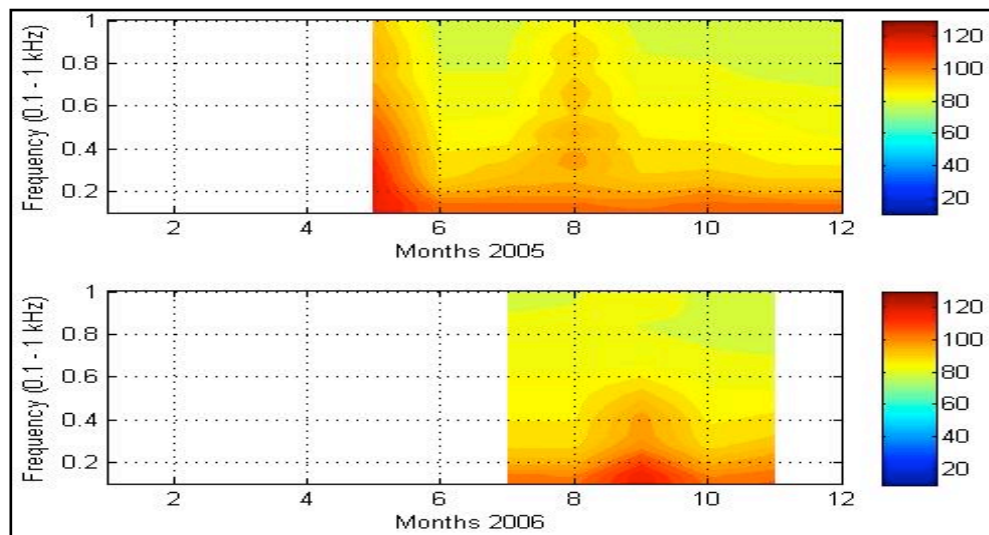


Figura 4.10. PSD massima (dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$) da 0 a 1 kHz, in funzione dell'anno, 2005 (in alto) e 2006 (in basso).

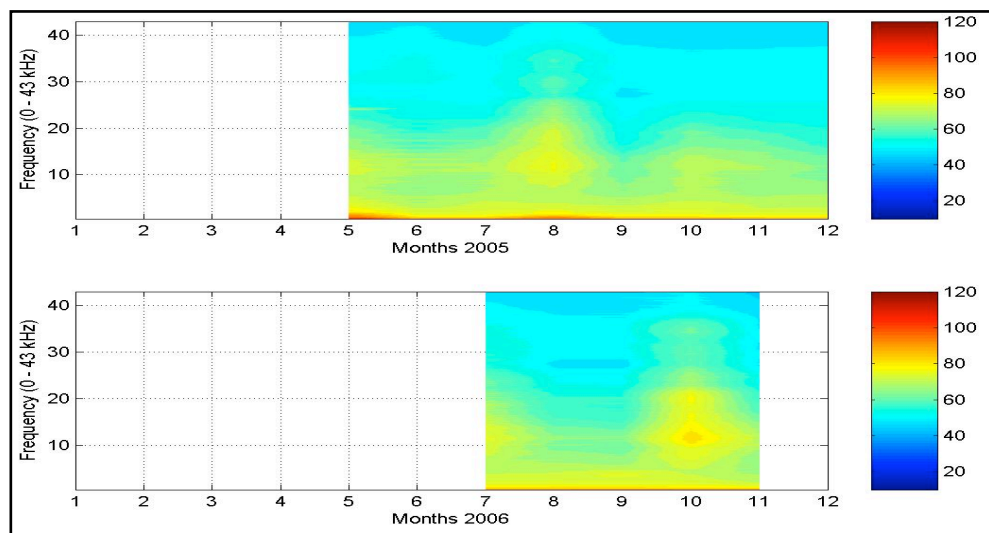


Figura 4.11. PSD massima (dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$) da 1 a 43 kHz, in funzione dell'anno, 2005 (in alto) e 2006 (in basso).

L'andamento della PSD media è ancora più costante nei due anni. Il rumore medio è di circa 80-100 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$ fino a circa 0.5 kHz, poi decresce a valori non inferiori ai 50-40 dB re

1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$ fino ai 20 kHz e tra i 40 e i 20 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$ al di sopra dei 20 kHz (Figure 4.12 e 4.13).

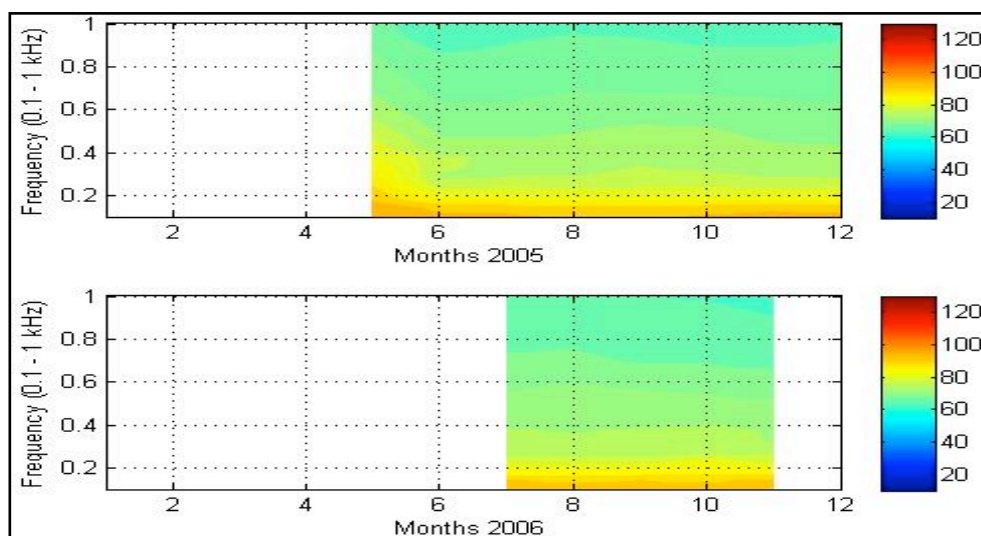


Figura 4.12 . PSD media (dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$) da 0.3 a 1 kHz, in funzione dell'anno, 2005 (in alto) e 2006 (in basso).

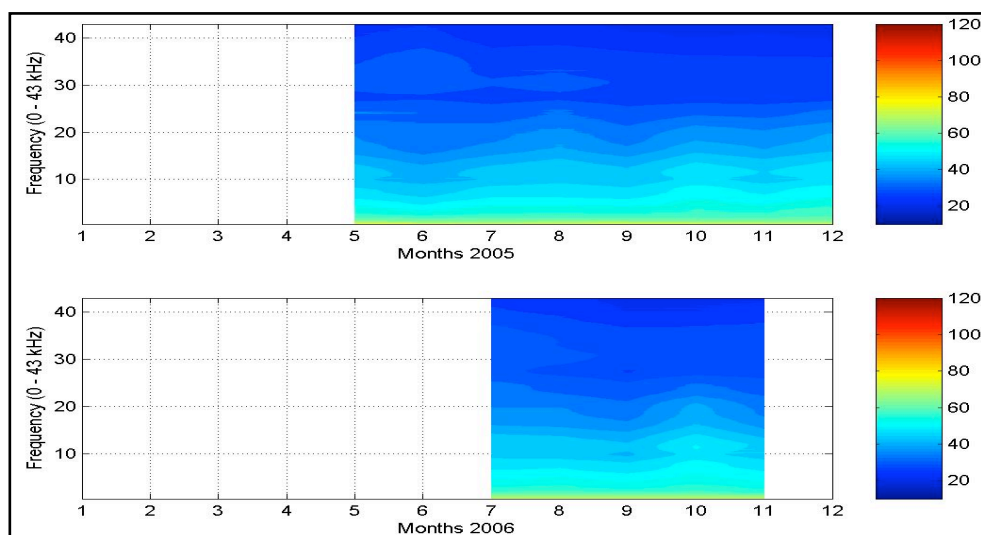


Figura 4.13. PSD media (dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{Hz}^2$) da 1 a 43 kHz, in funzione dell'anno, 2005 (in alto) e 2006 (in basso).

L'analisi dell'andamento del rumore in funzione dell'anno e del mese ha messo in evidenza una maggiore intensità del rumore alle basse frequenze (0.3-1 kHz). Tali frequenze, soprattutto quelle entro 0.5 kHz, sono dominate nella maggior parte degli oceani del mondo dal rumore legato al traffico marittimo e a quello dovuto alle esplorazioni sismiche (Hildebrand, 2009). L'analisi manuale delle registrazioni ha confermato che il rumore continuo da imbarcazioni è costante nei due anni e che in alcuni mesi dell'anno l'incremento dei livelli di rumore è riconducibile a esplosioni legate probabilmente a esplorazioni sismiche. Il rumore a bassa

frequenza ha grandi capacità di propagazione a lunga distanza poiché subisce poco i fenomeni di attenuazione. Quindi, esso potrebbe provenire anche da siti molto lontani dalla stazione acustica.

Il rumore alle medie frequenze (< 25 kHz) è invece dovuto in prevalenza a sorgenti ambientali: vento e moto ondoso. Nei valori medi i livelli di rumore approssimano quelli correlabili alla sola componente ambientale, che sono crescenti con l'aumentare della forza del vento e dello stato del mare. Nei valori massimi invece, prevalentemente in alcuni mesi, i livelli elevati di rumore (> 80 dB) sono riconducibili ad una componente biologica, in particolare, alle vocalizzazioni di capodogli. Altre potenziali sorgenti di rumore alle medie frequenze sono i sonar militari e civili, il rumore delle eliche delle piccole imbarcazioni e alcuni sistemi acustici deterrenti (AHD). L'analisi manuale delle registrazioni ha confermato la presenza, oltre che di capodogli, anche di sonar o pinger di posizionamento acustico, soprattutto in alcuni mesi dell'anno. Il rumore alle medie frequenze ha una minore capacità di propagazione quindi è probabile che esso sia dovuto a sorgenti localizzati a poche decine di chilometri dalla stazione.

A frequenze superiori a 25 kHz, il rumore ambientale è legato essenzialmente all'agitazione termica delle molecole. Le sorgenti antropiche sono solo i sonar impiegati per la detezione di oggetti a ridotta distanza, come ad esempio i *fish finder* impiegati nella pesca. La componente biologica è dovuta alle vocalizzazioni ed ecolocalizzazioni di delfinidi. I valori medi e massimi del rumore alle alte frequenze risultano bassi e dall'analisi annuale non si evidenzia alcuna componente antropica o biologica.

Per poter meglio analizzare l'andamento mensile del rumore, i *plot* della PSD sono stati elaborati mese per mese.

A maggio 2005 si evidenzia l'elevata intensità del rumore massimo alle bassissime frequenze, ciò è legato a rumori di tipo impulsivo e di breve durata (i valori di media e mediana sono infatti da 20 a 30 dB più bassi). Dalle analisi condotte manualmente è risultato la presenza in 43 file di suoni ad alta potenza, tipo esplosioni. Nel plot si osserva inoltre un picco a 24 kHz, che essendo presente anche nei valori medi è probabilmente riconducibile ad un suono ripetuto in più cicli. Considerando la frequenza del picco, è probabile che si tratti di una qualche tecnica di misura per indagini oceanografiche. Nel mese di maggio, le vocalizzazioni di capodoglio sono state registrate nel 57.64% delle slot totali e nel 100% dei giorni di

campionamento (n=20); la frequenza giornaliera ha il valore più alto mai registrato, e ciò è indice di una presenza costante durante tutto il mese. La presenza dei capodogli è evidente nei massimi i quali, nelle frequenze d'interesse (2.5-20 kHz), raggiungono valori da 20 a 30 dB superiori a media, mediana e 95° percentile (Figura 4.14). A giugno 2005 si osserva una differenza dei valori massimi del rumore nelle frequenze comprese tra 2.5 e 20 kHz rispetto alla media e alla mediana, di circa 20 dB re 1 μ Pa²/Hz. Questo incremento è riconducibili alle emissioni di capodogli (Figura 4.15). Le vocalizzazioni di capodoglio sono risultate infatti presenti nel 28.18% delle slot e nel 50% dei giorni di campionamento (n=18). A luglio 2005 la presenza di capodogli è calata al 7.93% delle slot e al 35.48% dei giorni di campionamento (n=31); le vocalizzazioni sono scarse per tutto il mese, ad eccezione degli ultimi giorni (dal 25 al 29). La frequenza è superiore a giugno ma nettamente inferiore a maggio. I valori della PSD paragonabili o leggermente superiori a quelli di maggio e giugno potrebbero indicare una maggiore intensità delle vocalizzazioni, dovuta probabilmente alla vicinanza degli animali alla stazione e/o alla direzionalità dei suoni verso la stazione stessa. (Figure 4.16). Ad agosto 2005 si osservano: una serie di picchi nei massimi tra 1-2.5 kHz, riconducibili ad una serie di esplosioni rilevate nelle analisi manuali, forse dovuti alle attività di navi oceanografiche; un picco a 10 kHz rilevabile solo nelle medie e nei massimi (presente in meno del 5% delle registrazioni, non essendo visibile nel 95° percentile), attribuibile ad un pinger di posizionamento acustico; due picchi deboli e molto vicini a circa 23 kHz, rilevabili in tutti i parametri, di origine sconosciuta; un picco a 33 kHz presente in media e massimi, attribuibile, considerando la frequenza, ad un sonar militare o ad un *trasponder*. I capodogli sono presenti nel 35.89% delle slot e nel 70.97% dei giorni di campionamento (n=31); le vocalizzazioni si registrano in tutto il mese con una certa variabilità. I valori della PSD sono più alti rispetto agli altri mesi, quindi gli animali si sono più vicini alla stazione rispetto ai periodi precedenti (Figura 4.17). A settembre 2005 i valori di PSD non mostrano evidenze di rumori di tipo impulsivo. Le vocalizzazioni di capodoglio sono state registrate nel 9.46% delle slot e nel 29.17% dei giorni di campionamento (n=24) e ciò probabilmente spiega i valori più bassi delle PSD nelle frequenze di interesse (Figura 4.18). A ottobre 2005 non si evidenziano suoni impulsivi. I capodogli sono presenti nel 21.59% delle slot e nel 38.46% dei giorni di campionamento (Figura 4.19). A novembre e dicembre 2005 e a luglio e agosto 2006 si osserva nuovamente il pinger a 10 kHz, negli ultimi tre mesi ad una potenza più elevata rispetto ai precedenti. A novembre le vocalizzazioni di capodoglio sono state contate nel

16.39% delle slot e nel 56.67% dei giorni di campionamento (n=30). La presenza è concentrata nella seconda metà del mese. I valori della PSD sono paragonabili a maggio, che però ha una frequenza giornaliera molto più alta (quindi gli animali dovrebbero essere più vicini alla stazione) (Figure 4.20). A dicembre 2005 i capodogli sono stati registrati nell'8.04% delle slot e nel 14.29% dei giorni di campionamento (n=14). Tali valori e quelli della PSD sono paragonabili a settembre ed inferiori a tutti gli altri mesi (Figura 4.21). A luglio 2006, nel 47.5% delle slot e nel 60% dei giorni di campionamento (n=25) sono stati registrati capodogli. La percentuale è più bassa rispetto a maggio, ma ciò nonostante i valori della PSD sono più alti di maggio stesso, indicando una maggiore vicinanza degli animali alla stazione. Rispetto a luglio dell'anno precedente gli animali quindi sono più frequenti e più vicini alla stazione (Figura 4.22). Ad agosto 2006 i capodogli sono assenti. Tuttavia se confrontiamo i valori della PSD nelle frequenze di interesse con quelli di agosto 2005, in cui i capodogli sono abbondanti, non si osservano differenze significative ad eccezione dei massimi. Ciò indica probabilmente un maggior contributo di rumori di origine ambientale (moto ondoso e vento) (Figura 4.23). Settembre 2006 è caratterizzato da rumore ad elevata intensità alle bassissime frequenze mentre i capodogli sono totalmente assenti (Figure 4.24). A ottobre 2006 i capodogli sono presenti nel 59.96% delle slot e nel 80% dei giorni di campionamento (n=26). I valori medi della PSD risultano maggiori a quelli dei mesi con maggiore presenza di capodogli, soprattutto i massimi, che sono i più alti mai registrati. Infine a novembre 2006 è ancora presente il pinger a 10 kHz e le vocalizzazioni di capodoglio sono evidenti nei valori massimi dalla PSD. I capodogli sono presenti nel 16.99% delle slot e nel 35% dei giorni di campionamento (n=30). Frequenze e valori della PSD sono paragonabili a quelle di novembre 2005 (Figura 4.25).

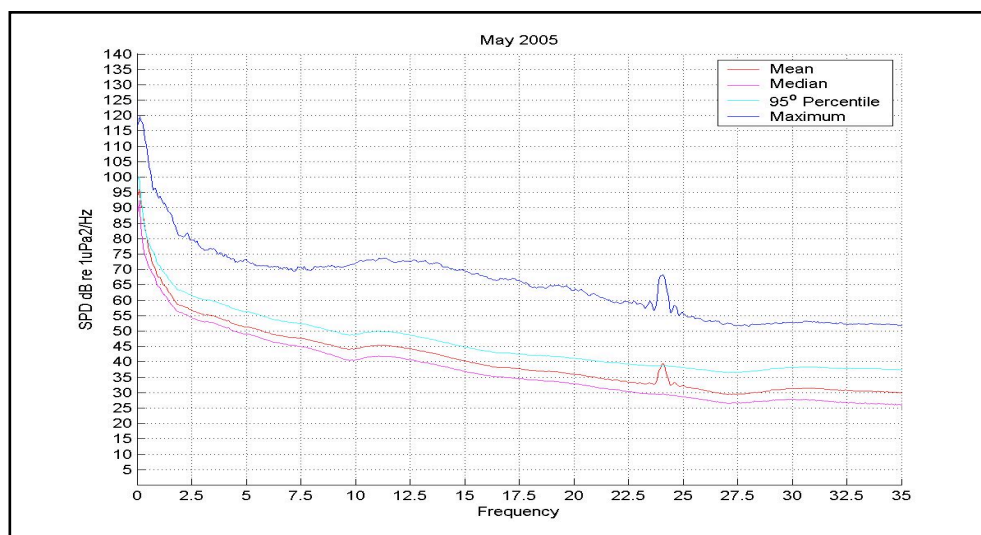


Figura 4.14. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Maggio 2005. Frequenza in kHz.

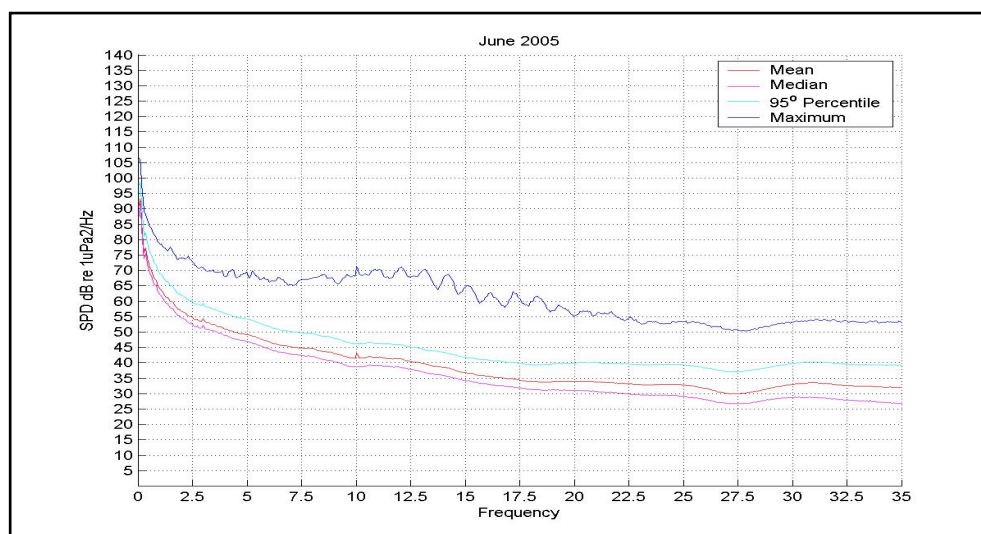


Figura 4.15. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Giugno 2005. Frequenza in kHz.

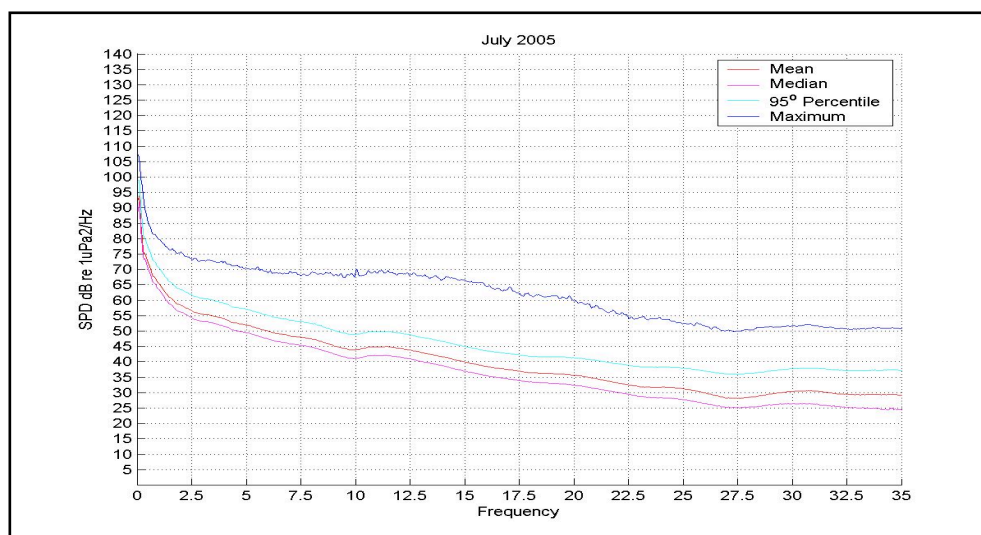


Figura 4.16. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Luglio 2005. Frequenza in kHz.

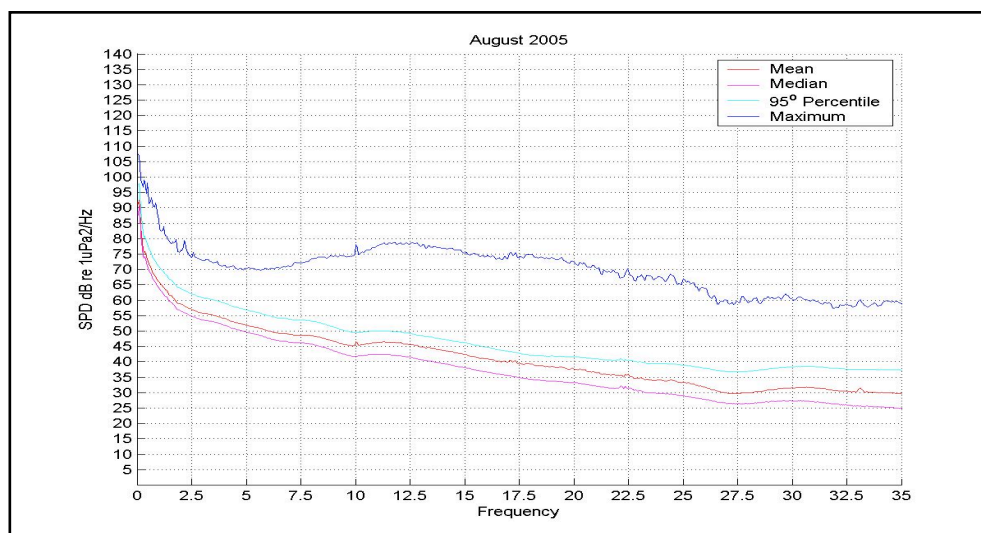


Figura 4.17. Media, mediana, massimo e 95% della PSD ad Agosto 2005. Frequenza in kHz.

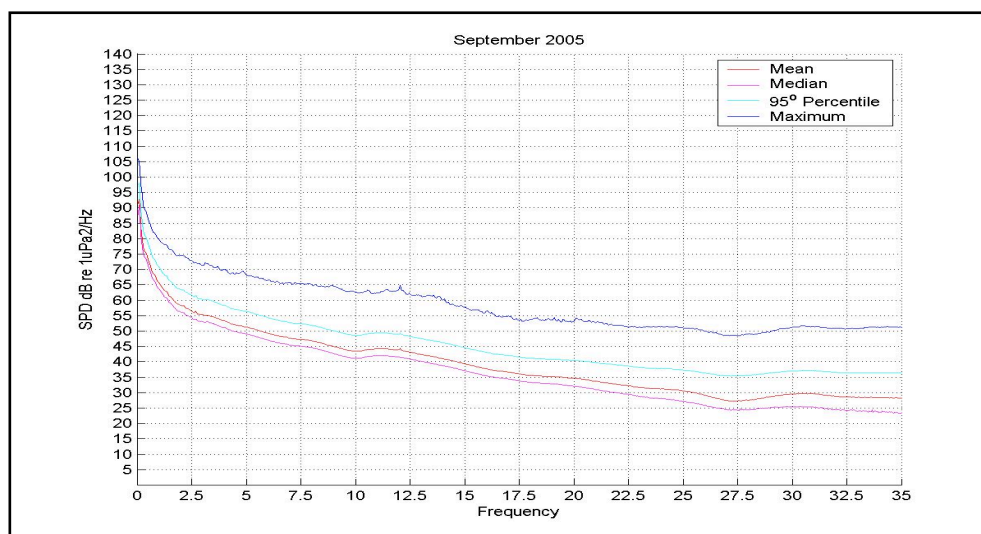


Figura 4.18. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Settembre 2005. Frequenza in kHz.

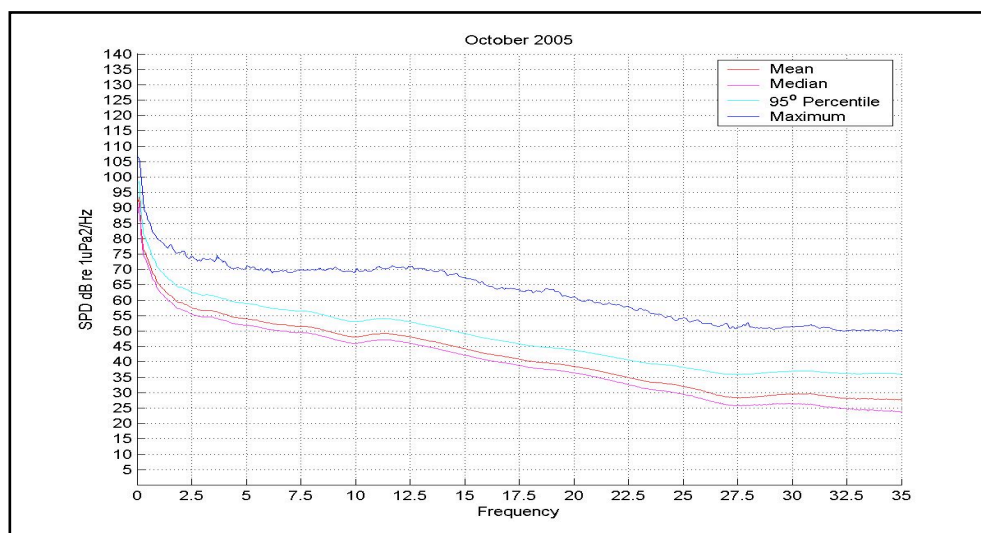


Figura 4.19. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Ottobre 2005. Frequenza in kHz.

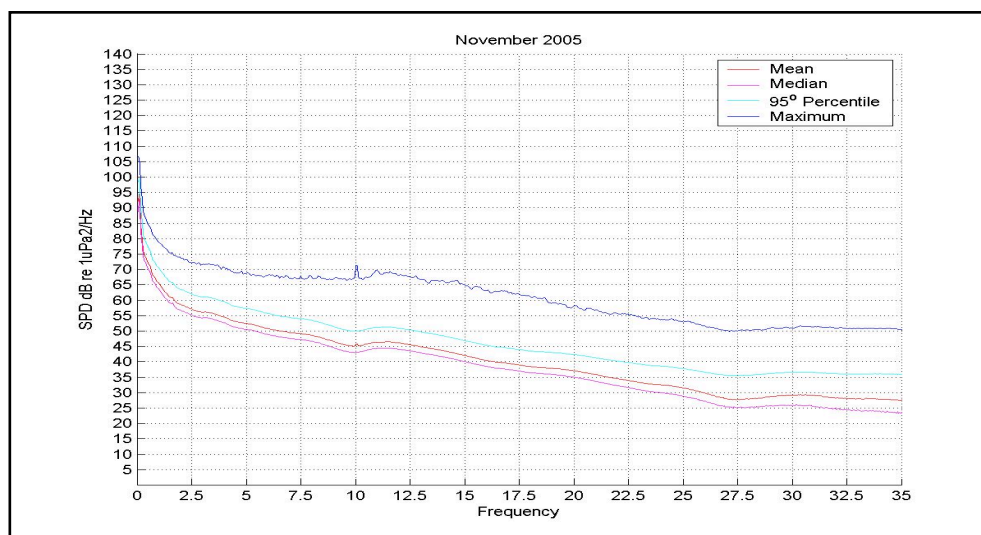


Figura 4.20. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Novembre 2005. Frequenza in kHz.

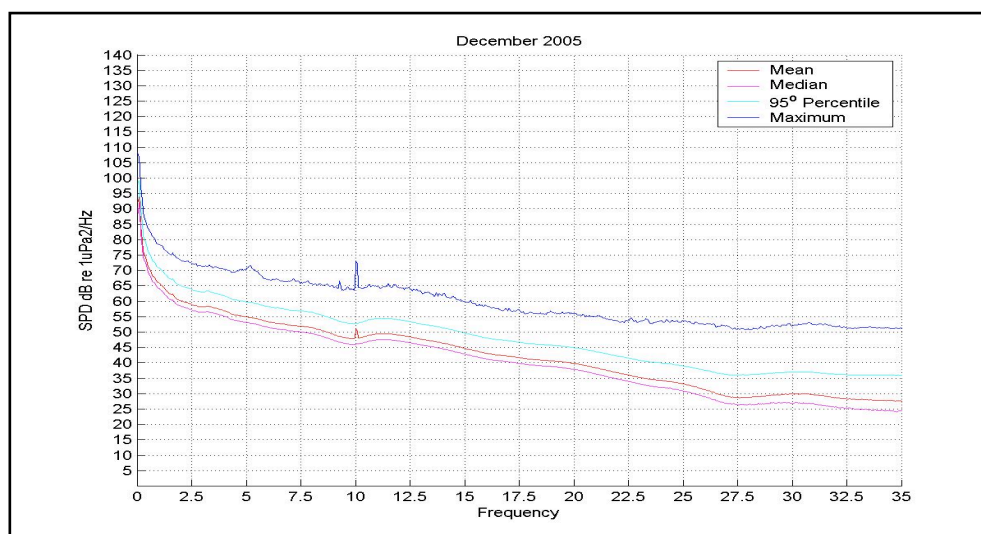


Figura 4.21. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Dicembre 2005. Frequenza in kHz.

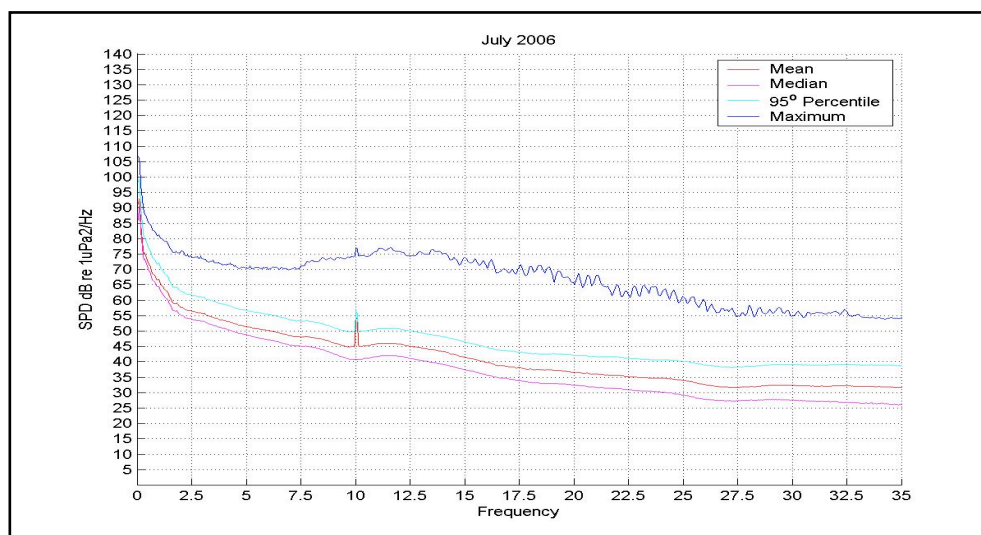


Figura 4.22. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Luglio 2006. Frequenza in kHz.

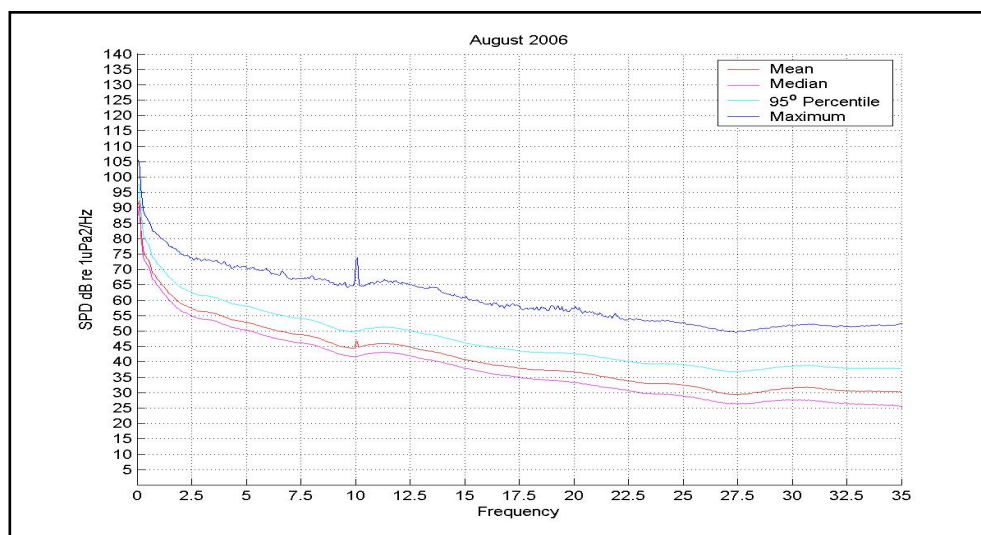


Figura 4.23. Media, mediana, massimo e 95% della PSD ad Agosto 2006. Frequenza in kHz.

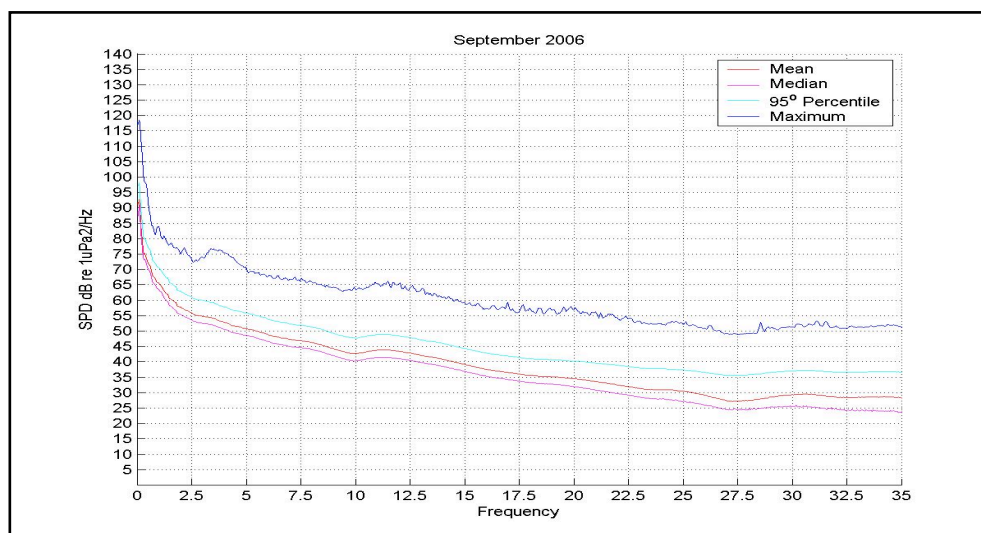


Figura 4.24. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Settembre 2006. Frequenza in kHz.

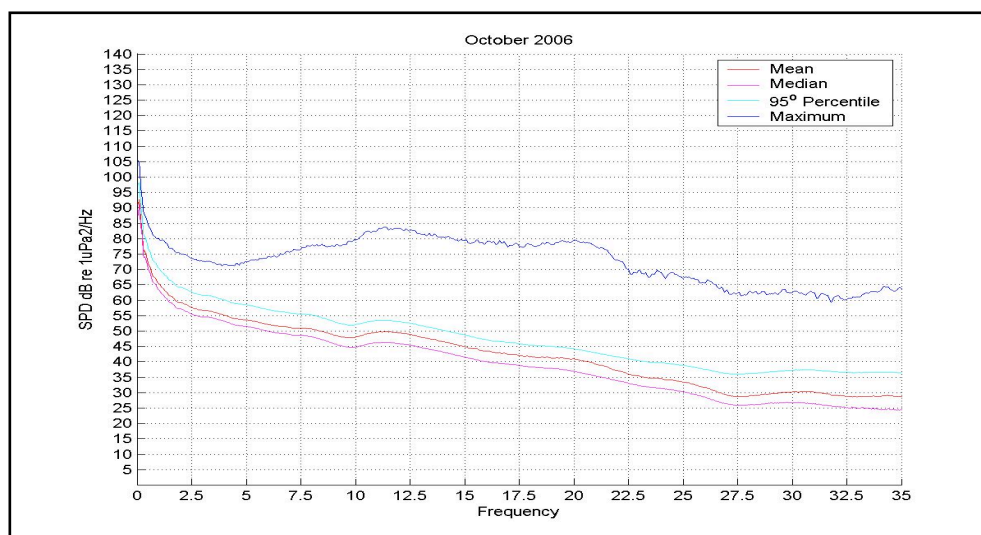


Figura 4.25. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Ottobre 2006. Frequenza in kHz.

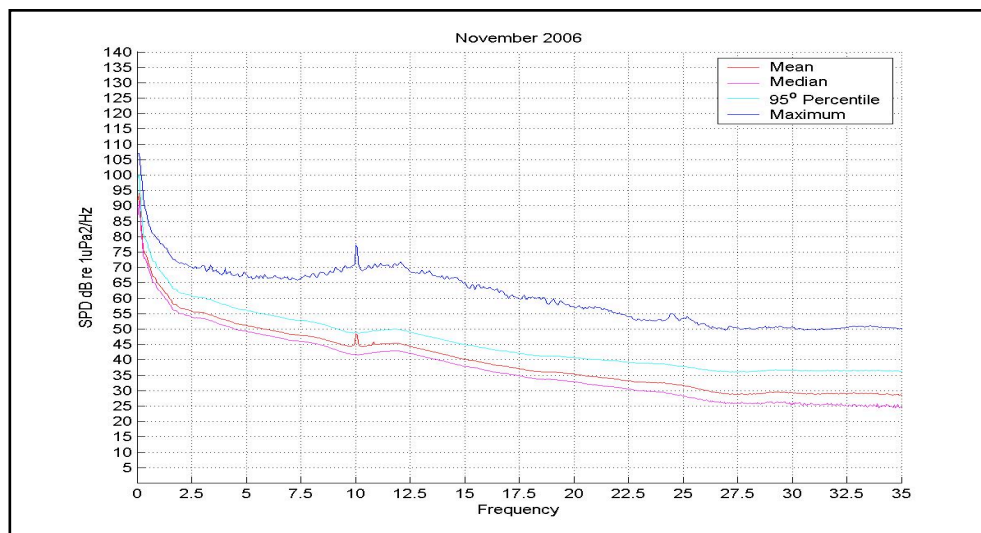


Figura 4.26. Media, mediana, massimo e 95% della PSD a Novembre 2006. Frequenza in kHz.

Per verificare l'andamento del rumore è stata condotta anche un'analisi dell'ampiezza del rumore in bande, tra 0.3 e 1 kHz e tra 1 e 41 kHz.

Nella banda 0.3-1 kHz, sia nei valori medi che nei valori massimi si osserva un andamento piuttosto costante tra le bande e tra i mesi, con la sola eccezione del mese di maggio 2005, in cui il rumore ha un'ampiezza considerevolmente maggiore rispetto agli altri mesi, soprattutto nelle prime due bande di frequenza (da 0.3 a 0.5 kHz). Nei valori massimi si osserva un aumento dell'ampiezza del rumore anche ad agosto 2005 e a settembre 2006, anche in questo caso prevalentemente nelle prime due bande di frequenza (Figura 4.27).

Per quanto riguarda i valori medi dell'ampiezza nell'intervallo 1-41 kHz, si osserva che la prima banda di frequenza, quella principalmente legata al traffico marittimo, assume valori di circa 30-50 mPa superiori rispetto a quelli delle altre bande di frequenza; i valori più alti in questa banda si osservano a maggio e dicembre 2005. Nella seconda, terza e quarta banda i valori medi seguono un andamento mensile costante ma decrescente con il diminuire della frequenza; i valori più alti in queste bande si osservano a ottobre e dicembre 2005 e a ottobre 2006. La banda 21-26 kHz ha un andamento mensile diverso, rispetto alle bande inferiori; i valori più alti si osservano a maggio e dicembre 2005 e ad agosto e ottobre 2006. Le ultime tre bande hanno anch'esse un andamento mensile costante ma decrescente col diminuire della frequenza; i valori più alti si osservano tra giugno e agosto 2005 e tra luglio e agosto 2006 (Figura 4.28).

Per quanto riguarda i valori massimi dell'ampiezza del rumore nell'intervallo 1-41 kHz, nella prima banda di frequenza l'ampiezza assume valori elevatissimi (circa 1000 mPa) nel mese di

maggio 2005, mentre nei mesi successivi oscilla tra 300 a 450 mPa. Dalla seconda all'ottava banda, così come verificatosi nei valori medi, l'ampiezza ha un andamento mensile costante ma decrescente con il diminuire della frequenza; i valori più alti si osservano ad agosto 2005 e a luglio e ottobre 2006 (Figura 4.29).

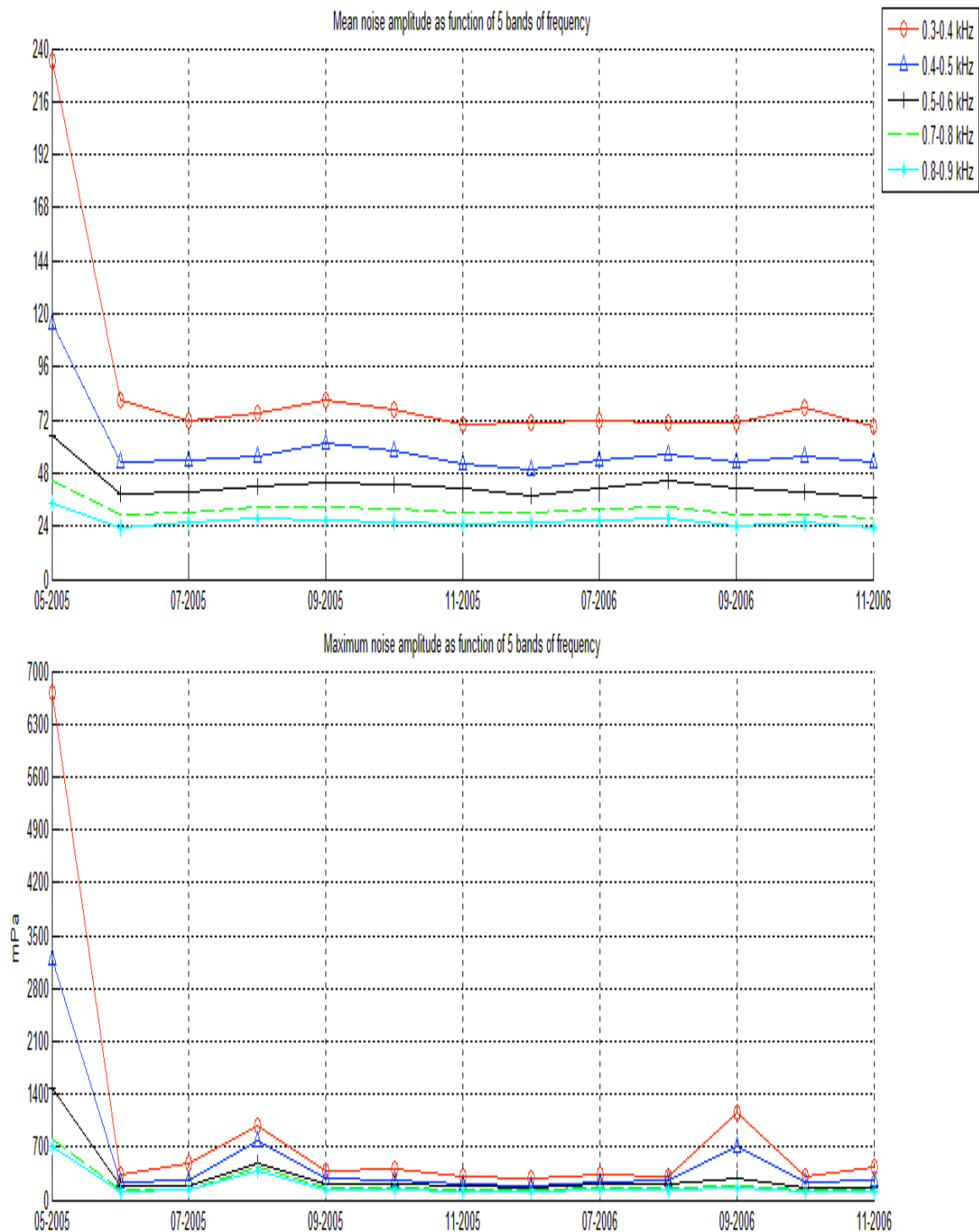


Figura 4.27. Media e massima ampiezza del rumore nelle bande da circa 0.3 a 1 kHz, con intervallo di 0.1 kHz.

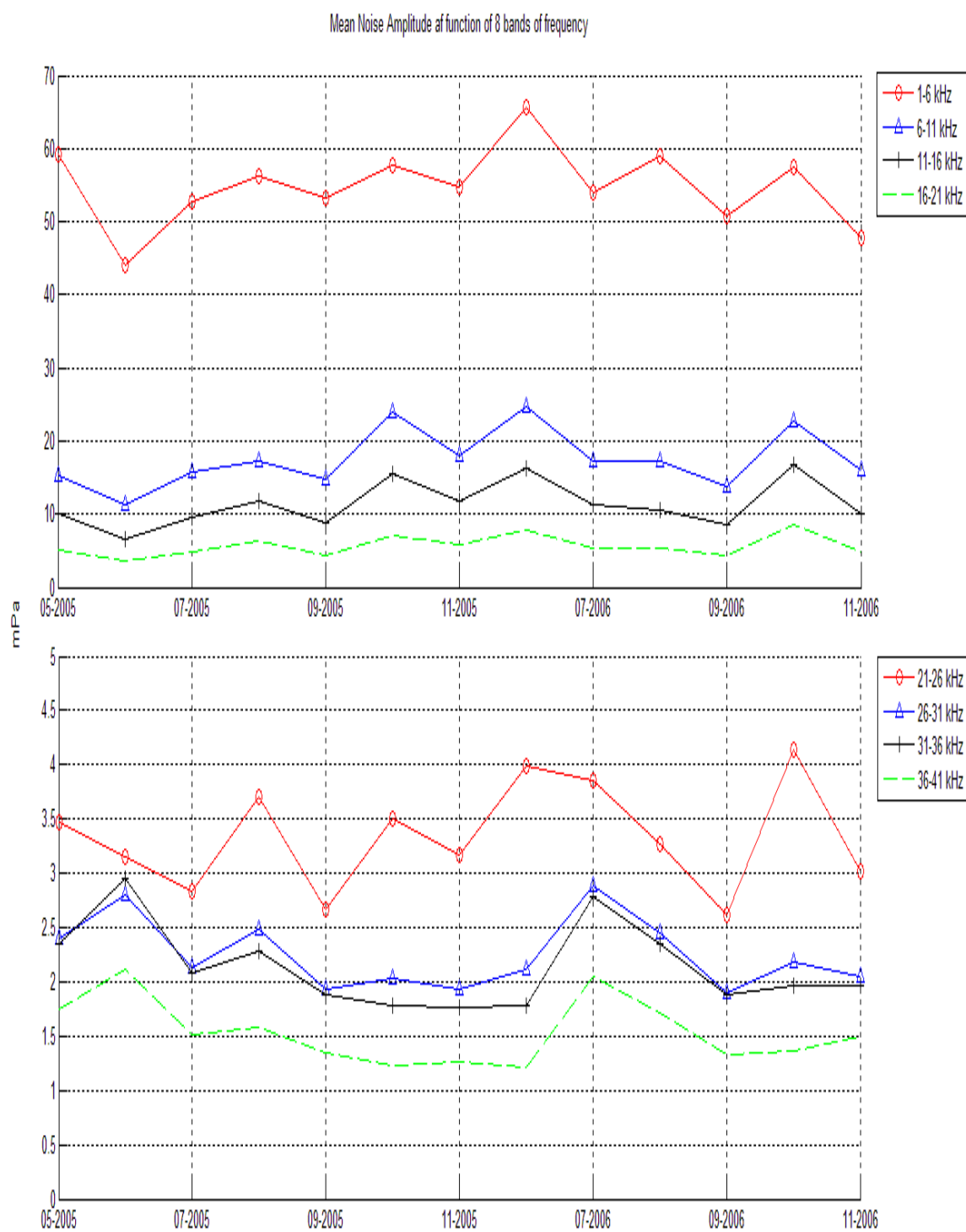


Figura 4.28. Media ampiezza del rumore nelle bande da circa 1 a 41 kHz, con intervallo di 5 kHz.

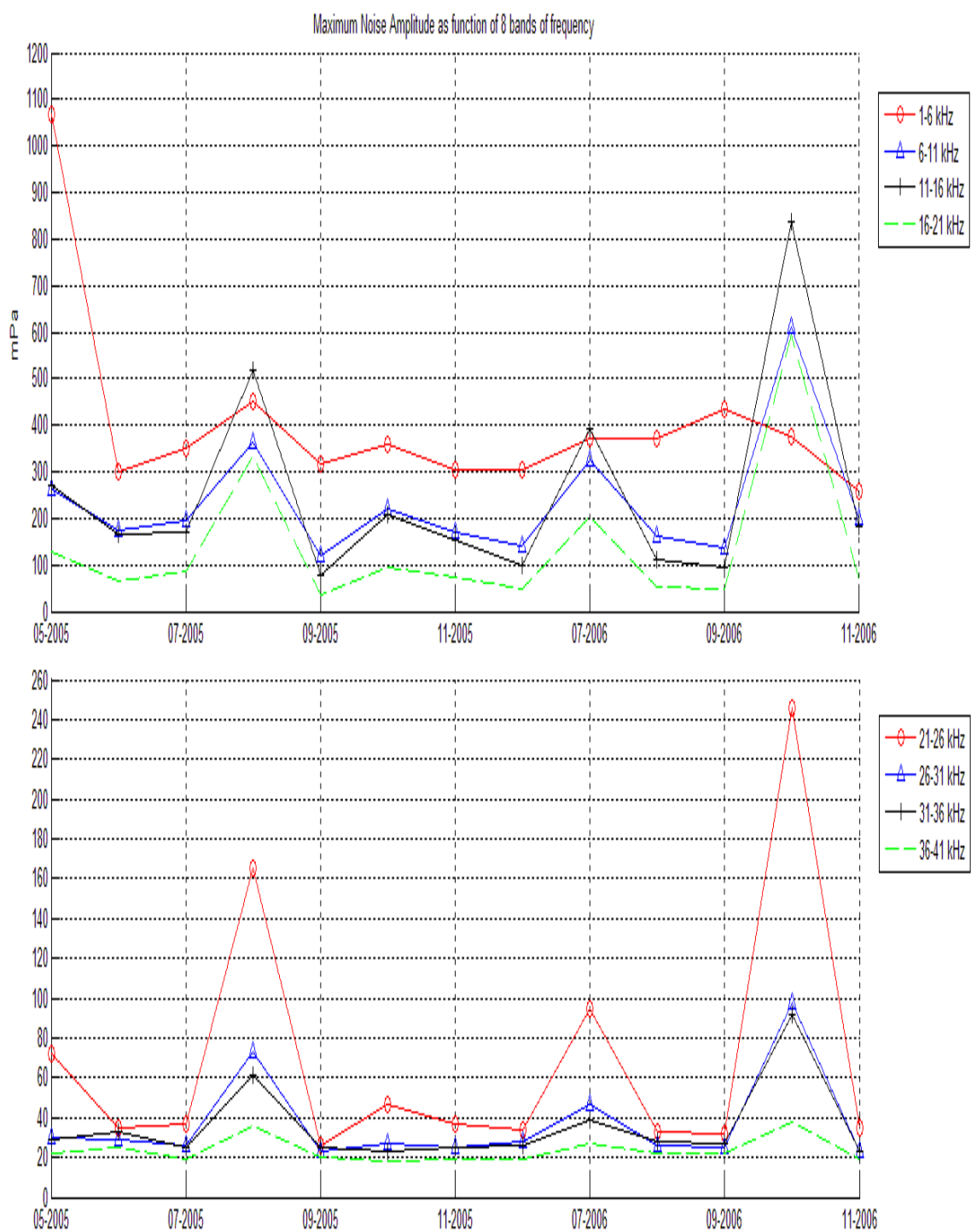


Figura 4.29. Massima ampiezza del rumore nelle bande da circa 1 a 41 kHz, con intervallo di 5 kHz.

L'analisi della potenza spettrale è stata condotta anche su scala giornaliera. Questa procedura ha consentito di individuare i file d'interesse nello studio dell'impatto dei rumori impulsivi sulla presenza e sul comportamento acustico del capodoglio.

Di seguito vengono riportati alcuni esempi a titolo dimostrativo, scelti tra gli oltre 6000 *plot* elaborati. La figura 4.30 mostra una situazione di basso rumore sottomarino e l'assenza di segnali antropici e biologici. Nella figura 4.31 sono evidenziati picchi entro 2.5 kHz, collegati al rumore impulsivo prodotto dall'elica di un'imbarcazione, che si propagano fino a 20 kHz nei valori massimi e fino a 10 kHz in media, mediana e 95° percentile. Nella figura 4.32 si osservano dei picchi alle basse frequenze con un'intensità massima che raggiunge i 140 dB, riconducibili ad una serie di esplosioni, e un segnale impulsivo centrato a 24 kHz che raggiunge una potenza massima di 95 dB, probabilmente dovuto a qualche strumentazione per ricerche oceanografiche. Nella figura 4.33 è evidente un picco a 10 kHz, con una potenza massima di quasi 80 dB, riconducibile ad un pinger di posizionamento acustico. Nella figura 4.34 nei valori massimi e in quelli medi sono evidenti le vocalizzazioni di capodoglio nelle frequenze tra 2.5 e 20-25 kHz. Infine, nella figura 4.35 si può osservare, tra 17.5 e 35 kHz, l'incremento della PSD nei valori massimi e medi, riconducibile alle vocalizzazioni di qualche specie di delfinide.

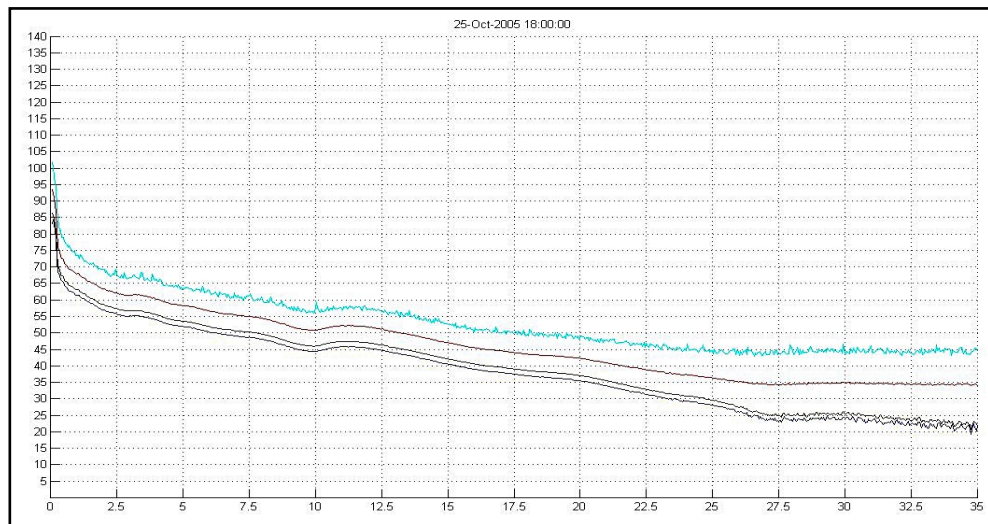


Figura 4.30. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re 1 μ Pa/Hz²) del 12 maggio 2005. Frequenza in kHz.

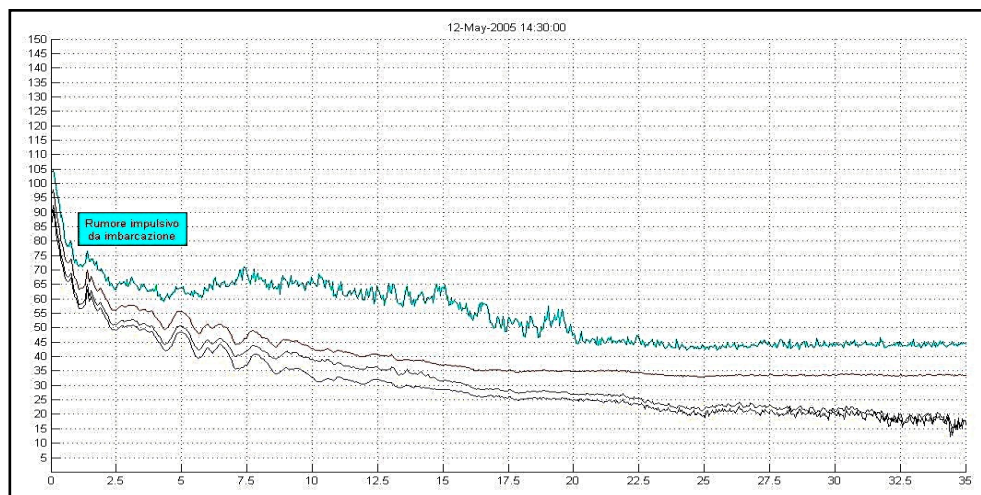


Figura 4.31. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) del 12 maggio 2005. Frequenza in kHz.

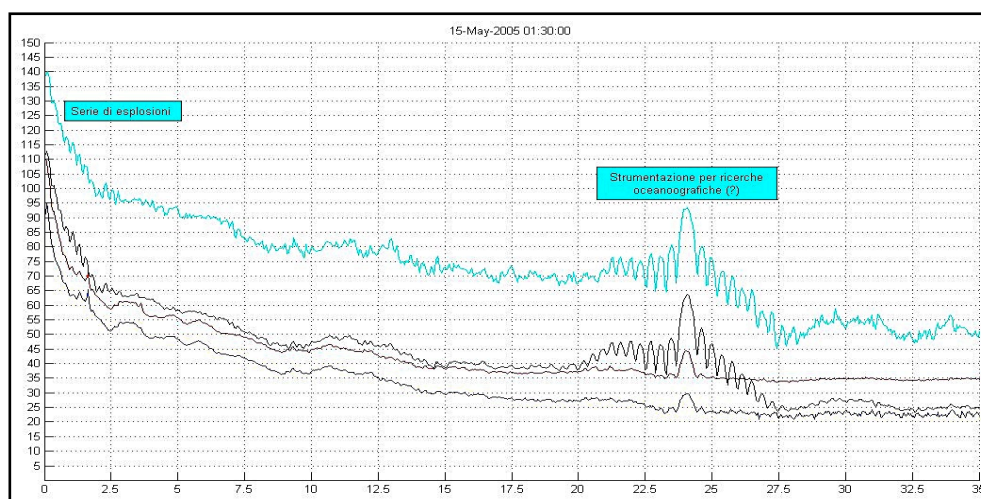


Figura 4.32. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) del 15 maggio 2005. Frequenza in kHz.

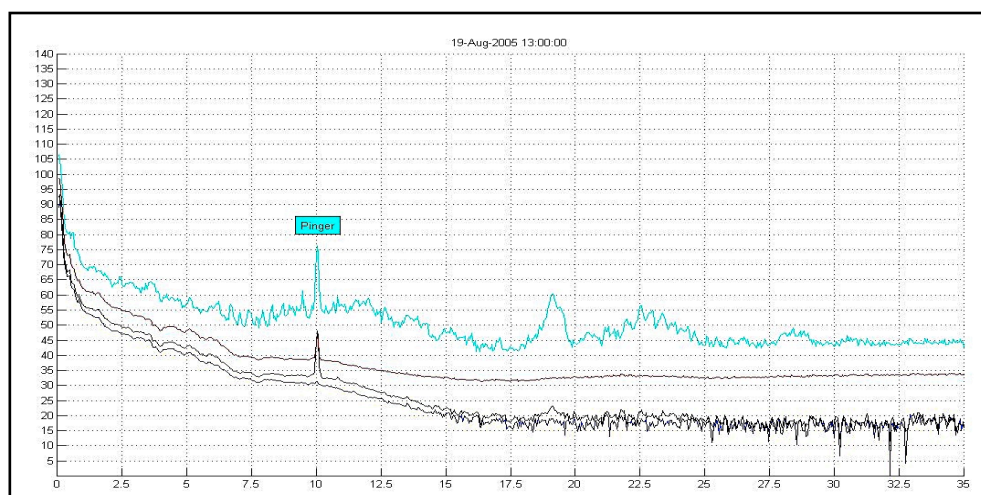


Figura 4.33. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) del 15 maggio 2005. Frequenza in kHz

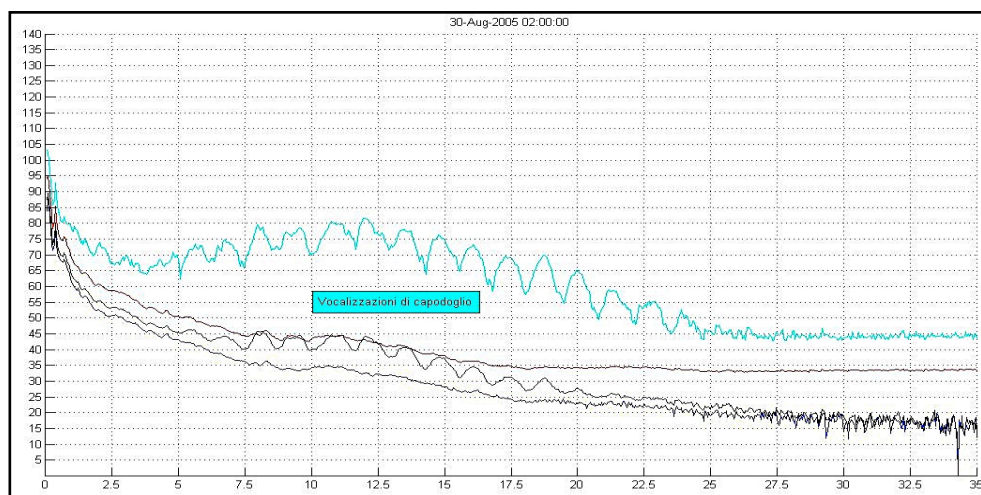


Figura 4.34. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) del 30 agosto 2005. Frequenza in kHz.

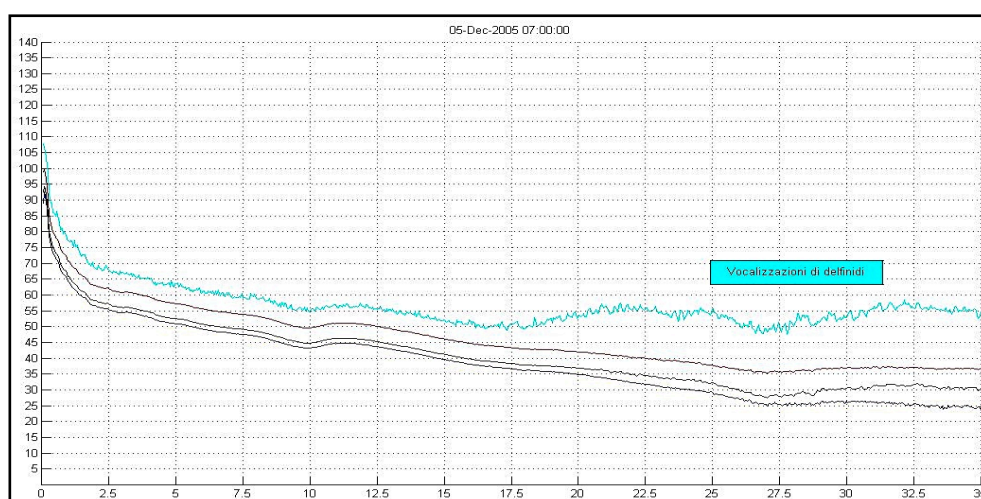
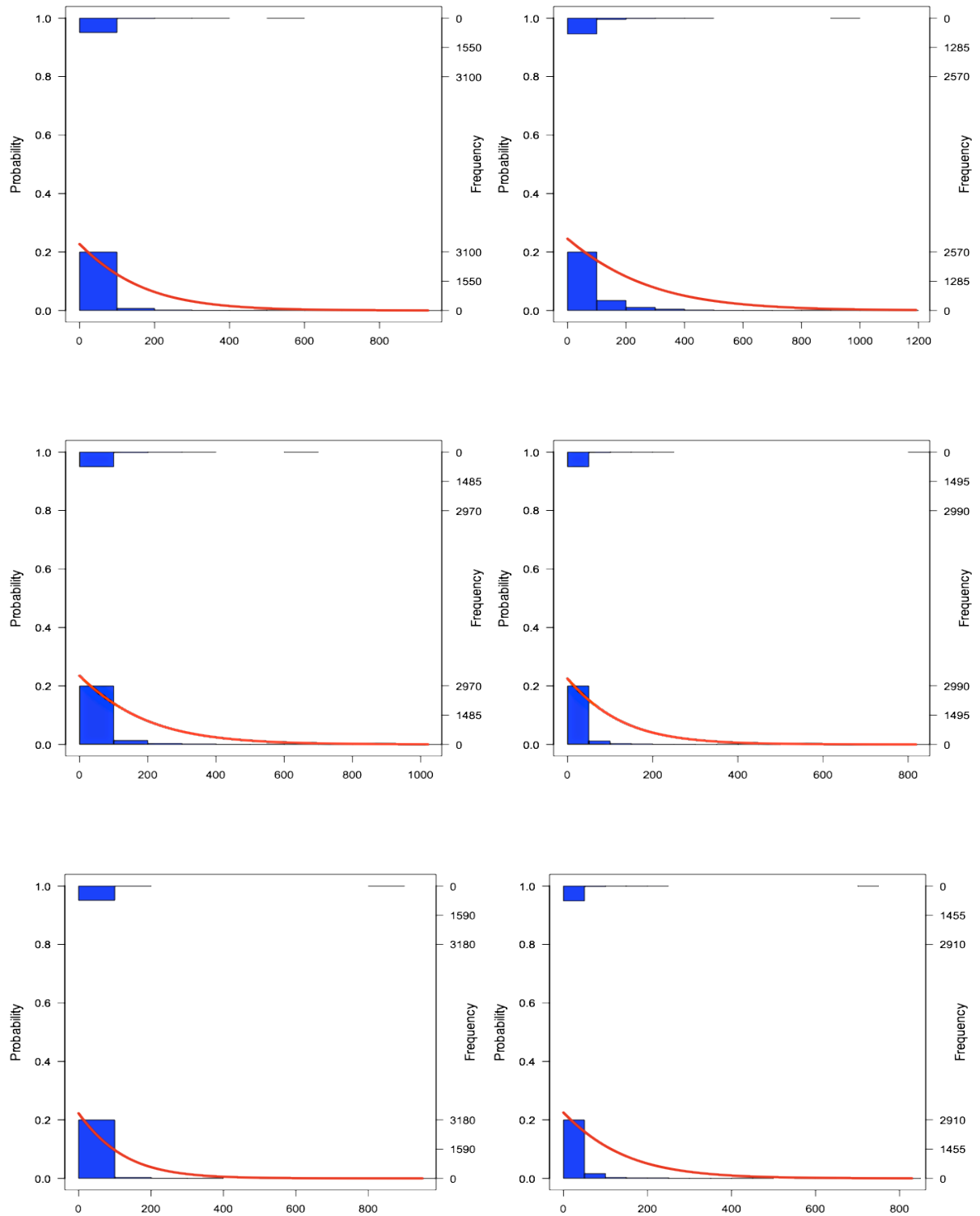


Figura 4.35. Media (nero), mediana (rosso), massimo (ciano) e 95% percentile (blu) della PSD (dB re $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) del 5 dicembre 2005. Frequenza in kHz.

4.4.2 La presenza del capodoglio è influenzata dal rumore sottomarino continuo?

L'assenza/presenza di capodogli è stata testata in funzione di 8 bande di frequenza a intervallo costante utilizzando un modello di regressione logistica. I risultati mostrano una correlazione statisticamente significativa tra la presenza dei capodogli e l'ampiezza del rumore per tutte le bande di frequenza (Tabella 4.6, Figura 4.43). In particolare si osserva che all'aumentare del rumore continuo, la probabilità di trovare capodogli diminuisce. Il modello di regressione lineare mostra invece che non esiste alcuna correlazione tra la percentuale giornaliera di capodogli e l'ampiezza del rumore per nessuna delle bande considerate (Tabella 4.7, Figura 4.44).



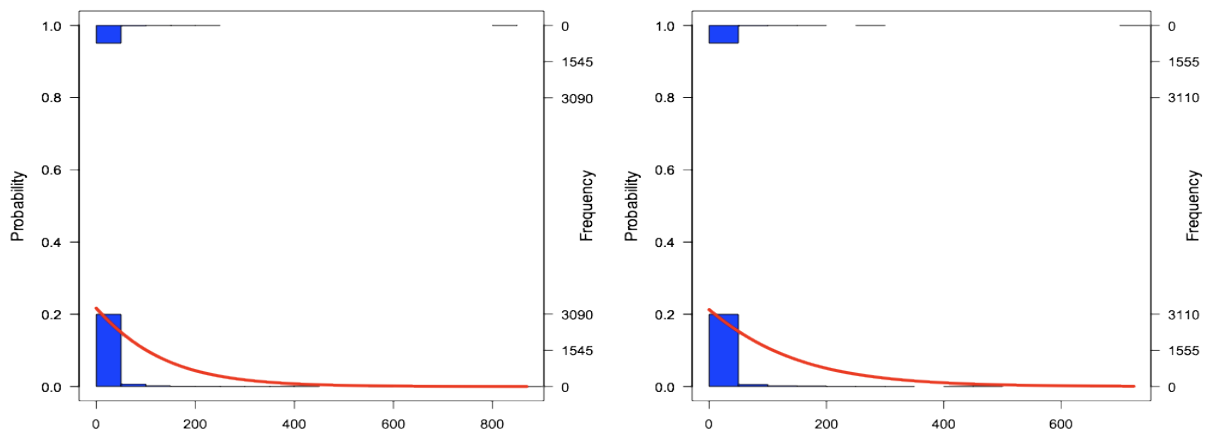


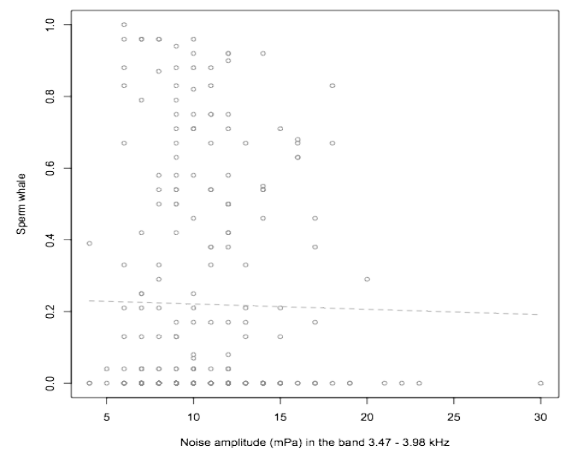
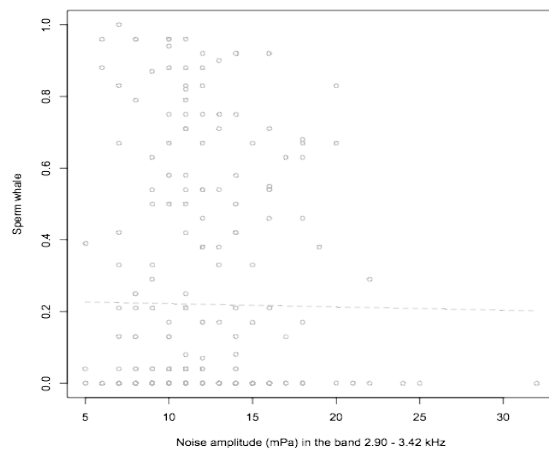
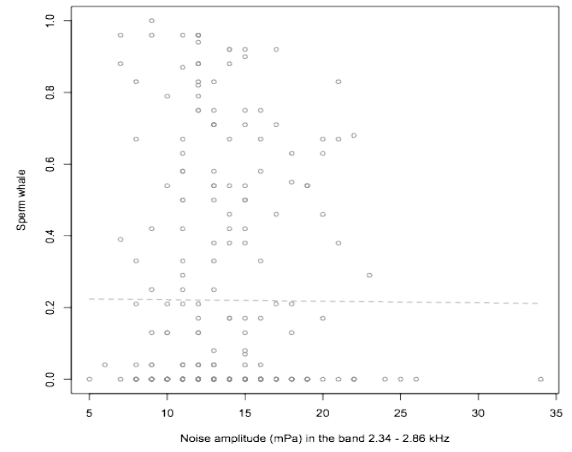
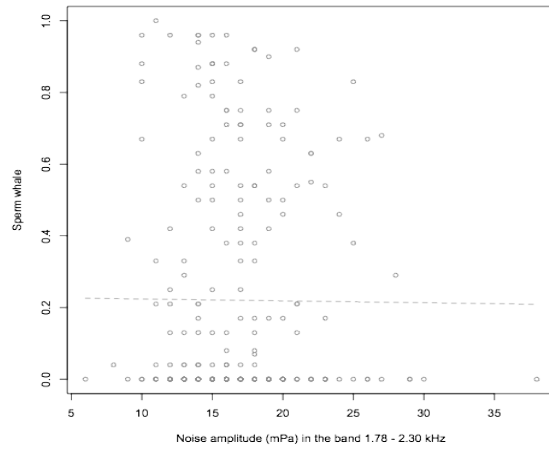
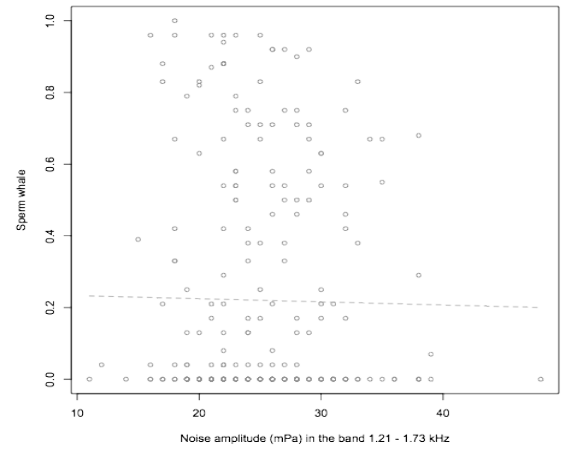
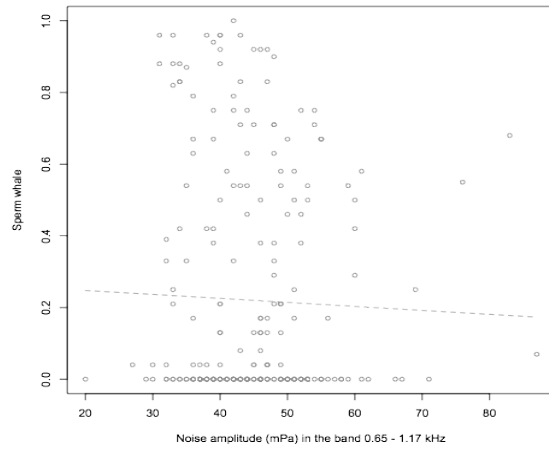
Figura 4.43. Analisi di regressione logistica della presenza di capodogli in funzione dell'ampiezza del rumore per ognuna delle otto bande di frequenza, dalla prima (in alto a sinistra) all'ottava (in basso a destra).

Banda di frequenza	P-value
0.65 - 1.17	< 0.0001
1.21 - 1.73	< 0.0001
1.78 - 2.30	< 0.0001
2.34 - 2.86	< 0.0001
2.90 - 3.42	< 0.0001
3.47 - 3.98	< 0.0001
4.00 - 4.55	< 0.0001
4.59 - 5.10	0.0004

Tabella 4.6. P-value dell'analisi di regressione logistica: presenza del capodoglio in funzione dell'ampiezza del rumore in 8 bande di frequenza.

Banda di frequenza	P-value
0.65 - 1.17	0.62
1.21 - 1.73	0.81
1.78 - 2.30	0.91
2.34 - 2.86	0.93
2.90 - 3.42	0.86
3.47 - 3.98	0.79
4.00 - 4.55	0.97
4.59 - 5.10	0.83

Tabella 4.7. P-value dell'analisi di regressione lineare: percentuale giornaliera del capodoglio in funzione dell'ampiezza del rumore in 8 bande di frequenza.



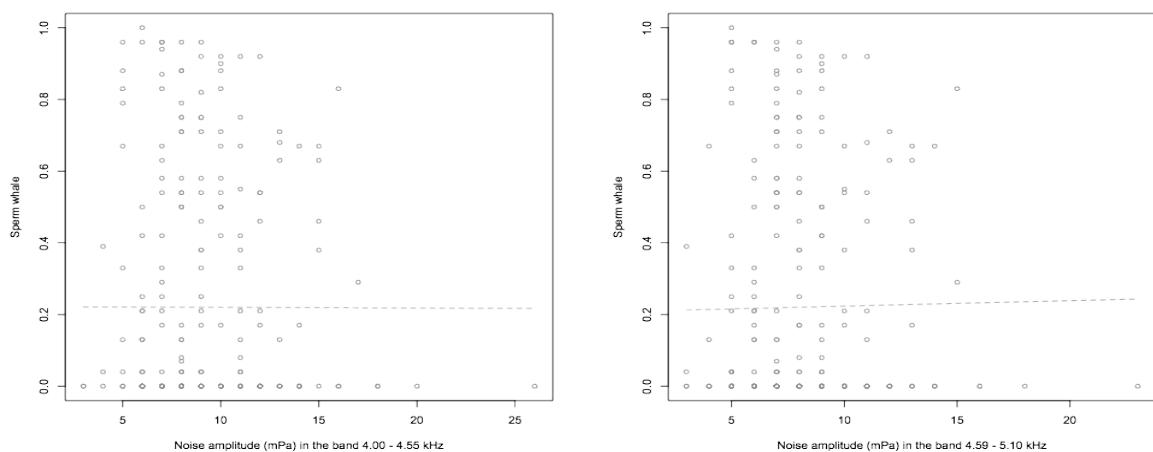


Figura 4.44. Analisi di regressione lineare della percentuale giornaliera capodogli in funzione dell'ampiezza del rumore per ognuna delle otto bande di frequenza, dalla prima (in alto a sinistra) all'ottava (in basso a destra).

L'analisi di regressione logistica è stata realizzata per verificare se la presenza dei capodogli è influenzata dal rumore sottomarino, ipotizzando un aumento del disturbo legato all'incremento del rumore. I risultati confermano questa ipotesi: la probabilità di trovare capodogli diminuisce con l'aumentare dell'ampiezza del rumore. L'analisi di regressione lineare non ha evidenziato invece alcuna correlazione tra i livelli di rumore continuo e la percentuale giornaliera di capodogli. Questo risultato, integrato al precedente, indica che il rumore può influenzare l'uso dell'habitat dei capodogli ma, quando altri fattori intervengono nella scelta di un sito, i capodogli vi rimangono indifferentemente dal rumore sottomarino che sono costretti a subire. Alcuni studi ad esempio hanno evidenziato una correlazione negativa tra presenza di capodogli e temperature: i capodogli sembrano preferire acque fredde che potrebbero fornire un habitat migliore per le loro prede (Rendell et al. 2004, Embling 2008). Inoltre la probabilità di trovare capodogli è influenzata, oltre dalle caratteristiche topografiche del fondale, anche dall'occorrenza di fenomeni di *upwelling* di acque calde (Whitehead et al. 1989, Smith & Whitehead 1993). In conclusione, il permanere degli animali in prossimità della stazione potrebbe dipendere da una serie di cause che agiscono in maniera sinergica. Per poter meglio interpretare questo risultato sarebbe quindi necessario integrare ai dati di presenza della specie, non solo quelli relativi all'impatto antropico, ma anche quelli di tipo oceanografico e biologico.

L'interpretazione del risultato trovato è complicata inoltre dall'assenza di informazioni relativamente alla posizione esatta degli animali e ai valori di rumore da loro effettivamente

ricevuti. Tuttavia, esso fornisce una prima indicazione relativamente all'impatto del rumore continuo su questa specie, aspetto mai studiato in precedenza. Per quanto si conosce, un solo altro studio ha cercato di mettere in relazione la rumorosità di siti diversi con il comportamento acustico dei capodogli. Walker (2005) ha riscontrato una riduzione dell'attività acustica dei capodogli in periodi di massimo rumore in uno dei tre siti di campionamento studiati e subito dopo il verificarsi di eventi rumorosi, suggerendo che un aumento del traffico marittimo nel Golfo del Messico ha il potenziale di alterare il comportamento dei capodogli, compreso il loro uso dell'habitat.

4.4.3 La presenza del capodoglio è influenzata dal rumore sottomarino impulsivo?

Dall'intero campione sono stati selezionati 1387 file, 1148 dei quali contenevano capodogli. Il campione selezionato e la sua percentuale rispetto al campione totale di registrazioni raccolte da OnDe e le relative percentuali di file contenenti esplosioni (E), sonar/pinger (S/P) e capodogli (SW) sono illustrate nella tabella 4.8.

Campione	Anno	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
N	2005	93	27	190	238	62	148	102	34
	2006	0	0	170	7	0	283	33	0
%	2005	26.4%	20.8%	25.7%	32.0%	11.0%	24.6%	52.4%	10.1%
	2006	nd	nd	46.1%	1.2%	0.0%	60.3%	10.9%	nd
Campione	Anno	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
E	2005	66.7%	51.9%	58.9%	4.6%	6.5%	11.5%	5.4%	26.5%
	2006	nd	nd	0.0%	57.1%	0.0%	0.0%	0.0%	nd
S/P	2005	6.5%	11.1%	4.2%	3.8%	9.7%	6.8%	12.5%	8.8%
	2006	nd	nd	0.6%	42.9%	0.0%	1.4%	0.0%	nd
SW	2005	54.8%	55.6%	42.6%	90.3%	83.9%	90.5%	89.2%	70.6%
	2006	nd	nd	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	72.7%	nd

Tabella 4.8. Dimensione del campione ($n=1387$) e sua percentuale rispetto al campione totale ($n=6345$); percentuale di file contenenti esplosioni, sonar/pinger e capodogli rispetto al campione selezionato.

La percentuale dei capodogli è risultata associata alla percentuale di presenza delle esplosioni (*Pearson's Chi-squared test con Yates' correzione di continuità*, $X\text{-squared} = 757.9385$, $df = 1$, $p\text{-value} < 0.001$); in particolare, la probabilità di trovare capodogli decresce in presenza di esplosioni (Figura 4.45). Lo stesso risultato è stato trovato in caso di sonar/pinger (*Pearson's*

Chi-squared test con Yates' correzione di continuità, $X\text{-squared} = 112.2831$, $df = 2$, $p\text{-value} < 0.001$) (Figura 4.45). Il *Pearson's Chi-squared test* è stato applicato anche per verificare se la presenza di capodogli è associata a suoni impulsivi, ma in maniera diversa tra individui solitari e gruppi. La percentuale di gruppi in presenza sia di esplosioni che di sonar/pinger è risultata più bassa rispetto che in presenza di individui solitari o in assenza di individui (*Pearson's Chi-squared test con Yates' correzione di continuità*, $X\text{-squared} = 757.355$, $df = 2$, $p\text{-value} < 0.001$; *Pearson's Chi-squared test con Yates' correzione di continuità*, $X\text{-squared} = 100.6999$, $df = 2$, $p\text{-value} < 0.001$) (Figure 4.46).

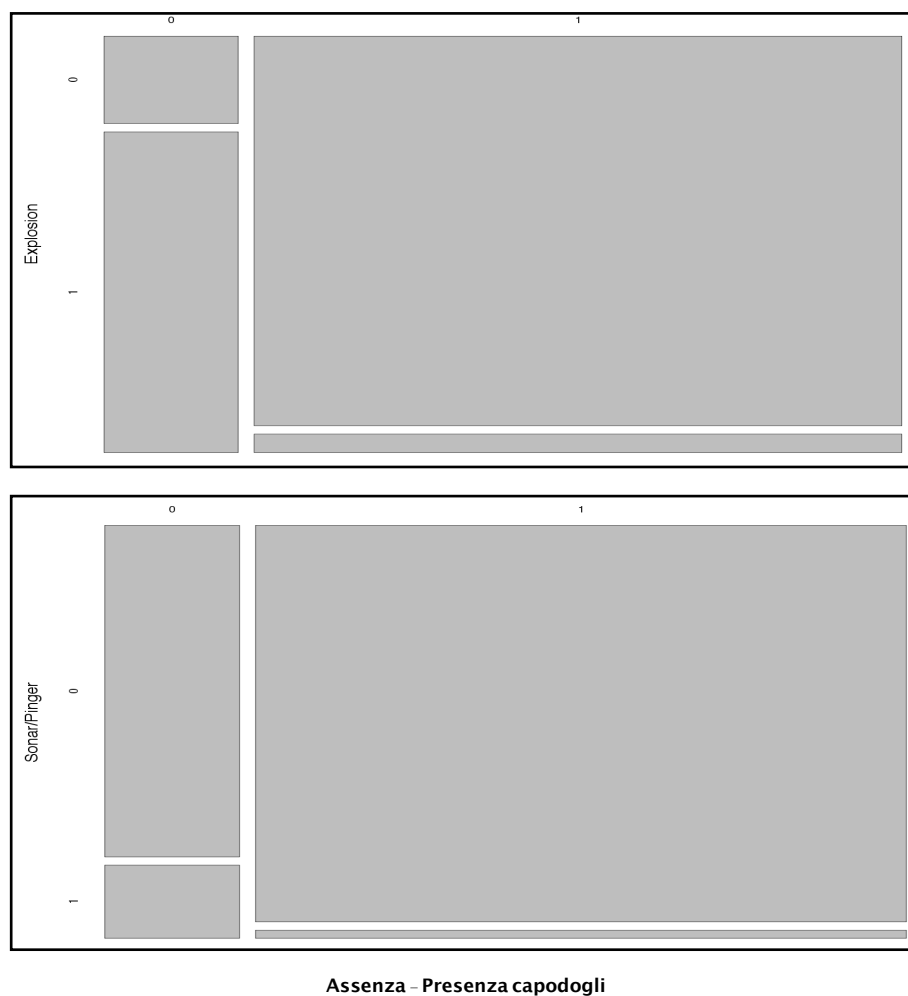


Figura 4.45. Assenza (0), presenza (1) di capodogli associata all'assenza (0), presenza (1) di esplosioni (in alto) e sonar/pinger (in basso).

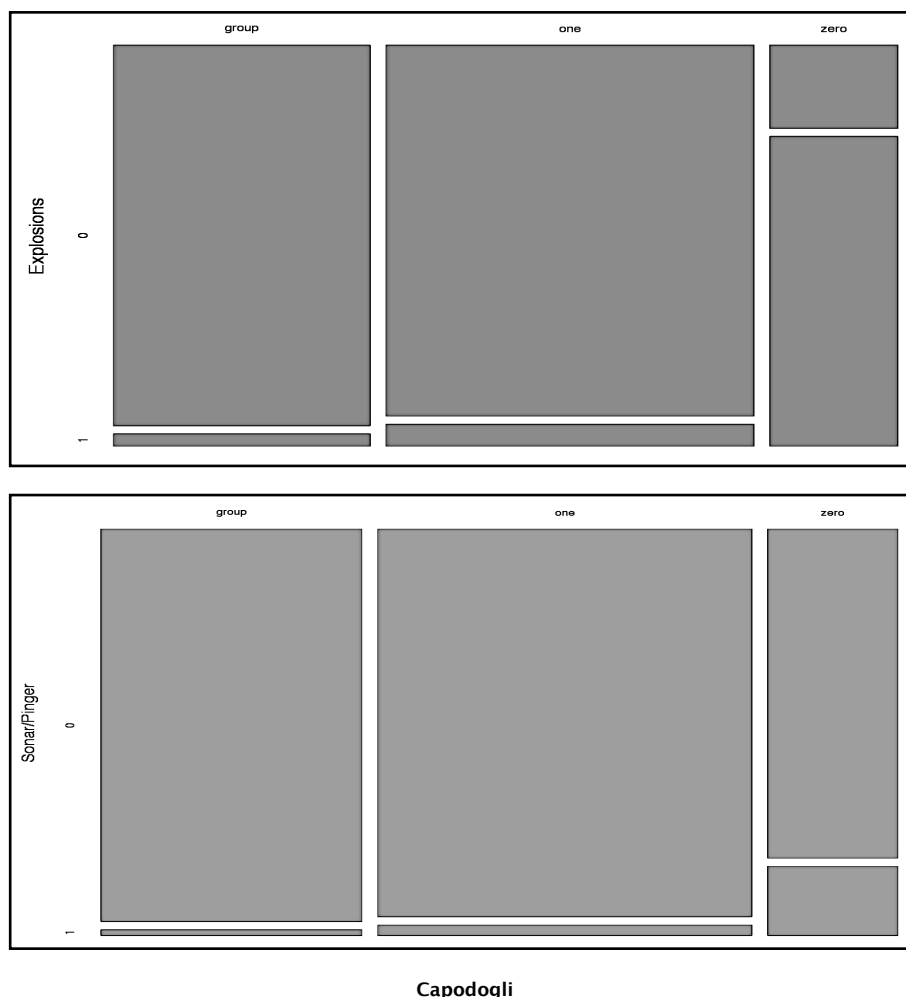


Figura 4.46. Presenza di gruppi di capodogli (*group*), di individui solitari (*one*) e assenza di capodogli (*zero*) associata all'assenza (0), presenza (1) di esplosioni (in alto) e sonar/pinger (in basso).

Così come evidenziato precedentemente nel caso di rumore continuo, anche in presenza di rumori di tipo impulsivo la probabilità di presenza dei capodogli diminuisce. La risposta è maggiormente evidente nel caso di gruppi che di individui solitari. Ciò è probabilmente dovuto alla struttura dei gruppi di capodogli, costituiti principalmente da femmine accompagnate da giovani o cuccioli. La tolleranza a questi suoni potrebbe essere minore quando insieme agli adulti ci sono individui più piccoli e deboli, così come è stato riscontrato altre volte in letteratura (Megalhaes et al. 2002; Andr  et al. 1997).

4.4.4 Il comportamento acustico del capodoglio cambia in presenza di suoni impulsivi?

Per verificare la risposta comportamentale dei capodogli al rumore impulsivo è stato verificato se essi: i) smettono di vocalizzare o modificano il tipo di vocalizzazione dopo un suono impulsivo; ii) cambiano ritmo e regolarità della sequenza di *click*.

Interruzione e modifica del tipo di vocalizzazione

In nessuno dei file selezionati e analizzati i capodogli hanno mostrato di cessare l'emissione di *click* o di cambiare il tipo di vocalizzazione in risposta all'emissione di un suono impulsivo, ad eccezione di tre casi che vengono di seguito descritti.

1. Nel file 20050817_210000 sono presenti 8 pinger centrati a 10 kHz, ripetuti con ritmo costante nell'arco di 60 sec. Precedentemente all'emissione dei pinger si ascoltano i *regular click* di un capodoglio. Dopo il primo suono impulsivo, il capodoglio interrompe la sequenza di *click* ed emette un coda del tipo 4+1 per poi rimanere in silenzio per tutto il resto del file.
2. Nel file 20050818_040000 si ascoltano due capodogli che emettono *regular click* contemporaneamente. Dopo l'emissione di 2 pinger centrati a 10 kHz, in un intervallo temporale di 10 sec, uno dei due individui smette di vocalizzare per riprendere l'emissione di *click* 30 sec dopo.
3. Nel file 20050819_210000, inizialmente privo di vocalizzazioni di capodoglio, ad 1 min 50 sec si sente un pinger centrato a 10 kHz. Dopo circa 50 sec si sente un capodoglio emettere una serie di 8 *chirrup*; il capodoglio si azzittisce successivamente per tutto il resto del file.

Risposte simili all'improvvisa emissione di rumori impulsivi sono state riscontrate anche in altri studi. Watkins et al. (1985) avevano evidenziato l'interruzione delle emissioni di coda e un'improvvisa emersione in risposta all'emissione di un sonar. Watkins and Schevill (1975) invece avevano riscontrato l'interruzione delle vocalizzazioni di capodogli in risposta ad un pinger (6-13 kHz; SL 110-130 dB re 1 mPa @ 1m). Infine Andr  et al. (1997) avevano riscontrato una reazione di allerta nei capodogli in superficie in risposta ad un pinger di 10 kHz (SL 180 dB re 1 mPa).

In questo studio, solo in 3, dei 63 casi analizzati,   stata riscontrata una risposta d'interruzione o cambiamento della vocalizzazione successiva all'emissione di un sonar/pinger. In generale quindi sembrerebbe che questo tipo di suoni impulsivi non suscita nei capodogli questo tipo di reazione. I tre casi eccezionali trovati potrebbero essere spiegati da una maggiore vicinanza degli animali alla sorgente che ha emesso i suoni, e quindi a una maggiore intensit  del segnale ricevuto, oppure a una variabilit  legata all'individuo (stato di salute, stato comportamentale, presenza di cuccioli).

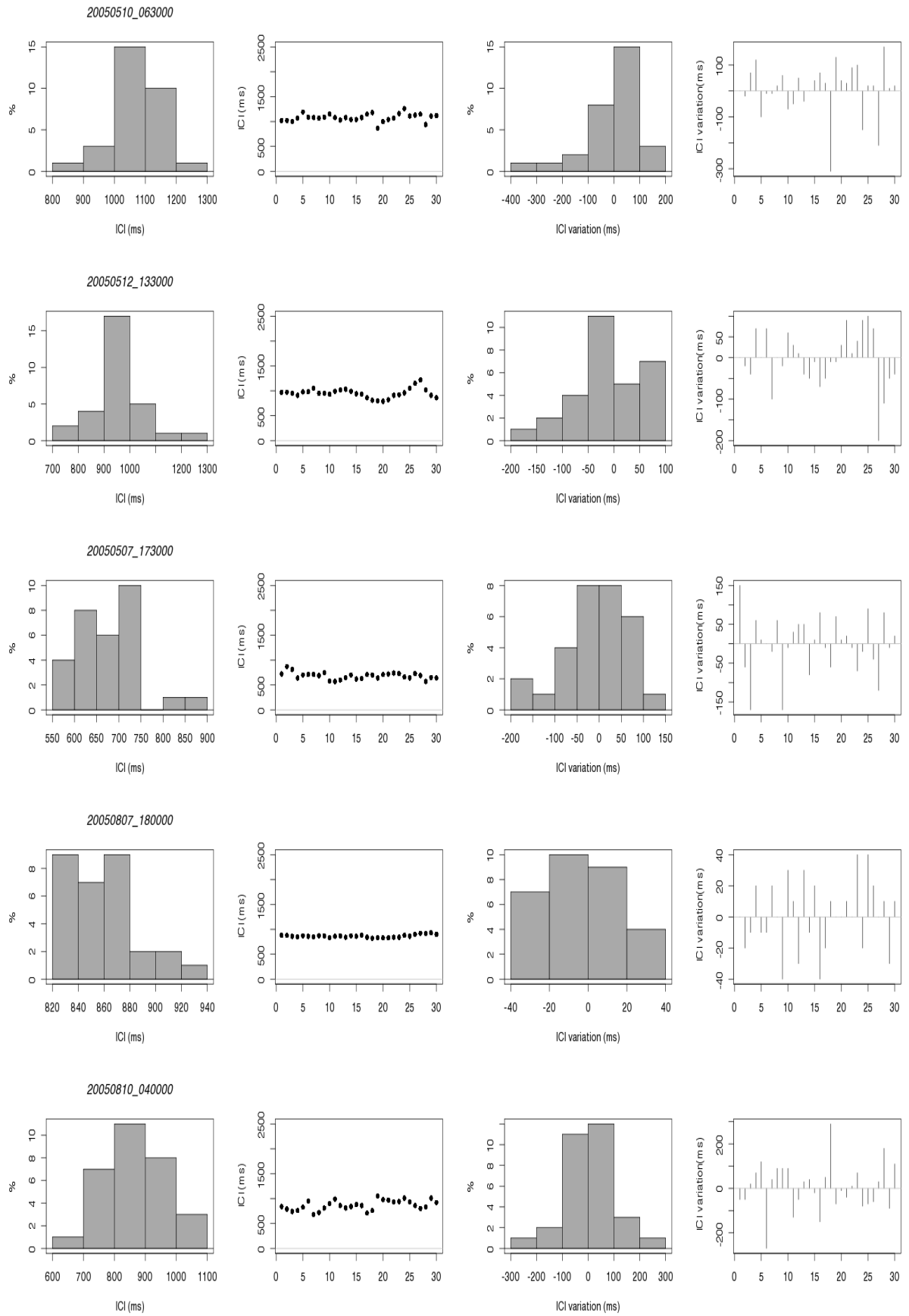
Cambiamento di ritmo e regolarità della sequenza di click

Dall'intero campione di registrazioni sono stati selezionati 10 casi studio di controllo e 9 casi studio di impatto. Nelle sequenze controllo, quelle cioè prive di suoni impulsivi, ICI e ICI *variation* appaiono distribuiti normalmente in tutte le sequenze, ad eccezione rispettivamente della 7° e della 10° e della 1° e della 10°. I valori di ICI vanno da un minimo di 480 ms a un massimo di 1260 ms, con valori medi compresi tra poco più di 500 ms e circa 1000 ms. Osservando la sequenza temporale degli ICI di ogni caso si osserva una certa regolarità nell'andamento, evidente nella bassa variabilità tra le misure ($ds < \pm 130$ ms), ad eccezione del file 20050810-040000. Questo file è anche l'unico in cui è risultata una differenza statisticamente significativa nell'ICI e nell'ICI *variation* tra i due intervalli di 15 *click* casualmente definiti. L'entità della differenza media tra i due intervalli è inferiore ai 100 ms. L'ICI *variation*, che è una misura della differenza tra un ICI e il successivo, assume in ogni sequenza valori molto bassi, inferiori in media ai 10 ms, e raramente superiori ai 100 ms. Come si può osservare nella figura 4.39, la distribuzione di frequenza dell'ICI *variation* è solitamente simmetrica intorno allo zero (Tabella 4.9, Figura 4.47), indicando una scarsa differenza tra ICI e quindi una buona regolarità nel *pattern* di emissione dei *clicks*. L'analisi delle sequenze controllo ha consentito di verificare che all'interno di un periodo temporale ristretto (circa 20 sec) le sequenze dei *click* hanno un ritmo costante e regolare. Ciò è conforme a quanto riscontrato in altri studi, ad esempio Teloni et al. (2005).

Statistica descrittiva		1		2		3		4		5 *	
		1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30
ICI	<i>media</i>	1070	1091	974	934	688	677	861	868	827	904
	<i>ds</i>	50	98	38	128	83	49	14	39	84	98
	<i>min</i>	1000	870	910	790	570	570	830	820	680	710
	<i>mediana</i>	1070	1110	970	910	700	690	860	860	830	930
	<i>max</i>	1190	1260	1050	1220	740	740	880	930	990	1050
ICI Var	<i>media</i>	4	4	-3	-7	-6	2	0	2	1	11
	<i>ds</i>	58	130	47	83	86	61	21	23	102	115
	<i>min</i>	-100	-310	-100	-200	-170	-120	-40	-40	-270	-150
	<i>mediana</i>	0	30	0	-10	10	-10	0	0	30	-10
	<i>max</i>	120	170	70	100	150	90	30	40	120	290
Statistica descrittiva		6		7		8		9		10	
		1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30	1-15	16-30
ICI	<i>media</i>	743	776	725	705	845	833	579	614	836	825
	<i>ds</i>	43	48	82	34	103	31	87	65	40	37
	<i>min</i>	660	680	630	660	710	790	480	530	770	700
	<i>mediana</i>	760	790	700	690	840	830	550	590	840	840

	<i>max</i>	810	870	870	780	1070	890	750	750	920	870
ICI Var	<i>media</i>	2	4	4	-9	9	-4	3	-10	-10	-4
	<i>ds</i>	40	53	60	43	79	38	53	36	48	51
	<i>min</i>	-60	-110	-70	-90	-160	-80	-70	-70	-120	-110
	<i>mediana</i>	0	20	0	10	10	-10	-10	0	0	0
	<i>max</i>	60	90	150	70	110	80	130	70	70	140

*Tabella 4.9. Statistica descrittiva ICI e ICI variation delle 10 sequenze di controllo. L'asterisco * indica una differenza statisticamente significativa.*



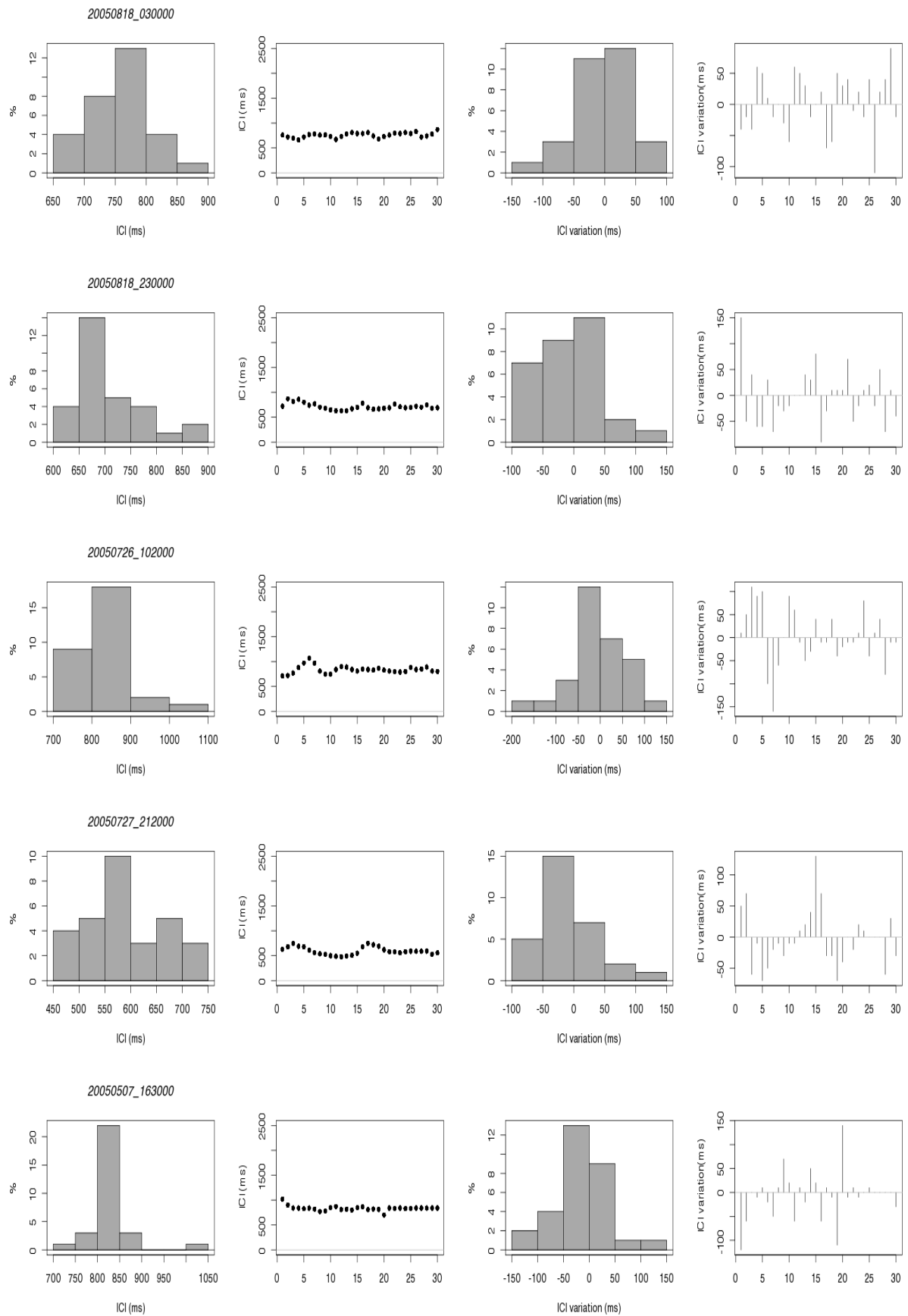


Figura 4.47. Distribuzione e sequenza temporale degli ICI (a sinistra) e dell'ICI variation (a destra) nei 10 casi studio controllo.

Tutti i casi studio impatto contengono esplosioni, ad eccezione del file 20051012_110000 che contiene invece una serie di pinger. Le caratteristiche dei suoni, in termini di frequenza, numero e tasso di ripetizione sono riepilogate nella Tabella 4.10. La tabella 4.11 riepiloga invece la statistica descrittiva di tutti i casi studio, che sono di seguito descritti dettagliatamente, caso per caso.

File	Tipo di suono impulsivo	Frequenza (kHz)	Numero	Intervallo (sec)
20050630_214500	Esplosione	< 0.18	24	5
20050829_130000	Esplosione	< 0.38	3	3.3
20051009_100000	Esplosione	< 0.18	1	--
20051012_160000	Esplosione	< 0.18	1	--
20051012_170000	Esplosione	< 0.18	1	--
20051019_080000	Esplosione	< 0.18	6	13.3
20051130_140000	Esplosione	< 0.18	1	--
20051201_000000	Esplosione	< 0.18	5	10
20051012_110000	Sonar/Pinger	10	36	3.61

Tabella 4.10. Caratteristiche dei suoni di tipo impulsivo nei 9 casi studio.

Statistica		1		2		3		4		5	
descrittiva		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
ICI	media	938	901	809	1122	966	1058	1159	1065	617	1045
	ds	142	138	120	27	186	193	87	144	167	115
	min	800	750	620	1070	690	710	1000	770	450	820
	mediana	880	850	770	1130	930	1040	1150	1060	580	1040
	max	1300	1210	1010	1170	1280	1370	1270	1270	1040	1230
ICI Var	media	-8	-21	-15	1	0	50	4	-15	-31	14
	ds	107	77	76	33	122	121	98	173	108	122
	min	-250	-170	-230	-40	-140	-240	-230	-280	-290	-160
	mediana	-20	-20	10	-10	-50	50	-10	0	-40	-10
	max	179	130	80	70	250	280	150	380	150	210
Statistica		6		7		8		9			
descrittiva		before	after	before	after	before	after	before	after		
ICI	media	905	871	582	600	898	916	941	1064		
	ds	73	79	14	23	73	70	76	95		
	min	760	770	570	560	830	810	810	910		
	mediana	910	850	580	600	880	910	940	1090		
	max	1040	990	610	640	1050	1050	1060	1200		
ICI Var	media	6	-10	0	-2	-10	0	-1	5		
	ds	78	56	15	24	74	74	61	97		
	min	-130	-130	-30	-40	-160	-170	-100	-260		
	mediana	-10	0	0	0	-10	20	-10	30		
	max	120	80	20	50	90	80	100	120		

Tabella 4.11. Statistica descrittiva ICI e ICI variation prima e dopo il suono impulsivo nei 9 casi studio.

1. Nel file 20050630_214500 la distribuzione degli ICI è di tipo log-normale; i valori sono compresi nell'intervallo 750-1300 ms, sia prima che dopo l'esplosione. La distribuzione dell'ICI *variation* è approssimativamente normale e simmetrica attorno allo zero, e ciò indica che il numero di casi in cui l'ICI decresce è all'incirca lo stesso di quello in cui l'ICI cresce (Figura 4.48). L'ICI *variation* tocca il valore massimo di 250 ms, ma in media si attesta intorno ai 10-20 ms. L'ICI medio non è risultato statisticamente differente nella sequenza “*after*” rispetto alla “*before*” (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = -0.7356$, $p\text{-value} = 0.5$), così come l'ICI *variation* (*Two Sample t-test*, $t = -0.3736$, $df = 28$, $p\text{-value} = 0.7$) (Figura 4.49). Inoltre, osservando la sequenza temporale di ICI (Figura 4.48) si nota anche che tra gli ultimi *click* della sequenza “*before*” e i primi della sequenza “*after*”, cioè nel momento subito prima e dopo la serie di esplosioni, non si hanno variazioni. In questo caso sembra quindi che il rumore antropico non ha indotto alcuna variazione nel comportamento acustico del capodoglio.
2. Nel file 20050829_130000 sia gli ICI che le ICI *variation* non sono distribuite normalmente. Dopo l'esplosione l'ICI è statisticamente maggiore rispetto che prima dell'esplosione (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = 4.7461$, $p\text{-value} < 0.001$); l'incremento medio è di circa 320 ms, ma tra gli ultimi *click* della sequenza “*before*” e i *click* della sequenza “*after*” la differenza è dell'ordine di 500 ms. Dopo l'esplosione, gli ICI si aggirano in un intervallo compreso tra 1070 e 1170 ms. L'ICI *variation* invece non cambia nelle due sequenze (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = 0.7811$, $p\text{-value} = 0.5$) ma dopo l'esplosione i suoi valori sono compresi in un intervallo più stretto, tra -40 e +70 ms. (Figure 4.48 e 4.49). In questo caso, sembra quindi che in seguito all'esplosione il capodoglio allunghi l'intervallo tra i *click*, aumentando anche la regolarità della sequenza. Questo aumento di ICI potrebbe essere dovuto a un incremento della profondità d'immersione del capodoglio.
3. Nel file 20051008_100000 ICI e ICI *variation* hanno una distribuzione normale. I valori di ICI sono compresi nell'intervallo 690-1280 ms prima dell'esplosione e 710-1370 ms dopo l'esplosione, con medie che differiscono di circa 100 ms. L'ICI *variation* non supera mai i ± 300 ms, ma in media le variazioni non superano i 50 ms. Non esistono differenze statisticamente significative tra le due sequenze, “*before*” e “*after*”, né nell'ICI né nell'ICI *variation* (*Two Sample t-test*, $t = 1.2641$, $df = 28$, $p\text{-value} = 0.22$; *Two Sample t-test*, $t = 0.9954$, $df = 28$, $p\text{-value} = 0.33$). Osservando la sequenza temporale dell'ICI si osserva una differenza di circa 400 ms tra gli ultimi ICI della sequenza “*before*” e i primi ICI della

sequenza “*after*”; trascorsi circa 10 sec gli ICI tornano ai valori precedenti all’esplosione (Figura 4.48 e 4.49). In questo caso, sembra che ci sia una risposta immediata all’esplosione, seguita da un rapido ripristino delle condizioni precedenti.

4. Nel file 20051012_160000 gli ICI non seguono una distribuzione normale. Essi sono compresi nell’intervallo 1000-1270 ms, con media 1159, prima dell’esplosione, e nell’intervallo 770-1270 ms, con media 1065, dopo l’esplosione. L’ICI risulta statisticamente inferiore dopo l’esplosione (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = -2.0472$, $p\text{-value} = 0.04$), ma la differenza è di solo circa 100 ms, quindi è improbabile che ciò dipenda dall’esplosione. Considerando l’ICI *variation*, non c’è differenza statistica tra le due sequenze (*Welch Two Sample t-test*, $t = -0.3758$, $df = 22.088$, $p\text{-value} = 0.7$), ma i suoi valori sono distribuiti in un intervallo molto più ampio dopo l’esplosione (Figura 4.48 e 4.49). Osservando la sequenza temporale degli ICI, si nota che, dopo l’iniziale differenza post esplosione di circa 400 ms, gli ICI tornano rapidamente ai valori precedenti l’impatto. Anche in questo caso, come il precedente, sembra che ci sia una risposta immediata all’esplosione, seguita da un rapido ripristino delle condizioni precedenti.

5. Nel file 20051012_170000 gli ICI non seguono una distribuzione normale ed i valori oscillano in un intervallo compreso tra 450 e 1040 ms, con una media di 617 ms, prima dell’esplosione e tra 820 e 1230 ms, con una media di 1045 ms, dopo l’esplosione. L’ICI è statisticamente più grande dopo l’esplosione, rispetto a prima (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = 4.5138$, $p\text{-value} < 0.001$), in media di circa 400 ms. L’ICI *variation* ha una distribuzione simmetrica intorno allo zero, con valori massimi di ± 300 ms, ma mediamente inferiori ai 50 ms, sia prima che dopo l’esplosione. Infatti, non è risultata alcuna differenza statistica nell’ICI *variation* tra le due sequenze (*Two sample t-test*, $t = 1.076$, $df = 28$, $p\text{-value} = 0.2911$) (Figura 4.48 e 4.49). In questo caso, sembra quindi che in seguito all’esplosione il capodoglio allunghi l’intervallo tra i *click*, mantenendo inalterata la regolarità della sequenza. Questo aumento di ICI potrebbe essere dovuto a un incremento della profondità d’immersione del capodoglio.

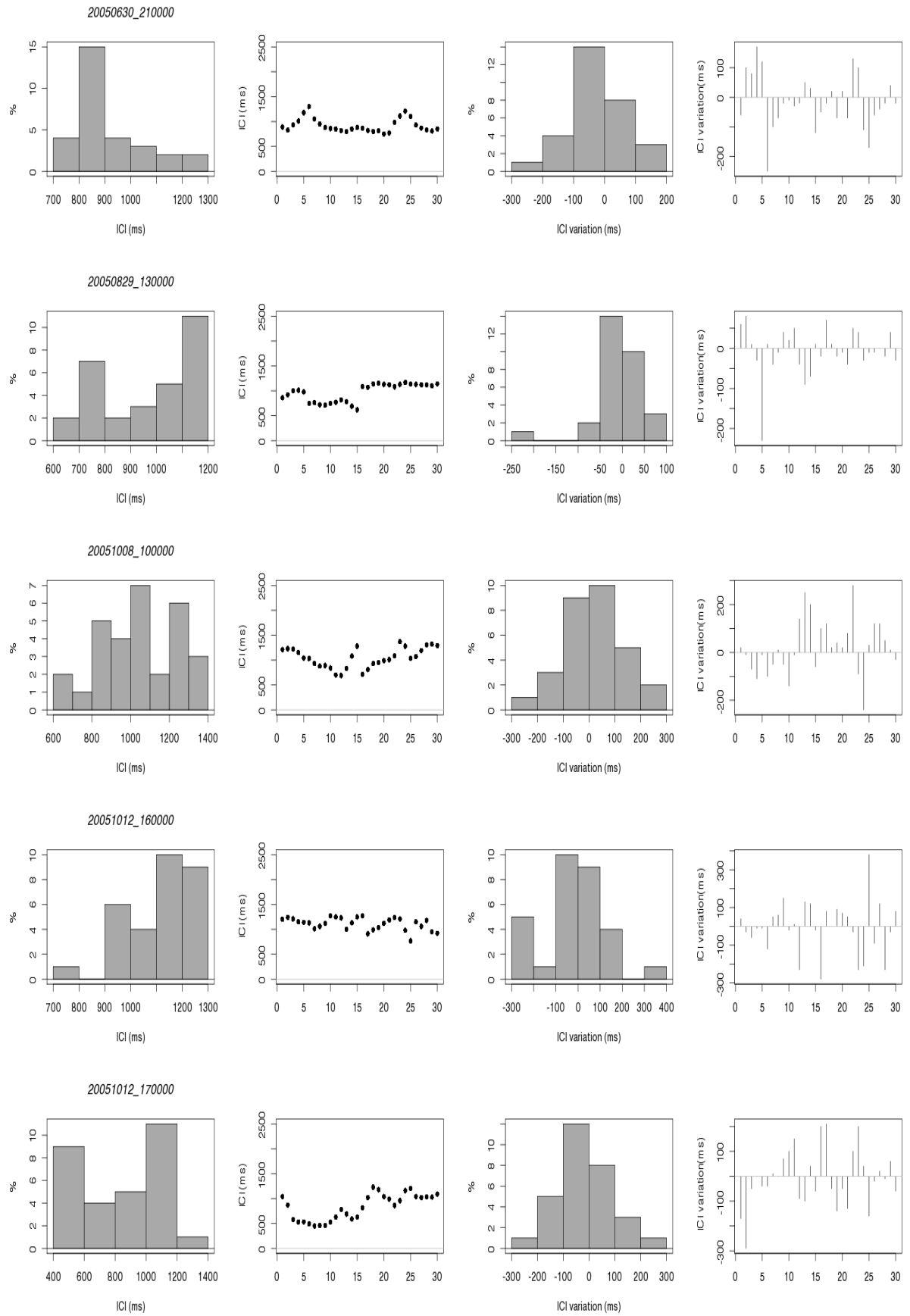
6. Nel file 20051019_080000 l’ICI segue approssimativamente una distribuzione normale; i valori di ICI sono compresi tra circa 700 e 1000 ms, sia prima che dopo l’esplosione. Non esiste differenza statisticamente significativa nelle medie delle due sequenze (*Two Sample t-test*, $t = -1.2518$, $df = 28$, $p\text{-value} = 0.221$), rispettivamente 905 e 871 ms. L’ICI *variation*, anch’essa con distribuzione normale, ha valori compresi tra circa 80 e -130 ms, con nessuna

differenza tra le sequenze “before” e “after” (Figura 4.48 e 4.49). In questo caso sembra che l’esplosione non determina alcun cambiamento nel comportamento acustico del capodoglio.

7. Nel file 20051130_140000 la sequenza di ICI è estremamente regolare, e i suoi valori sono compresi tra circa 560 e 640 ms, sia prima che dopo l’esplosione. Nonostante il test restituisca una differenza significativa nell’ICI medio tra la sequenza “before” e la sequenza “after”, tale differenza è dell’ordine di poche decine di ms e appare conseguentemente priva di significato biologico (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = 2.3965$, $p\text{-value} = 0.02$). L’ICI *variation* ha una distribuzione normale, con valori ristretti in una decina di ms, sia prima che dopo l’esplosione. Non esistono differenze statistiche nei suoi valori medi tra le sequenze “before” e “after” (*Welch Two Sample t-test*, $t = -0.2758$, $df = 23.171$, $p\text{-value} = 0.8$) (Figura 4.48 e 4.49). Anche in questo caso non si evince alcuna dimostrazione di impatto del rumore sul comportamento acustico del capodoglio.

8. Nel file 20051201_000000 i valori di ICI, compresi tra circa 800 e 1050 ms sia prima che dopo l’esplosione, seguono una distribuzione approssimativamente normale intorno alla media di circa 900 ms, senza alcuna differenza statistica tra le due sequenze (*Welch Two Sample t-test*, $t = 1.7688$, $df = 23.599$, $p\text{-value} = 0.09$). L’ICI *variation*, simmetrica intorno al valore medio (-10 ms prima e 0 dopo l’esplosione), non differisce nelle due sequenze (*Welch Two Sample t-test*, $t = -0.0268$, $df = 24$, $p\text{-value} = 0.98$). Infine non si osserva alcuna variazione tra subito prima e dopo l’esplosione nella sequenza temporale di ICI (Figura 4.48 e 4.49). Anche in questo caso è possibile quindi supporre un’assenza di risposta.

9. Nel file 20051012_110000 il suono impulsivo non è un’esplosione, come nei casi precedenti, ma un pinger centrato a 10 kHz. Gli ICI seguono una distribuzione approssimativamente normale, intorno a una media di circa 940 ms, prima della serie di segnali impulsivi, e di circa 1060 ms, dopo le serie. La differenza tra le medie delle due sequenze appare statisticamente significativa, (*Welch Two Sample t-test*, $t = 3.9039$, $df = 28$, $p\text{-value} < 0.001$), ma essendo così ridotta appare di scarso significato biologico. L’ICI *variation* ha valori in massima parte inferiori ai 100 ms e non ci sono differenze statistiche nella sua media tra prima e dopo la serie di pinger (*Exact 2-Sample Permutation Test*, $Z = 0.1829$, $df = 26.825$, $p\text{-value} > 0.1$) (Figura 4.48 e 4.49). In conclusione, non sembra quindi che il capodoglio modifichi il suo comportamento in risposta alla serie di pinger.



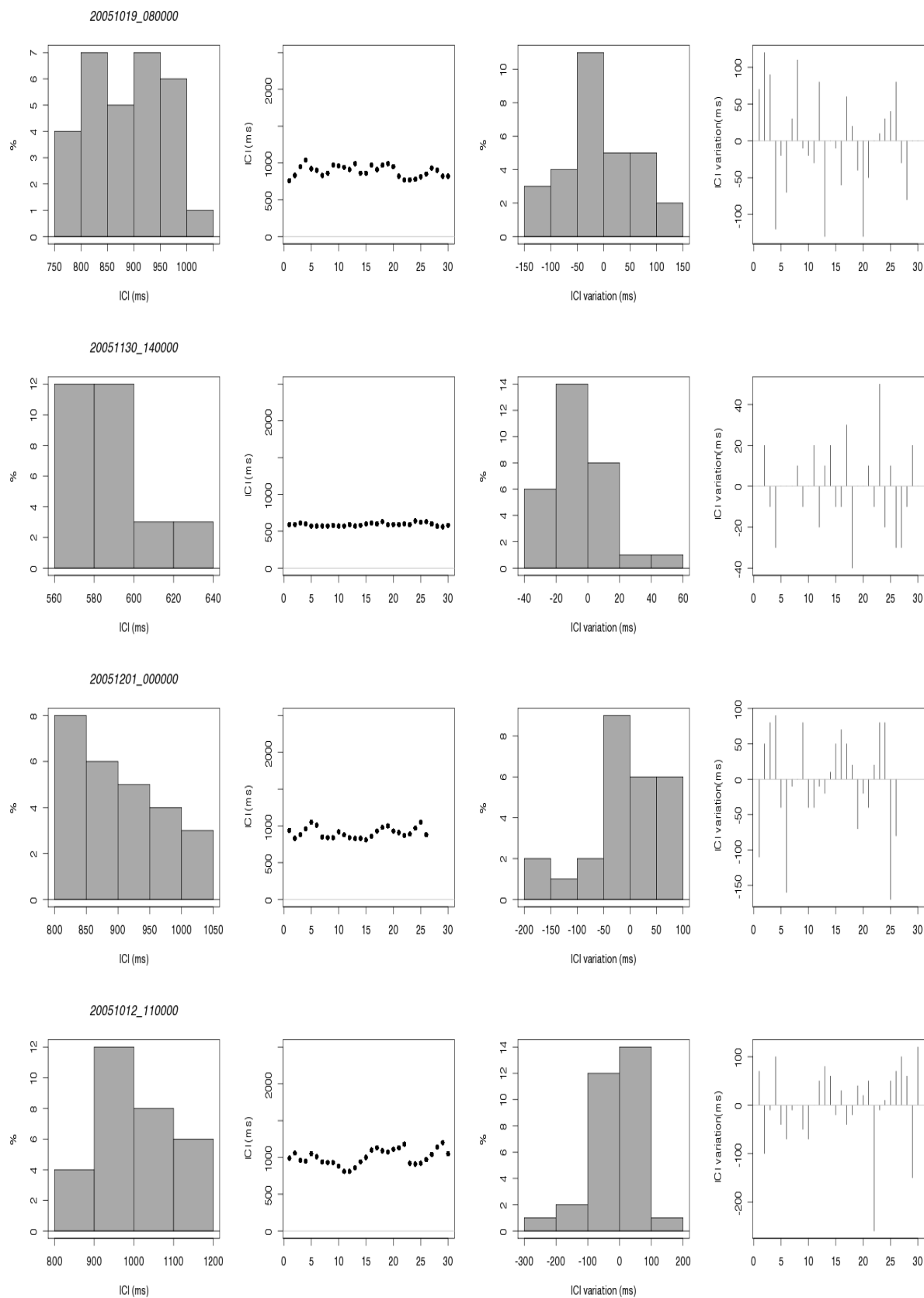
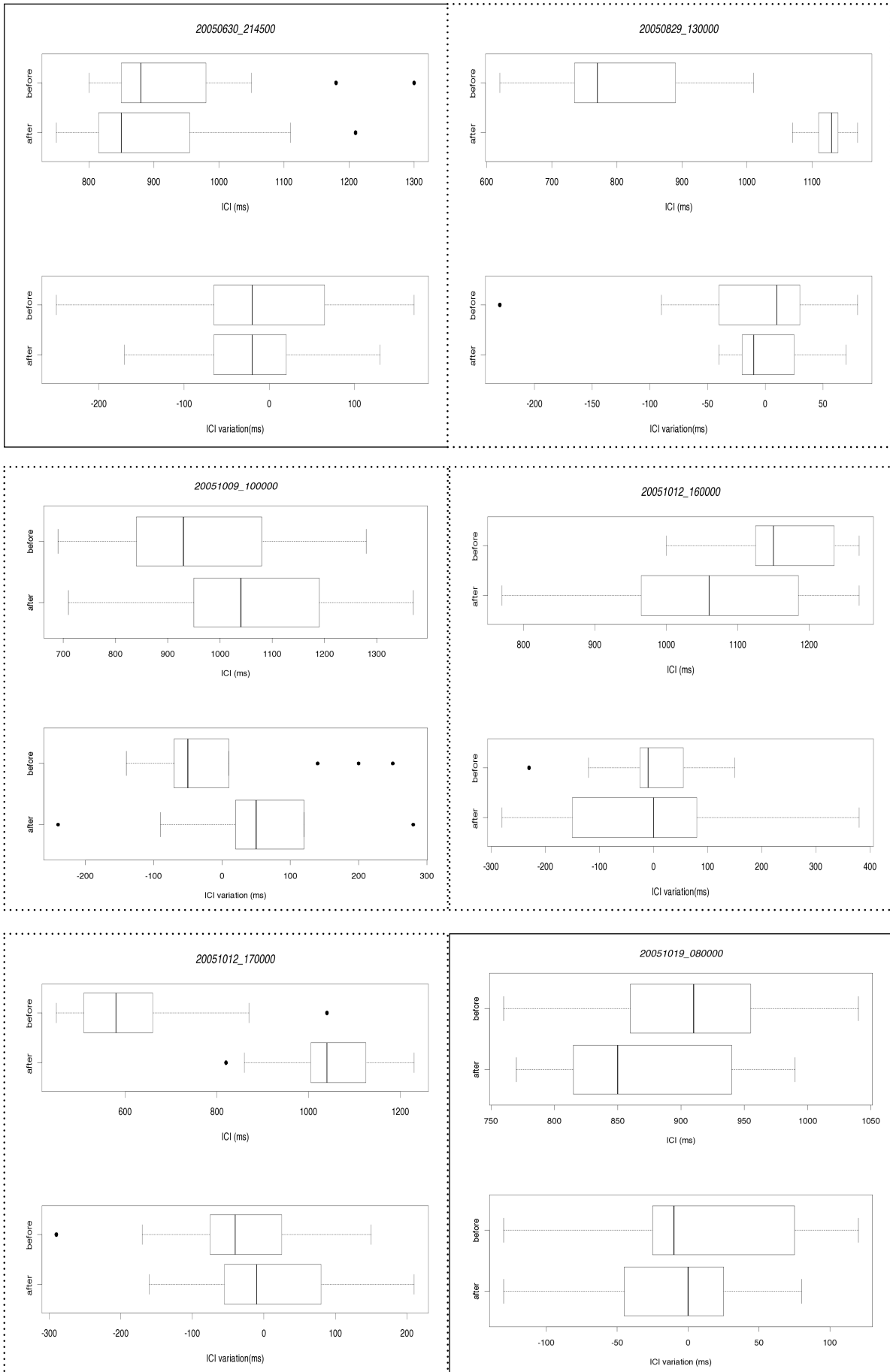


Figura 4.48. Distribuzioni di frequenza e sequenza temporale di ICI e ICI variation dei 9 casi studio impatto.



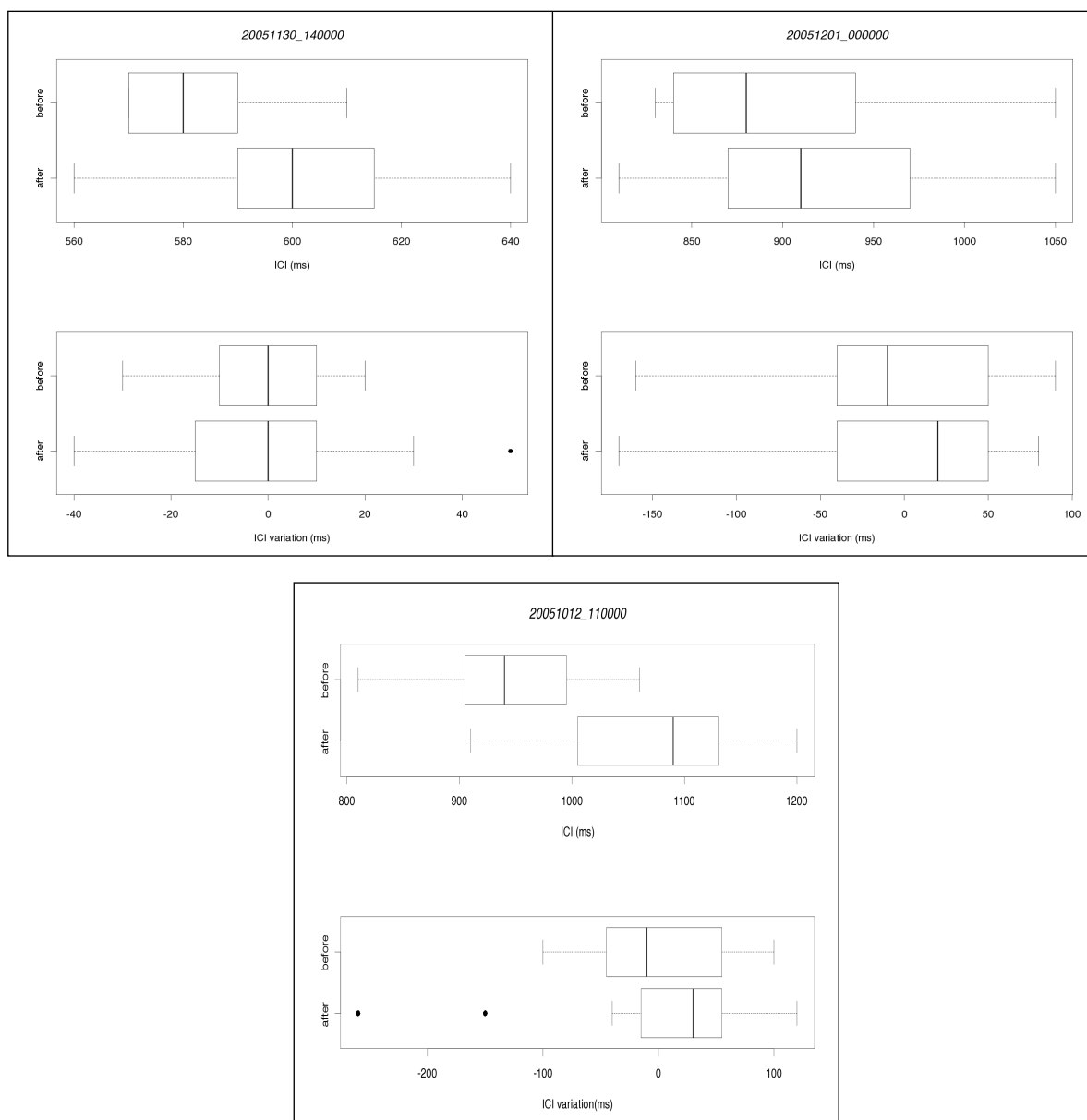


Figura 4.49. ICI e ICI variation prima e dopo il segnale impulsivo. Nei riquadri tratteggiati i casi studio che mostrano una risposta d'impatto al rumore antropico.

In sintesi, dei 9 casi studio analizzati soltanto in 4 di essi è stata osservata una qualche variazione nel ritmo della sequenza di *click*. Il campione ridotto e l'assenza di informazioni relative alla posizione degli animali e all'intensità del rumore da essi ricevuta non consente di comprendere i meccanismi alla base di queste risposte differenziali.

Tuttavia il risultato fornisce un'ulteriore indicazione che il rumore di origine antropica possa rappresentare un fattore che influenza non solo la presenza ma anche il comportamento di questa specie.

4.5 CONCLUSIONI

I Cetacei sono un gruppo di animali particolarmente elusivi: vivono la loro vita interamente in ambiente acquatico e sono legati al comparto aereo solo per la funzione respiratoria. Studiarne il comportamento risulta particolarmente difficile, sia perchè il mare può essere ostile e in alcuni casi difficilmente navigabile (ad esempio nei periodi invernali o nelle regioni polari) sia perchè la loro osservazione è possibile solo nei momenti in cui approssimano la superficie oppure mediante l'utilizzo di tecnologie video avanzate, comunque utilizzabili in poche occasioni favorevoli (ad esempio, in condizioni di bassi fondali e buona luminosità). Inoltre le osservazioni visive diventano impossibili durante le ore notturne o in condizioni meteo marine avverse e solitamente, essendo concentrate in ristrette scale spaziali (pochi punti di osservazioni a terra o a mare) e temporali (settimane, mesi, raramente periodi maggiori), possono portare a risultati estremamente variabili e poco confrontabili. Negli ultimi anni si è diffuso progressivamente l'utilizzo di tecnologie acustiche passive, definite *Passive Acoustic Monitoring* (PAM), che consentono di registrare le vocalizzazioni dei Cetacei, traendo da esse numerose informazioni sulla presenza e sul comportamento, senza emettere alcun segnale nell'ambiente, quindi non alterando in alcun modo il comportamento naturale degli animali ascoltati. Gli studi che hanno confrontato contemporaneamente i risultati delle osservazioni visive e di quelle acustiche hanno evidenziato che queste ultime sono da una a dieci volte più efficienti nella rilevazioni di Cetacei (McDonald & Moore 2002; Širovic et al. 2004; Barlow & Taylor 2005; Rankin et al. 2007). I PAM fissi, quelli cioè deposti sul fondale solitamente per lunghi periodi di tempo, consentono di ottenere importanti informazioni sull'occorrenza annuale o stagionale dei Cetacei nell'area indagata. Nel nostro studio la piattaforma acustica OnDE ha consentito di rilevare la presenza di capodogli, irregolare ma prolungata nel tempo, in un'area che si riteneva invece a bassissima densità e poco idonea. Infatti, nonostante il passaggio di capodogli nello Ionio sia stato da tempo documentato (Bolognari 1949), i pochi studi condotti avevano rilevato una presenza assai esigua. Lewis (2006) ha documentato, sulla base di rivelazioni acustiche fatte dall'IFAW nel Mar Ionio, la presenza di appena 17 capodogli in 3846 km di navigazione; Panigada et al. nel 2006 hanno pubblicato un resoconto sulla presenza di mammiferi marini nello Stretto di Messina, estendendo l'area di studio a Sud fino ad una distanza di circa 50 km a Nord della stazione OnDE: su 125 giorni di

osservazione sono stati avvistati 80 gruppi di mammiferi marini, il 13.8% dei quali composto da capodogli.

Le soluzioni tecnologiche scelte per la stazione OnDE, non hanno consentito tuttavia alcuna stima di abbondanza. Un metodo per poter discriminare il numero di individui che stanno vocalizzando si basa sulla misura delle loro dimensioni attraverso equazioni che impiegano le misure degli IPIs (*Inter Pulse Interval*) dei *click*. Per poter analizzare la mole di dati raccolta e avere stime accurate delle dimensioni degli individui sono necessari algoritmi per la detezione automatica dei *click* e la misurazione degli IPI. Inoltre, un tempo di registrazione più lungo di 5' consentirebbe di avere più misure disponibili per ogni animale, portando così ad una più precisa caratterizzazione della dimensione dello stesso. Nell'esperimento successivo a OnDE, denominato LIDO (*Listening to the Deep Ocean Environment*), questi problemi sono stati affrontati scegliendo una registrazione in continuo e una detezione automatica in *real time* settata su particolari segnali di interesse, tra i quali i *click* dei capodogli.

I sistemi PAM consentono di registrare, contemporaneamente alle vocalizzazioni dei Cetacei, l'ambiente sonoro circostante, permettendo quindi anche la valutazione dell'impatto di alcune attività umane (traffico marittimo, esplorazioni sismiche, sonar, attività industriali, ecc.) su queste specie. Numerosi sono gli studi che hanno applicato le metodologie acustiche passive a questo scopo (Croll et al. 2001; Holst et al. 2006; Barnes et al. 2007; Clark, 2007; Parks et al. 2007, 2009). Per quanto riguarda il capodoglio, molti studi hanno cercato di misurare l'effetto del rumore antropico sulla specie, ma pochi di questi hanno portato a risposte conclusive rispetto al significato biologico degli effetti rilevati (NOOA 2010). In questo lavoro, l'utilizzo opportunistico dei dati raccolti dalla stazione OnDE, realizzata con altri scopi scientifici, ha consentito di ottenere informazioni importanti riguardo all'effetto del rumore antropico sul capodoglio in Mediterraneo, in particolare una riduzione della probabilità di trovare gli animali in concomitanza a esplosioni o sonar e con l'aumentare del rumore di tipo continuo. I risultati relativi all'effetto sul comportamento acustico invece sono poco conclusivi in quanto in alcuni casi studio (44%; n=9) è stato rilevato un effetto sul ritmo di emissione della sequenza di *click*, non presente invece negli altri casi studio. Tale differenza nella risposta potrebbe essere dovuta all'intensità del rumore ricevuto dall'animale, dato che non è stato possibile rilevare con le tecnologie della stazione OnDE, o da condizioni legate all'individuo (sesso, età, stato comportamentale).

In conclusione, le strumentazioni di monitoraggio acustico passivo, come la stazione OnDE, possono dimostrarsi particolarmente utili nello studio dell'effetto del rumore sul capodoglio se vengono tenuti in considerazione alcuni aspetti fondamentali: 1. l'implementazione di algoritmi che possano consentire, oltre alla detezione automatica dei segnali, che consente di ridurre enormemente i tempi di analisi, anche la localizzazione degli animali, la stima dei livelli di rumore da essi ricevuti e il calcolo preciso della dimensione, e quindi approssimativamente anche del sesso, degli individui; 2. l'elaborazione di uno schema di campionamento che preveda *slot* di registrazioni più lunghe di 5 minuti, in modo da avere una finestra temporale migliore per osservare la risposta comportamentale degli animali. Infine, per poter valutare l'effetto del rumore continuo, legato principalmente al traffico marittimo, sulla presenza e distribuzione degli animali, sarebbe opportuno incrociare dati di tipo oceanografico per poter comprendere meglio quali fattori, ecologici o antropici, influenzano maggiormente l'ecologia della specie nell'area.

4.6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. ANDRE', M., TERADA, M., AND WATANABE, Y. (1997) Sperm whales, *Physeter macrocephalus*, behavioral response after playback of artificial sounds. Report of The International Whaling Commission Vol. 47, pp. 499–504.
2. BARLOW, J., AND TAYLOR, B.L. (2005) Estimates of sperm whale abundance in the northeastern temperate Pacific from a combined acoustic and visual survey. *Marine Mammal Science* 21:429–445.
3. BARNES, C.R., BEST, M.M.R., BORNHOLD, B.D., JUNIPER, S.K., PIRENNE, B. AND PHIBBS, P. 2007. The NEPTUNE Project—a cabled ocean observatory in the NE Pacific: Overview, challenges and scientific objectives for the installation and operation of Stage I in Canadian waters. Pp. 308–313 in Symposium on Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, Tokyo, Japan. IEEE Press, Piscataway, NJ, doi:10.1109/UT.2007.370809.
4. BOWLES, A.E., SMULTEA, M., WURSIG, B., DEMASTER, D.P., AND PALKA, D. (1994) Relative abundance and behavior of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island Feasibility Test. *Journal of the Acoustic Society of America* 96, 2469–2484.
5. CATALANO, D., TRINGALI, M., PETRALIA, R., CALTAVUTURO, G. (2002) Mediterranean fin whales, *Balaenoptera physalus*, foraging off the Eastern coast of Sicily, Mar Ionio. *European Research on Cetacean*, 15.
6. CLARK, C.W., D. GILLESPIE, D.P. NOWACEK, AND S.E. PARKS. 2007. Listening to their world: Acoustics for monitoring and protecting right whales in an urbanized world. PP. 333–357 in *The Urban Whale*, S.D. Kraus and R.M. Rolland, eds, Harvard University Press, Cambridge, MA.
7. CRANFORD, T.W. (1999). The sperm whale's nose: Sexual selection on a grand scale? *Marine Mammal Science* 15, 1133–1157.
8. CRANFORD, T.W., AMUNDIN, M., NORRIS, K.S. (1996) Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation. *J. Morphol.* 228, 223– 285.
9. DI NATALE, A. (1992). Impact of fisheries on cetacean in the Mediterranean Sea. *European Research on Cetacean* 6:18.

- 10.DROUOT, V., GANNIER, A. AND GOOLD, J.C. (2004). Diving and Feeding Behaviour of Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals* 2004, 30(3), 419-426, DOI 10.1578/AM.30.3.2004.419.
- 11.DROUOT, V. (2003). Ecology of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea. Ph.D. thesis, University of Wales, Bangor, UK.
- 12.DROUOT, V., GANNIER, A., & GOOLD, J. C. (2004). Social distribution and behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, 84, 675-680.
- 13.EMBLING, C.B. (2008) Predictive models of cetacean distributions off the west coast of Scotland. PhD dissertation, University of St Andrews.
- 14.FRANTZIS A., ALEXIADOU P. (2008) Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) coda production and coda-type usage depend on the presence of conspecifics and the behavioural context *Can. J. Zool.* 86: 62-75.
- 15.GANNIER, A., DROUOT, V., & GOOLD, J. C. (2002). Distribution and relative abundance of sperm whales in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 243, 281-293.
- 16.GOOLD, J.C., & JONES S.E. (1995). Time and frequency domain characteristics of sperm whale clicks. *Journal of the Acoustic Society of America*, 98(3), 1279-1291.
- 17.HILDEBRAND, J.A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Mar Ecol Prog Ser.* 395: 5–20
- 18.HOLST, M., RICHARDSON, W. J. (2006). Effects of Large and Small-Source Seismic Surveys on Marine Mammals and Sea Turtles. 2006 American Geophysical Union Joint Assembly., Florida N.W. Washington, American Geophysical Union.
- 19.LAIST D.W., KNOWLTON A.R., MEAD J.G., COLLET A.S., PODESTA M. (2001) Collisions between ships and whales. *Mar Mamm Sci* 17: 35-75.
- 20.MCDONALD, M.A. AND MOORE, S.E.. 2002. Calls recorded from North Pacific right whales (*Eubalaena japonica*) in the eastern Bering Sea. *Journal of Cetacean Research and Management* 4:261–266

- 21.MADSEN PT, MØHL B. Sperm whales (*Physeter catodon* L. 1758) do not react to sounds from detonators. *Journal of the Acoustic Society of America* 107(1):668-710.
- 22.MADSEN, P. T., PAYNE, R., KRISTIANSEN, N. U., WAHLBERG, M., KERR, I., & MØHL, B. (2002). Sperm whale sound production studied with ultrasound time/depth-recording tags. *Journal of Experimental Biology*, 205(13), 1899-1906.
- 23.MASAO AMANO, MOTOI YOSHIOKA (2003). Sperm whale diving behavior monitored using a suction-cupattached TDR tag. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* 258: 291–295.
- 24.MILLER, P.J.O., JOHNSON, M. P. (2004). Sperm whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes 'creaks' in prey capture." *Proceedings of the Royal Society of London, B* 271: 2239-2247.
- 25.MØHL, B. (2001). Sound transmission in the nose of the sperm whale *Physeter catodon*. A post mortem study. *J. Comp. Physiol. A* 187, 335-340.
- 26.MØHL, B., AND THIELE, L. (1983). Hvaler og støj i havet. *Fisk og Hav* 39, 49-55.
- 27.MØHL, B., WAHLBERG, M., AND HEERFORDT, A. (2006). Hyper-directionality in clicks from the sperm whale (*Physeter macrocephalus*). *Journal of the Acoustic Society of America* 119(5 Pr. 2), 3372.
- 28.MØHL, B., WAHLBERG, M., MADSEN, P.T., MILLER, L.A., AND SURLYKKE, A. (2000). Sperm whale clicks: Directionality and source level revisited. *Journal of the Acoustic Society of America* 107, 638-648.
- 29.MULLINS, J., WHITEHEAD, H., & WEILGART, L.S. (1988). Behaviour and vocalisations of two single sperm whales, *Physeter macrocephalus*, off Nova Scotia. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science*, 45, 1736-1743.
- 30.NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION-NOAA (2010). Endangered and Threatened Species; Recovery Plan for the Sperm Whale. National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- 31.NORRIS, K.S., & HARVEY, G.W. (1972). A theory for the function of the spermaceti organ of the sperm whale (*Physeter catodon* L.). *National Aeronautics and Space Administration Special Publication*, 262, 397-417.

32. NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., VENTURINO, M.C., ZANARDELLI, M., BEARZI, G., BORSANI, J.F. & CAVALLONI, B. (1993) Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. *Bollettino di Zoologia*, 60, 131–138.
33. PAPASTAVROU, V., SMITH, S.C. AND WHITEHEAD, H. 1989. Diving behavior of the sperm whale, *Physeter macrocephalus*, off the Galapagos Islands. *Canadian Journal of Zoology* 67:839-846.
34. PAVAN G., HAYWARD, T., BORSANI, J.F., PRIANO, M., MANGHI, M., FOSSATI, C., GORDON, J. (2000) Time Pattern of Sperm Whale Codos Recorded in the Mediterranean Sea 1985–1996. *Journal of the Acoustic Society of America*, 107 (6): 3487-3495.
35. PAVAN, G., LA MANNA, G., ZARDIN, F., INTERNULLO, E., KLOETI, S., COSENTINO, G., SPEZIALE, F., RICCOBENE, G. & THE NEMO COLLABORATION (2008) Short Term and Long Term Bioacoustic Monitoring of the Marine Environment. Results from NEMO ONDE Experiment and Way Ahead. In: *Computational bioacoustics for assessing biodiversity. Proceedings of the International Expert meeting on IT-based detection of bioacoustical patterns*. Frommolt K.H., Rolf Bardeli R., Clausen M. (Eds.) Published by Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, Germany: 7-14
36. PAVAN, G., LA MANNA, G., ZARDIN, F., RICCOBENE, G., COSENTINO, G., SPEZIALE, F., NEMO COLLABORATION (2007) LONG TERM ACOUSTIC MONITORING OF SPERM WHALES OFF CATANIA WITH ONDE. *INFN LNS Reports* 2006: 148-150.
37. RANKIN, S., NORRIS, T.F., SMULTEA, M.A., OEDEKOVEN, C., ZOIDIS, A.M., SILVA, E. AND RIVERS, J. (2007). A visual sighting and acoustic detections of minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* (Cetacea: Balaenopteridae), in nearshore Hawaiian waters. *Pacific Science* 61:395–398.
38. RENDELL, L. AND WHITEHEAD, H. (2003) Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Proceedings of the Royal Society of London Series B* 270: 225-231.
39. RENDELL L.E., WHITEHEAD, H., ESCRIBANO, R. (2004) Sperm whale habitat use and foraging success off northern Chile: evidence of ecological links between coastal and pelagic systems. *Mar Ecol Prog Ser* 275:289–295

40. RENDELL, L. AND WHITEHEAD, H. (2004). Do sperm whales share coda vocalizations? Insights into coda usage from acoustic size measurements. *Anim. Behav.* 67: 865-74.
41. RIDGWAY, S. H., AND CARDER, D. (2001) Assessing hearing and sound production in cetacean species not available for behavioral audiograms: experience with *Physeter*, *Kogia*, and *Eschrichtius*. *Aquat. Mammals* 27, 267 – 276.
42. ŠIROVIĆ, A., HILDEBRAND, J.A., WIGGINS, S.M., MCDONALD, M.A., MOORE, S.E. AND THIELE, D. (2004). Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Research Part II* 51:2,327–2,344.
43. TAYLOR, B.L., BAIRD, R., BARLOW, J., DAWSON, S.M., FORD, J., MEAD, J.G., NOTARBARTOLO DI SCIARA, G., WADE, P. & PITMAN, R.L. (2008) *Physeter macrocephalus*. In: IUCN 2011. IUCN Red List of Threatened Species.
44. TELONI, V., ZIMMER, W. M. X. (2005). Sperm Whale Trumpet Sounds. *Bioacoustics* 15: 163-174.
45. TELONI, V., ZIMMER, W.M.X., FOSSATI, C., MANGHI, M., PAVAN, G. AND PRIANO, M. (2000) Variability of temporal and spectral click characteristics of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Eur. Res. Cet.* 14: 91-95.
46. WAHLBERG, M. (2002). The acoustic behaviour of diving sperm whales observed with a hydrophone array. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 281 (2002) 53– 62
47. WALKER, R. (2005) Investigation into the potential effects of anthropogenic noise on sperm whale sound production (*Physeter macrocephalus*) in the Gulf of Mexico. Theses Dissertation at The University of Southern Mississippi.
48. WATKINS, W. A., AND SCHEVILL, W. E. (1975) Sperm whales react to pingers. *Deep-Sea Res.* **22**, 123–129.
49. WATKINS, W. A., MOORE, K.E., TYACK, P. (1985). Sperm whale react to pinger. *Deep-Sea Research Part II* **22**: 123-129.
50. WHITEHEAD, H., R. R. R., ET AL. (2000). Science and the Conservation, Protection, and Management of Wild Cetaceans. *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales*. J.

Mann, R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whitehead. Chicago, University of Chicago Press: 308-332.

51.ZIMMER, W. M. X., TYACK, P. L. (2005). Three-dimensional beam pattern of regular sperm whale clicks confirms bent-horn hypothesis. *Journal of the Acoustical Society of America* 117(3, Pt 1): 1473-1485.

52.ZIMMER, W. M. X., MADSEN, P. T. (2005). Off-axis effects on the multipulse structure of sperm whale usual clicks with implications for sound production. *Journal of the Acoustical Society of America* 118(5): 3337-3345.

APPENDICE I

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Todd, S.	1996	BEHAVIORAL EFFECTS OF EXPOSURE TO UNDERWATER EXPLOSIONS IN HUMPBACK WHALES MEGAPTERA NOVAEANGLIA	Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C	Le megattere sono state osservate via mare prima, durante e dopo le esplosioni per verificare anomalie nel comportamento e per misurare la distanza delle balene riavvistate dalle esplosioni. I livelli di rumore sono stati monitorati acusticamente ad una distanza di 1 miglio dalla sorgente.	AI	1.8 km	123-153 dB re 1 uPa (<i>peak amplitude</i>)	240-414 Hz	Nessuna anomalia comportamentale durante le esplosioni	no
			Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AI	1.8 km	123-153 dB re 1 uPa (<i>peak amplitude</i>)	240-414 Hz	Il maggior numero di riavvistamenti di megattera si osserva a meno di 10 km dalla sorgente delle esplosioni	NO
Trites, A.W.	1996	KILLER WHALES & VESSEL ACTIVITY IN ROBSON BIGHT FROM 1991 TO 1994	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	D	Da alcune postazioni fisse a terra sono state osservate le orche e le barche. Il numero di orche e la presenza oraria di gruppi è stata correlata con il numero e la presenza oraria di barche.	BT	nd	nd	nd	Il numero giornaliero di orche e la presenza oraria dei gruppi sono correlate alla presenza di barche solo per una delle 4 zone di studio, anche se l'uso dell'habitat diminuisce progressivamente con l'aumentare del numero di barche, soprattutto da pesca	NO
Stone, C.	1997	CETACEAN OBSERVATIONS DURING SEISMIC SURVEYS IN 1996.	Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	D	Le osservazioni dei cetacei sono state realizzate su una nave per esplorazioni sismiche. I dati raccolti comprendono la distanza degli animali dalla sorgente acustica, la loro direzione di spostamento e il comportamento. Per eliminare errori legati alla variazione della distribuzione e dell'abbondanza stagionale, sono stati analizzati sub set di dati relativi solo a certe aree o periodi	A	nd	nd	nd	Abbondanza di animali statisticamente superiore nel periodo in cui sono operative le esplorazioni sismiche	NO
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	D		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nell'abbondanza in assenza/presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	D		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nell'abbondanza in assenza/presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	D		A	nd	nd	nd	Abbondanza di animali statisticamente inferiore nel periodo in cui sono operative le esplorazioni sismiche	SI
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus obliquidens</i>	D		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nell'abbondanza in assenza/presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	D		A	nd	nd	nd	La distanza tra gli animali e la nave sismica aumenta quando le operazioni sismiche sono in corso	SI
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza significativa nella distanza tra gli animali e la nave in presenza/assenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	A		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nella distanza tra gli animali e la nave in presenza/assenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	A		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nella distanza tra gli animali e la nave in presenza/assenza di attività sismica	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus obliquidens</i>	A		A	nd	nd	nd	La distanza tra gli animali e la nave sismica aumenta quando le operazioni sismiche sono in corso	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	A		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nella distanza tra gli animali e la nave in presenza/assenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera musculus</i>	A		A	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nella distanza tra gli animali e la nave in presenza/assenza di attività sismica	NO
Janik, V. M.	1996	CHANGES IN SURFACING PATTERNS OF BOTTLENOSE DOLPHINS IN RESPONSE TO BOAT TRAFFIC	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	PR	Le osservazioni sono state realizzate da una postazione a terra e il numero di emersioni dei delfini prima e dopo l'approccio di una barca è stato registrato con una telecamera. Il numero di emersioni in assenza di barche è stato usato per controllo.	BT	50m	nd	nd	Il numero di emersioni dei delfini diminuisce significativamente dopo l'incontro con le barche di <i>dolphin watching</i> e non con le altre barche; nessuna differenza nelle sequenze prima-dopo di controllo (in assenza di barche)	SI
Goold, J. C	1996	ACOUSTIC ASSESSMENT OF POPULATIONS OF COMMON DOLPHIN DELPHINUS DELPHIS IN CONJUNCTION WITH SEISMIC SURVEYING	Nord Atlantico	<i>Delphinus delphis</i>	D	La presenza acustica e la distribuzione dei delfini è stata monitorata da una vedetta della guardia costiera che ha trascinato un idrofono all'interno dell'area di studio, una settimana prima, 4 settimane durante e una settimana dopo le attività sismiche.	A	D	205 re dB 1 uPa	220 Hz	I delfini persistono nelle aree più vicine alla sorgente sismica anche quando questa è in funzione, anche se in minor misura, indicando una certa tolleranza ai crescenti livelli di rumore	no
			Nord Atlantico	<i>Delphinus delphis</i>	D		A	D	205 re dB 1 uPa	200 Hz	Durante i periodi pre-sismici la presenza di delfini è relativamente alta; tale presenza si riduce progressivamente durante i periodi di attività sismica. La presenza nel periodo post sismico aumenta ma non raggiunge i livelli pre-sismici.	si
Frankel, A. S.	1998	RESULTS OF LOW-FREQUENCY PLAYBACK OF M-SEQUENCE NOISE TO HUMPHBACK WHALES, MEGAPTERA NOVAEANGLIAE IN HAWAII	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C	L'osservazione delle megattere è stata realizzata da terra in continuo per 25 minuti durante e dopo il playback di segnali ATOC. Contemporaneamente sono state registrate informazioni sul numero e tipo di barche presenti	AT	400m	90-130 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna differenza tra la situazione di impatto (playback) e quella di controllo nella durata dell'immersione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		AT	400m	90-130 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna differenza tra la situazione di impatto (playback) e quella di controllo nella distanza tra punti successivi di emersione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	< 1 km	nd	nd	L'orientamento delle megattere è influenzato sia dalla velocità sia dalla distanza delle barche dalle balene	SI
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AT	400m	90-130 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna differenza tra la situazione di impatto (playback) e quella di controllo nell'orientamento delle megattere	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	PR		BT	< 1 km	nd	nd	Il ritmo respiratorio decresce in presenza di barche superiori ai 23 metri	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AT	400m	90-130 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna differenza tra la situazione di impatto (playback) e quella di controllo nella velocità di spostamento	NO
Bain, D. E.	1999	LONG-RANGE EFFECTS OF AIRGUN NOISE ON MARINE MAMMALS: RESPONSES AS A FUNCTION OF RECEIVED SOUND LEVEL AND DISTANCE	Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	A	I mammiferi marini sono stati osservati da una nave per esplorazioni sismiche. In presenza di mammiferi marini sono stati raccolti più dati comportamentali possibili (<i>continuous sampling</i>). Un monitoraggio acustico è stato condotto per misurare i livelli di rumore ricevuti dagli animali.	A	< 70 km	143-155 dB re 1 uPa (p-p level)	10 Hz-100 kHz	La specie è stata osservata con livelli di rumore fino a 155 dB e ha mostrato sempre una reazione di allontanamento dalla sorgente acustica, fino a 70 km.	si
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	A		A	1-10 km	154-172 dB re 1 uPa (p-p level)	10 Hz-100 kHz	La specie è stata osservata con livelli di rumore fino a 170 dB e ha mostrato sempre una reazione di allontanamento dalla sorgente acustica, ma verso zone più profonde quindi con livelli di rumore maggiori.	no
			Nord Pacifico	<i>Phocoenoides dalli</i>	A		A	1-10 km	143-180 dB re 1 uPa (<i>peak-peak level</i>)	10 Hz-100 kHz	La specie è stata osservata con livelli di rumore fino a 181 dB. Tutti i gruppi hanno mostrato una reazione di allontanamento dalla nave sismica.	si
Bejder, L.	1999	RESPONSES BY HECTOR'S DOLPHINS TO BOATS AND SWIMMERS IN PORPOISE BAY, NEW ZEALAND	Sud Pacifico	<i>Cephalorhynchus hectori</i>	A	Le osservazioni sono state condotte da una postazione fissa a terra; i movimenti di delfini e barche sono stati registrati attraverso un teodolite.	BT	< 1 km	nd	nd	La probabilità che i delfini mostrino attrazione nei confronti delle barche di <i>dolphin watching</i> è maggiore tra 10 e 50 min dell'incontro; successivamente la probabilità d'interazione diminuisce nettamente. Non è detto che questa sia però una reazione di <i>avoidance</i>	NO
			Sud Pacifico	<i>Cephalorhynchus hectori</i>	A		BT	< 1 km	nd	nd	I delfini tendono a ridurre la distanza tra animali del gruppo in presenza di barche	SI
Borggaard, D.	1999	ASSESSING THE EFFECT OF INDUSTRIAL ACTIVITY ON LARGE CETACEANS IN TRINITY BAY, NEWFOUNDLAND (1992-1995)	Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	Le osservazioni sono state condotte da due piattaforme a mare. La distanza degli animali dalla sorgente di rumore e l'abbondanza relativa delle balene sono state confrontate tra un'area impatto e un'area controllo.	BT	nd	nd	nd	L'abbondanza relativa non differisce tra l'area impatto e l'area controllo.	NO
			Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D		AI	nd	nd	nd	L'abbondanza relativa è significativamente più bassa nell'area impatto rispetto all'area controllo	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		BT	nd	nd	nd	L'abbondanza relativa non differisce tra l'area impatto e l'area controllo.	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		AI	nd	nd	nd	L'abbondanza relativa non differisce tra l'area impatto e l'area controllo.	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		AI	1.8 km	148-153 dB re 1 uPa	nd	L'abbondanza relativa non differisce tra la fase pre e la fase post esplosione	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		BT	nd	nd	nd	Nel 1995, periodo di intenso traffico, la distanza delle balene dal sito impatto aumenta	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
		D (1992-1993)	Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	nd	nd	nd	Nel 1995, periodo di intenso traffico, la distanza delle balene dal sito impatto aumenta	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	A		AI	nd	nd	nd	Nel 1994, durante le attività industriali, la distanza delle balene dal sito impatto aumenta	SI
			Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AI	nd	nd	nd	Nel 1994, durante le attività industriali, la distanza delle balene dal sito impatto aumenta	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	A		AI	1.8 km	148-153 dB re 1 uPa	nd	Nessuna differenza nella distanza dalla sorgente acustica durante le esplosioni	NO
Lesage, V.	1999	THE EFFECT OF VESSEL NOISE ON THE VOCAL BEHAVIOR OF BELUGAS IN THE ST. LAWRENCE RIVER ESTUARY, CANADA	Nord Atlantico	<i>Delphinapterus leucas</i>	C	Le osservazioni sono state realizzate da una postazione fissa a terra mentre le registrazioni del comportamento acustico sono state effettuate in continuo da un idrofono posto sul fondo. Il comportamento dei Beluga è stato testato in tre fasi: prima (nessuna barca) durante (barca entro 100 metri) e dopo.	BT	100-800 m	da -40 a -80 dB (relative amplitude)	0-16 kHz	I beluga rispondono all'approccio dell'imbarcazione modificando il comportamento in varia misura: dall'aumento del tempo di immersione e la produzione di bolle all'allontanamento dall'area.	si
			Nord Atlantico	<i>Delphinapterus leucas</i>	CA		BT	100-800 m	da -40 a -80 dB (relative amplitude)	0-16 kHz	In presenza di barche i beluga incrementano la frequenza delle vocalizzazioni, nella fase durante	SI
			Nord Atlantico	<i>Delphinapterus leucas</i>	CA		BT	100-800 m	da -40 a -80 dB (relative amplitude)	0-16 kHz	Il tasso di emissione delle vocalizzazioni si duplica nella fase post e durante l'esposizione alla barca, rispetto alla fase pre, in 4 dei 6 esperimenti	SI
Rendell, L. E.	1999	VOCAL RESPONSE OF LONG-FINNED PILOT WHALES (GLOBICEPHALA MELAS) TO MILITARY SONAR IN THE LIGURIAN SEA	Med	<i>Globicephala melas</i>	CA	Durante un monitoraggio acustico di cetacei, il comportamento di un gruppo di globicefali in presenza di sonar è stato analizzato per verificare eventuali impatti.	S	nd	nd	4-5 kHz	I fischi dei globicefali sono più numerosi durante e subito dopo l'emissione del sonar piuttosto che prima.	SI
Allen, M. C.	2000	HABITAT SELECTION OF FORAGING BOTTLENOSE DOLPHINS IN RELATION TO BOAT DENSITY NEAR CLEARWATER, FLORIDA	Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	C	L'impatto potenziale del traffico nautico è stato studiato confrontando la frequenza alimentare e l'uso dell'habitat tra periodi a maggiore traffico e periodi a minore traffico. Il comportamento dei delfini è stato registrato con una combinazione di focal animal e instantaneous data sampling	BT	nd	nd	nd	Nessuna differenza statistica nella frequenza alimentare è stata riscontrata tra i diversi periodi	NO
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	D		BT	nd	nd	nd	Nell'area a maggiore densità di traffico, l'uso dell'habitat da parte dei delfini è differente tra i giorni lavorativi (minor traffico) e il fine settimana (maggior traffico); ciò indica che i delfini diminuiscono l'uso delle loro aree preferenziali di alimentazione in relazione con la densità di traffico.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Biaassoni, N.	2000	PRELIMINARY RESULTS OF THE EFFECTS OF SURTASS-LFA SONAR ON SINGING HUMPBACK WHALES.	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	CA	Il comportamento acustico delle megattere registrato con un <i>focal animal sampling</i> è stato confrontato prima, durante e dopo il playback di Sonar.	S	nd	< 155 dB re 1 uPa	100-500 kHz	In 18 esperimenti, in 9 occasioni le balene interrompono la vocalizzazione in presenza di sonar; 5 solo di queste lo fanno in assenza di ricongiungimento con un altro animale (una situazione in cui spesso le balene smettono di vocalizzare).	nd
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	CA	Il comportamento acustico delle megattere registrato con un <i>focal animal sampling</i> è stato confrontato prima, durante e dopo il playback di Sonar.	S	nd	< 155 dB re 1 uPa	100-500 kHz	La lunghezza delle vocalizzazioni è maggiore durante il playback rispetto che prima. La lunghezza della vocalizzazione torna al valore normale dopo la fine del playback.	SI
Frankel, A. S.	2000	BEHAVIORAL RESPONSES OF HUMPBACK WHALES (MEGAPTERA NOVAEANGLIAE) TO FULL-SCALE ATOC SIGNALS	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C	Il comportamento delle megattere è stato osservato da una postazione fissa a terra e registrato con un <i>continuous sampling focal pod</i> , prima (controllo), durante e dopo la trasmissione ATOC a 14 km di distanza (impatto). I movimenti sono stati registrati con un teodolite	BT	nd	nd	nd	Nessuna influenza delle barche sul tempo di emersione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		BT	nd	nd	nd	Nessuna influenza delle barche sulla distanza tra punti successivi di emersione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		AT	3.7-12 km	120 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Il tempo di emersione aumenta con l'aumentare dei livelli dell'ATOC	SI
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		AT	3.7-12 km	120 dB re 1 uPa	60-90 Hz	La distanza tra tra punti successivi di emersione aumenta con l'aumentare dei livelli dell'ATOC	SI
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		BT	nd	nd	nd	Nessuna influenza	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C		AT	3.7-12 km	120 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna influenza	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	PR		BT	nd	nd	nd	Il ritmo respiratorio diminuisce in presenza di barche	SI
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	PR		AT	3.7-12 km	120 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna influenza della trasmissione ATOC sul ritmo respiratorio	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	nd	nd	nd	Nessuna influenza della presenza di barche sulla velocità delle balene	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AT	3.7-12 km	120 dB re 1 uPa	60-90 Hz	Nessuna influenza della trasmissione ATOC sulla velocità delle balene	NO
Madsen, P. T.	2000	SPERM WHALES (PHYSETER CATODON L-1758) DO NOT REACT TO SOUNDS FROM DETONATORS	Mar Nero	<i>Physeter macrocephalus</i>	CA	Un detonatore è stato usato per calibrare la posizione degli idrofoni in un <i>array</i> e il comportamento di 5 capodogli è stato contemporaneamente osservato per evidenziare eventuali risposte	AI	nd	180 dB re 1 uPa	0-15 kHz	Nessuno degli 8 capodogli mostra una risposta acustica alla detonazione (nessun cambiamento del click rate)	no
McCauley		MARINE SEISMIC SURVEYS: ANALYSIS AND PROPAGATION OF AIR GUN SIGNALS AND	Oceano Indiano	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	La presenza e i movimenti delle megattere in relazione alla trasmissione degli <i>airguns</i> sono stati registrati sia dalla nave di trasmissione che attraverso survey aerei. I	A	D	112-143 dB re 1 uPa	160-1000 Hz	Nessun evidenza di effetto della trasmissione di <i>airguns</i> nel numero di balene avvistate	no
			Oceano Indiano	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D		A	D	112-143 dB re 1 uPa	160-1000 Hz	Nessun evidenza di effetto della trasmissione di <i>airguns</i> nella migrazione e nell'uso dell'habitat	no

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
McCaughey, R.D.	2000	SIGNALS, AND EFFECTS OF AIR-GUN EXPOSURE ON HUMPBACK WHALES, SEA TURTLES, FISHES AND SQUID"	Oceano Indiano	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A	Le osservazioni sono state condotte da mare; il comportamento acustico è stato registrato in continuo (<i>continuous sampling</i>) prima, durante e dopo la trasmissione di un airgun.	A	1.2-4.4 km	112-143 dB re 1 uPa	160-1000 Hz	I gruppi contenenti femmine tendono ad evitare la barca che trasmette l' <i>airgun</i> a una distanza media di 1.3 km, mentre nella maggior parte dei casi individui solitari tendono ad avvicinare la barca ad una distanza di 100-400 m.	nd
Miller, P. J. O.	2000	WHALE SONGS LENGTHEN IN RESPONSE TO SONAR	ND	<i>Megaptera novaeangliae</i>	CA	Le osservazioni delle balene sono state condotte da mare; il comportamento acustico è stato registrato in continuo (<i>continuous sampling</i>) prima, durante e dopo il playback del S a bassa frequenza.	S	nd	< 150 dB re 1 uPa	< 1000 Hz	In media la lunghezza delle vocalizzazioni di megattera è del 29% più lunga durante il playback del LFA, rispetto a prima e dopo la trasmissione	SI
Scarpaci, C.	2000	BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS TRUNCATUS) INCREASE WHISTLING IN THE PRESENCE OF SWIM WITH DOLPHIN TOUR OPERATIONS	Mar di Tasmania	<i>Tursiops truncatus</i>	CA	Le osservazioni sono state condotte da mare; il comportamento superficiale dei delfini è stato registrato con un <i>focal groups scan sampling</i> di 5 min, quello acustico con un <i>continuous sampling</i> . Il tasso di emissione dei fischi è stato testato in assenza/presenza di barche di <i>dolphin watching</i>	BT	< 200 m	nd	nd	Il tasso di emissione dei fischi differisce in funzione della presenza di barche: i delfini fischiano maggiormente in presenza di barche, indipendentemente dallo stato comportamentale.	SI
Bristow, T.	2001	SITE FIDELITY AND BEHAVIOUR OF BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS TRUNCATUS) IN CARDIGAN BAY, WALES	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A	La risposta negativa, positiva o neutra dei delfini alle imbarcazioni entro 100 m dal gruppo è stata registrata da una postazione fissa a terra	BT	< 100 m	nd	nd	Il numero di risposte negative aumenta negli anni con l'aumento del numero di interazioni con le barche, ma senza differenze con il numero di risposte positive.	no
Croll, D. A.	2001	EFFECT OF ANTHROPOGENIC LOW-FREQUENCY NOISE ON THE FORAGING ECOLOGY OF BALAENOPTERA WHALES	Nord Pacifico	<i>Balaenoptera spp</i>	D	Il comportamento alimentare delle balene è stato osservato prima, durante e dopo l'esperimento con un TDR attaccato ad esse. Le osservazioni sul numero, posizione e comportamento delle balene sono state realizzate anche mediante aereo e imbarcazione. Infine, la registrazione del comportamento vocale sono state effettuate con dei sistemi PAM	S	D	95-150 dB re 1 uPa	130-160 Hz; 260-320 Hz	La densità delle balene diminuisce nel primo periodo della fase sperimentale, per poi aumentare alla fine della fase sperimentale in concomitanza con l'aumento di krill nell'area.	nd
			Nord Pacifico	<i>Balaenoptera spp</i>	CA		S	D	< 155 dB re 1 uPa	130-160 Hz; 260-320 Hz	Il tasso di vocalizzazione diminuisce successivamente alla trasmissione del segnale, rispetto alla fase durante, in una stazione di ascolto ma non nell'altra.	nd
Gregory, P. R.	2001	BEHAVIOUR PATTERNS OF BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS TRUNCATUS) RELATIVE TO TIDAL STATE, TIME-OF-DAY, AND BOAT TRAFFIC IN CARDIGAN BAY, WEST WALES	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A	Le osservazioni sono state realizzate da due postazioni fisse a terra. La risposta alle barche presenti entro 250 m dal gruppo è stata classificata in neutra, positiva o negativa (<i>continuous sampling</i>). Sono state inoltre testate la direzione di spostamento dei delfini in presenza/assenza di barche	BT	< 250 m	nd	nd	I delfini nella maggior parte dei casi rimangono neutrali alla presenza delle imbarcazioni e non cambiano la loro direzione di spostamento.	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Nowacek, S.M.	2001	SHORT-TERM EFFECTS OF BOAT TRAFFIC ON BOTTLENOSE DOLPHINS, TURSIOPS TRUNCATUS, IN SARASOTA BAY, FLORIDA	Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	PR	Le osservazioni sono state realizzate da mare e il comportamento registrato con un <i>continuous sampling</i> per i delfini e con un <i>instantaneous sampling</i> ogni 3 min per le barche (velocità, mezzo di propulsione, distanza dal gruppo). Una piccola imbarcazione a motore e una moto d'acqua sono state usate per condurre degli esperimenti di approccio dei delfini a velocità prestabilita (veloce, lenta e variabile). I dati opportunistici e sperimentali sono stati analizzati insieme.	BT	100m	nd	nd	I delfini cambiano significativamente il ritmo respiratorio, espresso come intervallo tra respirazioni, in presenza di barche; la risposta è maggiore nelle madri esperte rispetto alle madri inesperte e alle femmine senza cuccioli; il ritmo respiratorio risulta correlato con la distanza delle barche dai delfini. Nessuna differenza si osserva relativamente al tipo di barca e alla sua velocità	SI
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	100m	nd	nd	La distanza tra gli animali diminuisce in presenza di barche, soprattutto in caso di approcci a bassa velocità e di approcci variabili nella direzione e nella velocità. La maggiore probabilità di cambiamento si osserva in presenza di moto d'acqua, piuttosto che della piccola imbarcazione a motore.	SI
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	100m	nd	nd	L'orientamento dello spostamento degli animali cambia in presenza di barche, soprattutto in caso di approcci a bassa velocità, e di approcci variabili nella direzione e nella velocità. La maggiore probabilità di cambiamento si osserva in presenza di moto d'acqua, piuttosto che della piccola imbarcazione a motore.	SI
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	100m	nd	nd	Nessuna differenza nella velocità di spostamento degli animali	NO
VanParijs, J.	2001	BOAT TRAFFIC AFFECTS THE ACOUSTIC BEHAVIOUR OF PACIFIC HUMPBACK DOLPHINS, SOUSA CHINENSIS	Mar dei Coralli	<i>Sousa chinensis</i>	CA	Il comportamento acustico dei tursiopi, registrato con un idrofono, è stato confrontato un minuto prima, durante e dopo il passaggio di una barca.	BT	D	nd	nd	Il numero mediano di fischi dopo il passaggio della barca differisce statisticamente rispetto a prima e a dopo.	SI
			Mar dei Coralli	<i>Sousa chinensis</i>	CA		BT	D	nd	nd	Il numero mediano di click di ecolocalizzazione non differisce statisticamente tra prima, durante e dopo il passaggio delle barche.	NO
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	D		A	da 200 a > 1000 m.	225 dB re dB 1µPa-m (<i>peak to peak</i>)	200-400 Hz	Gruppi avvistati solo durante le operazioni sismiche	nd

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Douglas, A. B.	2002	MARINE MAMMAL OBSERVATIONS ASSOCIATED WITH SEISMIC SURVEYS OFF WASHINGTON AND BRITISH COLUMBIA IN MAY 2002	Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	D	Le osservazioni sono state condotte da una piattaforma opportunistica (Guardia Costiera) durante le esplosioni degli <i>airguns</i> .	A	da 200 a > 1000 m.	225 dB re dB 1µPa-m (<i>peak to peak</i>)	200-400 Hz	Gruppi avvistati solo durante le operazioni sismiche	nd
			Nord Pacifico	<i>Phocoenoides dalli</i>	D		A	da 200 a > 1000 m.	225 dB re dB 1µPa-m (<i>peak to peak</i>)	200-400 Hz	Gruppi avvistati solo durante le operazioni sismiche	nd
			Nord Pacifico	<i>Pseudorca crassidens</i>	D		A	da 200 a > 1000 m.	225 dB re dB 1µPa-m (<i>peak to peak</i>)	200-400 Hz	Un solo gruppo avvistato in assenza di operazioni sismiche	nd
			Nord Pacifico	<i>Phocoenoides dalli</i>	A		A	da 200 a > 1000 m.	225 dB re dB 1µPa-m (<i>peak to peak</i>)	200-400 Hz	Il 14% delle reazioni sono di allontanamento dalla sorgente acustica	no
Failla, M.	2002	EFFECT OF VESSEL TRAFFIC ON COMMERSON'S DOLPHIN (CEPHALORHYNCHUS COMMERSONII) IN BAHIA SAN JULIAN, PATAGONIA, ARGENTINA.	Sud Atlantico	<i>Cephalorhynchus commersonii</i>	A	Le osservazioni sono state condotte sia da mare che da terra; il comportamento dei delfini è stato registrato con uno <i>scan sampling</i> ogni 3 min dalla postazione a terra e con un <i>focal pod</i> a intervalli di 1 min da mare. La dispersione e dimensione del gruppo e la distanza dalle barche è stata misurata in assenza di barche (controllo) e in presenza di una o più barche (impatto) e in funzione della potenza del motore e del tipo di imbarcazione.	BT	D	nd	nd	Nessuna differenza	NO
			Sud Atlantico	<i>Cephalorhynchus commersonii</i>	A		BT	D	nd	nd	Nessuna differenza.	NO
Frankel, A. S.	2002	ATOC AND OTHER FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF HUMPBACK WHALES (MEGAPTERA NOVAEANGLIAE) OFF THE NORTH SHORE OF KAUAI	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	Le osservazioni delle megattere sono state realizzate da una postazione fissa a terra; il comportamento è stato registrato con la metodologia <i>scan sampling</i> , la posizione e gli spostamenti con un teodolite; l'abbondanza è stata calcolata come frequenza di avvistamento divisa per la dimensione dell'area osservata.	AT	nd	165-195 dB re 1µPa	nd	La trasmissione dell'ATOC non influisce sull'abbondanza relativa delle balene	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D		AT	D	165-195 dB re 1µPa	nd	Nessuna differenza nella distanza dei gruppi dalla costa durante la trasmissione ATOC.	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D		AT	D	165-195 dB re 1µPa	nd	I gruppi senza cuccioli si trovano a profondità maggiori durante la trasmissione ATOC rispetto al controllo, mentre nessuna differenza tra impatto e controllo per i gruppi con cuccioli	SI
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		AT	D	165-195 dB re 1µPa	nd	La distanza degli animali dalla sorgente ATOC differisce statisticamente quando questa è in funzione, sia in presenza che in assenza di cuccioli	SI
		GEOSTATISTICAL ANALYSES OF INTERACTIONS BETWEEN	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	C	La direzione e la velocità di	BT	nd	nd	nd	In presenza di barche, indipendentemente dal tipo di propulsione e dalla sua dimensione, le orche tendono a cambiare area muovendosi con una direzione determinata e non casuale. La risposta differisce significativamente anche in relazione al tipo di approccio della barca.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Jelinski, D. E.	2002	KILLER WHALES (ORCINUS ORCA) AND RECREATIONAL WHALE-WATCHING BOATS	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A	spostamento delle imbarcazioni e la risposta delle orche ad esse è stata registrata con un teodolite da una postazione fissa a terra	BT	nd	nd	nd	L'associazione spaziale tra i membri del gruppo non cambia in relazione al tipo di approccio della barca e alla sua velocità ma cambia significativamente in relazione al mezzo di propulsione.	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A						La velocità di spostamento delle balene non cambia in relazione al movimento delle barche, alla loro dimensione o al mezzo di propulsione	NO
Johnston, D.W.	2002	THE EFFECT OF ACOUSTIC HARASSMENT DEVICES ON HARBOUR PORPOISES (PHOCOENA PHOCOENA) IN THE BAY OF FUNDY, CANADA	Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	D	Durante il periodo sperimentale, un osservatore da postazione fissa a terra ha registrato il numero di focene e il tracciato dei loro movimenti tramite teodolite. L'abbondanza delle focene e la distanza dall'AHD è stata testata quando questo era attivo (impatto) e inattivo (controllo)	AH D	D	180 dB re 1 uPa @ 1 m	10 kHz	L'abbondanza delle focene diminuisce nella fase di impatto rispetto al controllo	SI
			Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	A		AH D	D	180 dB re 1 uPa @ 1 m	10 kHz	La distanza media delle focene dall'AHD è minore quando questo è inattivo piuttosto che quando è attivo	SI
Madsen, P. T.	2002	MALE SPERM WHALE BEHAVIOUR DURING EXPOSURES TO DISTANT SEISMIC SURVEY PULSES	Mar Nero	<i>Physeter macrocephalus</i>	D	Le registrazioni acustiche sono state realizzate in contemporanea alle attività di esplorazione sismica. Il comportamento acustico e la presenza nell'area è stata messa in relazione con il rumore degli <i>airguns</i> per evidenziare eventuali risposte.	A	40-86 km	< 146 dB re 1 uPa (p-p)	100-500 kHz	I capodogli sono stati osservati dalla piattaforma di ricerca e da quella opportunistica tutti i giorni in cui gli <i>airguns</i> sono stati operativi, evidenziando che il rumore non determina alcun fenomeno di allontanamento dall'area	no
			Mar Nero	<i>Physeter macrocephalus</i>	CA		A	40-86 km	136-146 dB re 1 uPa (p-p).	110-260 kHz	L'esplosione non provoca l'interruzione delle vocalizzazioni	no
			Mar Nero	<i>Physeter macrocephalus</i>	CA		A	40-86 km	136-146 dB re 1 uPa (p-p).	110-260 kHz	L' <i>inter click interval</i> non varia prima e dopo l'esplosione dell' <i>airgun</i> .	no
Magalhães, S.	2002	SHORT-TERM REACTIONS OF SPERM WHALES (PHYSETER MACROCEPHALUS) TO WHALE-WATCHING VESSELS IN THE AZORES	Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	C	Il comportamento degli animali è stato osservato sia da terra che da mare; i cambiamenti di comportamento e del ritmo respiratorio sono stati testati in funzione dell'assenza/ presenza di barche	BT	nd	nd	nd	Tutti gli stati comportamentali cambiano con maggiore frequenza in presenza di barche ma in maniera non statisticamente significativa	NO
			Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	PR		BT	nd	nd	nd	I risultati mostrano una differenza significativa nel ritmo respiratorio soltanto negli individui accompagnati da cuccioli.	NO
Morton, A. B.	2002	DISPLACEMENT OF ORCINUS ORCA BY HIGH AMPLITUDE SOUND IN BRITISH COLUMBIA, CANADA	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	D	L'osservazione delle orche è stata realizzata visivamente, da postazioni a terra, acusticamente e opportunisticamente, grazie a osservatori su altre imbarcazioni. Le detezioni di orche sono state confrontate in due aree (una impatto e una controllo) e in tre fasi: prima, durante e dopo l'emissione di AHD.	AH D	nd	194 dB re 1 uPa @ 1 m	10 kHz	La presenza delle orche si riduce negli anni in cui l'AHD è stato operativo rispetto ai periodi pre e post nell'area impatto; nessuna differenza tra i tre periodi nell'area controllo	YES

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Olesiuk, P.F.	2002	EFFECT OF THE SOUND GENERATED BY AN ACOUSTIC HARASSMENT DEVICE ON THE RELATIVE ABUNDANCE AND DISTRIBUTION OF HARBOR PORPOISES (PHOCOENA PHOCOENA) IN RETREAT PASSAGE, BRITISH COLUMBIA	Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	A	Durante il periodo degli esperimenti, gli osservatori hanno registrato il numero di focene e tracciato i loro movimenti con un teodolite. L'abbondanza delle focene e la distanza dall'AHD è stata testata quando questo era attivo (impatto) e inattivo (controllo)	AHD	D	190 dB re 1 uPa @ 1 m	10 kHz	L'abbondanza di focene osservate aumenta con l'aumentare della distanza dall'AHD rispetto all'abbondanza attesa (ma ciò non è stato testato statisticamente)	si
			Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	D		AHD	D	190 dB re 1 uPa @ 1 m	10 kHz	In confronto al periodo di controllo, l'abbondanza relativa delle focene decresce considerevolmente quando il sistema AHD è attivo.	SI
Williams, R.	2002	BEHAVIOURAL RESPONSES OF MALE KILLER WHALES TO "LEAPFROGGING" VESSEL	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	C	La velocità e la direzione di spostamento, il ritmo respiratorio e la durata d'immersione delle orche (maschio) in presenza (impatto)/assenza (controllo) della barca sperimentale è stato registrato da una postazione fissa a terra con l'impiego di un teodolite	BT	200-500 m	148-162 dB re 1 uPa	0-24 kHz	Nessuna differenza nel C superficiale tra impatto e controllo	NO
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	C		BT	200-500 m	148-162 dB re 1 uPa	0-24 kHz	Nessuna differenza nella durata dell'immersione tra impatto e controllo	NO
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	200-500 m	148-162 dB re 1 uPa	0-24 kHz	Il <i>directness index</i> diminuisce in presenza della barca (impatto) rispetto che in assenza (controllo)	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	200-500 m	148-162 dB re 1 uPa	0-24 kHz	Il <i>deviation index</i> aumenta in presenza della barca (impatto) rispetto che in assenza (controllo)	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	200-500 m	148-162 dB re 1 uPa	0-24 kHz	Nessuna differenza nella velocità di spostamento tra impatto e controllo	NO
Fristrup, K. M.	2003	VARIATION IN HUMPBACK WHALE (MEGAPTERA NOVAEANGLIAE) SONG LENGTH IN RELATION TO LOW-FREQUENCY SOUND BROADCASTS.	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C	La durata della vocalizzazione delle megattere alla emissione di un LF sonar è stata studiata con metodologia visiva e acustica, in funzione del numero di <i>ping</i> e del momento di sovrapposizione nella vocalizzazione	S	< 4 km	< 140 dB re 1 uPa	150-320 Hz	La lunghezza della vocalizzazione aumenta in presenza di un <i>ping</i> verso la fine della canzone: l'effetto dura sino a più di due ore dopo la fine dell'emissione del sonar; maggiore è l'intensità del suono maggiore è la lunghezza della vocalizzazione	SI
Hastie, G. D.	2003	BOTTLENOSE DOLPHINS INCREASE BREATHING SYNCHRONY IN RESPONSE TO BOAT TRAFFIC	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	PR	Le osservazioni sono state condotte da una postazione fissa da terra. La sincronia nella respirazione, registrata con videocamera, è stata confrontata in presenza e assenza di imbarcazioni	BT	nd	nd	nd	La sincronia respiratoria è statisticamente superiore in presenza di barche	SI
Johnson, M. P.	2003	A DIGITAL ACOUSTIC RECORDING TAG FOR MEASURING THE RESPONSE OF WILD MARINE MAMMALS TO SOUND	Golfo del Messico	<i>Eubalaena glacialis</i>	C	La risposta della balena al playback di una nave è stata registrata con un DTAG, capace di misurare vocalizzazioni, profondità d'immersione e orientamento del nuoto	VN	600m	170 dB re 1 uPa	nd	Spostamento nella direzione del nuoto e successivo ripristino della direzione.	nd
			Med	<i>Physeter macrocephalus</i>	C		S	nd	164 dB re 1 uPa	1-2.5-4-8 kHz	Il DTAG ha registrato una anomala manovra in risposta al sonar ma senza un controllo e un campione più grande non è possibile trarre delle conclusioni	nd
		BEHAVIOURAL REACTIONS OF FREE-RANGING	Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	CA	I movimenti dei delfini in risposta al playback del rumore emesso dalle pale	WF	60-601	128 dB re 1 uPa/Hz	30-800 Hz	Il numero mediano di click al minuto è maggiore durante il periodo di impatto (playback del suono) che durante il controllo (silenzio).	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Koschinski, S.	2003	PORPOISES AND SEALS TO THE NOISE OF A SIMULATED 2 MW WINDPOWER GENERATOR	Nord Pacifico	<i>Phocoena phocoena</i>	A	eoliche è stato misurato da una postazione fissa a terra con un teodolite. Il numero di click in assenza di playback è stato confrontato con il numero di click in presenza di playback	WF	60-600	128 dB re 1uPa/Hz	30-800 Hz	La distanza delle focene dallo speaker è minore durante il controllo piuttosto che l'impatto soltanto in una classe di distanza (0-60 m). Nelle classi di distanza successive non si osserva alcuna differenza	SI
Lusseau, D.	2003	EFFECTS OF TOUR BOATS ON THE BEHAVIOR OF BOTTLENOSE DOLPHINS: USING MARKOV CHAINS TO MODEL ANTHROPOGENIC IMPACTS	Mar di Tasmania	<i>Tursiops spp</i>	C	Le osservazioni sono state condotte da un'imbarcazione; il comportamento è stato registrato con un <i>focal individual scan sampling</i> ogni 15 min. La successione di stati comportamentali è stata analizzata con le <i>Markov chains</i> in assenza e in presenza di interazioni di barche (entro 400 m)	BT	< 400 m	nd	nd	L'interazione delle barche cambia significativamente le successioni di stati comportamentali.	SI
			Mar di Tasmania	<i>Tursiops spp</i>	C		BT	< 400 m	nd	nd	La durata dell'immersione è più lunga in presenza di barche che in assenza; nessuna differenza nei periodi prima e dopo l'interazione con la barca. L'effetto è più elevato nelle femmine	SI
Ng, S. L.	2003	BEHAVIORAL RESPONSE OF INDO-PACIFIC HUMPBAC DOLPHIN (SOUSA CHINENSIS) TO VESSEL TRAFFIC	Nord Pacifico	<i>Sousa chinensis</i>	C	Le osservazioni del comportamento sono state realizzate da due postazioni fisse a terra. Il comportamento e il tempo di immersione del gruppo sono stati registrati in assenza e in presenza di barche in arrivo (distanza < di 1 km). La risposta alla barca, positiva negativa o neutra, è stata testata in funzione del tipo di barca e della distanza	BT	< 200 - >1km	nd	nd	La durata delle immersioni è influenzata dalla intensità del traffico (maggiore dove la densità è più elevata) e dalla distanza dalle imbarcazioni (durata maggiore con imbarcazioni a distanza inferiore ai 200 metri)	SI
			Nord Pacifico	<i>Sousa chinensis</i>	A		BT	< 200 - >1km	nd	nd	Sono risultate più risposte negative con le imbarcazioni a più elevata velocità. Solo risposte positive con imbarcazioni da pesca. La risposta alle imbarcazioni è stata rilevata solo ad una distanza inferiore ai 500 metri	SI
Nowacek, D. P.	2003	NORD ATLANTICO RIGHT WHALES (EUBALAENA GLACIALIS) IGNORE SHIPS BUT RESPOND TO ALERTING STIMULI	Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	C	Un DTAG è stato utilizzato per monitorare la risposta comportamentale e acustica al playback di diversi suoni: silenzio (controllo), rumore da imbarcazione, vocalizzazioni di balena e segnale d'allerta.	VN	D	133-142 dB re 1uPa/sqrt(Hz)	50-500 Hz	Nessun cambiamento dal normale pattern d'immersione	NO
			Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	C		VN	D	140 dB re 1uPa/sqrt(Hz)	50-500 Hz	Nessun cambiamento dal normale pattern d'immersione	NO
			Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	C		AS	D	133-148 dB re 1uPa/sqrt (Hz)	0-4000 Hz	5 delle 6 balene cambiano il loro comportamento d'immersione	SI
			Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	C		AS	D	148 dB re 1uPa/sqrt(Hz)	0-4000 Hz	5 delle 6 balene cambiano il loro comportamento d'immersione	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Stone, C.	2003	THE EFFECTS OF SEISMIC ACTIVITY ON MARINE MAMMALS IN UK WATERS, 1998-2000	Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	D	Le osservazioni dei cetacei sono state realizzate a bordo di una nave per esplorazioni sismiche. L'abbondanza relativa delle diverse specie è stata confrontata in funzione del tempo in cui era presente attività sismica, stratificando il campione per periodi (per evitare effetti confondenti nella distribuzione legati alla stagionalità)	A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Abbondanza statisticamente inferiore durante i periodi di non attività sismica.	SI
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus obliquidens</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Abbondanza statisticamente inferiore durante i periodi di non attività sismica.	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	D		A	0-2 km	nd	nd	Nessuna differenza nell'abbondanza in funzione dello stato di operatività dell'attività sismica	NO
Buckstaff, K. C.	2004	EFFECTS OF WATERCRAFT NOISE ON THE ACOUSTIC BEHAVIOR OF BOTTLENOSE DOLPHINS, TURSIOPS TRUNCATUS, IN SARASOTA BAY, FLORIDA	Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	CA	Le registrazioni acustiche sono state raccolte in maniera continua durante la registrazione del comportamento superficiale delle coppie mamma-cucciolo (<i>instantaneous scan sampling of focal animal</i> , ogni 3 min per almeno 2 h) Le caratteristiche delle vocalizzazioni sono state confrontate in funzione della presenza/assenza di barca o barche.	BT	0-400 m	113-138 dB re 1uPa	0.5-12 Hz	Solo la frequenza minima cambia significativamente in presenza di barche.	NO
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	CA		BT	0-400 m	113-138 dB re 1uPa	0.5-12 Hz	La durata dei fischi non varia in maniera significativa in presenza di barche piuttosto che in assenza.	NO
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	CA		BT	0-400 m	113-138 dB re 1uPa	0.5-12 Hz	Il tasso di emissione dei fischi è significativamente maggiore in presenza di barche, piuttosto che in assenza; esso aumenta inoltre all'inizio dell'approccio di un'imbarcazione, per poi diminuire, indipendentemente dalla distanza e dalla velocità dell'imbarcazione.	SI
Constantine, R.	2004	DOLPHIN-WATCHING TOUR BOATS CHANGE BOTTLENOSE DOLPHIN (TURSIOPS TRUNCATUS) BEHAVIOUR.	Sud Pacifico	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Le osservazioni sono state condotte da un'imbarcazione e il comportamento dei delfini è stato registrato con un <i>focal group scan sampling</i> (2 min per più di un'ora) ogni volta che una barca era entro 300 m dal gruppo e confrontato in funzione del numero (0 controllo; 2, 3, 4+ impatto)	BT	0-300 m	nd	nd	Il comportamento dei delfini cambia a seconda del numero di barche presenti. Lo stato comportamentale maggiormente influenzato è <i>resting</i> (che diminuisce in presenza di barche), segue <i>milling</i> (che aumenta con l'aumentare del numero di barche). Inoltre una maggiore variazione si ha con le barche che operano <i>dolphin watching</i> .	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Foote, A. D.	2004	WHALE-CALL RESPONSE TO MASKING BOAT NOISE.	Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	CA	La durata delle vocalizzazioni di orca è stata confrontata in assenza/presenza di barche, in tre periodi a differente livello di traffico e rumore. Le registrazioni nei tre periodi sono state effettuate con apparecchiature e metodi differenti	BT	nd	nd	nd	La durata delle vocalizzazioni differisce significativamente in presenza di barche, piuttosto che in assenza, nel terzo periodo (2001-2003) e ciò indica che le orche compensano le loro vocalizzazioni raggiunti certi livelli di rumore.	SI
Goodwin, L.	2004	EFFECTS OF BOAT TRAFFIC ON THE BEHAVIOUR OF BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS TRUNCATUS).	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D	Le osservazioni sono state condotte da una stazione fissa e terra e il comportamento dei delfini è stato registrato in continuo. La risposta (negativa, positiva o neutra) è stata testata in presenza di barche o nuotatori entro 100 m dal gruppo	BT	0-100 m	nd	nd	La presenza di barche, di nessun tipo, non influenza la presenza di delfini.	NO
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	0-100 m	nd	nd	La frequenza di risposte negative non cambia, rispetto alle neutre e alle positive, quando le barche sono ferme, mentre aumenta significativamente in presenza di barche plananti in movimento.	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	0-100 m	nd	nd	Il tempo che i delfini trascorrono nell'area di studio non è statisticamente correlato con il numero di barche, indipendentemente dal tipo di barca	NO
Kreb, D.	2004	LIVING UNDER AN AQUATIC FREEWAY: EFFECTS OF BOATS ON IRRRAWADDY DOLPHINS (ORCAELLA BREVIROSTRIS) IN A COASTAL AND RIVERINE ENVIRONMENT IN INDONESIA.	Oceano Indiano	<i>Orcaella brevirostris</i>	PR	L'interazione tra delfini e barche è stata studiata in due siti da due diverse imbarcazioni; il tasso di emersione è stato misurato in continuo per periodi di 15-30 min (<i>focal follow</i>) ed è stato testato in assenza/presenza di barche (entro 100 m dal gruppo), differenziando per tipo di barca e per categorie di distanza.	BT	da 0 a 300 m	nd	nd	L'intervallo tra respirazioni diminuisce significativamente (nel fiume) in presenza di barche ma la risposta varia in funzione del tipo di barca, della velocità di spostamento, dell'attività e della distanza. Nella baia invece la risposta è meno evidente. La risposta varia anche in funzione della dimensione e composizione del gruppo.	SI
Lusseau, D.	2004	THE HIDDEN COST OF TOURISM: DETECTING LONG-TERM EFFECTS OF TOURISM USING BEHAVIORAL INFORMATION	Mar di Tasmania	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Lo stato comportamentale dei gruppi è stato registrato da un'imbarcazione con metodologia <i>scan sampling</i> (1 volta ogni 15 min). L'andamento della successione degli stati comportamentali, analizzato con le <i>Markov chain</i> , è stato confrontato in presenza/assenza di barche	BT	nd	nd	nd	La presenza di barche determina un'alterazione di alcune successioni di stati comportamentali	SI
			Mar di Tasmania	<i>Tursiops truncatus</i>	C		BT	nd	nd	nd	La presenza di barche determina una riduzione dell'attività di <i>resting</i> e <i>socializing</i>	SI
		BEHAVIOURAL RESPONSES OF HUMPBACK WHALES (MEGAPTERA	Sud Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A	La velocità e la direzione delle megattere è stato	BT	D	nd	nd	L'orientamento delle balene non cambia in assenza o presenza di barche e neanche tra la fase pre e la fase durante l'esposizione alle barche di <i>whale-watching</i> ; mentre il percorso diventa più diretto dalla fase durante alla fase post esposizione.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Scheidat, M.	2004	NOVAEANGLIAE) TO WHALEWATCHING BOATS NEAR ISLA DE LA PLATA, MACHALILLA NATIONAL PARK, ECUADOR	Sud Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A	osservata da una postazione fissa a terra (mediante un teodolite) e confrontato tra fasi pre-durante l'esposizione a imbarcazioni di <i>whale watching</i> e tra fasi durante-post esposizione.	BT	D	nd	nd	La velocità delle balene aumenta significativamente dalla fase pre alla fase durante l'esposizione alle barche di <i>whale-watching</i> mentre non cambia dalla fase durante alla fase post esposizione. Inoltre la velocità aumenta significativamente in presenza di 1 o 2 barche piuttosto che in assenza	SI
Lamb, J.	2005	RELATIONSHIPS BETWEEN PRESENCE OF BOTTLENOSE DOLPHINS, ENVIRONMENTAL VARIABLES AND BOAT TRAFFIC; VISUAL AND ACOUSTIC SURVEYS IN NEW QUAY BAY, WALES.	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D	Le osservazioni visive sono state condotte da terra e il monitoraggio acustico è stato effettuato con T-PODs. L'abbondanza visiva e acustica dei delfini è stata messa in relazione con il numero di barche contemporaneamente presenti.	BT	nd	nd	nd	L'abbondanza relativa dei delfini varia inversamente con il traffico di barche: essa è infatti minore nelle ore pomeridiane quando il traffico raggiunge il suo massimo picco.	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	C		BT	nd	nd	nd	La reazione dei delfini durante l'interazione con le barche varia rispetto che in loro assenza (maggior numero di cambiamenti comportamentali). Le barche a motore che si spostano a grandi velocità causano una più evidente modificazione del comportamento	si
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D		BT	nd	nd	nd	L'occorrenza acustica dei delfini varia inversamente con il traffico di barche: essa è infatti minore nelle ore pomeridiane quando il traffico raggiunge il suo massimo picco.	SI
Lusseau, D.	2005	RESIDENCY PATTERN OF BOTTLENOSE DOLPHINS TURSIOPS SPP. IN MILFORD SOUND, NEW ZEALAND, IS RELATED TO BOAT TRAFFIC	Sud Pacifico	<i>Tursiops truncatus</i>	D	Le osservazioni sono state condotte via mare ogni giorno, coprendo l'intera area di studio. L'indice di residenza dei delfini è stato confrontato con il numero di viaggi turistici offerti per stagione.	BT	nd	nd	nd	L'indice di residenza stagionale è negativamente correlato con il numero totale di viaggi turistici offerti in ogni stagione.	SI
			Sud Pacifico	<i>Tursiops truncatus</i>	D		BT	nd	nd	nd	La proporzione di tempo che i delfini trascorrono nell'area di studio è negativamente correlata con il numero delle barche. Quindi i delfini spendono meno tempo nell'area di studio quando essa è maggiormente usata dalle barche.	SI
		EFFECTS OF BOAT ACTIVITY	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	C	I delfini sono stati osservati	BT	nd	nd	nd	La risposta comportamentale è statisticamente differente se la barca è presente piuttosto che assente e in funzione del numero e del tipo di barca presente.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Mattson, M. C.	2005	ON THE BEHAVIOR OF BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS TRUNCATUS) IN WATERS SURROUNDING HILTON HEAD ISLAND, SOUTH CAROLINA.	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A	da terra e il comportamento raccolto con il metodo <i>instantaneous scan sampling</i> (ogni 2 min per 12 min); cambiamenti nel comportamento e nella direzione di movimento sono confrontati in assenza e in presenza di 5 tipi di imbarcazioni	BT	nd	nd	nd	La dimensione del gruppo cresce in presenza di una barca, piuttosto che in assenza ed è significativamente maggiore se il numero di barche è maggiore di 1, indipendentemente dal tipo di barca.	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A						Nessuna differenza nella distanza tra gli animali del gruppo nel confronto barca presente/barca assente e nel confronto una barca/ tante barche.	NO
Mobley, J. R., Jr.	2005	ASSESSING RESPONSES OF HUMPBACK WHALES TO NPAL TRANSMISSIONS : RESULTS OF 2001-2003 AERIAL SURVEYS NORTH OF KAUAI.	Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	Le osservazioni sono state realizzate in tre anni, l'ultimo dei quali contemporaneamente ai giorni di trasmissione ATOC; abbondanza e distribuzione sono state confrontate tra anni in assenza e anni in presenza di trasmissione.	AT	nd	195 dB	nd	Nessuna differenza significativa nella frequenza di avvistamento	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D						Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza degli avvistamenti dalla costa, né tra anni né tra periodi di trasmissione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D						La profondità degli avvistamenti non differisce tra periodi di trasmissione e periodi di non trasmissione ma differisce tra anni di non trasmissione e anni di trasmissione	NO
			Nord Pacifico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A						La distanza mediana degli animali dalla sorgente di trasmissione è superiore negli anni di non trasmissione rispetto che all'anno di trasmissione ma non differisce tra periodi di trasmissione e periodi di non trasmissione	NO
Morisaka, T.	2005	EFFECTS OF AMBIENT NOISE ON THE WHISTLES OF INDO-PACIFIC BOTTLENOSE DOLPHIN POPULATIONS	Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Il rumore ambientale in tre differenti aree geografiche abitate dai delfini è stato misurato per verificare se esso determina variazioni nelle frequenza dei fischi da questi emessi	VN	nd	50-90 dB re uPa2/Hz	0-22 kHz	La distribuzione di frequenza (<i>adopted frequency</i>) dei fischi differisce significativamente tra area impatto e aree controllo	SI
			Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	C						Il coefficiente di modulazione di frequenza è inferiore nelle aree impatto piuttosto che in quelle controllo	SI
			Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	C						La durata dei fischi non differisce tra area impatto e aree controllo.	NO
Neumann, D. R.	2005	BEHAVIOUR AND ECOLOGY OF COMMON DOLPHINS (DELPHINUS DELPHIS) AND THE IMPACT OF TOURISM IN MERCURY BAY, NORTH ISLAND, NEW ZEALAND	Sud Pacifico	<i>Delphinus delphis</i>	C	Il comportamento dei delfini, osservato da una piccola imbarcazione, è stato raccolto ogni 3 min e associato all'approccio delle imbarcazioni (da ricerca e da turismo) e dei nuotatori	BT	100-500 m	nd	nd	Nessun cambiamento statisticamente significativo	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Ribeiro, S.	2005	BEHAVIOURAL RESPONSES OF CHILEAN DOLPHINS (CEPHALORHYNCHUS EUTROPIA) TO BOATS IN YALDAD BAY, SOUTHERN CHILE	Sud Pacifico	<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	A	Le osservazioni sono state condotte da una postazione fissa a terra; il comportamento dei delfini (osservato in continuo dall'inizio alla fine dell'avvistamento) e i movimenti (tracciati con un teodolite) sono stati confrontati tra prima e dopo l'interazione con due tipi di imbarcazioni (ad una distanza inferiore ai 100 m e tra i 100 e 500 m) e tra assenza e presenza di barche.	BT	<100 m; 100-400 m	nd	nd	Nessuna differenza significativa nell'orientamento del nuoto, durante <i>foraging</i> e <i>travelling</i> , a seconda della distanza dell'imbarcazione (minore di 100 m o tra 100-500 m) e del tipo di imbarcazione; differenza significativa invece tra prima, durante e dopo l'incontro durante il <i>foraging</i> ma non durante il <i>travelling</i> ; il tempo di ripristino della normale attività è maggiore nel caso di <i>foraging</i> che di <i>travelling</i> .	SI
			Sud Pacifico	<i>Cephalorhynchus eutropia</i>	A		BT	<100 m; 100-400 m	nd	nd	Nessuna differenza significativa nella velocità di nuoto, durante <i>foraging</i> e <i>travelling</i> , a seconda della distanza dell'imbarcazione (minore di 100 m o tra 100-500 m) e del tipo di imbarcazione; nessuna differenza durante il <i>foraging</i> prima, durante e dopo l'esposizione alla barca, ma differenza significativa durante il <i>travelling</i> .	SI
Scheifele, P. M.	2005	INDICATION OF A LOMBARD VOCAL RESPONSE IN THE ST. LAWRENCE RIVER BELUGA	Nord Atlantico	<i>Delphinapterus leucas</i>	CA	L'ampiezza delle vocalizzazioni è stata confrontata prima e durante il passaggio delle imbarcazioni per verificare l'effetto del rumore.	VN	100-400 m	nd	60-120 dB re 1 uPa	L'intensità delle vocalizzazioni dei beluga varia significativamente tra le condizioni di rumore e quella di non rumore.	SI
Sini, M.I.	2005	BOTTLENOSE DOLPHINS AROUND ABERDEEN HARBOUR, NORTH-EAST SCOTLAND: A SHORT STUDY OF HABITAT UTILIZATION AND THE POTENTIAL EFFECTS OF BOAT TRAFFIC	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A	Le osservazioni sono state condotte da una stazione fissa a terra. Sono stati registrati presenza, abbondanza e comportamento dei delfini avvistati (<i>scan sampling</i> - 5 min ogni mezz'ora).	BT	nd	nd	nd	I delfini mostrano con frequenza statisticamente maggiore una risposta negativa di allontanamento nei confronti di barche di piccole dimensioni, piuttosto che medie o grandi, nei confronti di barche che si muovono con direzione variabile, e nei confronti di barche che si muovono a elevata velocità.	SI
Aguilar Soto, N	2006	DOES INTENSE SHIP NOISE DISRUPT FORAGING IN DEEP-DIVING CUVIER'S BEAKED WHALES (ZIPHIUS CAVIROSTRIS)?	Med	<i>Ziphius cavirostris</i>	C	Il comportamento alimentare di uno zifio taggato in Mediterraneo è stato analizzato per verificare se esso cambia in presenza di intenso rumore da traffico marittimo	VN	700m	136 dB rms re 1 uPa	356 Hz-44.8 kHz	Lo zifio si immerge otto volte ad una profondità simile ma nell'immersione in presenza di rumore da traffico marittimo la durata dell'immersione è di 15 min più breve dalla durata media delle altre	SI
			Med	<i>Ziphius cavirostris</i>	C		VN	700m	136 dB rms re 1 uPa	356 Hz-44.8 kHz	Il numero di buzz emessi nella immersione rumorosa è inferiore rispetto alle altre immersioni in assenza di rumore	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Bain, D. E.	2006	EFFECTS OF VESSELS ON BEHAVIOR OF SOUTHERN RESIDENT KILLER WHALES (ORCINUS SPP.)	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	C	Le osservazioni delle orche sono state realizzate da due stazioni fisse a terra e il comportamento di animali e barche è stato registrato con uno <i>scan sampling of focal group</i> e un <i>continuous sampling</i> di individui: Gli spostamenti di barche e animali sono stati registrati con un teodolite	BT	100-400-1000 m	nd	nd	Le orche tendono a spendere significativamente più tempo in <i>travelling</i> quando le barche si trovano a 100 e 400 m piuttosto che quando sono assenti. Le orche tendono a spendere più tempo in <i>foraging</i> se le barche sono a 1000 m dal gruppo piuttosto che se sono a 100 m	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	C		BT	< 1000 m	nd	nd	Le orche compiono più comportamenti superficiali in presenza di barche piuttosto che in assenza	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	< 1000 m	nd	nd	Le orche tendono a muoversi in percorsi meno diretti quando le barche sono presenti piuttosto che quando sono assenti.	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	< 1000 m	nd	nd	Le orche tendono a cambiare in media più volte direzione in presenza di barche piuttosto che in assenza	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	PR		BT	< 1000 m	nd	nd	Il ritmo respiratorio è più lungo in presenza di barche piuttosto che in assenza.	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	1000 m	nd	nd	Nessuna differenza nella velocità di spostamento in funzione della presenza di barche.	NO
Bejder, L.	2006	DECLINE IN RELATIVE ABUNDANCE OF BOTTLENOSE DOLPHINS EXPOSED TO LONG-TERM DISTURBANCE	Oceano Indiano	<i>Tursiops spp</i>	D	L'abbondanza dei delfini è stata confrontata in 3 diversi periodi e 2 differenti aree, scelti in funzione del numero di barche di <i>dolphin watching</i>	BT	nd	nd	nd	L'abbondanza dei delfini cambia significativamente quando il numero di barche di <i>dolphin watching</i> passa da 1 a 2	SI
Bejder, L.	2006	INTERPRETING SHORT-TERM BEHAVIOURAL RESPONSES TO DISTURBANCE WITHIN A LONGITUDINAL PERSPECTIVE	Oceano Indiano	<i>Tursiops spp</i>	A	E' stato studiato l'effetto dell'approccio sperimentale di una barca sul comportamento dei delfini in due differenti siti, uno con un alto livello di traffico (impatto) l'altro a basso livello di traffico (controllo) e in tre fasi (prima durante e dopo). Le osservazioni sono state condotte da terra e il comportamento registrato con <i>countinuous</i> e <i>scan sampling</i>	BT	D	nd	nd	Durante l'approccio dell'imbarcazione il gruppo cambia più frequentemente la direzione di spostamento, che diventa più erratica.	SI
			Oceano Indiano	<i>Tursiops spp</i>	A		BT	D	nd	nd	Durante l'approccio dell'imbarcazione il gruppo è meno disperso e i suoi membri cambiano più spesso.	SI
			Oceano Indiano	<i>Tursiops spp</i>	A		BT	D	nd	nd	Durante l'approccio dell'imbarcazione il gruppo cambia più frequentemente la velocità di spostamento.	SI
		RESPONSE OF TRAVELLING BOTTLENOSE DOLPHINS (TURSIOPS)	Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	C	Il comportamento in superficie e il comportamento acustico del gruppo è stato	BT	100m	45-78 dB re 1 uPa/Hz	200 Hz-14.5 kHz	I delfini osservati cambiano in maniera statisticamente significativa il loro comportamento da <i>travelling</i> a <i>milling</i> nella condizione di impatto.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Lemon, M. et al	2006	ADUNCUS) TO EXPERIMENTAL APPROACHES BY A POWERBOAT IN JERVIS BAY, NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA	Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	CA	osservato in quattro fasi sperimentali: pre esposizione alla barca; approccio; esposizione; post esposizione (tot 9 min). Altri 9 min in assenza totale di barche rappresentano il controllo.	BT	100m	45-78 dB re 1 uPa/Hz	200 Hz-14.5 kHz	Nessun cambiamento statisticamente significativo tra impatto e controllo nel tasso di emissione dei click	NO
			Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	CA		BT	100m	45-78 dB re 1 uPa/Hz	200 Hz-14.5 kHz	Nessun cambiamento statisticamente significativo tra impatto e controllo nella durata delle vocalizzazioni	NO
Lusseau, D.	2006	THE SHORT-TERM BEHAVIORAL REACTIONS OF BOTTLENOSE DOLPHINS TO INTERACTIONS WITH BOATS IN DOUBTFUL SOUND, NEW ZEALAND	Tasman Sea	<i>Tursiops spp</i>	C	Il comportamento degli animali è stato osservato con uno <i>scan sampling</i> per un periodo di 5 minuti per periodi ripetuti in ogni avvistamento. Sono stati registrati gli eventi comportamentali per 1 ora per ogni avvistamento. contemporaneamente sono stati registrati la presenza il numero ed il tipo di imbarcazioni presenti entro 400 metri dai delfini.	BT	< 400 m	nd	nd	L'interazione con le barche altera 4 eventi comportamentali e lo stato comportamentale del gruppo. I delfini tendono a viaggiare in risposta alle barche e a compiere comportamenti che segnalano tale intenzione rumorosamente (es. colpi sull'acqua).	SI
Richter, C	2006	IMPACTS OF COMMERCIAL WHALE WATCHING ON MALE SPERM WHALES AT KAIKOURA, NEW ZEALAND	Sud Pacifico	<i>Physeter macrocephalus</i>	CA	Il comportamento acustico, gli spostamenti e il <i>pattern</i> respiratorio degli animali è stato osservato durante le interazioni con le barche di <i>whale watching</i> (entro 150 m); le osservazioni sono state condotte da mare e da terra	BT	nd	nd	nd	I capodogli emettono il primo click dopo un tempo più breve dall'immersione in presenza di barche del <i>dolphin wtching</i> ; la variazione è comunque modesta e dipende principalmente dagli individui residenti	SI
			Sud Pacifico	<i>Physeter macrocephalus</i>	C		BT	nd	nd	nd	Piccola variazione, dovuta principalmente alle balene transienti	SI
			Sud Pacifico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		BT	nd	nd	nd	I capodogli cambiano il loro orientamento più frequentemente in presenza di barche del <i>whale-watching</i>	SI
			Sud Pacifico	<i>Physeter macrocephalus</i>	PR		BT	nd	nd	nd	Piccola variazione, dovuta principalmente alle balene transienti	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Variazione significativa nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Stone, C. J.	2006	THE EFFECTS OF SEISMIC A ON CETACEANS IN UK WATERS	Nord Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	Le osservazioni dei cetacei sono state realizzate a bordo di una nave per esplorazioni sismiche. L'abbondanza relativa delle diverse specie e i loro movimenti sono stati confrontati in funzione della attività sismica,	A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna variazione nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus acutus</i>	D		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Variazione significativa nella frequenza di avvistamento in presenza di attività sismica (meno delfini)	SI
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo non varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo non varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	SI
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo non varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	SI
			Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo non varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus acutus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	L'orientamento del gruppo non varia in maniera significativa in presenza di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera physalus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
			Nord Atlantico	<i>Globicephala melas</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus albirostris</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	La distanza degli animali dalla sorgente acustica si riduce quando questa è attiva.	SI
			Nord Atlantico	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Phocoena phocoena</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	Nessuna differenza statisticamente significativa nella distanza dalla sorgente di attività sismica	NO
			Nord Atlantico	<i>Logenorrhincus acutus</i>	A		A	D	235-250 dB re. 1mPa @ 1m	3-250 Hz	La distanza degli animali dalla sorgente acustica aumenta quando questa è attiva.	SI
Weller, D.W.	2006	A REEVALUATION OF THE INFLUENCE OF 2001 SEISMIC SURVEYS ON WESTERN GRAY WHALES OFF SAKHALIN ISLAND, RUSSIA.	Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	D	Osservazioni sistematiche (scan di 1 ora) per determinare il numero di balene e gruppi all'interno dell'area di studio (una zona impatto e una zona controllo) sono state realizzate in quattro fasi: pre-sismica, calibrazione, sismica e post sismica	A	D	nd	nd	Il numero di balene e di gruppi durante il periodo sismico è maggiore nell'area controllo rispetto all'area impatto; dopo la fine dell'attività sismica il numero di gruppi e balene nell'area impatto ritorna ai livelli pre-sismici	SI
Williams, R.	2006	ESTIMATING ENERGETIC COSTS OF HUMAN DISTURBANCE TO KILLER WHALES (ORCINUS ORCA)	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	c	Le osservazioni sono state condotte da una postazione fissa a terra. Il comportamento delle orche è stato registrato ogni 15 minuti con un focal groups scan sampling e testato con le Markov chains in assenza (controllo) e presenza (impatto) di imbarcazioni	BT	nd	nd	nd	La presenza di barche influenza il comportamento delle orche indipendentemente che si trovino all'interno o all'esterno della riserva. In particolare, feeding diminuisce e travelling aumenta	SI
Williams, R.	2006	KILLER WHALE EVASIVE TACTICS VARY WITH BOAT NUMBER	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	A	Le imbarcazioni di whale watching sono state mantenute a 1000 m dal gruppo di orche per venti min (controllo) e poi a contatto con gli animali per altri 20 min (impatto). Il comportamento delle orche è stato confrontato tra situazione di controllo e situazione di impatto.	BT	D	nd	nd	Il percorso delle orche non cambia in presenza o assenza di barche ma se le orche sono avvicinate da barche entro i 1000 m compiono percorsi meno diretti se le barche sono al massimo 3, mentre lo rendono più diretto se la barche sono da 4 a 17	SI
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	D		A	D	163 dB re 1 µPa (rms)	nd	Nessuna differenza nel numero di balene e di gruppi in funzione dello stato delle attività sismiche.	NO
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	D		A	D	163 dB re 1 µPa (rms)	nd	La distanza degli animali dalla costa aumenta nei periodi di esplosioni più forti	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Gailey, G.	2007	ABUNDANCE, BEHAVIOR, AND MOVEMENT PATTERNS OF WESTERN GRAY WHALES IN RELATION TO A 3-D SEISMIC SURVEY, NORTHEAST SAKHALIN ISLAND, RUSSIA	Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	C	Osservazioni visive lungo 22 km di costa (5 stazioni fisse a terra). Raccolta di dati comportamentali (<i>scan sampling</i> -15 min e <i>focal follow</i>): andamento spaziale e temporale dei movimenti delle balene (usando un teodolite), stati comportamentali e ritmo respiratorio. Dati testati in funzione di 4 fasi: pre <i>airguns</i> , <i>airgun</i> debole, <i>airgun</i> forte, post <i>airguns</i> .	A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	Nessuna differenza nel tempo in superficie in funzione dello stato delle attività sismiche.	NO
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	C		A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	La durata delle immersioni tende ad essere minore durante il periodo post attività sismica piuttosto che in assenza di attività sismica.	SI
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	A		A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	Nessuna differenza nell'indice di linearità in funzione dello stato delle attività sismiche.	NO
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	A		A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	L'indice di riorientamento invece diminuisce nei periodi di attività sismiche più rumorose.	SI
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	PR		A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	L'intervallo tra respirazioni aumenta con la potenza degli <i>airguns</i> , con l'aumentare dell'intervallo tra esplosioni e con la distanza dagli <i>airguns</i> .	SI
			Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	A		A	D	163 dB re 1 μ Pa (rms)	nd	La velocità aumenta con l'aumentare dell'energia degli A, del volume degli <i>airgun</i> e nel periodo post sismico.	SI
Parks, S.E.	2007	SHORT- AND LONG-TERM CHANGES IN RIGHT WHALE CALLING BEHAVIOR: THE POTENTIAL EFFECTS OF NOISE ON ACOUSTIC COMMUNICATION	Nord e Sud Atlantico	<i>Eubalaena australis</i>	CA	Il comportamento acustico delle balene è stato confrontato in funzione della presenza di navi, di due periodi e di due aree a differenti livelli di rumorosità.	VN	nd	da -100 a -40 PSD dB	0-100 0 Hz	La frequenza minima è più bassa in caso di più basso rumore sottomarino; la frequenza iniziale invece è più alta in caso di livelli maggiori di rumore. Le balene del Nord Atlantico producono vocalizzazioni e frequenze più alte di quelle del Sud Atlantico. Il confronto tra periodi a differente rumorosità indica che le frequenze iniziali e finali sono più alte nel periodo temporale più recente (e rumoroso).	SI
			Nord e Sud Atlantico	<i>Eubalaena australis</i>	CA		VN	nd	da - 100 a -40 PSD dB	0-100 0 Hz	Nessuna differenza statistica nella durata delle vocalizzazioni tra situazioni di alta e bassa rumorosità.	NO
			Nord e Sud Atlantico	<i>Eubalaena australis</i>	CA		VN	nd	da - 100 a -40 PSD dB	0-100 0 Hz	Il rumore influenza il tasso di emissione delle vocalizzazioni: esso diventa significativamente minore in situazioni meno rumorose.	SI
		BEHAVIOURAL CHANGES IN	Oceano Indiano	<i>Tursiops aduncus</i>	C	Le osservazioni sono state condotte a bordo di una	BT	nd	nd	nd	La percentuale di tempo impiegato in movimenti non direzionali aumenta con l'aumentare del numero delle barche turistiche	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Stensland, E.	2007	CHANGES IN FEMALE INDO-PACIFIC BOTTLENOSE DOLPHINS IN RESPONSE TO BOAT-BASED TOURISM	Oceano Indiano	<i>Tursiops aduncus</i>	C	imbarcazione ed è stato registrato il comportamento delle femmine (<i>scan sampling</i>). E' stato registrato anche la presenza ed il numero di barche turistiche e nuotatori entro 50 metri dal gruppo	BT	nd	nd	nd	La dimensione del gruppo non cambia in funzione della presenza di barche turistiche	NO
			Oceano Indiano	<i>Tursiops aduncus</i>	C		BT	nd	nd	nd	La percentuale di tempo trascorso in immersione aumenta significativamente in funzione dell'aumento del numero di barche turistiche presenti.	SI
Teilman	2007		Mar Nero	<i>Phocoena phocoena</i>	CA	L'occorrenza acustica delle focene, la permanenza e la densità nell'aria intorno alla Wind Farm è stata monitorata visivamente da mare e acusticamente tramite T-PODs e confrontata in 4 diverse fasi.	WF	D	nd	nd	La produzione di click si riduce in entrambi i siti durante il periodo di costruzione della Wind Farm	si
			Mar Nero	<i>Phocoena phocoena</i>	A		WF	D	nd	nd	La permanenza delle focene nell'area, si riduce durante il periodo di costruzione della Wind Farm, soltanto nel sito a più bassa densità di focene.	si
		EFFECTS FROM OFFSHORE WFS ON HARBOUR PORPOISES IN DENMARK	Mar Nero	<i>Phocoena phocoena</i>	D		WF	D	nd	nd	Nel sito a maggiore densità di focene è stato riscontrato un effetto negativo in tutto il periodo di costruzione della Wind Farm. Nel sito a più bassa densità le focene sono quasi completamente scomparse. Anche nel sito di controllo, distante 10 km, la densità è diminuita. La densità di focene è tornata ai livelli base due anni dopo la costruzione della Wind Farm.	si
Yazvenko, S. B.	2007	FEEDING OF WESTERN GRAY WHALES DURING A SEISMIC SURVEY NEAR SAKHALIN ISLAND, RUSSIA	Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	C	Il comportamento alimentare è stato confrontato in periodi a differente regime di attività sismica. Le osservazioni sono state compiute da un aereo	A	nd	nd	nd	I risultati non mostrano nessun cambiamento significativo nella proporzione di gruppi di balene in attività alimentare durante le varie fasi delle attività sismiche	NO
Yazvenko, S. B.	2007	DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF WESTERN GRAY WHALES DURING A SEISMIC SURVEY NEAR SAKHALIN ISLAND, RUSSIA	Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	D	Survey aerei sono stati realizzati per stimare la densità delle balene, usando il <i>distance sampling</i> , in periodi pre - durante e post attività di esplorazione sismica	A	nd	D	nd	I risultati indicano che il numero di balene osservate durante le varie fasi di attività sismica non varia.	no
Yazvenko, S. B.	2007	DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF WESTERN GRAY WHALES DURING A SEISMIC SURVEY NEAR SAKHALIN ISLAND, RUSSIA	Nord Pacifico	<i>Eschrichtius robustus</i>	D		A	nd	nd	nd	I risultati mostrano un decremento del numero delle balene osservate che indica che la distribuzione di 2 su 4 delle balene osservate potrebbe essere cambiata durante le esplorazioni sismiche	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Acebes, J. M. V.	2008	DYNAMITE BLASTS IN A HUMBACK WHALE MEGAPTERA NOVAEANGLIAE BREEDING GROUND, BABUYAN ISLANDS, PHILIPPINES	Oceano Indiano	<i>Megaptera novaeangliae</i>	CA	Il comportamento acustico delle megattere è stato registrato con un idrofono per verificare variazioni in presenza di esplosioni di dinamite.	AI	nd	nd	nd	Le vocalizzazioni non cambiano in nessun modo in presenza di esplosioni. Considerando il singolo campione e l'assenza di una misura di distanza tra l'animale e la sorgente acustica non è possibile interpretare questa osservazione.	no
			Oceano Indiano	<i>Megaptera novaeangliae</i>	CA		AI	nd	nd	nd	Le vocalizzazioni non si interrompono in presenza delle esplosioni. Considerando il singolo campione e l'assenza di una misura di distanza tra l'animale e la sorgente acustica non è possibile interpretare questa osservazione.	no
Araujo, J. P.	2008	THE BEHAVIOR OF SOTALIA GUIANENSIS (VAN BENEDEEN) IN PERNAMBUCO COASTAL WATERS, BRAZIL, AND A FURTHER ANALYSIS OF ITS REACTION TO BOAT TRAFFIC	Sud Atlantico	<i>Sotalia guianensis</i>	A	Le osservazioni visive sono state realizzate da 4 postazioni fisse a terra. Il comportamento dei delfini è stato registrato in continuo e raggruppato in periodi di 15 min (continuous sampling) ed è stato confrontato in funzione del tipo e della quantità di barche.	BT	0-350 m	nd	nd	Durante gli incontri tra delfini e barche, i delfini nella maggior parte dei casi non mostrano una reazione di allontanamento o avvicinamento nei confronti delle barche.	NO
Borsani, J.F.	2008	FIN WHALES AVOID LOUD RHYTHMIC LOW-FREQUENCY SOUNDS IN THE LIGURIAN SEA.	Med	<i>Balaenoptera physalus</i>	D	Le balene sono state monitorate nell'area di studio visivamente e acusticamente tramite pop up.	PD	200 km	140 dB	nd	Durante il monitoraggio acustico e visivo non sono mai state osservate balene fino a quando la sorgente acustica è rimasta attiva. Le balene sono state acusticamente rilevate settimane dopo la fine delle operazioni.	yes
Brito, M.	2008	DO NORTH ATLANTIC RIGHT WHALES COMPENSATE FOR INCREASES IN SHORT TERM AMBIENT NOISE?	Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	CA	La relazione tra l'intensità delle vocalizzazioni e il rumore ambientale e tra la frequenza e il rumore ambientale è stata investigata per dimostrare un effetto di <i>masking</i>	VN	nd	115-140 dB re 1uPa ² /Hz	nd	Il coefficiente di regressione spiega solo il 9% della variazione di intensità in funzione dei livelli di rumore	NO
			Nord Atlantico	<i>Eubalaena glacialis</i>	CA		VN	nd	115-140 dB re 1uPa ² /Hz	nd	Non è stato osservato nessuno spostamento nella frequenza delle vocalizzazioni in condizioni di basso o alto rumore	NO
Carrera, M. L.	2008	THE RESPONSE OF MARINE TUCUXIS (SOTALIA FLUVIATILIS) TOWARDS TOURIST BOATS INVOLVES A BEHAVIOUR AND A REDUCTION IN FORAGING	Sud Atlantico	<i>Sotalia fluviatilis</i>	D	La presenza e il comportamento delle sotalie è stato osservato da una postazione fissa a terra e confrontato nelle tre fasi: prima, durante e dopo la permanenza dell'imbarcazione nella baia (continuous sampling)	BT	nd	nd	nd	Il numero medio di animali è maggiore prima dell'esposizione alle barche rispetto che durante e dopo in maniera statisticamente significativa	SI
			Sud Atlantico	<i>Sotalia fluviatilis</i>	C		BT	nd	nd	nd	Il numero di individui in attività di caccia è minore durante la presenza di barca rispetto che a prima; la fase durante e post esposizione non differiscono fra loro.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Holt, M.	2008	SPEAKING UP: KILLER WHALES (ORCINUS ORCA) INCREASE THEIR CALL AMPLITUDE IN RESPONSE TO VESSEL NOISE	Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	CA	Un sistema calibrato di registrazione è stato usato per misurare i livelli delle vocalizzazioni di orca ed i livelli di rumore ambientale. Sono stati registrati anche il numero di barche presenti entro i 1000metri e la direzione.	VN	nd	98-123 dB re 1 uPa/Hz	1-40 kHz	Le orche aumentano i livelli delle loro vocalizzazioni di 1 dB per ogni dB di aumento del rumore ambientale, il quale è statisticamente correlato al numero di imbarcazioni	SI
			Nord Pacifico	<i>Orcinus orca</i>	CA		VN	nd	98-123 dB re 1 uPa/Hz	1-40 kHz	La durata delle vocalizzazioni delle orche non cambia in funzione dei diversi livelli del rumore ambientale	NO
Jochens, A. E.	2008	SPERM WHALE SEISMIC STUDY IN THE GULF OF MEXICO SYNTHESIS REPORT	Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A	I capodogli sono stati taggati con degli S-TAG e le loro posizioni sono state confrontate con le posizioni di navi sismiche in attività per verificare un'eventuale risposta di avoidance	A	< 100 km	nd	nd	I risultati mostrano nessuna relazione significativa tra le balene e l'orientamento rispetto alle barche	no
			Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	<25 km	nd	nd	I risultati mostrano che non c'è alcuna evidenza che le distanze dei capodogli dalla sorgente acustica non siano distribuite casualmente.	no
Lemon, M.	2008	SHORT-TERM BEHAVIOURAL RESPONSE OF BOTTLENOSE DOLPHINS TURSIOPS ADUNCUS TO RECREATIONAL POWERBOATS.	Tasman Sea	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Il comportamneto dei delfini, osservato da una piccola imbarcazione (<i>continuous sampling</i>), è stato confrontato prima durante e dopo l'approccio di una barca a motore ad una distanza di 100 metri	BT	100m	nd	nd	I delfini smettono di mangiare nel'83% degli approcci	si
Li, S.	2008	INDIRECT EVIDENCE OF BOAT A BEHAVIOR OF YANGTZE FINLESS PORPOISES	China Sea	<i>Neophocaena phocaenoides</i>	A	Le osservazioni delle focene sono state condotte via mare per determinare distribuzione e abbondanza delle specie usando sia un metodo visivo che un un metodo acustico. La distanza tra le focene e la piattaforma di ricerca è stata misurata per verificare fenomeni di avoidance.	BT	0-350 m	nd	nd	Sia i dati visivi che i dati acustici mostrano che il più alto numero di detezioni si hanno tra 50 e 100 m dalla barca e molte meno tra 0 e 50 m. L'interpretazione dell'autore è che le focene evitano la barca.	si
Miller, P. J. O.	2008	IMMEDIATE RESPONSE OF ATLANTIC BOTTLENOSE DOLPHINS TO HIGH-SPEED PERSONAL WATERCRAFT IN THE MISSISSIPPI SOUND	Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Il comportamento dei delfini è stato registrato con una videocamera (<i>continuous sampling</i>) ed è stato confrontato prima e dopo il passaggio di una barca a motore veloce a una distanza minore di 100 m.	BT	< 100 m	nd	nd	Quando i delfini si trovano in uno stato comportamentale diverso da <i>travel</i> , alcune percentuali degli stati comportamentali cambiano significativamente dopo il passaggio della barca. In particolare <i>travelling</i> aumenta, mentre <i>feeding</i> diminuisce; <i>milling</i> e <i>socializing</i> rimangono inalterati.	SI
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	C		BT	< 100 m	nd	nd	La durata dell'immersione aumenta significativamente dopo il passaggio dell'imbarcazione	SI
			Golfo del Messico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	< 100 m	nd	nd	La coesione del gruppo aumenta significativamente dopo il passaggio dell'imbarcazione	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Stockin, K. A.	2008	TOURISM AFFECTS THE BEHAVIOURAL BUDGET OF THE COMMON DOLPHIN DELPHINUS SP IN THE HAURAKI GULF, NEW ZEALAND	South Pacific	<i>Delphinus delphis</i>	C	Il comportamento dei delfini è stato registrato in assenza ed in presenza di barche, analizzando la successione degli stati comportamentali usando le <i>Markov chains</i>	BT	nd	nd	nd	L'interazione con le barche influenza significativamente la transizione degli stati comportamentali in particolare la probabilità di <i>feeding, resting</i> e <i>socializing</i> diminuisce dopo l'interazione con le barche	SI
Weir, C.	2008	OVERT RESPONSES OF HUMPBAC WHALES (MEGAPTERA NOVAEANGLIAE), SPERM WHALES (PHYSETER MACROCEPHALUS), AND ATLANTIC SPOTTED DOLPHINS (STELLENA FRONTALIS) TO SEISMIC EXPLORATION OFF ANGOLA.	Sud Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	D	Le osservazioni sono state condotte a bordo della nave che trasportava l'array di A; gli osservatori hanno osservato un'area entro 1 km dall'array registrando la risposta dei mammiferi marini	A	D	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	Nessun cambiamento statisticamente significativo nella frequenza di occorrenza gruppi e animali in presenza di A piuttosto che in assenza	NO
			Sud Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	D		A	D	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	Nessun cambiamento statisticamente significativo nella frequenza di occorrenza gruppi e animali in presenza di A piuttosto che in assenza	NO
			Sud Atlantico	<i>Stenella frontalis</i>	D		A	D	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	La frequenza delle stenelle è statisticamente superiore in assenza di <i>airguns</i>	SI
			Sud Atlantico	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		A	< 6 km	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	Nessun cambiamento statisticamente significativo della classe di distanza	NO
			Sud Atlantico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	< 6 km	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	Nessun cambiamento statisticamente significativo della classe di distanza	NO
			Sud Atlantico	<i>Stenella frontalis</i>	A		A	< 6 km	203-208 dB re 1 uPa/Hz @ 1m	5-120 Hz	Gli avvistamenti di stenella si verificano a maggior distanza dall'array quando questo è in funzione; la risposta comportamentale è di tipo neutrale o negativo.	SI
			Sud Atlantico	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	A		A	D	nd	nd	Gli animali inizialmente mostrano una reazione di allontanamento ma successivamente, con l'aumento del volume dell' <i>airgun</i> invece che continuare ad allontanarsi esibiscono un comportamento di tipo milling	nd
Winsor, M. H.	2008	SEISMIC SURVEY ACTIVITY AND THE PROXIMITY OF SATELLITE-TAGGED SPERM WHALES PHYSETER MACROCEPHALUS IN THE GULF OF MEXICO	Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A	Lo studio analizza la distribuzione di capodogli taggati entro 100 km dalla posizione di <i>airguns</i> attivi per verificare fenomeni di <i>avoidance</i> . Si suppone che in assenza di <i>avoidance</i> la distanza tra gli animali e gli <i>airguns</i> dovrebbe essere casualmente distribuita.	A	<100 km	nd	nd	Nessuna differenza statisticamente significativa	NO
			Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	5-25 km	nd	nd	Le distanze tra gli animali e gli A sono distribuite in maniera random, e ciò da indicazioni di assenza di A	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Miller, P. J. O.	2009	USING AT-SEA EXPERIMENTS TO STUDY THE EFFECTS OF A ON THE FORAGING BEHAVIOR OF SPERM WHALES IN THE GULF OF MEXICO	Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	C	Il comportamento alimentare del capodoglio è stato osservato prima, durante e dopo l'emissione di A con un DTAG.	A	1-11 km	140-160 dB re 1 uPa	3-800 Hz	Sei degli 8 capodogli non ha alterato il suo stato comportamentale durante l'esposizione all' <i>airgun</i> . Solo una balena ha mostrato un comportamento di <i>resting</i> di lunghezza anomala durante l'emissione dell' <i>airgun</i> .	NO
			Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	A		A	1-11 km	140-160 dB re 1 uPa	3-800 Hz	I capodogli non modificano l'orientamento del loro spostamento per evitare la sorgente di <i>airgun</i> durante il periodo di trasmissione	NO
			Golfo del Messico	<i>Physeter macrocephalus</i>	CA		A	1-11 km	140-160 dB re 1 uPa	3-800 Hz	Il tasso di emissione dei click diminuisce in media de 19% durante la trasmissione di <i>airgun</i> ma in maniera non statisticamente significativa rispetto ai 13 capodogli di controllo in assenza di trasmissione.	NO
Parks, S.E.	2009	VARIABILITY IN AMBIENT NOISE LEVELS AND CALL PARAMETERS OF NORTH ATLANTIC RIGHT WHALES IN THREE HABITAT AREAS.	Nord Atlantico	<i>Eubalaena australis</i>	CA	Il monitoraggio acustico è stato realizzato con dei <i>bottom recorder</i> deposti sul fondo in tre differenti aree di distribuzione delle balene e per periodi di settimane-mesi in due anni di studio. Alcuni parametri delle vocalizzazioni sono stati misurati e confrontati in periodi e aree a diverso livello di rumore da traffico marittimo.	VN	nd	73-97 dB re 1 uPa/Hz	50-350 Hz	I risultati mostrano solo delle piccole differenze nelle caratteristiche delle vocalizzazioni tra habitat a differente rumorosità, in particolare un valore medio superiore della frequenza minima nell'habitat più rumoroso.	NO
			Nord Atlantico	<i>Eubalaena australis</i>	CA		VN	nd	73-97 dB re 1 uPa/Hz	50-350 Hz	I risultati mostrano solo delle piccole differenze nelle caratteristiche delle vocalizzazioni tra habitat a differente rumorosità, in particolare un minore durata delle vocalizzazioni nell'habitat più rumoroso.	NO
Arcangeli, A.	2009	THE SHORT-TERM IMPACT OF DOLPHIN-WATCHING ON THE BEHAVIOUR OF BOTTLENOSE DOLPHINS (<i>TURSIOPS TRUNCATUS</i>) IN WESTERN AUSTRALIA	Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Le osservazioni dei delfini sono state condotte a bordo di una imbarcazione e il comportamento registrato con <i>scan sampling</i> (3 min). La proporzione di individui e di stati comportamentali è stata confrontata in assenza e presenza di barche di <i>whale watching</i>	BT	150-350 m	nd	nd	La durata percentuale e la frequenza degli stati comportamentali cambia significativamente in presenza di barche, in particolare <i>travelling</i> aumenta, mentre <i>feeding</i> e <i>resting</i> diminuiscono.	SI
			Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	150-350 m	nd	nd	I delfini reagiscono in maniera neutra nella maggior parte dei casi. Il numero di reazioni negative di allontanamento è solo leggermente superiore al numero di reazioni positive di avvicinamento alle barche	no
			Oceano Indiano	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	150-350 m	nd	nd	La dimensione media del gruppo diminuisce in presenza di barche indicando.	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Di Iorio, L.	2009	EXPOSURE TO SEISMIC SURVEY ALTERS BLUE WHALE ACOUSTIC COMMUNICATION	Nord Atlantico	<i>Balaenoptera musculus</i>	CA	Il comportamento acustico delle balene, registrato con un <i>array</i> di idrofoni, e il numero e la posizione degli animali, monitorato da mare a bordo di una imbarcazione, è stato confrontato in 4 giorni di attività sismica in corso e 4 giorni in assenza di attività sismica.	A	nd	193 dB re 1 μ Pa, peak to peak	30-450 Hz	Le balene producono in media più vocalizzazioni nei giorni di attività sismica che non nei giorni di silenzio	SI
Shaffar, C.	2009	AVOIDANCE OF WHALE WATCHING BOATS BY HUMPBACK WHALES IN THEIR MAIN BREEDING GROUND IN NEW CALEDONIA.	Mar dei Coralli	<i>Megaptera novaeangliae</i>	C	Le osservazioni sono state realizzate da una postazione fissa a terra. La posizione e gli spostamenti delle megattere e delle barche sono state registrate con un teodolite. La velocità di spostamento, il tempo di immersione, l'indice di riorientamento e di linearità sono stati testati in funzione della presenza di barche.	BT	< 1 km	nd	nd	La durata dell'immersione aumenta in funzione del numero di barche presenti	SI
			Mar dei Coralli	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	< 1 km	nd	nd	L'indice di linearità diminuisce in funzione del numero di barche presenti	SI
			Mar dei Coralli	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	< 1 km	nd	nd	L'indice di riorientamento non varia in funzione del numero di barche presenti	NO
			Mar dei Coralli	<i>Megaptera novaeangliae</i>	A		BT	< 1 km	nd	nd	La velocità di navigazione non varia in funzione del numero di barche presenti	NO
Williams, R	2009	EFFECTS OF VESSELS ON BEHAVIOUR PATTERNS OF INDIVIDUAL SOUTHERN RESIDENT KILLER WHALES ORCINUS ORCA	Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A	Le osservazioni sono state condotte da postazioni fisse a terra. Il comportamento individuale delle orche è stato registrato con un <i>focal individual</i> e la posizione e gli spostamenti con un teodolite. Diverse variabili comportamentali sono state testate in funzione del numero di barche con i GAM	BT	D	nd	nd	Il modello indica che il <i>Directness index</i> diminuisce in presenza di un certo numero di barche per poi diminuire quando il numero di barche continua a crescere.	SI
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	D	nd	nd	Il modello indica che il <i>Deviation Index</i> diminuisce in presenza di un certo numero di barche per poi diminuire quando il numero di barche continua a crescere.	SI
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	D	nd	nd	Il modello indica che la velocità di spostamento non varia fino a 8 barche presenti, poi aumenta significativamente	SI
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	D	nd	nd	Il numero di comportamenti superficiali è massimo in presenza di poche barche, ma col crescere del numero di barche i comportamenti superficiali vengono inibiti.	SI
			Nord Atlantico	<i>Orcinus orca</i>	A		BT	D	nd	nd	Il modello indica che l'intervallo tra respirazioni aumenta significativamente fino a 8 barche presenti successivamente diminuisce ma in misura non statisticamente significativa	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Montero Cordero, A.	2010	EFFECT OF TOURIST VESSELS ON THE BEHAVIOUR OF THE PANTOTROPICAL SPOTTED DOLPHIN, STENELLA ATTENUATA, IN DRAKE BAY AND CANO ISLAND, COSTA RICA	Sud Pacifico	<i>Stenella attenuata</i>	C	Le osservazioni dei delfini sono state condotte a bordo di un'imbarcazione e il comportamento registrato con un <i>focal scan sampling</i> (2 min) e confrontato in presenza assenza di barche turistiche	BT	0h 50m 0s	nd	nd	La probabilità di occorrenza di <i>resting</i> e <i>feeding</i> diminuisce in presenza di imbarcazioni piuttosto che in assenza, mentre non varia significativamente per nessun altro stato comportamentale	SI
Nur Azeyanti Nor Hashim	2011	BOAT EFFECTS ON THE BEHAVIOUR OF INDO-PACIFIC HUMPBACK (<i>SOUSA CHINENSIS</i>) AND IRRAWADDY DOLPHINS (<i>ORCAELLA BREVIROSTRIS</i>) IN COWIE BAY, SABAH, MALAYSIA	Oceano Indiano	<i>Sousa chinensis</i>	A	Le osservazioni di delfini sono state realizzate a bordo di un'imbarcazione e il comportamento registrato in continuo per 15 min. La risposta di allontanamento/avvicinamento alle barche è stata testata in funzione del tipo di barca e della distanza dagli animali	BT	<50 m-1 km	nd	nd	La risposta di allontanamento è più frequente nel caso di piccole barche a motore, mentre le risposte di avvicinamento sono più frequenti nel caso di barche da pesca	si
			Oceano Indiano	<i>Orcaella brevirostris</i>	A		BT	<50 m-1 km	nd	nd	La risposta di allontanamento è più frequente nel caso di piccole barche a motore, mentre le risposte di avvicinamento sono più frequenti nel caso di barche da pesca.	si
Tyack, P.	2011	BEAKED WHALES RESPOND TO SIMULATED AND ACTUAL NAVY SONAR	Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	C	L'occorrenza acustica degli animali è stata monitorata con un'array di idrofoni fissati al fondale prima, durante e dopo l'emissione di Sonar. Il tempo di emissione di click da parte di un gruppo in attività di alimentazione è stato testata in funzione dell'attività dei S.	S	2.2-28.9 km	111-157 (dB re 1 µPa) (rms)	3.5-8 kHz	Durante la trasmissione di Sonar gli animali riducono significativamente il tempo trascorso in attività alimentare rispetto alla fase precedente la trasmissione. Successivamente alla fine della trasmissione di Sonar gli animali impiegano tre giorni per riprendere l'attività alimentare ad un ritmo superiore a tutte le fasi precedenti.	SI
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	D		S	2.2-28.9 km	111-157 (dB re 1 µPa) (rms)	3.5-8 kHz	La percentuale di contatti acustici nella zona più esterna dell'area di studio è maggiore durante la trasmissione dei Sonar	si
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	C	Il comportamento acustico e d'immersione degli animali è stato monitorato attraverso D-TAG e testato in funzione dell'assenza-presenza di S	S	< 7 km	80-152 dB re 1 µPa2 s.	3.2-2.75 kHz	La durata del comportamento alimentare (espressa dalla durata di emissione di click durante l'immersione) diminuisce durante il playback.	SI
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	C		S	< 7 km	80-152 dB re 1 µPa2 s.	3.2-2.75 kHz	Il tempo di emersione è influenzato dal playback	SI
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	C		S	< 7 km	80-152 dB re 1 µPa2 s.	3.2-2.75 kHz	La durata dell'immersione non è influenzata dal playback	NO
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	C		S	< 7 km	80-152 dB re 1 µPa2 s.	3.2-2.75 kHz	Il ritmo di risalita è influenzato dal playback, mentre non cambia il ritmo di discesa e la profondità dell'immersione	SI

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	CA	emessi in playback	S	< 7 km	80-152 dB re 1 μ Pa2 s.	3.2-2.75 kHz	Gli animali smettono di produrre click a 138 dB SPL.	SI
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	CA		S	< 7 km	80-152 dB re 1 μ Pa2 s.	3.2-2.75 kHz	Il tesso di produzione dei buzz è influenzato dal playback, ciò indica una riduzione dei tentativi alimentari	SI
			Nord Atlantico	<i>Mesoplodon densirostris</i>	A		S	< 80 km	111-157 (dB re 1 μ Pa) (rms)	3.5-8 kHz	La distanza tra l'animale e la sorgente acustica aumenta durante la trasmissione dei Sonar	si
Veneruso, G.	2011	HABITAT USE & EFFECT OF BOAT TRAFFIC ON BOTTLENOSE DOLPHINS AT NEW QUAY HARBOUR, CARDIGAN BAY	Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	D	I delfini sono stati osservati da terra e il comportamento registrato con <i>scan sampling</i> (15'). I cambiamenti di stato comportamentale e la risposta di avvicinamento o allontanamento sono state testate in funzione del tipo di barca presente	BT	nd	nd	nd	Non esiste alcuna correlazione tra il numero di delfini e il numero di barche osservate	NO
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	C		BT	nd	nd	nd	Nel 19% dei casi l'incontro con un'imbarcazione determina una variazione del comportamento	no
			Nord Atlantico	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	nd	nd	nd	Nell'82% degli incontri con le barche i delfini non mostrano di reagire ad esse, allontanandosi o avvicinandosi	no
Papale, E.	2011	VESSEL TRAFFIC AFFECTS BOTTLENOSE DOLPHIN (TURSIOPS TRUNCATUS) BEHAVIOUR IN WATERS SURROUNDING LAMPEDUSA ISLAND, SOUTH ITALY	Med	<i>Tursiops truncatus</i>	C	Le osservazioni sono state condotte da terra e il comportamento è stato registrato con un <i>focal group sampling</i> .	BT	< 200m	nd	nd	L'approccio di barche determina il cambiamento di alcune transizioni di stati comportamentali	SI
			Med	<i>Tursiops truncatus</i>	C		BT	< 200m	nd	nd	La frequenza di alcuni stati comportamentali, in particolare <i>dive e normal swim</i> , differisce statisticamente tra le fasi pre - durante e post barche.	SI
			Med	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	< 200m	nd	nd	Il tempo medio di avvistamento delfini si riduce significativamente in presenza di barche entro 200 m dal gruppo	SI
			Med	<i>Tursiops truncatus</i>	A		BT	< 200m	nd	nd	I delfini mostrano una reazione positiva di avvicinamento alle barche da pesca e di allontanamento alle barche a motore, ma le rispettive percentuali non differiscono significativamente dalle percentuali delle altre possibili reazioni	NO
		ARE SPEED RESTRICTION	Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	C		BT	nd	nd	nd	Nessuna variazione negli stati comportamentali in funzione della presenza di barche di <i>dolphin watching</i>	NO

PRIMO AUTORE	AN	TITOLO	AREA	SPECIE	R	DISEGNO SPERIMENTALE	I	DIST	AMP	FREQ	RISULTATI	EF
Steckenreuter, A.	2011	ZONES AN EFFECTIVE MANAGEMENT TOOL FOR MINIMISING IMPACTS OF BOATS ON DOLPHINS IN AN AUSTRALIAN MARINE PARK?	Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	A	Le osservazioni sono state condotte a bordo di un'imbarcazione, in una zona di restrizione della velocità e in una zona controllo. Il comportamento degli animali è stato registrato con un <i>focal group scan sampling</i>	BT	nd	nd	nd	Nessuna variazione nella reazione di avvicinamento/allontanamento degli animali in funzione della presenza di barche di <i>dolphin watching</i>	NO
			Mar di Tasmania	<i>Tursiops aduncus</i>	A		BT	nd	nd	nd	Nessuna variazione nella distanza tra gli animali del gruppo in funzione della presenza di barche di <i>dolphin watching</i>	NO

Elenco studi inclusi nella revisione sistematica della letteratura. Risposte (R): D= Displacement; A=Avoidance; C=Comportamento superficiale e d'immersione; CA=Comportamento Acustico; PR= Pattern Respiratorio. Interventi (I): A=Airguns; AI=Attività Industriali; BT=Traffico Marittimo; VN=Rumore di imbarcazioni; S=Sonar; AT=ATOC; AS=Suoni di Allerta. DIST=distanza della sorgente d'impatto dal soggetto; AMP=intensità del rumore; FREQ= intervallo di frequenza del rumore. Effetto (EF): NO=nessuna differenza statistica tra impatto e controllo o risultato statistico che indica nessun impatto dell'Intervento sulla Risposta; SI= risultato statistico che indica un impatto dell'Intervento sulla Risposta; nd-ND=risultato non interpretabile; si=indicazione non statistica d'impatto dell'Intervento sulla Risposta; no= indicazione non statistica di non impatto dell'Intervento sulla Risposta.