

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di laurea magistrale in BIOLOGIA MARINA

STUDIO DELLA PRESENZA DI CAPODOGLI (*Physeter macrocephalus*, Linnaeus 1758) IN DUE AREE DEL MAR BALEAR MEDIANTE METODI ACUSTICI PASSIVI.

Tesi di laurea in Adattamenti degli animali all'ambiente marino

Relatore

Prof.ssa Elena Fabbri
Bellan

Presentata da

Benedetta

Correlatore

Prof. José Antonio Esteban

II sessione
Anno Accademico 2013/2014

1.INTRODUZIONE.....	4
1.1 Classificazione:carnivori, sirenidi, cetacei.....	4
1.2 Specie in studio.....	6
1.2.1 Descrizione fisica.....	8
1.2.2 Vita, riproduzione e comportamento.....	10
1.2.3 Distribuzione.....	11
1.2.4 Ecologia.....	12
1.3 Il capodoglio (<i>Physeter macrocephalus</i>) nel Mar Mediterraneo.....	14
1.4 Bioacustica.....	17
1.5 Bioacustica nei capodogli (<i>Physeter macrocephalus</i>).....	25
1.6 Minacce e protezione a livello mondiale.....	28
1.7 Subpopolazione del Mar Mediterraneo.....	34
3. MATERIALI E METODI.....	37
3.1 Area di studio e progetti.....	37
3.1.1 Mar di Bamba.....	37
3.1.2 Parco Nazionale di Cabrera.....	38
3.2 Precampagna. Preparazione degli strumenti.....	39
3.2.1 Strumento di registrazione acustica EAR (Ecological Acoustic Recorder)...	39
3.2.2 Messa a punto del liberatore acustico (ORE-PORT).....	43
3.2.3 Fabbricazione dei pesi	44
3.3 Campagna. Raccolta di dati.....	44
3.3.1 “Immersione” degli strumenti.....	44
3.3.2 Recupero degli strumenti.....	45
3.4 Processazione ed analisi dei files audio e dei dati.....	46
3.4.1 Processazione ed analisi dei files.....	46
3.4.2 Lavoro previo: studio del tipo di suono emesso dai capodogli (<i>Physeter macrocephalus</i>).....	46
3.4.3 Ricerca del rilevatore automatico adeguato.....	53
3.4.4 Analisi delle registrazioni e rilevamento manuale dei pulsii del capodoglio (<i>Physeter macrocephalus</i>).....	57
3.4.5 Calcolo ICI (Inter Click Interval).....	65
3.4.6 Analisi dei dati.....	65
3.4.7 Analisi spettrale.....	66
4. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	68
4.1 Mar di Bamba.....	68
4.2 Parco Nazionale di	80

Cabrera.....	
4.3 Confronto dei risultati ottenuti dalle registrazioni del Mar di Bamba e del Parco Nazionale di Cabrera.....	86
4.4 Altri suoni riscontrati nelle registrazioni.....	90
4.4.1 Mar di Bamba.....	90
4.4.2 Parco Nazionale di Cabrera.....	90
5. CONCLUSIONI.....	91
6. BIBLIOGRAFIA.....	93
7. WEBGRAFIA.....	100

1. INTRODUZIONE

1.1 Classificazione: carnivori, sirenidi, cetacei.

I mammiferi marini costituiscono un gruppo complesso, senza valore tassonomico, costituito principalmente da tre ordini:

- Orden Carnivora
- Orden Sirenia
- Orden Cetacea.

Orden carnivora

L'ordine dei carnivori include: i pinnipedi (Fam. Odobenidae, Fam. Phocidae, Fam. Otariidae), le lontre (Fam. Mustelidae) e gli orsi polari (Fam. Ursidae) (Roskov Y., Kunze T., Orrell T., Abucay L., Paglinawan L., Culham A., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., Baillargeon G., Decock W., De Wever A., Didžiulis V. 2014). Questi individui trascorrono parte del tempo sulla terra o sul ghiaccio e alcuni periodi in acqua. La prole solitamente nasce sulla terraferma, ad eccezione di alcune lontre marine; l'alimentazione avviene sempre in acqua.

I Pinnipedi sono molto abbondanti alle latitudini polari, tuttavia si possono incontrare poche specie che abitano a latitudini più basse. La maggior parte delle specie vive in acqua salata, fatta eccezione per una minoranza che occupa acque dolci.

A loro volta i Pinnipedi comprendono tre famiglie:

- la famiglia Phocidae di cui fanno parte 10 specie, sono le foche vere e proprie o foche con pelo (Ridgway and Harrison, 1981b);
- la famiglia Otariidae che comprende 14 specie, qui troviamo i leoni marini;
- la famiglia Odobenidae rappresentata unicamente dai trichechi (Ridgway and Harrison, 1981a).

Le lontre comprendono sia specie di acqua salata che specie di acqua dolce; le lontre marine vivono ai margini dell'Oceano Pacifico settentrionale. (Kenyon, 1981).

Gli orsi polari appartengono a una specie circumpolare, si possono incontrare sia sulla terra sia sul ghiaccio (Stirling, 1988), inoltre, grazie alle loro ottime capacità natatorie è possibile osservarli anche in mare aperto, lontano dalla terraferma.

Orden Sirenia

L'ordine dei Sirenidi comprende due subordini: i lamantini e i dugonghi, essi sono erbivori e vivono nei mari o nei fiumi delle zone tropicali e subtropicali.

I lamantini comprendono tre specie che si incontrano nell'Oceano Atlantico (*D.K. Caldwell and Caldwell, 1985; Reynolds and Odell, 1991; Reeves et al., 1992*).

I dugonghi presentano un'unica specie localizzata nell'Oceano Pacifico occidentale e nell'Oceano Indiano (*Nishiwaki and Marsh, 1985*).

Orden Cetacea

Secondo il "Catalogue of Life: 2014 Annual Checklist- Species 2000" l'orden Cetacea comprende 12 famiglie di cui: -Fam. Balaenidae, -Fam. Balaenopteridae, -Fam. Delphinidae, -Fam. Eschrichtiidae, -Fam. Hyperoodontidae, -Fam. Iniidae, -Fam. Kogiidae, -Fam. Monodontidae, -Fam. Neobalaenidae, -Fam. Phocidae, -Fam. Physeteridae, -Fam. Platanistidae.

In questo lavoro, tuttavia, per motivi di differenze acustiche, consideriamo la suddivisione dell'orden Cetacea in due subordini: gli Odontoceti e i Mysticeti. Entrambi i subordini comprendono sia specie che prediligono acque poco profonde e vicine alla costa, sia specie che si trovano preferenzialmente in acque più profonde e lontane dalla costa (*Richardson et al., 1998*). Questi animali, inoltre, hanno sviluppato una comunicazione basata sulla trasmissione di suoni.

Gli Odontoceti (cetacei dentati) comprendono circa 68 specie (72 nel libro UNEP) che sono rappresentate in tutti gli oceani e in alcuni fiumi (*Klinowska, 1991; Jefferson et al., 1993*). La comunicazione di questi animali si basa su suoni a bassa e ad alta frequenza, inoltre alcune specie mostrano un sistema di ecolocalizzazione molto sviluppato basato sull'emissione di suoni a frequenze alte e molto alte (20-150 kHz).

I Mysticeti (balene con fanoni) comprendono circa 11 specie, rappresentate in tutti gli oceani (*Ridgway and Harrison, 1985*); questi animali sono carenti del sistema di ecolocalizzazione specifico e la loro comunicazione è basata sull'emissione di suoni a bassa frequenza (*Richardson et al., 1998*).

1.2 Specie in studio

Nel 1758 Linneo ha descritto quattro tipi di capodoglio (*P. macrocephalus*) all'interno del genere *Physeter*: *P. catodon*, *P. macrocephalus*, *P. microps*, *P. tursio*, tuttavia ben presto, ci si rese conto che, in realtà, si faceva riferimento ad un'unica specie; da qui iniziarono i dibattiti sulla scelta del nome da attribuire a questi animali (Notarbartolo e Demma, 2004; Perrin, Würsig and Thewissen, 2002).

Attualmente molti autori si riferiscono a questi animali con il termine *Physeter macrocephalus* (Perrin et al., 2002).

Qui di seguito è riportata la classificazione tassonomica del capodoglio (*P. macrocephalus*) secondo il catalogo "Species 2000" (Fig.1):

Regno: Animalia

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Classe: Mammalia

Subordine: Odontoceti

Ordine: Cetacea

Famiglia: Physeteridae

Genere: *Physeter*

Specie: *macrocephalus*



Fig.1 Immagine di un capodoglio (*P. macrocephalus*) vicino alla superficie.

Fonte:

<http://animals.nationalgeographic.com/animals/mammals/sperm-whale/>

Occorre ricordare che la "IUCN Red List of Threatened Species" (Versione 2013.2) riporta un'altra classificazione secondo la quale il capodoglio (*P. macrocephalus*) farebbe parte di un nuovo ordine definito "Cetartiodactyla", nel quale si includono sia i cetacei che gli artiodattili.

Qui di seguito è riportata la classificazione tassonomica (Fig.2) del capodoglio (*P. macrocephalus*) secondo la "IUCN Red List of Threatened Species" (Versione 2013.2):

Regno: Animalia
Phylum: Chordata
Subphylum: Vertebrata
Classe: Mammalia
Subordine: Odontoceti
Ordine: Cetartiodactyla
Famiglia: Physeteridae
Genere: *Physeter*
Specie: *macrocephalus*



Fig.2 Immagine della parte anteriore del corpo del capodoglio (*P. macrocephalus*)

Fonte:

<http://vidauniversoydemas.wordpress.com/tag/sperm-whale/>

Nella seguente tabella (Tab.1) sono riportati i diversi nomi con cui ci si riferisce, nei differenti Paesi del mondo, al capodoglio (*P. macrocephalus*):

Relevant Common Names	
EN	sperm whale
FR	cachalot
ES	cachalote
SQ	kashalot
AR	عنبر (anbar)
HR	ulješura
EL	φυσητήρας (fysitiras)
HE	ראשתן (roshtan)
IT	capodoglio
ML	gabdoll
PT	cachalote
TR	İspermeçet balinası, kaşalot

Tabella 1: Nomenclatura del capodoglio (*P. macrocephalus*) nei diversi Paesi del mondo. (Randall, Notarbartolo, 2006)

1.2.1 Descrizione fisica

Il capodoglio (*P. macrocephalus*), tra gli Odontoceti, è quello di maggiori dimensioni, inoltre, presenta uno spiccato dimorfismo sessuale per quanto riguarda la lunghezza e le dimensioni del suo corpo. Il maschio può raggiungere una lunghezza di 16 metri e può arrivare a pesare fino a 45 tonnellate, la femmina, invece, raggiunge circa gli 11 metri e le 15 tonnellate.

Uno dei tratti più distintivi del capodoglio (*P. macrocephalus*) è il suo complesso nasale: esso occupa circa un terzo dell'intero corpo dell'animale, è localizzato sopra alla mascella e davanti al cranio. Questo complesso nasale è costituito principalmente dall'organo dello spermaceti che è contenuto all'interno di una sorta di cassa; tale organo presenta una forma ellissoidale, costituito da tessuto spugnoso, contiene l'olio dello spermaceti e nelle due parti distali presenta due sacchi ripieni di aria. Sotto a quest'organo si può osservare la presenza del cosiddetto "junk", un complesso costituito da tessuto connettivo e olio dello spermaceti (Fig.3-4).

L'olio dello spermaceti ha le proprietà della cera, tuttavia quello presente nei capodogli (*P. macrocephalus*) risulta chimicamente differente rispetto a quello rilevato in altri cetacei (Perrin, Würsig and Thewissen, 2002).

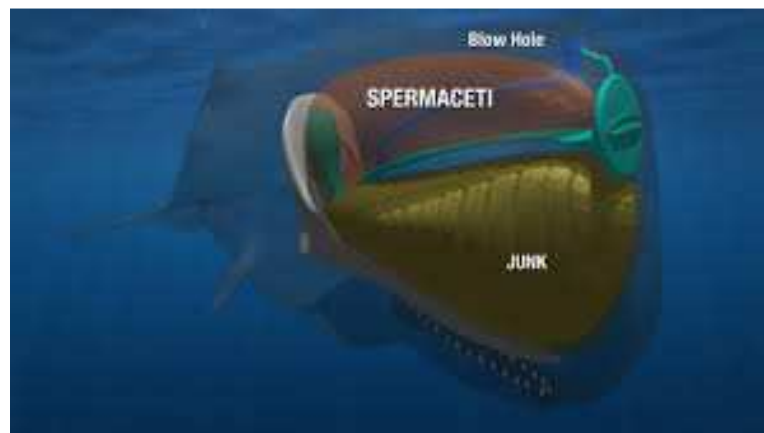


Fig.3 Visione frontale dell'anatomia della parte anteriore del capo del capodoglio (*P. Macrocephalus*)

Fonte:

<http://misshaileyjane.wordpress.com/tag/spermaceti-organ/>

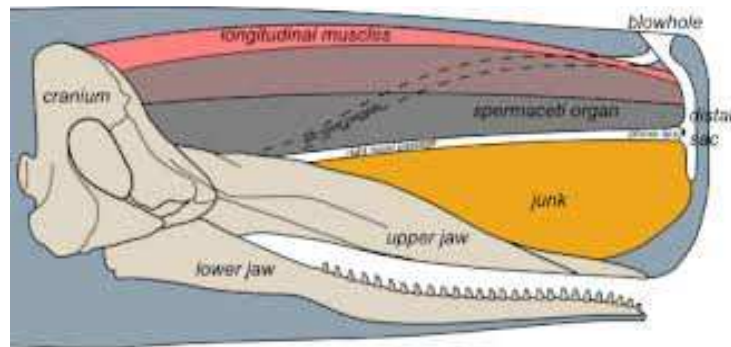


Fig.4 Visione laterale dell'anatomia della parte anteriore del capo del capodoglio (*P. macrocephalus*)
Fonte: <http://ahistoryofnewyork.com/2012/11/>

Nei capodogli (*P. macrocephalus*), a causa dell'asimmetria che si rileva a livello delle parti del cranio e di passaggio dell'aria che sorreggono l'organo dello spermaceti, si osserva un soffio che parte dalla punta del muso dell'animale ed è diretto in avanti e a sinistra. Rispetto ai soffi di altri cetacei, quello dei capodogli (*P. macrocephalus*) è piuttosto debole, basso e difficile da vedere.

Il cervello del capodoglio (*P. macrocephalus*) risulta essere il più grande di tutti gli animali, tuttavia appare di piccole dimensioni rispetto alle dimensioni del corpo dell'intero animale.

Per quanto riguarda le abilità cognitive non sono state rilevate particolari abilità, benché il comportamento sociale di questa specie sia molto simile a quello rilevato in mammiferi le cui abilità cognitive sembrano essere particolarmente sviluppate.

I capodogli (*P. macrocephalus*) possiedono, a livello della mandibola, grandi denti conici che, tuttavia, non sembrano avere alcun ruolo nell'alimentazione.

Per quanto riguarda la superficie esterna del corpo di questi animali essi presentano delle pieghe che ricoprono la maggior parte del corpo dietro agli occhi, mentre la superficie a livello della testa e della pinna caudale è liscia.

Da un punto di vista cromatico i capodogli (*P. macrocephalus*) sono, solitamente, di colore grigio scuro, ma spesso possono avere una linea bianca nella zona della bocca e macchie bianche a livello dell'addome.

Le pinne sono solitamente di piccole dimensioni, la pinna caudale è piatta e di forma triangolare. La pinna dorsale è bassa, sottile e di solito tondeggiante, soprattutto negli individui di sesso maschile a questo livello si possono riscontrare dei calli bianchi o gialli e ruvidi. Infine la cresta dorsale è costituita da una serie di grandi "crenulations" (Fig.5) (Perrin, Würsig and Thewissen, 2002).

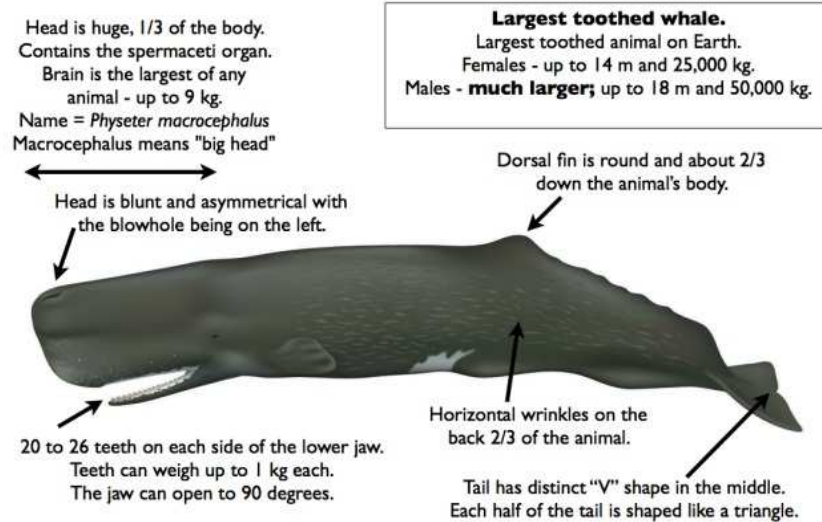


Fig.5 Rappresentazione della morfologia esterna del capodoglio (*P. macrocephalus*)

Fonte: <http://themarinedetective.com/category/marine-mammals/sperm-whale/www.ukogorter.com>

1.2.2 Vita, riproduzione e comportamento

Il capodoglio (*P. macrocephalus*), da un punto di vista ecologico è una specie a strategia K, infatti ha un basso tasso di natalità, crescita e maturazione lente e un alto tasso di sopravvivenza.

La gestazione dura 14-16 mesi e la prole presenta una uguale sex-ratio. Fin dal primo anno di vita gli individui possono mangiare cibi solidi, tuttavia continuano ad essere nutriti tramite allattamento dalla madre per diversi anni.

Nelle femmine la maturità sessuale è raggiunta al nono anno di età, quando la crescita diventa più lenta, per arrestarsi definitivamente quando l'individuo raggiunge i 30 anni. Il tasso riproduttivo varia nelle differenti aree e anche nella stessa area.

Nei maschi la pubertà è prolungata fino ai 10-20 anni, essi raggiungono la completa maturità fisica ai 50 anni di età.

Per quanto riguarda lo stile di vita sociale gli individui adottano modalità differenti a seconda del sesso: le femmine tendono a passare tutta la loro vita in gruppi di circa 12 individui costituiti da altre femmine che possono essere parte della stessa famiglia oppure no e dalle relative proli. I vari gruppi possono aggregarsi per alcuni giorni. All'interno di ogni gruppo ci sono particolari dinamiche sociali tali per cui gli individui che

vi appartengono sono portati a proteggere tutti gli altri membri e i piccoli dai predatori e dalle minacce che possono manifestarsi.

I maschi, invece, si staccano dal gruppo natale tra i 4 e 21 anni, in seguito trascorrono parte della loro vita in gruppi ristretti di individui maschili con le medesime dimensioni, tuttavia la tendenza finale è sempre quella di arrivare a condurre una vita solitaria. Gli individui maschili, a partire dal loro ventesimo anno di età, ritornano per brevi periodi nelle aree tropicali al fine di accoppiarsi; sembra che essi cerchino una femmina ricettiva ed evitino gruppi di femmine in cui sia già presente un altro individuo maschile. Raramente sono stati osservati casi di scontri tra maschi. (*Perrin, Würsig and Thewissen, 2002*)

1.2.3 Distribuzione

I capodogli (*P. macrocephalus*) sono ampiamente distribuiti in tutti i luoghi terrestri: si possono incontrare a livello del Polo Nord e del Polo Sud, ma anche a latitudini equatoriali, soprattutto nell'Oceano Pacifico.

Si può individuare la presenza di questi animali specialmente in aree in cui le acque sono profonde; inoltre ci sono particolari zone definite dai ricercatori "grounds" che mostrano una abbondanza di individui, questo fenomeno è da mettere in relazione al fenomeno di upwelling che si registra in tali aree: la produttività primaria lì risulta particolarmente elevata e, quindi, i capodogli (*P. macrocephalus*) tendono a sfruttare la conseguente abbondanza di cibo concentrandosi in tali siti (*Perrin, Würsig and Thewissen, 2002*).

Negli Stati Uniti la popolazione di capodogli (*P. macrocephalus*), al fine di una corretta gestione, è stata suddivisa in 5 stocks differenti:

- California-Oregon-Washington Stock
- North Pacific (Alaska) Stock
- Hawaiian Stock
- Northern Gulf of Mexico Stock
- North Atlantic Stock

(<http://www.nmfs.noaa.gov/pr/species/mammals/cetaceans/spermwhale.htm>)

La distribuzione dei capodogli (*P. macrocephalus*) è differente a seconda del sesso dell'individuo: le femmine tendono a localizzarsi a latitudini minori di 40° e a profondità inferiori ai 1000 m, mentre i maschi, tra i 4 e i 21 anni di età, tendono a concentrarsi a latitudini più elevate e ad una profondità inferiore ai 300 m; quanto più l'individuo maschile è in grado di sviluppare dimensioni elevate, tanto più potrà raggiungere latitudini alte.

Per quanto riguarda le migrazioni dei capodogli (*P. macrocephalus*) non sembrano esserci dei regimi particolarmente regolari, si riscontra solo una tendenza, a livello delle medie latitudini, ad intraprendere una migrazione stagionale con movimenti verso i poli durante la stagione estiva (*Perrin, Würsig and Thewissen, 2002*).

1.2.4 Ecologia

La dieta dei capodogli (*P. macrocephalus*) comprende principalmente la maggior parte degli animali più grandi che abitano le acque profonde.

Sia le femmine che i maschi basano la propria alimentazione sul consumo di calamari il cui peso varia tra 0,1 e 10 kg. I taxa prediletti sono Ommastrephidae, Onychoteuthidae, Gonatidae, Pholidoteuthidae, Octopoteuthidae, Histioteuthidae e Cranchiidae.

Occorre ricordare che i maschi tendono a mangiare individui di maggiori dimensioni rispetto alle femmine, inoltre essi si cibano anche di specie la cui distribuzione è legata a latitudini più elevate.

I capodogli (*P. macrocephalus*) alternano periodi di foraggiamento a periodi sociali o di riposo.

Durante il foraggiamento essi effettuano immersioni che, solitamente, hanno una durata di 35 minuti e raggiungono una profondità di 400 m, benché siano in grado, e a volte lo facciano, di raggiungere profondità più elevate e di stare in immersione per periodi più lunghi.

Il tratto caratteristico che indica l'inizio di un'immersione è la fuoriuscita della pinna caudale dall'acqua; i profili di immersione sono solitamente verticali.

Ci sono differenti ipotesi riguardo i precisi meccanismi con cui i capodogli (*P. macrocephalus*) localizzano e catturano la preda: secondo ipotesi meno recenti questi animali adotterebbero la cosiddetta "sit-and-wait foraging strategy" che sembra essere più favorevole a livello energetico (*Beale 1989, Clarke 1970*); pareri più moderni,

invece, propongono strategie basate su movimenti maggiormente persistenti dei capodogli (*P. macrocephalus*) (Watkins et al. 1993; Amano & Yoshioka 2003; Whitehead 2003; Miller et al. 2004).

Le prede sono individuate tramite l'emissione di treni di clicks che permettono la loro localizzazione, quelle più piccole possono essere individuate anche grazie all'uso della vista, poiché esse emettono segnali luminosi per effetto della bioluminescenza.

Un'ulteriore strategia che sembra essere adottata durante la predazione è quella basata sullo stordimento della preda tramite l'emissione di onde sonore che servono anche, come detto, per la localizzazione.

Durante questa fase di predazione i piccoli, che sono integrati nel gruppo delle femmine, non si immergono alla ricerca di cibo, poiché non sono ancora in grado di raggiungere elevate profondità, quindi restano in superficie a respirare sotto il controllo di altri individui adulti (Fig.6).



Fig.6 Gruppo di capodogli (*P. macrocephalus*) con la prole
Fonte: <http://www.vamosabucear.com/blog/9253/descubren-como-cachalote-puede-contener-respiracion-90-minutos/sperm-whales/>

Durante i periodi di riposo, tanto i maschi quanto le femmine, stanno vicino alla superficie, mostrano un comportamento più attivo nella fase immediatamente prima e dopo l'attività di foraggiamento.

I capodogli (*P. macrocephalus*) sono a loro volta predati da altri organismi, in particolare si sono osservati attacchi da parte di orche, tuttavia, di solito, non hanno successo. Altri potenziali predatori sono i globicefali e gli squali, in quest'ultimo caso l'attacco è diretto soprattutto verso i piccoli.

Le femmine dei capodogli (*P. macrocephalus*) utilizzano due particolari tecniche di difesa dai predatori:

-formazione “marguerite” o “wagon wheel” nella quale i membri del gruppo uniscono le loro teste verso il centro ponendo i loro corpi radialmente;

-formazione “heads out” nella quale i capodogli (*P. macrocephalus*) attaccano i loro predatori, restando strettamente allineati, in questa formazione i più piccoli stanno nella parte centrale così da essere maggiormente protetti (*Perrin, Würsig and Thewissen, 2002*).

1.3 Il capodoglio (*Physeter macrocephalus*) nel Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è un bacino costituito da acque temperate; esso si estende tra i 30° N e i 45° N di latitudine ed è circondato interamente da masse continentali, si collega con l'Oceano Atlantico tramite lo Stretto di Gibilterra.

Da un punto di vista oceanografico il Mar Mediterraneo può essere suddiviso in due bacini (*Nielsen, 1912*): quello orientale (regioni orientali della Sicilia) e quello occidentale (dallo stretto di Gibilterra alla Sicilia, includendo il Mar Tirreno). Il Mar Tirreno, tuttavia, può essere considerato come un bacino a sé stante, poiché è semi-chiuso tra due isole, la Sardegna e la Corsica, e la penisola italiana, è separato dal bacino del Mediterraneo occidentale da un canale collocato ad una profondità di circa 1500 m.

Inoltre, sarebbe opportuno considerare, da un punto di vista ecologico, un'ulteriore suddivisione a livello del bacino occidentale, in quest'ultimo, infatti, dovrebbe essere individuata un'area settentrionale ed una meridionale, poiché, secondo le analisi di immagini satellitari (*Morel & André, 1991*), in queste aree si individuano differenti patterns stagionali e di produzione primaria, cosa che andrebbe ad influenzare la distribuzione dei capodogli (*P. macrocephalus*) in relazione alle loro tendenze alimentari. In particolare il 41° parallelo viene individuato come limite tra queste due aree (una più settentrionale e l'altra più meridionale) del bacino occidentale, poiché a questo livello si colloca il fronte balearico settentrionale (*Le Vourch et al. 1992*).

Tutte le regioni includono sia aree di acque profonde (>2000 m), sia piattaforme continentali. Le scarpate continentali (tra i 200 e i 2000 m) sono ripide e, in quest'area, si riscontrano nella zona della Provenza, di Minorca, del sud-est della Spagna, del nord-

ovest della Sardegna e della Corsica, della Sicilia orientale e del Peloponneso sud-occidentale.

Si riscontrano, infine, aree di profondità intermedia a livello del mare di Alboran, della zona occidentale del Mar Balear, della zona settentrionale del Mar Tirreno, della zona orientale del mar Ligure, dei canali di Sicilia e di Sardegna (Gannier et al., 2002).

Qui di seguito (Fig.7) si può osservare la suddivisione appena descritta del Mar Mediterraneo.

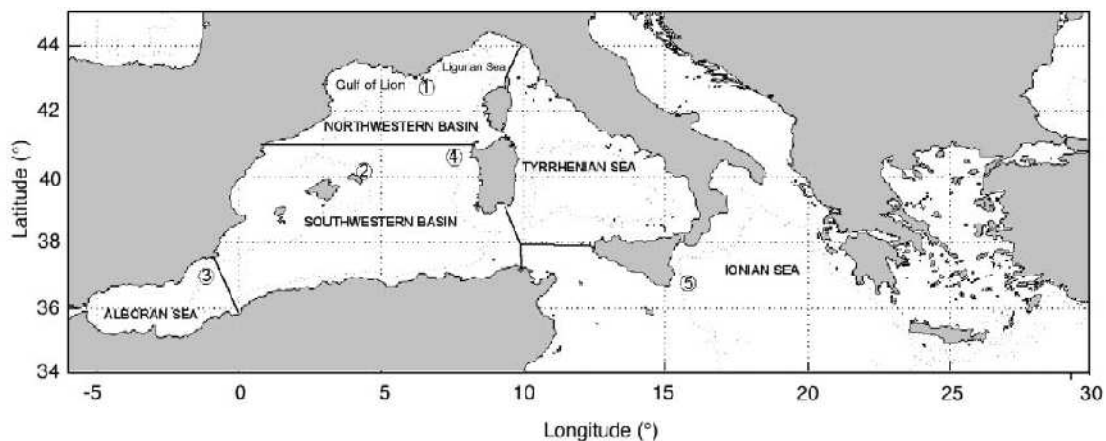


Fig. 7 Le differenti regioni del Mar Mediterraneo. I numeri indicano le aree di scarpata continentale: (1) Provenza, (2) Minorca (Baleari), (3) sud-est della Spagna, (4) nord-ovest della Sardegna e della Corsica, (5) est della Sicilia e (6) sud-ovest del Peloponneso (Gannier et al., 2002)

Il capodoglio (*P. macrocephalus*) è una delle 8 specie di cetacei che attualmente abitano il bacino del Mediterraneo (Duguy, 1991).

Diversi studi sono stati condotti al fine di individuare la distribuzione spaziale del capodoglio (*P. macrocephalus*) nel Mediterraneo, impiegando differenti metodi quali visual census, foto-identificazione e supporti acustici passivi (Gannier et al. 2002, Drouot et al. 2004, Gannier et al. 2006, Drouot et al. 2007)

La distribuzione dei capodogli (*P. macrocephalus*) durante il periodo estivo sembra riflettere il pattern che si incontra a livello oceanico, seppur a scala ridotta: i maschi adulti si ritrovano maggiormente solitari nelle regioni settentrionali, mentre le femmine con la prole si riscontrano in gruppi nelle aree meridionali del Mar Mediterraneo (Drouot et al. 2004).

In particolare Drouot et al. (2004) hanno notato che le dimensioni dei gruppi di individui osservati sia in superficie che in profondità tendono ad aumentare via via che ci si sposta dalle regioni settentrionali verso le regioni meridionali del Mar Mediterraneo.

Nel bacino a nord si riscontrano maggiormente capodogli (*P. macrocephalus*) la cui tendenza è quella di non formare gruppi coesi, in particolare si osserva che laddove la concentrazione di capodogli (*P. macrocephalus*) è alta, come ad esempio nel Golfo di Lione (Gannier et al. 2002), essi tendono a formare dei gruppi di alcuni individui, mentre nelle zone in cui la loro abbondanza è minore (Mar Ligure) essi tendono a stare da soli (Drouot et al. 2004).

Nelle regioni meridionali, invece, secondo Drouot et al. (2004), si individuano gruppi più consistenti di femmine con la relativa prole, in particolare essi si concentrano in tre bacini: il Mar Tirreno, il Mar Ionio e il bacino sud-ovest, a livello delle Isole Baleari. Queste evidenze suggeriscono che le zone meridionali del Mar Mediterraneo siano quelle a livello delle quali si effettuano le attività di accoppiamento e crescita della prole. Inoltre sembra esserci una particolare associazione tra la presenza delle femmine impegnate nella crescita della propria prole: i capodogli (*P. macrocephalus*), infatti, durante queste attività paiono preferire aree in cui l'acqua è più calda, ci sono ampie piattaforme e margini ripidi. In base alle osservazioni fatte durante il corso degli anni, è stata ipotizzato un comportamento di fedeltà da parte delle femmine di capodogli (*P. macrocephalus*) ai luoghi nei quali far crescere la propria prole (Drouot et al. 2004).

A livello generale studi di Jaquet & Grendon (2002) sembrano confermare l'idea che le dimensioni dei gruppi di capodogli (*P. macrocephalus*) siano relazionate alle variazioni di distribuzione ed abbondanza delle loro prede.

Secondo Bolognari (1951) e Mangano (1983) il bacino del Mar Mediterraneo ha delle elevate capacità in quanto ad offerta di cibo per i capodogli (*P. macrocephalus*), tali da poter supportare una popolazione di dimensioni anche maggiori di quelle osservate.

La diminuzione delle dimensioni dei gruppi di capodogli (*P. macrocephalus*) osservati sembra essere relazionata all'impatto antropico, sia in modo diretto tramite il by-catch di reti alla deriva, sia indirettamente a causa della diminuzione di risorse di cibo e dell'introduzione di fonti di disturbo (Gannier et al. 2002).

Drouot et al. (2007) nel loro lavoro hanno poi incentrato l'attenzione sullo studio degli spostamenti dei capodogli (*P. macrocephalus*), in particolare nella zona del Mar Mediterraneo occidentale raccogliendo dati durante 15 anni (1991-2005, periodo estivo) con il metodo della foto-identificazione.

In particolare durante questo lavoro si osservò che quattro individui identificati nella zona settentrionale del bacino del Mar Mediterraneo (Mar Ligure e Golfo di Lione) furono anche osservati a livello delle isole Baleari; alcuni di questi quattro individui vennero visti da soli a livello della zone settentrionali e uniti a gruppi di 6-7 individui con prole a livello delle isole Baleari, cosa che ha suggerito il possibile spostamento nord-sud di essi per unirsi a gruppi di femmine con fini riproduttivi. A prova di ciò si è potuto osservare che, con certezza, due di essi erano individui maschili che avevano raggiunto già la maturità sessuale.

Secondo differenti studi (*Best et al. 1984, Evans 1997, Drouot et al. 2007*) il periodo di accoppiamento cui segue l'effettivo concepimento si svolge durante diversi mesi, dunque a livello del Mar Mediterraneo occidentale si possono individuare numerose e ripetute escursioni nord-sud degli individui maschili a fini riproduttivi; la frequenza delle migrazioni è giustificata e resa possibile dalla relativamente ridotta estensione di questo bacino, a differenza di ciò che si verifica in oceano aperto dove le distanze tra le regioni settentrionali e le regioni occupate da gruppi di individui femminili sono notevolmente maggiori, cosa che non permette frequenti migrazioni da parte dei maschi.

Non è ancora stato chiarito se queste migrazioni siano eventi di carattere stagionale o avvengano anche nel corso di tutto l'anno.

1.4 Bioacustica

Da un punto di vista storico i primi studi riguardo i suoni in ambiente acquatico sono stati condotti per scopi militari dalle sezioni navali degli eserciti dei differenti Paesi del mondo: basandosi principalmente sull'uso di SONAR (Sound Orientation Navigation and Ranging), infatti, si cercava di individuare la presenza di sottomarini nemici, tuttavia nel corso del tempo si è potuto verificare che i suoni riscontrati erano anche altri, cosa che ha permesso lo sviluppo di discipline quali l'oceanografia acustica e la bioacustica marina (*Au 1993, Notarbartolo et al. 1994, Pavan et al. 1997, Richardson et al. 1995*).

Lo studio dell'acustica subacquea è stato strettamente correlato con lo sviluppo del SONAR, tale apparecchio permette di individuare gli ostacoli e di calcolare la profondità dell'acqua, caratteristiche importanti per una navigazione sicura.

Si possono distinguere due principali tipi di SONAR:

-attivi: emettono delle onde sonore e ricevono l'eco riflesso dagli oggetti presenti;

-passivi: si limitano a ricevere i suoni prodotti sott'acqua (es. navi, sottomarini, animali...).

Sebbene in un primo momento lo studio dell'acustica subacquea e l'impiego di vari apparecchi fosse indirizzato ad uno scopo puramente militare, col passare del tempo e con il progredire delle conoscenze questo campo di studio ha trovato applicazioni anche in altri ambiti, quali lo studio degli animali marini che emettono suoni e la misurazione dei cambiamenti globali della temperatura (http://www-3.unipv.it/cibra/edu_underwaterbioacoustics_uk.html).

In generale il suono può essere definito come un'onda, essa per propagarsi ha bisogno necessariamente di un mezzo che faccia da supporto alle perturbazioni che genera la sua energia.

Il suono è definito tramite tre caratteristiche: l'intensità, l'altezza o tono e il timbro.

Intensità: è determinata dall'ampiezza del movimento oscillatorio; si può misurare come la quantità di energia sonora trasmessa in una determinata direzione per unità di area e di tempo, dunque le onde sonore esercitano una pressione.

L'unità di misura dell'intensità del suono è il Bel (B) e il suo sottomultiplo, il decibel (dB). L'essere umano è in grado di udire i suoni a partire dal valore di 0 dB fino ai 140 dB, al di sopra di tale valore prova fastidio o dolore. La scala dei dB è una scala logaritmica. I valori massimi, definiti "non dolorosi" dall'orecchio umano, cambiano molto da persona a persona e in relazione alla frequenza del suono percepito.

Al fine di dare una migliore indicazione del rischio uditivo si è soliti utilizzare come unità di misura i dB A che rappresentano una misura calibrata alla sensibilità dell'udito dell'uomo in relazione alle frequenze che più disturbano l'essere umano.

Tono: o frequenza, dipende dal numero di oscillazioni (pulsazioni o cicli) per unità di tempo. L'unità di misura della frequenza è l'Hertz. Un ciclo al secondo corrisponde ad 1 Hz. Questa caratteristica del suono ha un ruolo importante sulla sua capacità di trasmissione, infatti a seconda dei valori assunti dalla frequenza il suono sarà in grado di trasmettersi a distanze differenti: frequenze basse sono in grado di trasmettersi a maggiori distanze rispetto a frequenze alte. Il tono di un suono corrisponde alla percezione da parte dell'orecchio umano come più acuto o più grave, a seconda delle sue caratteristiche.

Timbro: rispecchia la qualità del suono che permette all'essere umano di distinguere tra due suoni con la stessa intensità e la stessa altezza; questa caratteristica è dovuta al fatto che i suoni complessi possono essere considerati come una sovrapposizione di più suoni semplici.

La trasmissione della luce in acqua si riduce a pochi metri di profondità (zona fotica), invece la trasmissione del suono in acqua è notevolmente efficace. Il suono è la forma di energia che si propaga nel modo più efficiente in acqua.

Il suono in acqua, se possiede determinate caratteristiche, è in grado di propagarsi a centinaia di chilometri di distanza, inoltre la velocità di propagazione in questo mezzo è cinque volte maggiore rispetto alla sua velocità in aria, infatti qui viaggia a circa 1500 m/s (Fig.8).

Tale velocità non è costante ed è soggetta ai parametri fisico-chimici del mezzo quali la salinità, la temperatura e la pressione. Occorre anche tenere in considerazione come altri fattori possano influenzare la velocità di propagazione del suono in acqua, tra questi ricordiamo, ad esempio, il periodo dell'anno, la profondità, la distanza, la presenza di correnti marine, di monti sottomarini o di altri parametri oceanografici (Fig. 8).

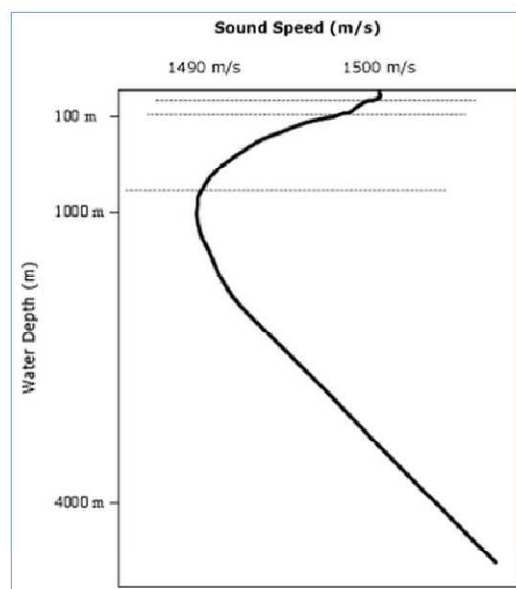


Fig. 8: Profilo della velocità del suono in relazione con la profondità oceanica.
Nota: la velocità minima è attorno ai 1000 m di profondità.

Fonte: University of Rhode Island

Il suono in acqua, a seconda di determinate condizioni, si può propagare secondo due differenti modalità: -propagazione sferica o circolare; -propagazione cilindrica.

In entrambi i casi l'ampiezza dell'onda sonora diminuisce via via che si allontana dalla fonte che l'ha generata.

Propagazione sferica o circolare: dopo la generazione del suono ad una profondità media definita "punto bianco", esso viene trasmesso secondo una distribuzione sferica circolare di raggio r ; questo tipo di propagazione si mantiene fino a quando le condizioni fisiche (superficie, profondità, ecc.) lo permettono (Fig.9).

Propagazione cilindrica: si realizza quando il suono inizia ad essere influenzato dal fondo marino e dalla superficie; in questo tipo di propagazione i livelli di intensità del suono diminuiscono molto più rapidamente (Fig.9).

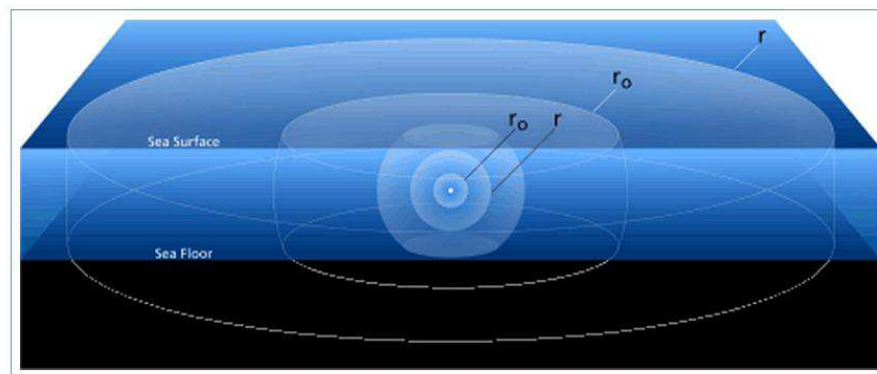


Fig. 9: Propagazione sferica e cilindrica del suono.
Fonte: DOSITS webpage; University of Rhode Island.

L'uso dell'acustica in ambiente marino ha avuto, nel corso degli anni, differenti applicazioni.

-Uso di dispositivi acustici per la navigazione: sono importanti poiché svolgono un ruolo di supporto nell'ambito della navigazione di veicoli marini, inoltre è importante l'uso delle ecosonde per misurazioni in profondità e di sonar per la ricerca di oggetti presenti sul fondo marino.

-Uso di dispositivi acustici per la pesca: i sonar in questo ambito vengono utilizzati sia per localizzare banchi di pesci, sia per identificare le traiettorie di specifiche specie.

-Dispositivi acustici di comunicazione sottomarina: questi apparecchi hanno visto un notevole sviluppo grazie al fatto che la comunicazione tramite onde radio non permette di trasmettere a grandi distanze. L'uso di questi apparecchi acustici sottomarini riguarda

sia la comunicazione tra veicoli sottomarini, sia l'invio e la ricezione di dati con persone o con apparecchi utilizzati in procedure di monitoraggio oceanografica.

-Dispositivi di studi oceanografici e di processi fisici dell'oceano: le tomografie acustiche marine o le eco-sonde invertite permettono di individuare profili di temperatura, inoltre i dispositivi acustici possono trovare applicazione anche nello studio di correnti oceaniche, moto ondoso o acque in superficie; vi sono anche dispositivi atti allo studio del cambiamento climatico globale.

-Dispositivi per studi geofisici: ricerca di gas e petrolio, studi sismici, geologici, vulcanici e processi fisici sottomarini.

-Dispositivi per lo studio del clima e della meteorologia: si sfruttano alcune proprietà acustiche per derivare delle misurazioni, ad esempio, a partire dal suono caratteristico prodotto dalla pioggia sulla superficie dell'acqua, dalla sua intensità e frequenza si può calcolare con precisione la quantità d'acqua che è caduta. Una situazione simile si ha con il vento.

-Dispositivi acustici usati per la difesa o per attività militari: essi possono essere attivi o passivi, sono utilizzati per la localizzazione di sottomarini o veicoli navali o per la monitoraggio di esercitazioni nucleari.

-Dispositivi acustici per studiare la vita marina: misurazioni della densità di organismi planctonici, densità di pesci e identificazione di specie, studi di abbondanza, distribuzione e protezione dei mammiferi marini (*Sanchez, 2013*).

Un ruolo sempre più importante è assunto dallo studio della bioacustica: questa disciplina è una branca della zoologia e si occupa dello studio della produzione e della ricezione dei suoni prodotti dagli animali, come comunicano fra loro, i significati dei suoni da loro emessi, le relazioni tra i suoni prodotti dagli animali e l'ambiente che li circonda. Inoltre la bioacustica si occupa anche dello studio degli apparati uditivi e di emissione dei suoni posseduti da questi individui e dei processi fisiologici ad essi relazionati.

In particolare la bioacustica trova importanti applicazioni nello studio della vita sottomarina, soprattutto per quanto riguarda progetti nell'ambito della conservazione della fauna e degli impatti ambientali causati dalle attività umane.

Con i dispositivi acustici è possibile, tramite la rilevazione di segnali specifici, identificare le differenti specie a distanza ed, eventualmente, poter fare un census ed uno studio dei movimenti degli animali anche da grandi distanze, così come in condizioni di scarsa visibilità.

La bioacustica, inoltre, ha un ruolo importante come deterrente al fine di mettere in allarme i cetacei in caso di presenza di reti da pesca, così da evitare eventuali incidenti (Acoustic deterrentes devices-PINGERS)(http://www-3.unipv.it/cibra/edu_underwaterbioacoustics_uk.html).

Molti organismi acquatici marini producono suoni: invertebrati (soprattutto crostacei), pesci, mammiferi marini (cetacei e pinnipedi).

Essi producono suoni con frequenze comprese tra gli infrasuoni e gli ultrasuoni; tali segnali acustici vengono emessi in un ambiente complesso e rumoroso, l'uomo con le sue attività partecipa attivamente nel creare rumori di diverso tipo.

Mentre i teleostei, a causa delle caratteristiche dei suoni da loro prodotti, possono solo comunicare a breve distanza, una situazione differente si riscontra nei cetacei: essi emettono suoni per la comunicazione che sono in grado di essere trasmessi a molti metri di distanza; inoltre sono in grado di produrre degli ultrasuoni che permettono loro una accurata ecolocalizzazione anche a distanze di diverse centinaia di metri.

In particolare, per quanto riguarda i cetacei, occorre ricordare la loro suddivisione in Odontoceti (balene con denti) e Mysticeti (balene con fanoni), questa suddivisione rispecchia anche il loro diverso comportamento acustico e le loro modalità di utilizzo del suono.

Gli Odontoceti sono degli attivi cacciatori che inseguono e catturano la loro preda utilizzando diversi sensi, lo fanno a profondità e in luoghi differenti a seconda del tipo di animale, infatti alcuni si limitano ad un'attività di caccia a livello delle acque superficiali, mentre altri, come ad esempio i capodogli (*P. macrocephalus*), si immergono ad elevate profondità in cerca di cibo.

Gli Odontoceti producono principalmente tre tipi di suoni:

- 1) suoni di ecolocalizzazione: vengono prodotti al fine di localizzare le proprie prede, soprattutto in condizioni di visibilità limitata; sono corti pulsii di banda larga, chiamati "clicks" le cui frequenze possono raggiungere i 150 kHz. Grazie a specifici organi ed apparati questi animali sono in grado di produrre tali suoni ed ascoltare l'eco prodotto dalla riflessione del suono a causa della presenza di ostacoli o di prede. In particolare i suoni sono prodotti a livello nasale, segue una combinazione di riflessioni a livello del cranio e il passaggio attraverso un sistema di lenti localizzato nel "melone", un organo di tessuto grasso che si trova a livello della fronte dell'animale. La ricezione del segnale riflesso si ha a carico dell'apparato uditivo tipico dei mammiferi, in congiunto con delle guide d'onda a

livello della mandibola costituite da canali di grasso e con i denti dell'arcata inferiore che sembra possano funzionare come antenne acustiche.

- 2) Fischi tonali ("tonal whistle") per la comunicazione.
- 3) Strilli ("squawk"): sono prodotti emettendo clicks di ecolocalizzazione di basso potere ma ad alta velocità; il tasso di ripetizione può raggiungere i 1000 clicks/sec.

I Mysticeti, invece, sono filtratori, dunque, in relazione al loro tipo di alimentazione basata principalmente sulla filtrazione di grandi volumi d'acqua, non hanno sviluppato l'ecolocalizzazione come gli Odontoceti. Questi individui emettono suoni a basse frequenze per la comunicazione. Tuttavia, alcune evidenze sembrano suggerire che la balenottera (*Balaenoptera physalus*) e la balenottera azzurra (*Balenoptera musculus*) emettano dei suoni utilizzati per esplorare l'ambiente ai fini della navigazione (http://www-3.unipv.it/cibra/edu_marmam_uk.html).

Appare evidente che diversi gruppi di cetacei utilizzino suoni di differente tipo e frequenza per svolgere attività fondamentali quotidiane, quali la comunicazione, la navigazione e l'alimentazione (*Shouhall et al., 2007; Tyack, 2000*).

Grazie a queste caratteristiche di tali animali e alle proprietà di trasmissione del suono in acqua, i metodi acustici passivi risultano essere degli strumenti molto importanti per lo studio di questi individui.

L'uso della bioacustica e l'analisi dei suoni emessi dai cetacei, inoltre, può trovare un'applicazione anche negli studi di dinamica delle popolazioni: emerge dagli studi di Castellote et al. (2011) che i suoni emessi dagli animali possono essere utilizzati per identificare popolazioni isolate in situazioni in cui le tecniche genetiche non portino a risultati.

L'uso di dispositivi acustici passivi impiegati nello studio dei cetacei possono comportare possibili vantaggi e svantaggi.

Tra i vantaggi ricordiamo:

- continuità nella raccolta dei dati durante periodi la cui durata varia da alcuni minuti a diversi mesi, sempre con le medesime condizioni;
- costi inferiori rispetto ai metodi di "visual census" effettuati da imbarcazioni o da elicotteri, per quanto riguarda il personale impiegato, i veicoli utilizzati e il combustibile consumato;

-possibilità di raccolta diretta dei dati tramite dispositivi e di trattamento di essi tramite rilevatori automatici, cosa che permette di evitare errori umani e di risparmiare tempo ai ricercatori;

-copertura di aree vaste durante lo studio;

-possibilità di raccogliere i dati anche durante la notte in luoghi ai quali non arriva la luce e in condizioni meteorologiche avverse.

Tra gli svantaggi ricordiamo:

-complessità dello studio della trasmissione del suono nell'acqua, degli eco e dei cambiamenti di velocità a seconda delle condizioni oceanografiche;

-complessità nel rilevamento delle indicazioni georeferenziali degli animali;

-necessità che gli animali in studio siano acusticamente attivi (*Sanchez, 2013*).

Fino a circa trent'anni fa il ruolo della bioacustica marina era primariamente quello di individuare e valutare gli effetti dei suoni prodotti dall'uomo sul comportamento degli animali.

Con il progredire della tecnologia degli apparecchi acustici lo studio della bioacustica marina è stato rivoluzionato. In particolare i protagonisti di questo radicale cambiamento sono tre strumenti:

- 1) sistemi portatili per misurare la capacità uditiva da un punto di vista elettrofisiologico tramite l'uso di potenziali evocati;
- 2) tag miniaturizzati dotati di sensori di posizione e di dispositivi di registrazione acustica al fine di ottenere osservazioni acustiche continue ma brevi, piuttosto che osservazioni visuali intermittenti;
- 3) sistemi di monitoraggio acustico passivo per ottenere osservazioni acustiche di maggior durata in specifiche località.

La principale e importante caratteristica di queste nuove tecnologie è data fondamentalmente dal fatto che esse possono essere utilizzate direttamente con gli animali in natura e non solo in cattività.

La possibilità di utilizzare tag acustici attaccati all'animale per registrare i suoi movimenti e l'ambiente in cui si muove da un punto di vista acustico è stata fondamentale al fine di studiare le abitudini alimentari ad esempio dei capodogli (*P. macrocephalus*).

Da un punto di vista più generale si può osservare che i dispositivi acustici, tanto fissi quanto mobili, sono in grado di rilevare le caratteristiche fisiche biologiche degli oceani senza aggiungere alcun tipo di disturbo acustico agli ambienti; data questa evidenza i

dispositivi acustici sembrano essere importanti strumenti per comprendere e gestire gli habitat marini (*Hastings et al, 2012*).

1.5 Bioacustica nei capodogli (*Physeter macrocephalus*)

Da lungo tempo era noto che i capodogli (*P. macrocephalus*) producessero suoni, tuttavia le prime evidenze scientifiche emersero solo a partire dal 1957 quando Worthington e Schevill (1957) intuirono che i suoni prodotti da questi animali erano dei “clicks” (*Worthington et al., 1957*). In seguito Backus e Schevill (1966) intrapresero studi più approfonditi e arrivarono alla conclusione che i clicks prodotti dai capodogli (*P. macrocephalus*) sono ripetuti e coprono un range di frequenza estesa, tra 0.2 e 32 kHz; essi inoltre proposero che tali suoni potessero essere utilizzati dagli animali sia per l'ecolocalizzazione, sia per la comunicazione.

Il tema dei clicks emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*) e della loro funzione nell'ecologia di questi animali è ampiamente studiato e dibattuto.

In generale i clicks sono suoni di ecolocalizzazione (*Jaquet et al., 2001*), cioè sono utilizzati dall'animale per individuare la preda durante l'immersione: quando il capodoglio (*P. macrocephalus*) è immerso per alimentarsi produce una serie di “clicks” (uno o due per secondo), via via che si avvicina all'obiettivo la frequenza dei clicks aumenta. Dunque le serie di clicks sono interrotte da serie di clicks accelerati (*Perrin et al, 2002*).

Nel lavoro di Jaquet et al. (2001) è stato osservato che il 97.1% delle vocalizzazioni è stato registrato quando gli animali erano in immersione alla ricerca di cibo, durante questo periodo gli individui emettevano clicks quasi continuamente, rimanendo acusticamente inattivi solo per il 15.5% del tempo intercorso tra l'immersione e la riemersione.

Inoltre Jaquet et al. (2001) hanno individuato il tempo intercorso tra il primo click emesso dopo l'inizio dell'immersione e la relativa profondità alla quale veniva emesso, tuttavia i loro risultati sembravano essere in disaccordo con i tempi individuati da Gordon (1987) e da Papastavrou et al. (1989), la causa di queste divergenze sono state attribuite alle differenze nelle caratteristiche batimetriche dei luoghi di studio in cui sono stati raccolti i dati.

Inoltre sembra che i primi clicks emessi durante l'immersione siano utilizzati dall'animale per esplorare il fondale e la sua profondità. (Jaquet et al., 2001)

I clicks possono essere prodotti con diversi tassi di ripetizione, in relazione a questo si possono individuare principalmente quattro categorie di suoni (Jaquet et al., 2001):

1) "usual clicks": sono quelli che predominano nel repertorio dei clicks prodotti dai capodogli (*P. macrocephalus*), sono emessi solo durante le immersioni che questi animali compiono al fine di alimentarsi (Madsen et al., 2002); questi individui possiedono un interclick interval (ICI) di circa 0.5-1 s (Jaquet et al., 2001).

2)"creak clicks": sono serie di clicks molto rapidi, fino a 220 clicks al secondo (Gordon, 1987). Secondo gli studi di Jaquet et al. (2001) l'emissione di creaks da parte dei capodogli (*P. macrocephalus*) si verifica quando essi sono molto vicini alla preda. Dunque, associando ad ogni creak un evento di cattura, si ipotizza che immersioni di successo da un punto di vista di ricerca di cibo durino più a lungo rispetto ad immersioni senza risultati (Jaquet et al., 2001); i risultati trovati da Jaquet et al. (2001) sembrano supportare questa ipotesi, infatti è stata individuata una correlazione positiva tra il numero di creaks al minuto e la durata delle immersioni.

3)"slow clicks": consistono nella ripetizione di clicks ogni 6-8 secondi e sembrano essere prodotti dagli individui maschili; la funzione di questo tipo di suono non è molto chiara, potrebbe essere utilizzato per attrarre le femmine, respingere altri maschi o per localizzare altri cetacei (Perrin et al, 2002).

Jaquet et al. (2001) hanno notato che questi "slow clicks" hanno caratteristiche differenti a seconda della latitudine: nei luoghi di riproduzione gli "slow clicks" sono prodotti solo da maschi maturi in sequenze che possono raggiungere i 23 minuti (Gordon, 1987), ad elevate latitudini, invece, questo tipo di clicks è prodotto solo alla fine dell'immersione in brevi sequenze (Mullin et al., 1988); inoltre nello studio di Jaquet et al., questo tipo di suono sembra essere prodotto da parte di individui maschili di tutte le taglie a livello della superficie.

4)"codas": sono serie stereotipate di 3-20 clicks che durano 0.2-2 secondi, essi sono prodotti dalle femmine durante i comportamenti sociali e le interazioni fra loro. Ogni gruppo di femmine ha un distinto repertorio di codas (Perrin et al, 2002). Il loro tasso di ripetizione è irregolare (Watkins and Schevill, 1977).

Diversi studi sono stati condotti riguardo i "codas": Whitehead et al. (1998) ipotizzarono che i repertori dei codas dei capodogli (*P. macrocephalus*) venissero trasmessi in parallelo con il DNA mitocondriale secondo una trasmissione verticale all'interno di ampi

gruppi con discendenza materna. In seguito venne osservato (*Rendell et al., 2003*) che tra i vari gruppi femminili di capodogli (*P. macrocephalus*) vi sono dei dialetti differenti, basati sull'uso di patterns di codas differenti. Inoltre Rendell et al. (2011) osservarono che i gruppi con differenti dialetti erano simpatrici. Questi gruppi che condividono lo stesso dialetto sono definiti "vocal clans" e sembrano essere il risultato di una trasmissione culturale, non è chiaro se questi dialetti possano essere imparati (*Rendell et al, 2011*).

Secondo Whitehead et al. (2003) i gruppi di capodogli (*P. macrocephalus*) sembra che si associno primariamente a gruppi dello stesso "vocal clan".

Ciò che è emerso dagli studi di Rendell et al. (2011) è che non esiste una relazione semplice tra i geni materni e i diversi "coda dialects", inoltre i test statistici hanno mostrato che i differenti "coda dialects" sono più relazionati a differenze genetiche piuttosto che a distribuzioni geografiche differenti. Queste evidenze risultano essere in contrasto con i tipici patterns di variazione geografica dei mammiferi (*Chepko-Sade e Halpin 1987, Greenwood 1980*), ma sono in accordo con l'evidenza che non ci sia una strutturazione geografica nella popolazione dei capodogli (*P. macrocephalus*) (*Whitehead et al. 1998*).

È difficile capire quale sia l'effettivo significato di questi suoni, secondo Jaquet et al. (2001) gli "usual clicks" e i "creaks clicks" sono entrambi suoni di ecolocalizzazione, i primi a lungo raggio, i secondi a corto raggio. Inoltre, poichè le femmine durante l'immersione alla ricerca di cibo non emettono "codas", gli "usual clicks" sembrano essere coinvolti anche in un ruolo di comunicazione. (*Jaquet et al., 2001*)

È importante ricordare che alcuni autori hanno suggerito che i capodogli (*P. macrocephalus*), oltre all'uso dell'ecolocalizzazione, utilizzino altre strategie per ricercare ed individuare le proprie prede: secondo Gaskin (1967) e Beale (1839) questi animali potrebbero attrarre passivamente le proprie prede tramite i tratti bianchi e bioluminescenti presenti attorno alle loro bocche; Fristrup e Harbison (2002) hanno suggerito, inoltre, che questi individui potrebbero creare un campo luminescente nell'acqua vicino alla loro bocca al fine di attrarre le prede, strategia da utilizzare in congiunto all'uso della vista.

1.6 Minacce e protezione a livello mondiale

La popolazione dei capodogli (*P. macrocephalus*) a livello mondiale è classificata dalla “IUCN Red List of Threatened Species” (versione 2013.2) come specie vulnerabile (Fig.10).

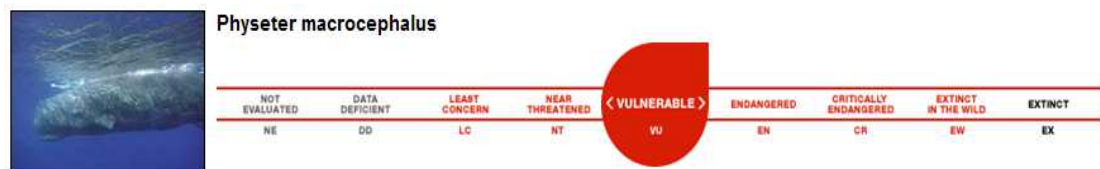


Fig. 10 Stato attuale della popolazione attuale di capodogli (*P. macrocephalus*) a livello mondiale.

Fonte: “IUCN Red List of Threatened Species” (versione 2013.2)

Il capodoglio (*P. macrocephalus*) è una specie che in passato e attualmente è soggetta a diverse minacce di differente origine:

-sfruttamento commerciale: la caccia al capodoglio (*P. macrocephalus*) per motivi commerciali si registra a partire circa dal 1712 e sembra essersi arrestata nel 1988. La fase di maggior cattura si ebbe attorno agli anni '50 del '900 quando vennero uccisi circa 25000 individui l'anno, questa eccessiva commercializzazione ha causato una notevole diminuzione della popolazione di capodogli (*P. macrocephalus*) a livello globale. L'arresto della caccia al capodoglio (*P. macrocephalus*) a scopi commerciali è relazionata alla moratoria del 1986 ad opera della IWC (International Whaling Commission) che ha fissato a zero i limiti di cattura delle balene a scopi commerciali (<http://iwc.int/catches>), fatta eccezione per particolari situazioni: l'Indonesia e il Giappone.

La commercializzazione dei capodogli (*P. macrocephalus*), in passato, era fortemente legata al prelievo dell'olio derivante dal grande organo dello spermaceti posseduto da questi animali; tale olio era utilizzato per l'illuminazione, inoltre esso è stato utilizzato come lubrificante dalla NASA durante le spedizioni nello spazio, poichè ha un punto di congelamento al di sotto dello zero (<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2096142/Sperm-whales-How-plastic-bags-poisoning-planets-greatest-predators.html>).

-By-catch: spesso la morte dei capodogli (*P. macrocephalus*) è stata causata dall'impatto tra questi animali e gli attrezzi usati per la pesca (Fig.11), questo problema risulta essere particolarmente evidente nel Mar Mediterraneo, tuttavia si manifesta in molte altre aree. Spesso, inoltre, avviene un fenomeno chiamato "depredation": i capodogli (*P. macrocephalus*) mangiano i pesci catturati dai pescatori e danneggiano i loro attrezzi da pesca, cosa che suscita nei pescatori un particolare malcontento che porta ad uccidere tali animali (http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1086&Itemid=140, <http://www.iucnredlist.org/details/16370739/0>)



Fig. 11 Rete da pesca attorcigliata alla pinna caudale di un capodoglio (*P. macrocephalus*)

Fonte:

<http://theseamonster.net/2012/02/saving-a-sperm-whale/>

-Collisioni con barche: è un problema diffuso a livello globale e particolarmente evidente anche nel Mar Mediterraneo.

A livello mondiale le zone di maggior frequenza di queste collisioni sembrano essere: la costa orientale degli Stati Uniti (*Douglas et al., 2008; Knowlton and Kraus, 2001*), la zona settentrionale del Mar Mediterraneo (*Panigada et al., 2006*), lo stretto di Gibilterra (*De Stephanis and Urquiola, 2006*), l'Oceano Pacifico occidentale (*IMO, 2007*) e le isole Canarie (*De Stephanis and Urquiola, 2006; Ritter, 2010*).

Le collisioni tra barche e cetacei si verificano in quelle occasioni in cui le rotte delle navi vanno a coincidere con le rotte intraprese da questi animali. Le imbarcazioni coinvolte sono di differente tipo: turistiche, commerciali, di organi governativi; in tutti i casi la gravità dell'incidente sembra essere correlata sia alle dimensioni della barca, sia alla sua velocità (*Carrillo et al., 2010*).

Il risultato di questi eventi è dannoso per entrambe le parti, benché in alcuni casi il personale di bordo non si accorga dell'avvenuto contatto con l'animale.

Le imbarcazioni, in seguito alle collisioni, possono mostrare danni agli scafi, alle eliche, ai condotti di aerazione, ai timoni, allo sterzo e ai condotti dell'acqua.

La vulnerabilità a questo tipo di incidenti varia a seconda della specie di cetaceo che si considera, tuttavia questa minaccia è ampiamente diffusa e coinvolge una gran varietà di specie tra i cetacei. Ad esempio ci sono numerosi casi riportati di individui morti di balenottera (*Balaenoptera physalus*) e di capodogli (*P. macrocephalus*) in seguito a collisioni con imbarcazioni. Le evidenze di questi incidenti sono state, ad esempio, l'osservazione di sangue nell'acqua, ferite sul corpo degli animali in seguito a contatto con eliche, fratture del cranio, delle mandibole o delle vertebre che causano l'affondamento dell'animale senza vita o altre evidenze riscontrate in seguito ad autopsie di individui morti.

Spesso casi di morte di cetacei in seguito a collisioni con barche non sono riportati, poiché questi incidenti avvengono al largo e le carcasse degli animali si perdono sul fondo del mare o vanno alla deriva (http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1087&Itemid=142).

In particolare il Comitato Scientifico ha ritenuto allarmante la minaccia delle collisioni tra cetacei e imbarcazioni nell'area ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic Area). Le due specie che appaiono maggiormente colpite da questo genere di incidenti sembrano essere la balenottera (*B. physalus*) e il capodoglio (*P. macrocephalus*); le collisioni tra imbarcazioni e cetacei, inoltre, sono notevolmente aumentate anche in relazione all'aumento del traffico navale durante gli ultimi anni.

Al fine di ridurre questo problema il Comitato Scientifico ha proposto di seguire due linee parallelamente:

- valutazione dell'impatto a livello della popolazione;
- sviluppo di misure di mitigazione

(http://www.accobams.org/images/stories/SC/SCrecommendation/rec_sc2.8_ship%20strikes.pdf).

Con l'obiettivo di raccogliere informazioni e proporre misure di mitigazione un ruolo importante è svolto anche dalla IWC (International Whaling Commission), tale commissione ha introdotto un importante strumento di raccolta dati, ovvero un database on-line che riporta le collisioni tra cetacei e imbarcazioni (Fig.12) e comprende anche un sistema con il quale il pubblico può aggiungere informazioni utili a riguardo (<http://iwc.int/ship-strikes>).



Fig. 12 Immagini di capodogli (*P. macrocephalus*) in seguito a collisioni con imbarcazioni.

Fonte: http://www.pbs.org/odyssey/odyssey/20050312_log_transcript.html

-Inquinamento: i capodogli (*P. macrocephalus*) sono individui che si posizionano in cima alla catena alimentare, dunque, sembrano essere maggiormente influenzati e danneggiati da tutte le sostanze che inquinano il mare. Tra i diversi problemi questi individui sono fortemente minacciati, così come altri cetacei, dalla presenza di inquinanti quali metalli pesanti (es. mercurio, cadmio, piombo), organo clorati (es. PCBs, DDTs) e di borse di plastica che fluttuano nel mare (<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2096142/Sperm-whales-How-plastic-bags-poisoning-planets-greatest-predators.html>).

Un altro inquinante che può essere presente nell'ambiente marino è l'argento, esso sembra accumularsi nel corpo dei cetacei (Becker et al. 1995, Law et al. 2003), tuttavia una linea guida a riguardo non è ancora stata fissata (Savery et al. 2013).

Savery et al. (2013) nel loro lavoro hanno rivolto l'attenzione sullo studio dell'accumulo di argento nei tessuti dei capodogli (*P. macrocephalus*), raccogliendo biopsie di tessuti di questi individui provenienti dall'Oceano Pacifico, Indiano e Atlantico e dal Mar Mediterraneo. Sono stati scelti questi individui poichè essi hanno una distribuzione globale ed, inoltre, sono in cima alla catena trofica, caratteristiche che permetterebbero di definire delle linee guida sulla presenza e impatto dell'argento nell'ambiente marino (Savery et al., 2013).

Dalle analisi effettuate da Savery et al. (2013) la presenza di argento è stata rilevata in tutte le aree di studio, fatta eccezione per l'Oceano Indiano; questa distribuzione globale può essere correlata alla capacità dell'argento di legarsi al cloro in ambiente marino formando complessi biodisponibili che, così, non si disperdono (Luoma et al., 1995). In particolare questi complessi si accumulano nei sedimenti marini, a livello dei quali i capodogli (*P. macrocephalus*) si nutrono e lì potrebbero acquisire argento e bioaccumularlo.

L'assunzione di argento da parte dei capodogli (*P. macrocephalus*) potrebbe avvenire per ingestione di prede contaminate, inalazione e assorbimento cutaneo, benché la seconda e la terza opzione sembrano essere marginali (Savery et al., 2013).

In generale nello studio di Savery et al. (2013) è stato osservato che i capodogli (*P. macrocephalus*) sono esposti all'argento, tuttavia le concentrazioni di tale metallo rilevate negli organismi sono basse.

Per quanto riguarda la distribuzione generale dell'argento nelle acque marine è stata osservata una crescente concentrazione di esso nell'area dell'Oceano Pacifico, tuttavia ulteriori studi sono richiesti per approfondire questo argomento (Savery et al., 2013).

-Riscaldamento globale: le nicchie ecologiche occupate dai cetacei sono principalmente definite da tre fattori: la temperatura dell'acqua, la sua profondità ed elementi che influenzano la distribuzione e l'abbondanza delle prede. Tra questi il fattore che gioca un ruolo maggiore nell'influenzare i range geografici di questi animali sembra essere la temperatura dell'acqua (Macleod, 2009).

Molti organismi cambiano la propria distribuzione in relazione alle condizioni che si presentano e si spostano a seconda di dove possono trovare la propria nicchia ecologica ideale (Wiens & Graham, 2005).

In questo senso il cambiamento climatico globale sembra influenzare molto animali e piante (Hughes 2000, Walther et al. 2002, Parmesan & Yohe 2003, Thomas et al. 2004, Wiens & Graham 2005).

Tale cambiamento, infatti, va a modificare le proprietà fisico-chimiche e biologiche dell'acqua di mare, questo può andare ad influenzare la produttività primaria, avendo così effetti sulla rete trofica, può generare malattie, influenzare la biodiversità a causa dell'espansione di specie termofile o favorire i bloom tossici (Gambaiani et al. 2009).

L'impatto del cambiamento climatico su specie con una discreta migrazione come il capodoglio (*P. macrocephalus*) è particolare: questi animali occupano aree differenti a seconda del periodo dell'anno, dunque, il cambiamento climatico può avere effetti differenti nelle diverse aree, soprattutto in termini di lunghezza o durata della migrazioni tra le varie regioni (Macleod, 2009).

-Perturbazione acustica: il disturbo acustico nei mari prodotto dalle attività antropiche è una seria minaccia nei confronti dei mammiferi marini, tuttavia non è ancora così facilmente quantificabile l'effetto finale che si può riscontrare su questi animali.

In relazione alla necessità di ulteriori studi per approfondire la questione si è cercato di intraprendere una politica di precauzione riguardo i rumori antropogenici prodotti in mare

(http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1091&Itemid=141).

Gli animali possono essere danneggiati da rumori intensi a diversi livelli; si possono individuare due principali tipi di effetti:

-acustici: possono riguardare soprattutto cetacei che compiono immersioni profonde e perdono il controllo dell'uso dell'udito in modo transitorio o permanente. Questo danno è correlato alla perdita secondaria della loro funzione di ecolocalizzazione, cruciale per l'orientamento;

-non acustici: l'animale, in seguito a suoni particolarmente intensi, si può spaventare e cambia il proprio comportamento. È possibile che la concomitanza di situazioni di elevata pressione in seguito ad immersioni profonde e della presenza di rumori intensi possa attivare in modo anomalo alcune aree del cervello di questi animali.

Sembra, in ogni caso, che la presenza di rumori particolarmente intensi in ambiente marino possa influenzare l'orientamento dei cetacei, cosa che, alcune volte, può portare a spiaggiamenti (*Talpalar et al., 2005*).

Il tema dell'influenza dei suoni prodotti dall'uomo sui capodogli (*P. macrocephalus*) è fortemente dibattuto.

Richardson et al. (1995) hanno definito quattro zone di influenza del rumore di origine antropica sui mammiferi marini:

-zona di udibilità

-zona di reazione

-zona di mascheramento

-zona di fastidio e dolore.

Differenti studi hanno concluso che i capodogli (*P. macrocephalus*) sono influenzati dai suoni prodotti dall'uomo: Watkins & Schevill (1975) hanno osservato una reazione nella produzione dei clicks prodotti da questi animali come risposta a suoni metallici nei Caraibi; alcune reazioni sono anche state riscontrate da André et al. (1997) in seguito alla produzione di codas artificiali; Watkins et al. (1993) hanno osservato alcuni effetti in seguito all'uso di sonar sottomarini; Mate et al. (1994) hanno registrato una diminuzione del numero di capodogli (*P. macrocephalus*) in una zona del Golfo del Messico in cui venivano effettuate indagini sismiche tramite metodo dell'airgun.

Gli studi di Madsen et al. (2000) sulla reazione dei capodogli (*P. macrocephalus*) ai suoni prodotti dai detonatori, tuttavia, ha portato a risultati differenti: sembra che i maschi di capodoglio (*P. macrocephalus*) presi in esame, infatti, non interrompessero o non cambiassero la produzione di clicks né alterassero il loro comportamento in seguito all'onda di pressione causata dalle scariche dei detonatori ad un livello del suono di 180 dB. Ciò che Madsen et al. (2000) hanno proposto come spiegazione a questi risultati è che vi sia una certa familiarità da parte di questi animali nei confronti dei suoni prodotti dai detonatori, percependoli, quindi, come clicks emessi da animali della stessa specie. Inoltre studi condotti da Madsen et al. (2002) riguardo l'influenza sui capodogli (*P. macrocephalus*) del rumore prodotto da prospezioni sismiche hanno portato all'evidenza che tali animali non sembravano essere influenzati da tali suoni di origine antropica, poichè essi non smettevano di produrre clicks né cambiavano il proprio comportamento acustico. Madsen et al. (2002) al fine di motivare i diversi risultati tra i loro studi e quelli di Mate et al. (1994) e di Bowles et al. (1994) hanno ipotizzato che i lavori precedenti di Mate et al. (1994) non tenessero in conto dei livelli di ricezione del suono dei capodogli (*P. macrocephalus*); inoltre un'altra possibile spiegazione può derivare dalla diversa struttura degli stock nei differenti studi (Madsen et al., 2002). Occorre ricordare, inoltre, che i capodogli (*P. macrocephalus*) hanno un range di ascolto ottimale più basso rispetto alla maggior parte delle altre specie di Odontoceti, ma non così basso come quello dei Mysticeti (Madsen et al., 2002).

1.7 Subpopolazione del Mar Mediterraneo

Il capodoglio (*P. macrocephalus*) ha una distribuzione globale, tuttavia la "IUCN Red List of Threatened Species" (versione 2013.2) considera gli individui presenti nel Mar Mediterraneo come facenti parte di una subpopolazione che differisce dal resto degli animali da un punto di vista genetico. Inoltre pone questa subpopolazione, a differenza della popolazione madre, in uno stato a rischio (Fig.13).

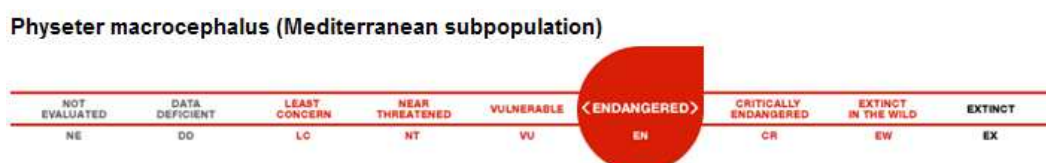


Fig. 13 Stato attuale della subpopolazione attuale di capodogli (*P. macrocephalus*) nel Mar Mediterraneo.

Fonte: "IUCN Red List of Threatened Species" (versione 2013.2)

Secondo gli studi di Drout et al. (2004) per quanto riguarda il mtDNA esiste un livello significativo di divergenza tra i capodoglia (*P. macrocephalus*) del Nord Atlantico e quelli del Mar Mediterraneo, cosa che suggerisce la presenza di un gruppo di individui residente in modo stabile nel bacino del Mar Mediterraneo. Poiché queste evidenze derivano da differenze nel mtDNA che è ereditato solo per via materna, sembra che le divergenze tra le due aree siano più che altro legate a differenti strutture materne, mentre non sembrerebbero avere alcuna relazione con l'inter-breeding tra le due aree. Queste evidenze genetiche sono, inoltre, supportate dal comportamento degli individui femminili di capodoglio (*P. macrocephalus*) che sembrano mostrare una certa fedeltà alle aree in cui vivono. Ancora non è chiaro se gli individui maschili dall'Atlantico entrino nel Mediterraneo a fini riproduttivi o solo per cibarsi o se nel Mediterraneo i maschi e le femmine di capodoglio (*P. macrocephalus*) coesistano senza incrociarsi con gli animali dell'Atlantico (Drout et al., 2004).

2. SCOPO DELLA RICERCA

Durante questo lavoro di tesi sono stati individuati alcuni obiettivi.

A partire da registrazioni effettuate tramite metodi acustici passivi in due differenti aree, il Mar di Bamba e il Parco Nazionale di Cabrera, in differenti periodi, profondità e con diverse frequenze di campionamento (50 kHz e 5 kHz), si è cercato di individuare la presenza dei caratteristici pulsii emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*) al fine di verificare la presenza di questi animali in tali aree.

Un ulteriore scopo di questo lavoro è stato di confrontare, soprattutto da un punto di vista della distribuzione di energia, i pulsii eventualmente rilevati nel Mar di Bamba e nel Parco Nazionale di Cabrera; questa analisi ha avuto l'obiettivo di ottenere evidenze a supporto del fatto che nelle due aree i pulsii rilevati fossero effettivamente emessi da capodogli (*P. macrocephalus*).

Infine, questo lavoro ha avuto lo scopo di valutare l'efficacia dell'impiego di una frequenza di campionamento di 5 kHz per rilevare i pulsii emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*), così da individuare la migliore frequenza di campionamento da utilizzare nelle successive immersioni degli strumenti.

3. MATERIALE E METODI

3.1 Area di studio e progetti

Le registrazioni analizzate in questo lavoro provengono da due siti differenti, il Mar di Bamba e il Parco Nazionale di Cabrera, dove il Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia ha immerso i propri strumenti nell'ambito di differenti progetti.

3.1.1 Mar di Bamba

L'area del Mar di Bamba non è definita geograficamente, infatti questa zona deve il suo nome all'appellativo attribuitogli dai pescatori; essa interessa le acque comprese tra le "Islas Columbretes" e la scarpata continentale.

Quest'area è un punto di elevata attività peschiera ed, inoltre, di alta presenza di cetacei presente nella Comunità Valenciana.

Il lavoro svolto qui aveva come obiettivo principale quello di effettuare uno studio sulla biodiversità dei cetacei di quest'area nel corso di un mese, sebbene in questo lavoro l'attenzione sia stata focalizzata sulla presenza di capodogli (*P. macrocephalus*).

Il periodo di immersione degli strumenti è stato di 30 giorni (15-31 giugno 2009, 1-14 luglio 2009) cui corrispondono 224 ore di registrazione e 2826 files audio.

I dati relativi all'immersione degli strumenti sono riportati nella seguente tabella (Tab.2):

DATA E ORA IMMERSIONE STRUMENTI	15/06/2009 Ora: 18.47
DATA E ORA RECUPERO STRUMENTI	14/07/2009 Ora: 11:47
ZONA	Mar di Bamba
COORDINATE	39° 41' 791" N 0° 45 433" E
PROFONDITÀ	500 m

Tab. 2 Dati relativi all'immersione degli strumenti nel Mar di Bamba (Giugno-Luglio 2009)

3.1.2 Parco Nazionale di Cabrera

Le registrazioni derivanti dagli apparati immersi nell'area del Parco Nazionale di Cabrera derivano da un progetto cui partecipa il Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia, il Governo Balear, il Parco Nazionale di Cabrera e l'Istituto Franklin dell'Università di Alcalá e prevede l'immersione degli strumenti durante un periodo compreso tra il 2012 e il 2015, con lo scopo principale di seguire la presenza in quest'area della balenottera comune (*Balaenoptera physalus*) e, se possibile, del capodoglio (*P. macrocephalus*).

In questo lavoro sono state analizzate registrazioni di un periodo compreso tra agosto 2012 e dicembre 2012, per un totale di 150 giorni totali (1-31 agosto 2012, 1-30 settembre 2012, 1-29 ottobre 2012, 2-30 novembre 2012, 1-31 dicembre 2012) cui corrispondono 1209 ore di registrazione e 14349 files audio. Le registrazioni partivano dal 31 luglio 2012, tuttavia, per questioni pratiche, le ore del 31 luglio non sono state incluse nelle analisi effettuate. Inoltre per quanto riguarda il periodo di immersione degli strumenti compreso tra novembre 2012 e marzo 2013, in questo lavoro sono state analizzate le registrazioni solo fino al 31 dicembre 2012.

I dati relativi all'immersione degli strumenti sono riportati nelle seguenti tabelle (Tab. 3-4):

DATA E ORA IMMERSIONE STRUMENTI	31/07/2012 Ora: 11:56
DATA E ORA RECUPERO STRUMENTI	29/10/2012 Ora: 12:11
ZONA	Parco Nazionale di Cabrera
COORDINATE	39° 08' 08.0" N 02° 58' 05.4" E
PROFONDITÀ	85 m

Tab. 3 Dati relativi all'immersione degli strumenti nel Parco Nazionale di Cabrera (Luglio-Ottobre 2012)

DATA E ORA IMMERSIONE STRUMENTI	02/10/2012 Ora: 11:27
DATA E ORA RECUPERO STRUMENTI	25/03/2013 Ora: 12:57
ZONA	Parco Nazionale di Cabrera
COORDINATE	39° 07' 09.9" N 02° 57' 27.8" E
PROFONDITÀ	85 m

Tab. 4 Dati relativi all'immersione degli strumenti nel Parco Nazionale di Cabrera (Novembre 2012-Marzo 2013)

3.2 Precampagna- Preparazione degli strumenti

In questa fase del lavoro l'attenzione è stata rivolta alla preparazione degli strumenti da immergere nelle aree di studio scelte per le registrazioni, a tal fine è stato programmato il dispositivo acustico EAR (Ecological Acoustic Recorder), è stato eseguito un controllo del funzionamento del liberatore acustico e sono stati fabbricati dei pesi per la corretta immersione degli strumenti.

Questa attività previa è importante al fine di risolvere eventuali problemi tecnici in laboratorio dove è più facile lavorare, infatti possibili difficoltà riscontrate quando si è già a bordo dell'imbarcazione potrebbero essere più difficili da risolvere.

3.2.1 Strumento di registrazione acustica EAR (Ecological Acoustic Recorder)

L'EAR è un dispositivo che è stato sviluppato in seguito al lavoro sinergico dell'Istituto di Biologia Marina delle Hawaii, della divisione dell'ecosistema delle barriere coralline della NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) e dell'Istituto Scientifico Oceanwide.

Esso è uno strumento di registrazione digitale che è stato progettato per essere in grado di monitorare i suoni presenti nell'ambiente acquatico per lunghi periodi, le frequenze alle quali è in grado di registrare sono comprese tra 0 Hz e 50 kHz, a seconda di quello che si vuole individuare.

A seconda della profondità alla quale si vuole immergere l'EAR è possibile scegliere tra tre modelli:

- EAR di acque poco profonde (0-36 m), può essere collocato alla profondità di interesse da subacquei;
- EAR di acque profonde (fino a 500 m);
- EAR di acque molto profonde (fino a 1000 m).

Il Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia ha utilizzato, per questo tipo di studio, il modello di EAR intermedio in grado di sopportare una profondità massima di 500 m; lo strumento utilizzato per questo progetto è stato fornito dall'Istituto Scientifico Oceanwide delle Hawaii.

Da un punto di vista descrittivo si può affermare che l'EAR è un apparato di forma cilindrica, il cui peso è di circa 8 kg e raggiunge una lunghezza di 60 cm.

Il dispositivo è ricoperto da una carcassa di alluminio e da una struttura spugnosa di un colore che attrae la vista, quest'ultima copertura è importante poichè conferisce un assetto positivo allo strumento e permette una più facile individuazione e recupero di esso in mare (Fig. 14-15).

Uno dei due estremi è estraibile e presenta due guarnizioni delle quali bisogna avere una particolare cura poichè esse garantiscono l'impedimento dell'ingresso di acqua nello strumento durante la sua immersione. In questo estremo, costituito di metacrilato, sono presenti due importanti parti dello strumento: l'idrofono e l'interruttore di attivazione che si attiva e si disattiva meccanicamente.



Fig. 14 Immagini dell'apparato EAR immerso.
Fonte:<http://oceanwidescience.org/docs/EAR.htm>



Fig. 15 EAR e copertura che conferisce un assetto positivo allo strumento.
Fonte: Autore.

L'EAR è in grado di effettuare registrazioni audio di tipo binario.

La parte interna di questo dispositivo è costituita da una serie di componenti elettroniche (Fig. 16-17): un microprocessore, un digitalizzatore, una card del tipo Compact Flash (CF), un hard disk e un set di batterie.

In quanto ai tempi di registrazione vi sono alcune variabili che si influenzano e che occorre tenere in conto: il tempo di registrazione possibile è strettamente collegato alla memoria dell'hard disk e alla durata delle batterie, questi due parametri sono a loro volta correlati alle frequenze alle quali si desidera registrare i suoni: registrazioni a maggiori frequenze richiedono una quantità maggiore di energia impiegata e necessitano di più spazio nella memoria dell'hard disk.

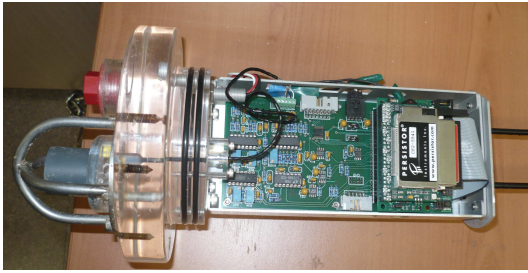


Fig.16 Componenti interne dell'EAR
Fonte: Autore.



Fig. 17 Memoria interna dell'EAR
Fonte: Autore.

Al fine di preparare l'EAR per una nuova registrazione occorre seguire alcuni passaggi:

- 1) il dispositivo acustico viene aperto e connesso al computer;
- 2) si avvia il programma "MotoCross" che permette di modificare i parametri desiderati dell'EAR;
- 3) si accende il dispositivo svitando il tappo rosso (interruttore di attivazione);
- 4) si formatta l'hard disk al fine di iniziare una nuova registrazione;
- 5) si selezionano i parametri di registrazione di interesse;
- 6) si effettua una registrazione "a secco" per assicurarsi che l'apparecchio funzioni correttamente;
- 7) si formatta nuovamente l'hard disk;
- 8) si disconnette il dispositivo inserendo nuovamente il tappo rosso.

Per quanto riguarda i parametri fissati in questo lavoro occorre ricordare che sono stati stabiliti cicli di 5 minuti di registrazione alternati a 10 minuti di stand-by dell'apparecchio, ovvero 5 minuti di registrazione ogni 15 minuti reali. Questi tempi sono molto importanti da considerare durante l'analisi delle registrazioni effettuate che risulteranno una di seguito all'altra.

In ogni ora, dunque, sono presenti 4 files di registrazioni, ognuno dei quali ha una durata di 5 minuti.

È importante tenere presente che tutte le volte in cui l'ultimo file di ogni ora e, quindi, l'ultimo file della giornata, contenevano qualche minuto appartenente alla giornata successiva, si è considerato tale file sempre appartenente all'ora e al giorno in cui era iniziata la relativa registrazione e non a quello successivo.

Un altro parametro importante da considerare è stata la frequenza alla quale sono stati impostati gli apparecchi di registrazione: come si è detto la frequenza che viene impostata ha un'importante ricaduta sulla durata delle batterie e sulla memoria interna e, quindi, sulla durata di mantenimento dell'apparecchio immerso. Al fine di ottenere un buon compromesso tra questi parametri sarebbe auspicabile fissare frequenze adeguate in relazione all'animale che si vorrebbe registrare.

Per quanto riguarda le registrazioni effettuate nel Mar di Bamba la frequenza di campionamento impostata è stata di 50 kHz che corrisponde ad una registrazione reale di 25 kHz, al fine di poter disporre di un'ampia frequenza di registrazione così da rilevare tutti i suoni emessi da organismi presenti nell'area durante il periodo di registrazione, eccetto la parte con una elevata frequenza dei pulsanti di ecolocalizzazione. Come detto, la frequenza alla quale si registra va ad influire sulla durata delle batterie e, dunque, sulla durata della permanenza dello strumento immerso; per questo motivo le registrazioni effettuate nel Mar di Bamba coprono un periodo relativamente breve, ovvero di 30 giorni.

Nel progetto del Parco Nazionale di Cabrera, invece, è stata stabilita una frequenza di campionamento di 5 kHz che corrisponde a una registrazione reale di 2500 Hz al fine di rilevare i suoni emessi dalla balenottera comune (*B. physalus*) che produce suoni a bassa frequenza e dai capodogli (*P. macrocephalus*), i cui pulsanti dovrebbero rientrare in questo range di frequenze.

In uno studio precedente l'attenzione è stata rivolta maggiormente al rilevamento della balenottera comune (*B. physalus*) che emette suoni a frequenze molto più basse, dunque, a partire da registrazioni effettuate nel Parco Nazionale di Cabrera ad una frequenza di campionamento di 5 kHz si è passati a 2 kHz tramite il programma Adobe Audition 3.0, così da ottenere una registrazione reale a 1 kHz e poter individuare soprattutto suoni a bassa frequenza.

In questo lavoro, invece, poiché l'attenzione è stata rivolta alla ricerca della presenza di pulsanti di capodoglio (*P. macrocephalus*) le registrazioni effettuate nel Parco Nazionale di Cabrera sono state analizzate alla effettiva frequenza di campionamento, cioè a 5 kHz,

mentre le registrazioni effettuate nel Mar di Bamba sono state analizzate sia alla effettiva frequenza di registrazione (50 kHz) che ad una frequenza minore (5 kHz) ottenuta grazie all'uso del programma Adobe Audition 3.0.

3.2.2 Messa a punto del liberatore acustico (ORE PORT)

L'EAR nel seguente studio è stato immerso a profondità elevate, dunque, si è evitato l'impiego di palombari per l'immersione e il recupero degli strumenti al fine di evitare eventuali rischi che comportano le immersioni a queste profondità; ci si è, perciò, affidati, all'uso di un sistema automatico di recupero dell'apparato.

Il sistema di liberazione acustica scelto è stato l'ORE PORT (Push Off Release Transponder); questo dispositivo (Fig. 18) possiede un idrofono in grado di emettere e ricevere suoni, così che si possa sempre essere in contatto con lo strumento, tanto durante l'immersione e durante il periodo di registrazione, quanto al fine del recupero dello strumento.

Questo sistema è legato da una parte a dei pesi che mantengono il sistema di registrazione sul fondo e dall'altra all'EAR. Quando l'EAR viene immerso il liberatore acustico inizia a segnalare la propria posizione, ma il ruolo più importante viene assunto quando occorre recuperare gli strumenti: dalla barca si invia un segnale di risalita a tale liberatore acustico, esso, quindi, si sgancia dai pesi a cui era legato e riemerge insieme all'EAR, mentre i pesi restano sul fondo.



Fig. 18 Immagini del sistema di liberazione acustica ORE PORT
Fonte: Sanchez S.P.

Questo tipo di liberatore acustico può ricevere tre tipi di segnali differenti cui corrispondono codici differenti:

- segnale di liberazione con il quale rilascia i pesi e risale in superficie con l'EAR, questo segnale viene inviato quando è necessario recuperare l'apparecchio;
- segnale di localizzazione con il quale si può individuare la posizione dello strumento e la distanza in metri tra il punto di emissione del segnale e il liberatore acustico;
- segnale che permette di capire lo stato degli strumenti.

Essendo questo un dispositivo elettronico può presentare il rischio dell'insorgere di difficoltà tecniche al momento della risalita.

3.2.3 Fabbricazione dei pesi

Essi sono necessari affinché la strumentazione sia mantenuta vicino al fondo e non riemerge durante il periodo di registrazione. Poiché gli studi in esame sono stati effettuati anche in un Parco Nazionale sono stati utilizzati, per la fabbricazione di questi pesi, materiali biodegradabili.

Sono stati costruiti 5 sacchi di canapa con una doppia fodera e rafforzati con un filo di canapa, sono stati riempiti con 18 kg di pietre ciascuno e uniti ad un unico cavo a sua volta legato al liberatore acustico.

Si è così ottenuto un totale di 90 kg di pesi, costituiti di materiale quasi del tutto biodegradabile e in grado di resistere ad almeno 3 mesi di immersione.

3.3 Campagna- Raccolta di dati.

Per questa fase del lavoro di studio sono state necessarie, nel complesso delle due aree, sei uscite in barca, tre al fine di immergere, nel punto e alla profondità desiderata, gli strumenti per le registrazioni e tre con l'obiettivo di recuperare, dopo un tempo determinato, gli strumenti così da portarli in laboratorio, scaricare i dati raccolti ed analizzarli.

3.3.1 "Immersione" degli strumenti

Una volta arrivati al punto desiderato per calare gli strumenti, dopo averne verificato il corretto funzionamento, sono state eseguite una serie di manovre il cui fine ultimo era

quello di immergere gli strumenti di registrazione; nell'ordine ciò che è stato fatto è riportato in questo elenco:

- collegamento delle diverse parti: come spiegato precedentemente, l'EAR risulta unito ad un liberatore acustico che, a sua volta, è collegato a dei pesi, dunque in questa fase i pesi sono stati legati al liberatore acustico e quest'ultimo all'EAR;
- attivazione dell'EAR tramite l'interruttore di attivazione (il tappo rosso dello strumento viene svitato);
- introduzione degli strumenti in acqua, a pochi metri di profondità;
- verifica del corretto funzionamento del liberatore acustico tramite invio e ricezione di segnali;
- liberazione degli strumenti che, così, possono raggiungere il fondo appuntandosi l'ora di immersione e le coordinate geografiche.

3.3.2 Recupero degli strumenti

Le uscite in barca al fine di recuperare gli strumenti hanno previsto lo stesso percorso effettuato durante l'immersione di essi, infatti si è cercato di raggiungere il punto in cui sono stati immersi gli strumenti: tramite l'uso di un GPS si è individuato il punto con coordinate geografiche corrispondenti a quelle in cui si sono liberati gli strumenti. Solitamente quando si giunge al punto desiderato viene mandato un segnale al liberatore acustico al fine di localizzarlo precisamente: poichè gli strumenti sono stati immersi in mare per un certo periodo potrebbero essersi spostati rispetto al punto preciso di immersione, a causa della presenza di correnti marine.

Tramite la comunicazione con il liberatore acustico, tuttavia, si può individuare con maggior precisione il punto in cui sono presenti gli strumenti. Al fine di avvicinarsi il più possibile al punto desiderato si comunica più volte con il liberatore acustico fino ad arrivare ad essere ad una distanza non superiore ai 120 m dagli strumenti.

Dopo aver raggiunto l'esatto punto è stato mandato un ulteriore segnale al liberatore acustico, con il fine, però, questa volta, di far riemergere gli strumenti: dopo la ricezione di questo segnale il liberatore acustico si è staccato dai pesi, che sono rimasti sul fondo, ed è riemerso insieme all'EAR al quale è collegato.

È seguito poi il recupero degli strumenti che avevano raggiunto la superficie e il loro trasporto al Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia dove i dati raccolti sono stati analizzati.

3.4 Processazione e analisi dei files audio e dei dati

3.4.1 Processazione e analisi dei files

Dopo aver recuperato gli strumenti dal mare e averli portati al Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia si è proceduto con lo scaricamento dei dati contenuti nell'hard disk dell'EAR collegandolo, semplicemente, ad un computer.

I files audio che vengono scaricati dall'EAR sono in formato binario, quindi, prima di procedere con l'analisi dei dati raccolti, occorre trasformarli in formato audio: da ".BIN" si passa, così, a ".AIFF".

Questa trasformazione è stata possibile grazie all'uso del programma "Adobe Audition 3.0" che è dotato di una specifica funzione con la quale si stabiliscono una serie di impostazioni (es. impostazione/disimpostazione di una guida predefinita, selezione del formato di interesse, selezione della cartella di destino dei file trasformati, ecc.) al fine di ottenere i files finali con il formato di interesse.

Questo programma permette, inoltre, di effettuare una serie di modifiche ai suoni al fine di ottenere il miglior rapporto tra qualità del suono, aspetto visivo dello spettrogramma e frequenza di campionamento ("sample rate").

Durante la registrazione l'EAR produce un file ".txt" in cui sono indicate tutte le caratteristiche di ogni registrazione, quali ora, data, durata; con queste informazioni è possibile procedere alla suddivisione di tutti i files audio ".AIFF" in differenti cartelle, ciascuna delle quali corrisponde ad una specifica data di registrazione e contiene, dunque, tutte le registrazioni che sono state effettuate in quella specifica data.

3.4.2 Lavoro previo: studio del tipo di suono emesso dai capodogli (*Physeter macrocephalus*)

Al fine di procedere con il rilevamento dei pulsii emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*), è importante analizzare il suono in sé prodotto da questi animali, i relativi spettrogrammi che si osservano e, soprattutto, le differenze che si incontrano analizzando i suoni a 50 kHz, frequenza alla quale noi ascoltiamo e a 5kHz, frequenza alla quale realmente dobbiamo cercare di individuare i suoni di questi animali, tanto come tipo di suono che si ascolta, quanto come risulta la visualizzazione dei pulsii alle due frequenze differenti. Inoltre è importante osservare l'eventuale percentuale di diminuzione del numero di pulsii riscontrati a 5kHz, rispetto a quello rilevati a 50 kHz.

A tal fine, tramite l'uso del programma "Adobe Audition 3.0", sono stati analizzati alcuni files che presentavano suoni emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*) e sono stati confrontati i relativi spettrogrammi a "sample rate" di 50 kHz e 5kHz, sempre lavorando con una finestra di 10 secondi.

Qui di seguito sono riportati i diversi casi riscontrati e le relative analisi spettrali.

1) In questo caso i pulsii son ben visibili ad una "sample rate" di 50 kHz (Fig.19), mentre non appaiono così definiti a 5 kHz (Fig.20); all'ascolto i suoni emessi dagli animali son ben udibili a 50 kHz, mentre a 5 kHz non si sentono molto.

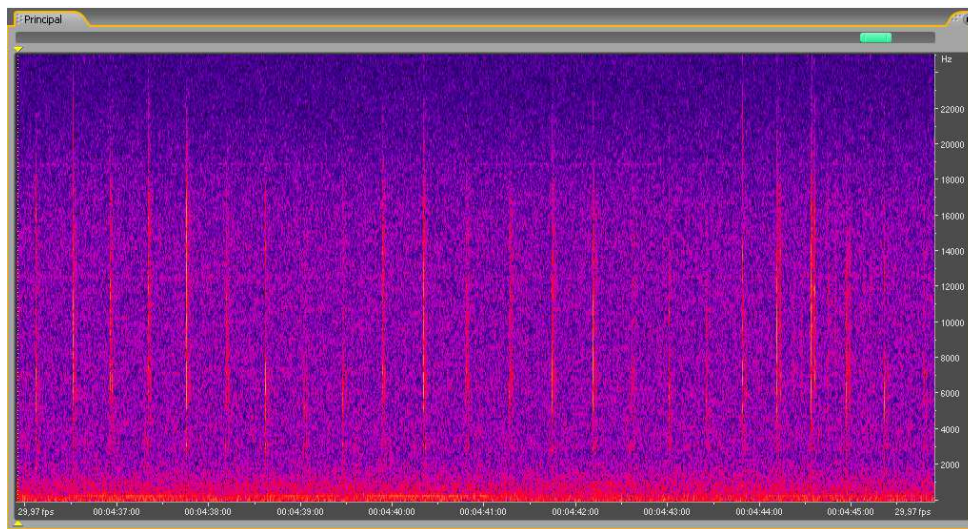


Fig. 19 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 50 kHz.
Fonte: Autore

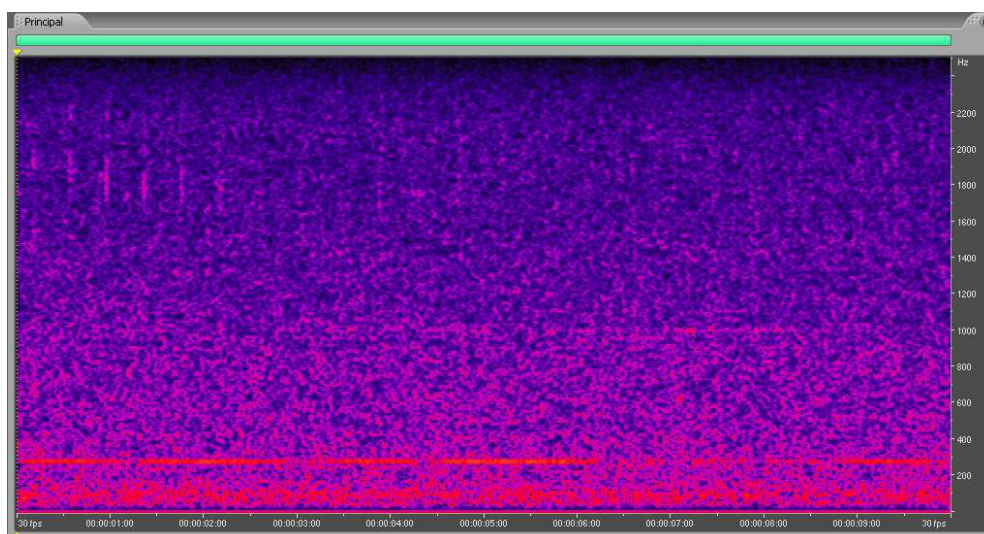


Fig. 20 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 5 kHz.
Fonte: Autore

2) Qui i pulsii appaiono poco visibili a 50 kHz (Fig. 21), mentre risultano visivamente più chiari a 5 kHz (Fig.22); tuttavia, in questo caso, ad entrambe le “sample rates” i pulsii emessi sono ben udibili.

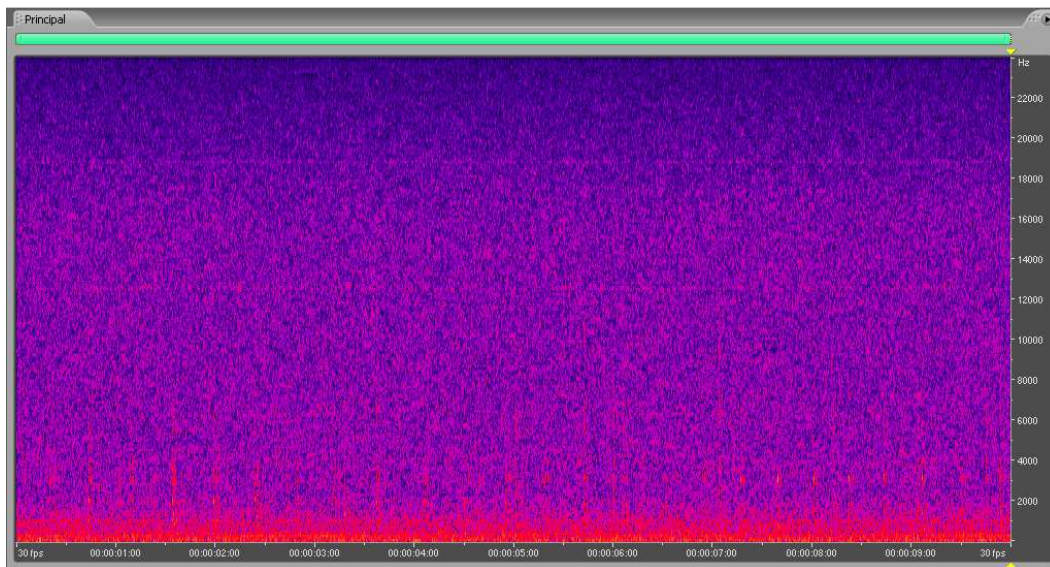


Fig. 21 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 50 kHz.
Fonte: Autore

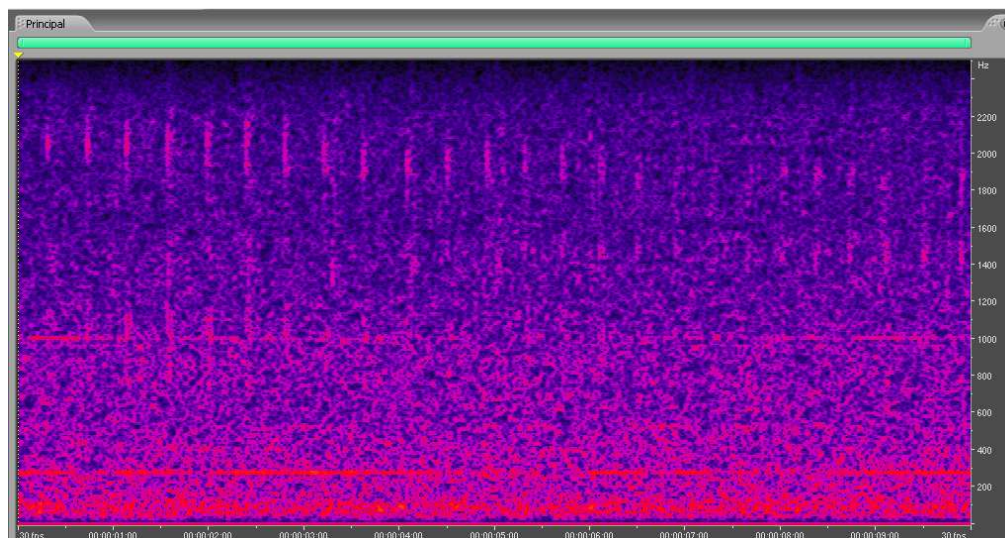


Fig. 22 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 5 kHz.
Fonte: Autore

3) In questo terzo caso, invece, i suoni emessi risultano evidenti sia a 50 kHz (Fig. 23) sia a 5 kHz (Fig. 24); ascoltando i relativi files audio, tuttavia, i pulsii emessi son ben udibili a 50 kHz, mentre a 5 kHz risultano meno chiari, benché si possano sentire.

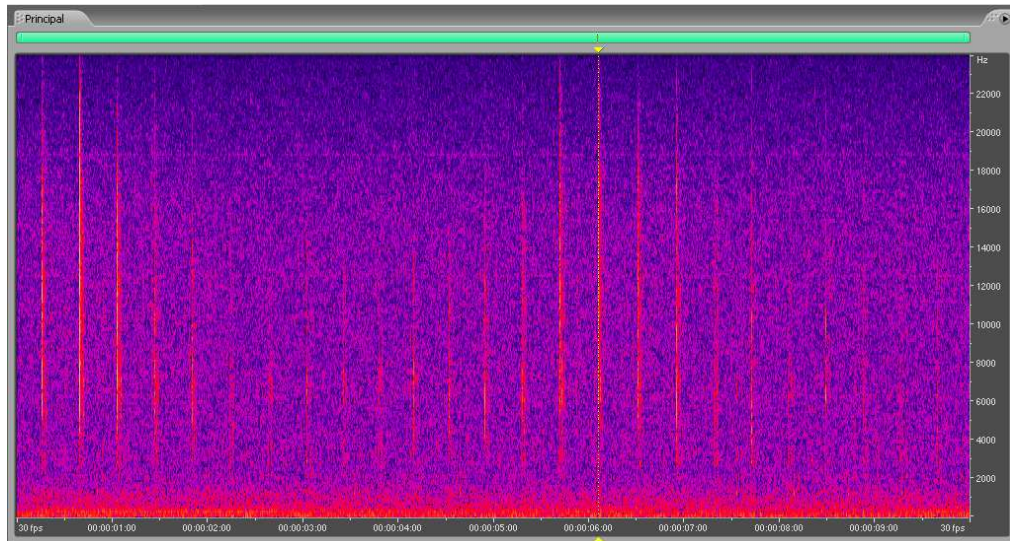


Fig. 23 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 50 kHz.
Fonte: Autore

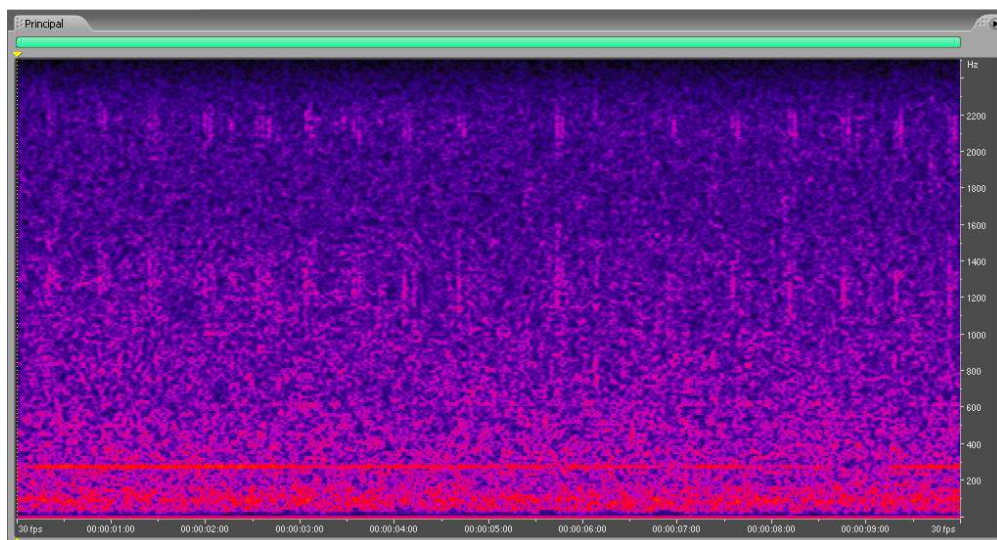


Fig. 24 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 5 kHz.
Fonte: Autore

4) Quest'ultimo è un caso particolare poichè a 50 kHz (Fig. 25) si può osservare ed ascoltare la presenza di due capodogli (*P. macrocephalus*), cosa che, invece, non si riscontra a 5 kHz (Fig. 26), a quest'ultima frequenza, infatti si può osservare e sentire solo la presenza di un pulso, rispetto ai due che si rilevano nella registrazione a 50 kHz.

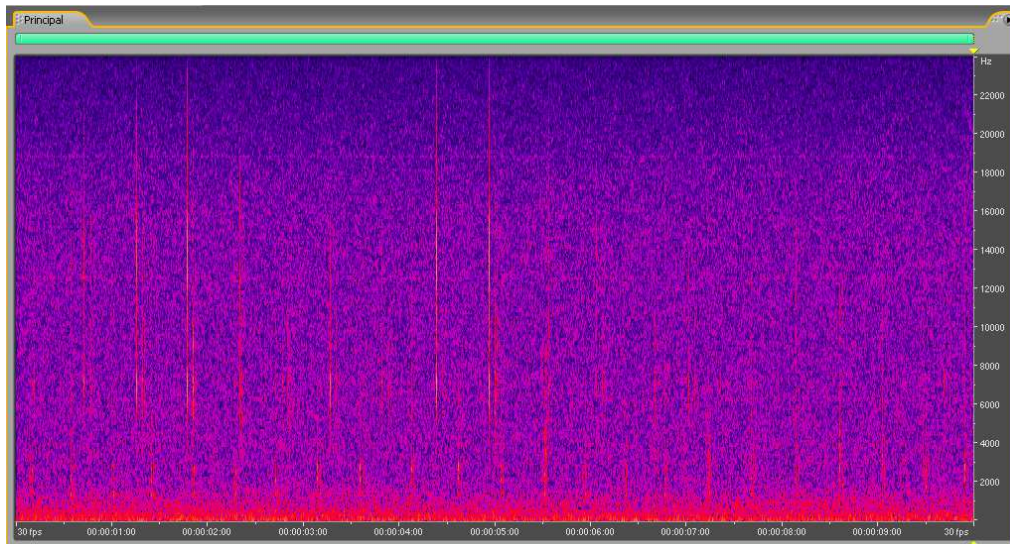


Fig. 25 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 50 kHz.
Fonte: Autore

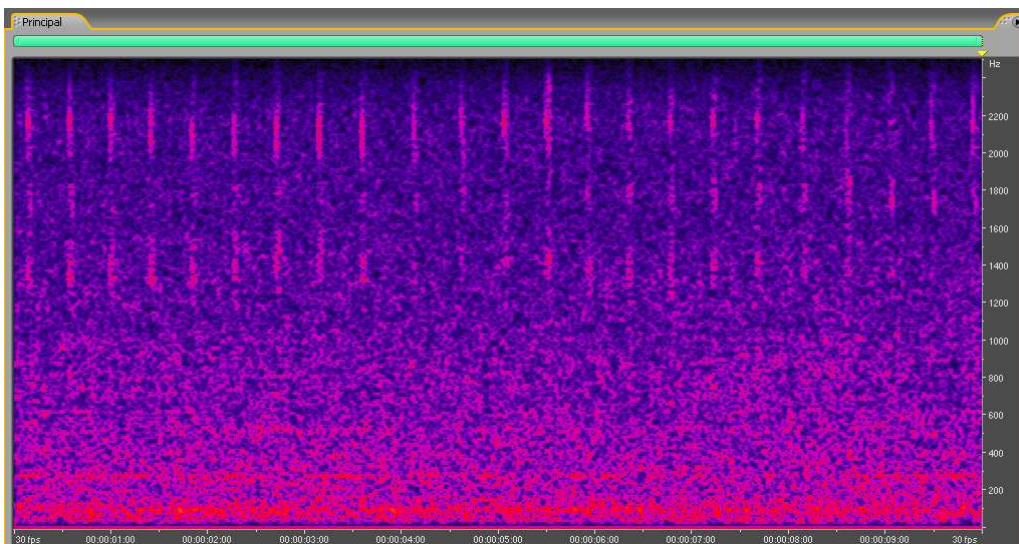


Fig. 26 Schermata di Adobe Audition durante la riproduzione di una registrazione di capodoglio (*P. macrocephalus*) con sample rate di 5 kHz.
Fonte: Autore

Durante questa fase previa del lavoro di rilevazione dei pulsii dei capodogli (*P. macrocephalus*) è stato importante, inoltre, studiare questo tipo di suoni da un punto di

vista energetico. In quanto a questo aspetto occorre tenere presente che i pulsii analizzati a 50 kHz mostrano un incremento di energia decisamente maggiore di quelli a 5 kHz, in particolare si può osservare (Fig.27-28-29-30) che tale incremento si ha a partire da una frequenza di 5 kHz. Dunque suoni analizzati a 5 kHz avranno un'energia decisamente minore.

Questo aspetto energetico è molto importante da tenere presente in quanto i dispositivi generalmente utilizzati per la rilevazione automatica dei pulsii basano la propria ricerca sulla base di quantità di energia che rilevano nello spettrogramma, dunque, risconteranno maggior difficoltà nel rilevare tali pulsii analizzando audio a 5 kHz rispetto all'analisi di audio a 50 kHz.

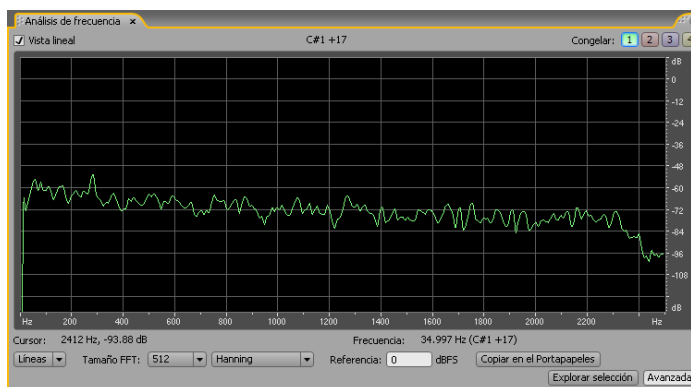
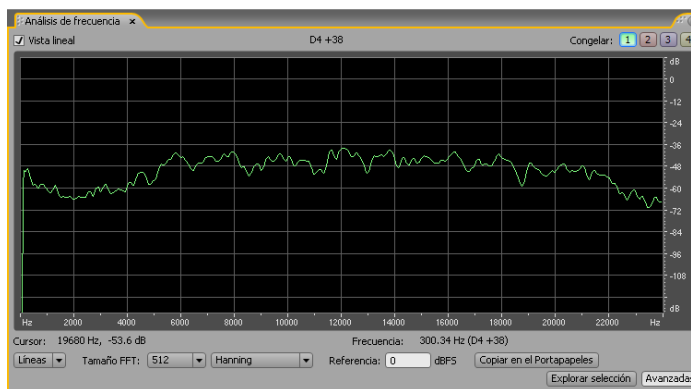


Fig. 27 Analisi spettrale del medesimo pulso ad una frequenza di 50 kHz (in alto) e di 5 kHz (in basso). Nella figura in alto si osserva che si ha un incremento di energia a partire da una frequenza di 5 kHz.
Fonte: Autore

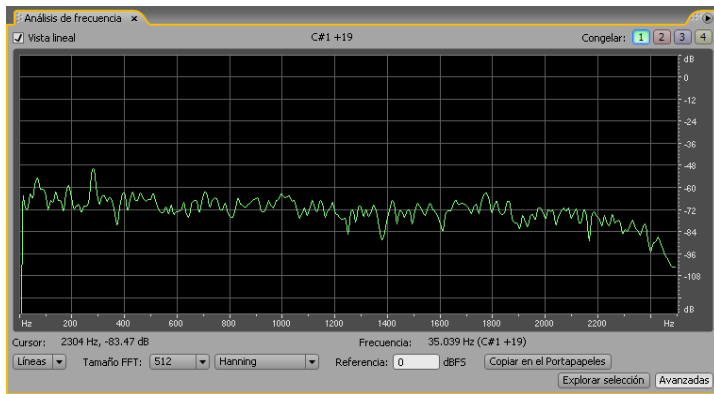
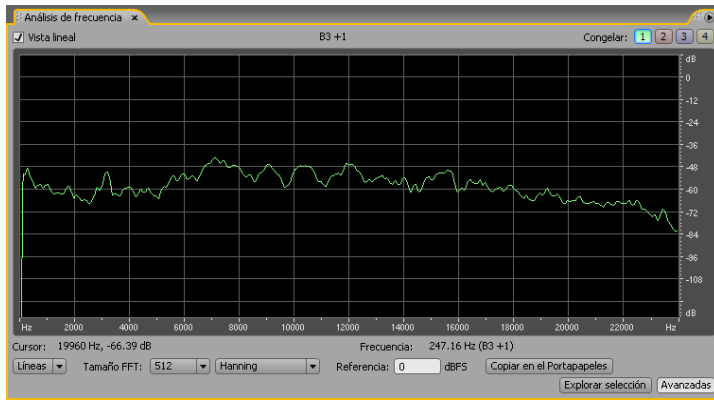


Fig. 28 Análisi espectral del medesimo pulso ad una frecuencia de 50 kHz (in alto) e di 5 kHz (in basso). Nella figura in alto si osserva che si ha un incremento di energia a partire da una frecuencia de 5 kHz.
 Fonte: Autore

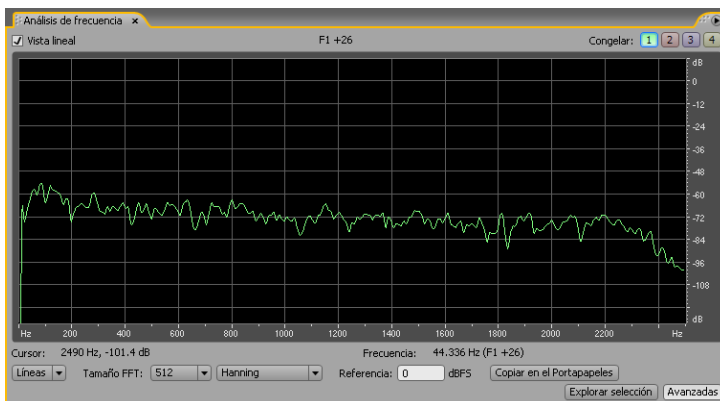
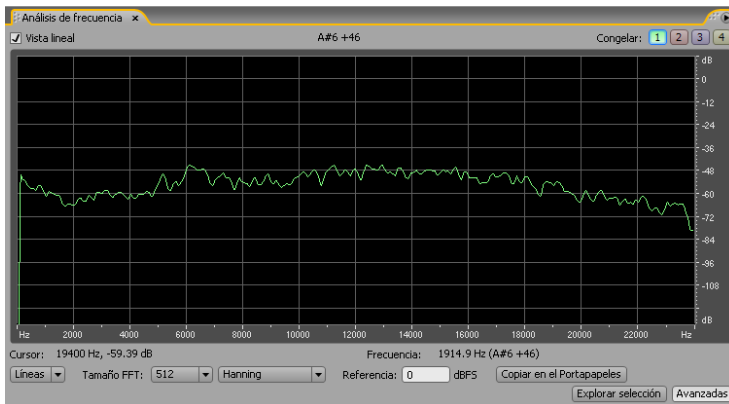


Fig. 29 Análisi espectral del medesimo pulso ad una frecuencia de 50 kHz (in alto) e di 5 kHz (in basso). Nella figura in alto si osserva che si ha un incremento di energia a partire da una frecuencia de 5 kHz.
 Fonte: Autore

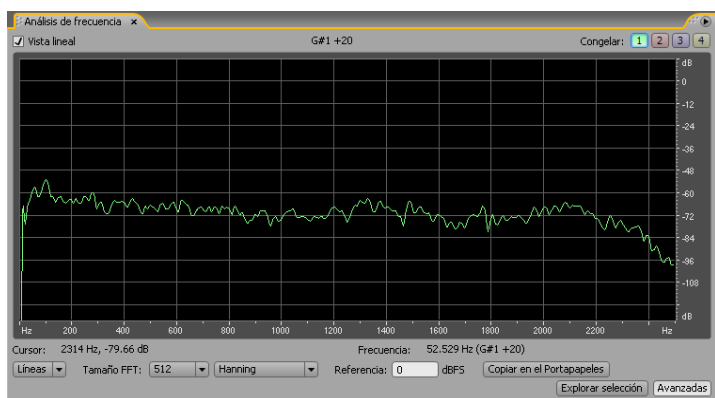
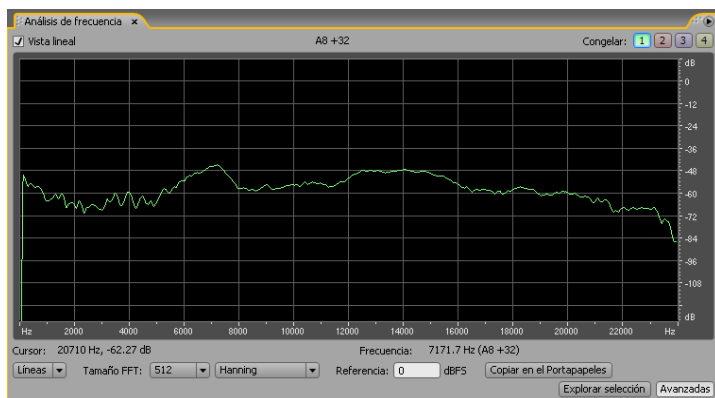


Fig. 30 Analisi spettrale del medesimo pulso ad una frequenza di 50 kHz (in alto) e di 5 kHz (in basso). Nella figura in alto si osserva che si ha un incremento di energia a partire da una frequenza di 5 kHz. Fonte: Autore

Occorre, inoltre, ricordare la necessità pratica di registrare a questa frequenza di 5 kHz, anziché a 50 kHz: programmare l'EAR a frequenze più basse, infatti, permette di tenere lo strumento immerso a registrare per più tempo in quanto, in questo modo, le batterie durano di più ed, inoltre, registrazioni a frequenze più basse occupano meno spazio nella memoria dello strumento.

Dunque occorre trovare un compromesso tra necessità pratiche e qualità delle registrazioni che si conseguono.

3.4.3 Ricerca del rilevatore automatico adeguato

Al fine di procedere con l'analisi delle registrazioni sono stati utilizzati alcuni programmi per identificare quello che dava i migliori risultati, cioè che permetteva di individuare automaticamente i clicks dei capodogli (*P. macrocephalus*).

C'è stato un iniziale approccio all'uso del software "Ishmael" (Integrated System for Holistic Multi-Channel Acoustic Exploration and Localization- Versione 30 gennaio 2013; U.S. National Marine Fisheries Service; U.S. Office of Naval Research): esso è

dotato di un sistema di rilevamento dei suoni desiderati; durante il nostro lavoro è stata utilizzata tale caratteristica di questo programma attraverso due metodi che, tuttavia, non hanno portato ai risultati sperati, ovvero ad un rilevamento significativo dei clicks degli animali in studio.

- 1) Il primo metodo è stato basato sulla ricerca dei clicks tramite il rilevamento del suono per mezzo di “somma di energia”: impostando il rango di frequenze (2000-20000 Hz) desiderato ci si aspettava che il programma fosse in grado di individuare tutti i clicks corrispondenti a quelle frequenze, tuttavia ciò che abbiamo rilevato è stato che, con questo tipo di impostazioni, non si sono ottenuti risultati tali da definire questo metodo efficace per la ricerca in corso (Fig.31).

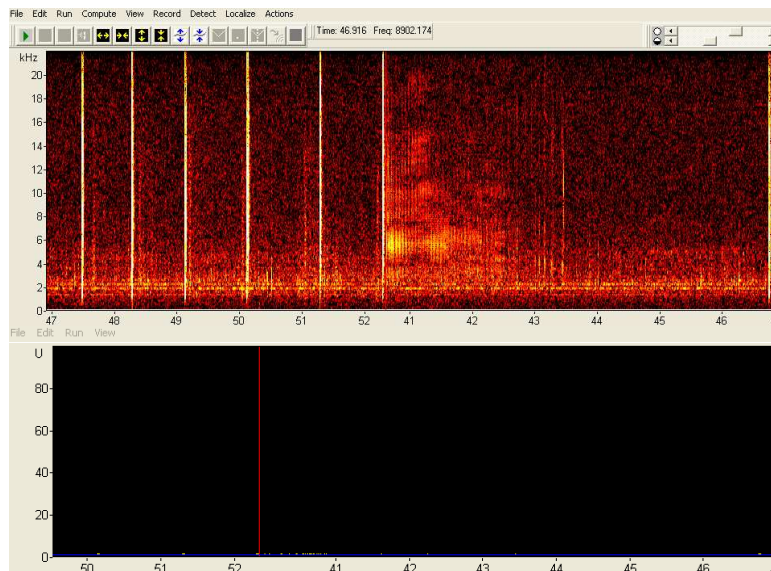


Fig. 31 Rilevamento automatico dei pulsivi di capodoglio (*P. macrocephalus*) tramite il metodo di somma di energia con il programma Ishmael.
Fonte: Autore.

- 2) Il secondo metodo è stato basato sulla “correlazione con lo spettrogramma”: impostando un rango di energia e di tempo del file corrispondente ai tipi di clicks che si vogliono rilevare, il programma dovrebbe essere in grado di cercare in tutto il file tutti i suoni di quel tipo, tuttavia, anche in questo caso, i risultati attesi non sono stati soddisfacenti (Fig. 32).

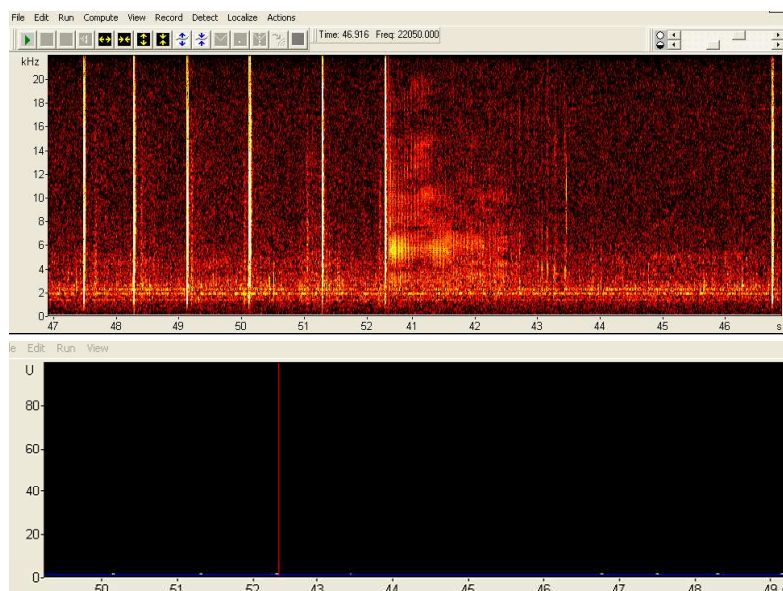


Fig. 32 Rilevamento automatico dei pulsi di capodoglio (*P. macrocephalus*) tramite il metodo di correlazione con lo spettrogramma con il programma Ishmael.
Fonte: Autore.

Al fine di individuare un adeguato rilevatore automatico per i pulsi di capodoglio (*P. macrocephalus*) registrati a 5 kHz c'è stato anche un approccio con il programma "X-BAT (Extensible Bioacoustic Tool)": questo programma lavora in base MATLAB (R2008b, versione 7.7.0.471) ed è stato ideato dall'Università di Cornell (Fig. 33).

Questo software permette di ottenere, a partire da un file audio, uno spettrogramma di tale file e di procedere con una rilevazione automatica dei suoni che stiamo cercando.

Gli eventi rilevati dal programma sono correlati alle indicazioni che vengono indicate come riferimento per la ricerca dei suoni di interesse, ad esempio si definisce una determinata frequenza dei pulsi che si desiderano cercare o si può impostare che il rilevatore cerchi tutti i pulsi che siano simili ad uno che si pone come riferimento.

In questo modo il programma procede con la rilevazione automatica cui deve seguire una rilevazione manuale con la quale si controlla ciò che è stato rilevato e si cancellano eventuali false rilevazioni.

X-BAT permette, inoltre, di selezionare un pulso e importare i dati relativi ad esso (Es. data, ora, ecc.) in un foglio di Excel.

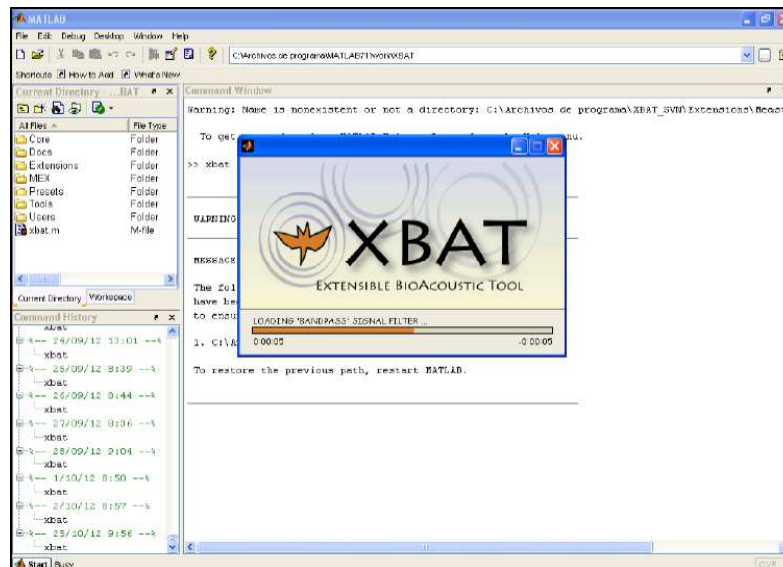


Fig. 33 Programma XBAT
Fonte: Sanchez S. P.

I rilevatori automatici analizzati non sono risultati efficienti al fine di rilevare i pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*) ad una frequenza di 5 kHz, poichè i rilevamenti eseguiti da questi programmi non mostravano la presenza di pulsii che, tuttavia, erano presenti nelle registrazioni ed erano visibili nei relativi spettrogrammi.

Una collaboratrice del Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia è riuscita a rilevare i pulsii dei capodogli (*P. macrocephalus*) ad una frequenza di 50 kHz con il programma Pamguard. Attualmente si sta lavorando al fine di rilevare i pulsii ad una frequenza di 5 kHz con tale programma.

Il Dipartimento di Ricerca de L'Oceanogràfic di Valencia, in collaborazione con l'Università Politecnica di Valencia, inoltre, sta lavorando per ottenere un rilevatore automatico in grado di individuare i pulsii di questi animali a 5 kHz.

Per questo lavoro, dunque, si è deciso di procedere con un rilevamento manuale dei pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*)

3.4.4 Analisi delle registrazioni e rilevamento manuale dei pulsii del capodoglio (*Physeter macrocephalus*)

Questa parte del lavoro è stata effettuata grazie all'uso congiunto dei programmi Adobe Audition 3.0 e X-BAT (Extensible Bioacoustic Tool).

Adobe Audition 3.0 è un programma molto versatile che permette di ascoltare, analizzare e modificare i suoni.

Qui di seguito sono riportate alcune delle funzioni principali e più utilizzate di questo programma durante questo lavoro di tesi:

-è possibile passare da una visualizzazione del suono in forma di onda (Fig. 34) ad una visualizzazione della frequenza spettrale (Fig. 35); nella visualizzazione come onda l'asse x riporta il tempo e l'asse y la ampiezza del suono, mentre nella visualizzazione della frequenza spettrale l'asse x si riferisce al tempo e l'asse y alla frequenza; in questo secondo caso il suono appare in una schermata di differenti colori in cui i colori più chiari indicano una maggiore intensità del suono.

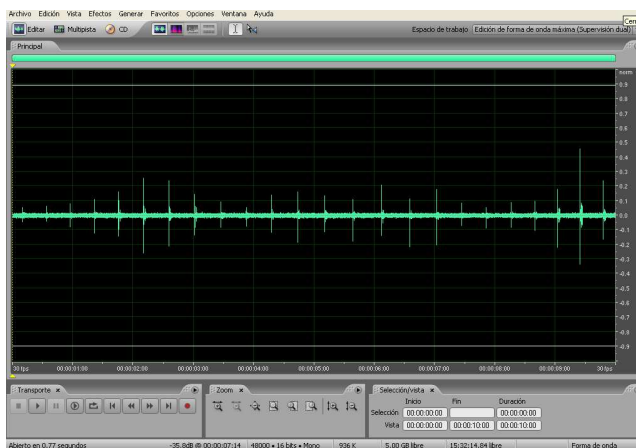


Fig. 34 Visualizzazione del suono in forma di onda.
Fonte: Autore.

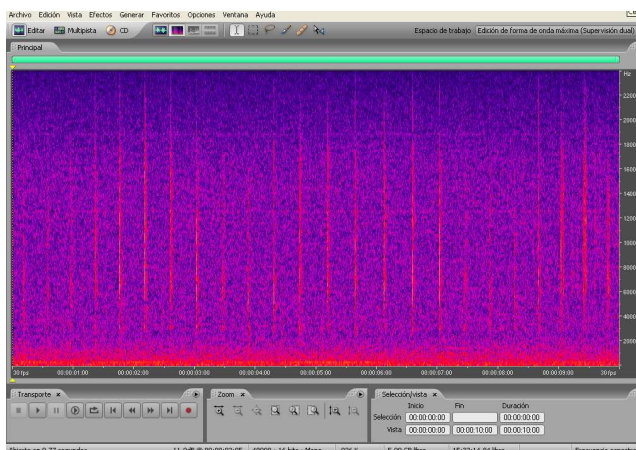


Fig. 35 Visualizzazione del suono in forma di frequenza spettrale.
Fonte: Autore.

È possibile selezionare una specifica parte del suono (Fig. 36), cancellarla oppure tagliarla e copiarla in un nuovo file (Fig. 37).

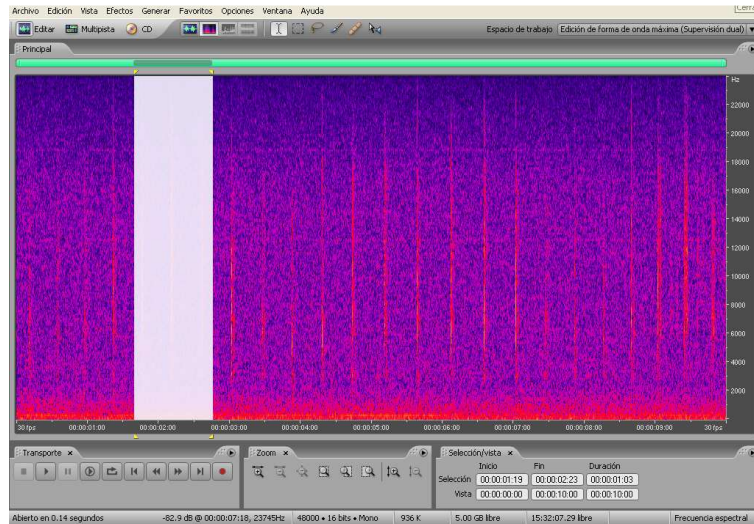


Fig. 36 Visualizzazione della selezione e ritaglio di una parte del suono.
Fonte: Autore.

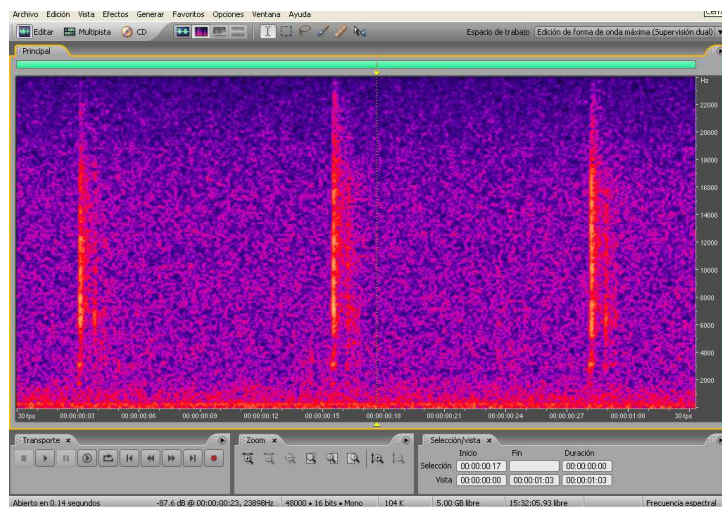


Fig. 37 Visualizzazione della parte di un suono incollata in un nuovo file.
Fonte: Autore.

-Si può silenziare una parte del suono che si sta analizzando (Fig. 38).

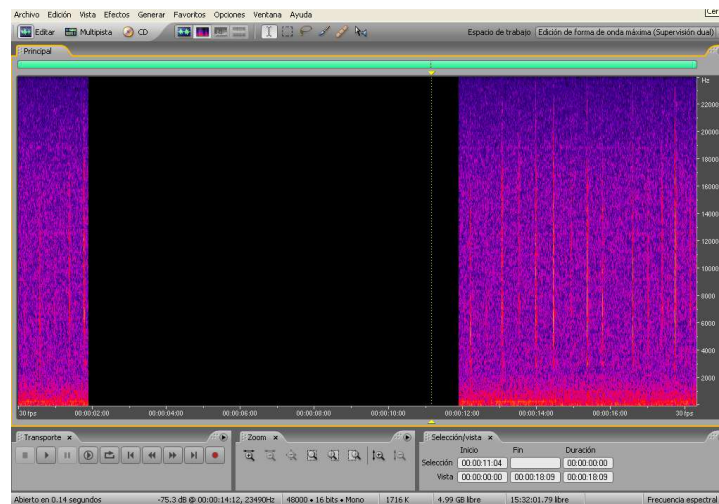


Fig. 38 Visualizzazione della parte silenziata di un suono.
Fonte: Autore.

-Si possono applicare differenti effetti al suono a secondo dell'aspetto che si vuole analizzare (Fig. 39)

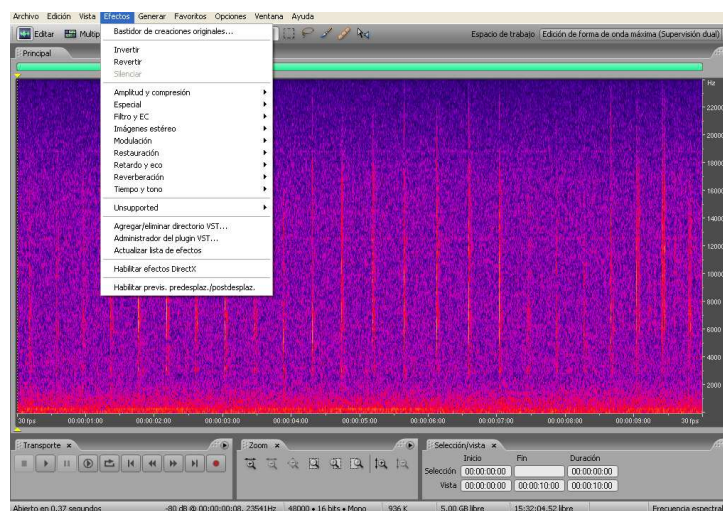


Fig. 39 Possibili effetti che si possono applicare ad un suono.
Fonte: Autore.

-È possibile modificare la frequenza di campionamento al fine di variare la velocità alla quale si ascolta il suono (Fig. 40). È importante ricordare che per riprodurre un suono ad una determinata frequenza la velocità di campionamento deve essere almeno il doppio della frequenza stessa.

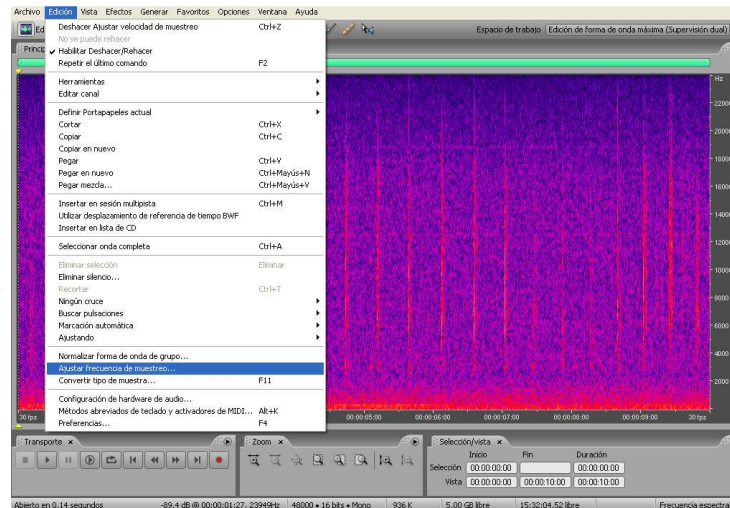


Fig. 40 Possibilità di cambiare la velocità di riproduzione di un suono.
Fonte: Autore.

-Si può modificare la frequenza alla quale si sta analizzando il suono: ad esempio si può passare da un suono ad una frequenza di 50 kHz allo stesso suono, però alla frequenza di 5 kHz (Fig. 41-42-43-44)

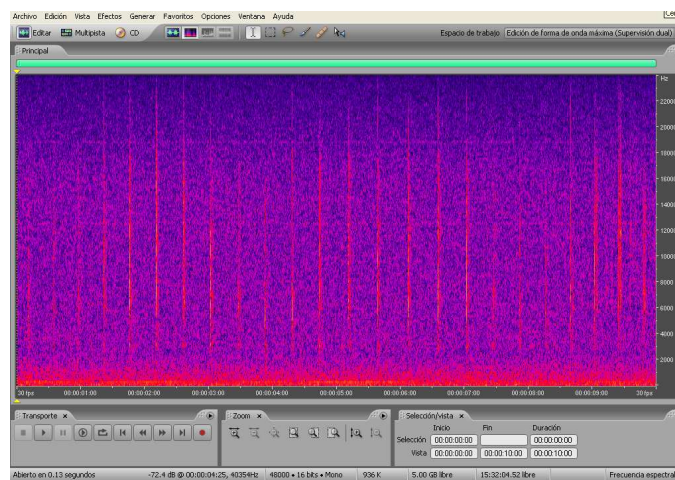


Fig. 41 Visualizzazione di un suono alla frequenza di 50 kHz.
Fonte: Autore.

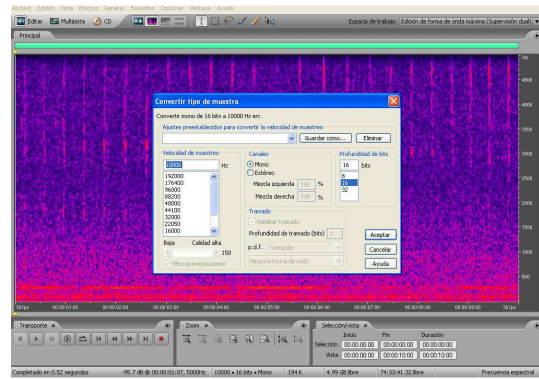
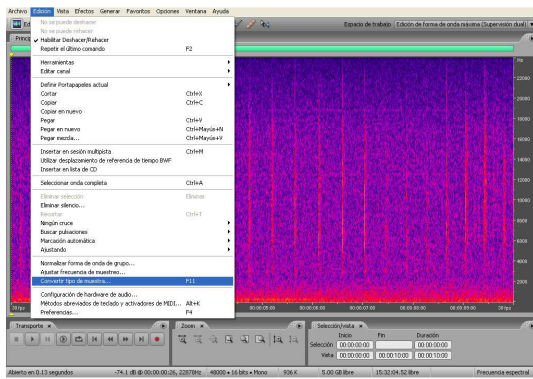


Fig. 42 e fig. 43 Passi per cambiare la frequenza di campionamento.
 Fonte: Autore.

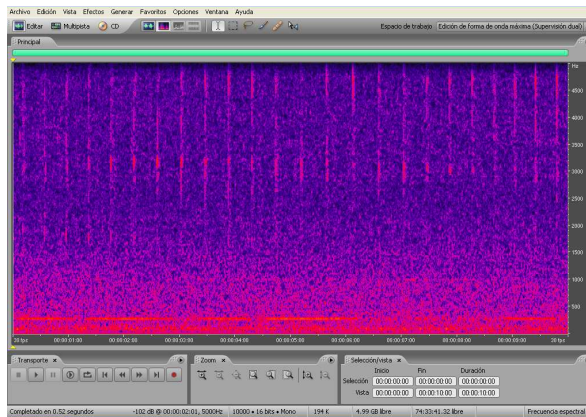


Fig. 44 Visualizzazione dello stesso suono della fig. 41, però qui ad una frequenza di 5 kHz.
 Fonte: Autore.

-E' possibile effettuare una analisi di frequenza di determinati pulsii di interesse, al fine di vedere come si distribuisce l'energia lungo il pulso (Fig. 45).

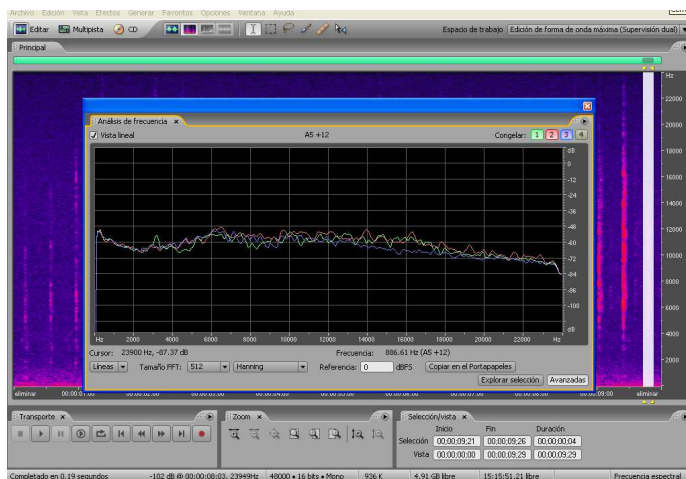


Fig. 45 Analisi della frequenza di un suono.
 Fonte: Autore.

Ci sono casi in cui le visualizzazioni dei pulsii dei capodogli (*P. macrocephalus*) sono migliori ad una frequenza di 5 o di 50 kHz; in generale i suoni si vedono meglio a 50 kHz poichè questa frequenza di campionamento è molto ampia e capta tutti i suoni che rientrano in questa ampiezza di frequenza, mentre con una frequenza di campionamento di 5 kHz generalmente si captano meno suoni poiché i suoni che presentano una frequenza maggiore di 5 kHz non appaiono nello spettrogramma. Nelle seguenti figure si possono vedere differenti casi nei quali si possono vedere casi in cui i pulsii si vedono meglio a 5 o a 50 kHz (Fig. 46-47-48-49).

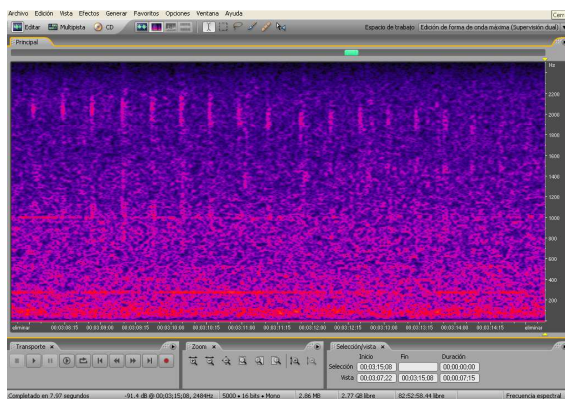


Fig. 46 Visualizzazione chiara di un suono ad una frequenza di 5 kHz.
Fonte: Autore.

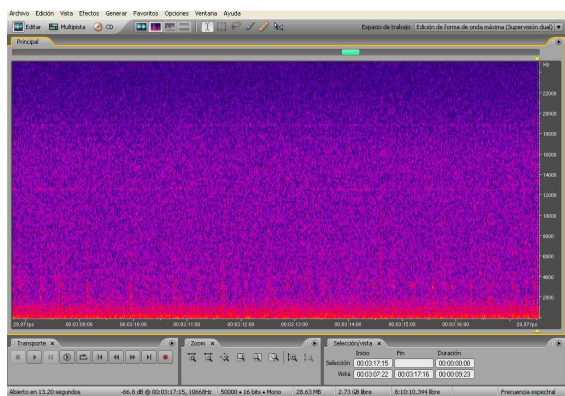


Fig. 47 Visualizzazione dello stesso suono della fig. 46 però ad una frequenza di 50 kHz; si osserva che i pulsii si vedono in modo meno chiaro.
Fonte: Autore.

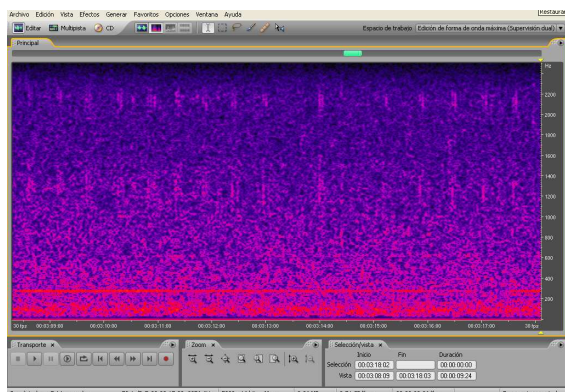


Fig. 48 Visualizzazione poco chiara di un suono ad una frequenza di 5 kHz.
Fonte: Autore.

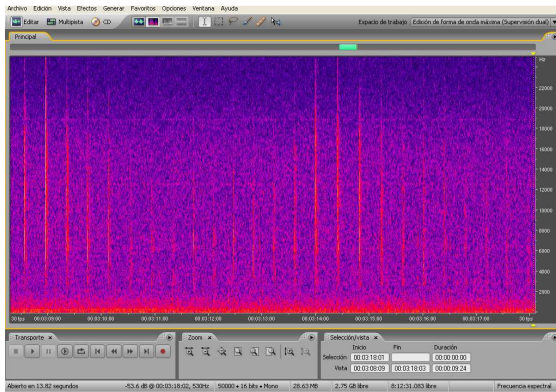


Fig. 49 Visualizzazione dello stesso suono della fig. 48, però ad una frequenza di 50 kHz; si osserva che i pulsii si vedono in modo più chiaro.
Fonte: Autore.

Ciò che è importante, lavorando con questo programma, è cercare di ottenere il miglior compromesso tra FFT (risoluzione) e frequenza di campionamento, in modo da individuare con maggior facilità le caratteristiche del suono che stiamo cercando.

La procedura di analisi effettuata, per ogni file audio, è stata la seguente: dopo aver dato l'avvio al programma MATLAB e al programma X-BAT si è proceduto con l'apertura di ciascuna cartella, ordinata per data, contenente i files da analizzare; per ogni cartella si è ottenuto uno spettrogramma, ogni spettrogramma è stato analizzato visivamente e manualmente e, nel caso in cui venissero rilevati dei pulsii o dei suoni particolari, si procedeva con l'avvio del programma Adobe Audition 3.0 al fine di ascoltare il suono e di effettuarne un'analisi più approfondita.

Ogni suono particolare rilevato, come pulsii o presenza di barche o altri suoni non noti è stato registrato in una tabella di Excel riportante la data, l'ora, il numero del file, il rango di registrazione all'interno di una stessa ora, la positività o negatività dell'ora in base alla presenza o meno di pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*), l'eventuale numero di pulsii rilevati ed altre osservazioni rispetto alla specifica registrazione.

Un esempio di questo tipo di tabella è riportato nella figura seguente (Fig. 50):

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
2			1-9-2012										
3	Archivo	Hora	Rango de Grabación	Número de pulsos	Tipo de Hora								
4	3025		00:11-01:16	-	-								
5	3026	00:00	00:28-00:31	-	-								
6	3027		00:41-00:46	-	-								
7	3028		00:56-01:01	-	-								
8	3029		01:11-01:16	-	-								
9	3030	01:00	01:28-01:31	-	-								
10	3031		01:41-01:46	-	-								
11	3032		01:56-02:01	-	-								
12	3033		02:11-02:16	-	-								
13	3034	02:00	02:28-02:31	-	-								
14	3035		02:41-02:46	-	-								
15	3036		02:56-03:01	-	-								
16	3037		03:11-03:16	-	-								
17	3038	03:00	03:28-03:31	-	-								
18	3039		03:41-03:46	-	-								
19	3040		03:56-04:01	-	-								
20	3041		04:11-04:16	-	-								
21	3042	04:00	04:28-04:31	-	-								
22	3043		04:41-04:46	-	-								
23	3044		04:56-05:01	-	-								
24	3045		05:11-05:16	-	-								
25	3046	05:00	05:28-05:31	-	-								
26	3047		05:41-05:46	-	-								
27	3048		05:56-06:01	-	-								
28	3049		06:11-06:16	-	-								
29	3050	06:00	06:28-06:31	-	-								
30	3051		06:41-06:46	-	-								
31	3052		05:56-07:01	-	-								

Fig. 50 Tabella usata per prendere nota dei commenti e delle rilevazioni durante l'analisi delle registrazioni.
Fonte: Autore.

Dopo aver terminato l'analisi di ciascun file con l'uso di questi due programmi e aver riportato tutte le osservazioni nella relativa tabella di Excel, si è proceduto con la compilazione di due tipi di tabelle riassuntive per ciascun mese, per ciascuna delle due aree di studio:

- in una tabella sono state riportate le ore positive, cioè quelle in cui erano stati rilevati pulsus di capodogli (*P. macrocephalus*) per ciascun giorno, per ciascun mese, per entrambe le aree di studio; sono state, inoltre, calcolate le somme parziali delle ore positive per ciascun giorno, delle ore positive nel corso della giornata durante tutto il periodo di analisi e la somma dei giorni positivi in ciascun mese;

- in un'altra tabella è stato riportato il numero di pulsus rilevati per ciascun giorno, per ciascun mese, per entrambe le aree di studio; anche in questo caso sono state calcolate le somme parziali del numero di pulsus per ciascun giorno, del numero di pulsus nel corso della giornata durante tutto il periodo di analisi e la somma del numero di pulsus in ogni mese.

Occorre ricordare che, per quanto riguarda il conteggio del numero di pulsus, nel caso delle registrazioni del Mar di Bamba, sono state compilate due differenti tabelle relative al conteggio dei pulsus ad una frequenza di campionamento di 50 kHz e allo stesso conteggio ad una frequenza di campionamento di 5 kHz; in quest'ultimo caso sono state calcolate anche le percentuali di variazioni del numero di pulsus contati alle diverse frequenze di campionamento.

3.4.5 Calcolo ICI (Inter Click Interval)

Per i pulsii rilevati in entrambe le aree di studio si è proceduto nel calcolare i relativi ICI (Inter Click Interval).

In entrambi i casi il calcolo è stato eseguito tramite l'uso del programma Adobe Audition 3.0, utilizzando i seguenti parametri per tutti i calcoli degli ICIs:

- come distanza tra due pulsii si è considerata l'area compresa tra la fine del pulso precedente e l'inizio del pulso successivo;
- la grandezza della schermata è stata di 00;00;02;10, poiché considerata sufficientemente grande per conseguire lo scopo desiderato;
- la risoluzione impostata è stata di 128 FFT;
- il sistema di unità di misura degli ICIs è stato "hms".

Sono stati calcolati aleatoriamente 350 ICIs per ciascuna area di studio, analizzando i pulsii ad una frequenza di 5 kHz; occorre ricordare, inoltre, che nei files del Parco Nazionale di Cabrera non sono state considerate le sequenze che presentavano solo due pulsii successivi, inoltre i pulsii delle registrazioni del Mar di Bamba sono stati presi dai files che presentavano la maggior quantità di pulsii.

Per i due gruppi di valori di ICIs derivanti dalle registrazioni del Parco Nazionale di Cabrera e del Mar di Bamba sono stati calcolati i valori massimi, minimi, valori della moda e della media.

Occorre ricordare che per treno di pulsii si intende una serie di pulsii che si susseguono con una certa regolarità; inoltre i valori di ICIs calcolati dalle registrazioni del Mar di Bamba derivavano da pochi treni di pulsii, mentre quelli calcolati a partire dalle registrazioni del parco Nazionale di Cabrera derivavano da molti più treni.

3.4.6 Analisi dei dati

Tutti i dati raccolti nelle due aree di studio, organizzati nelle tabelle, sono stati elaborati con Excel e sono stati utilizzati per costruire alcuni grafici.

E' importante ricordare che per ora positiva si è intesa un'ora in cui in almeno una delle quattro registrazioni facenti parte di quella ora mostrasse la presenza di pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*); inoltre per giorno positivo si è inteso un giorno in cui almeno un'ora è stata considerata positiva.

Le elaborazioni eseguite sono state le seguenti:

- modello giornaliero delle ore positive, per ottenerlo sono state calcolate, nel corso dei differenti giorni analizzati, quante volte l'ora 00:00, l'ora 01:00, l'ora 02:00, ecc. è stata positiva;
- modello giornaliero del numero di pulsii, per ottenerlo sono stati calcolati, nel corso dei differenti giorni analizzati, quanti pulsii erano presenti all'ora 00:00, all'ora 01:00, all'ora 02:00, ecc.; per i dati provenienti dalle registrazioni del Mar di Bamba il modello giornaliero del numero di pulsii è stato calcolato sia con i pulsii contati a 50 kHz, sia con i pulsii contati a 5 kHz ed i risultati ottenuti sono stati confrontati;
- modello stagionale dei giorni positivi, cioè la distribuzione delle percentuali dei giorni positivi nel corso dei diversi mesi analizzati;
- modello stagionale dei pulsii, cioè la distribuzione delle percentuali di pulsii riscontrati nei diversi mesi analizzati. Per le registrazioni del Mar di Bamba non si parla propriamente di modello stagionale poiché il periodo di campionamento è stato solo di un mese, in ogni caso, per i dati provenienti da tale area, i calcoli sono stati fatti sia per i pulsii contati a 50 kHz, sia per quelli contati a 5 kHz;
- distribuzione sovrapposta delle ore positive e del numero dei pulsii durante l'intero periodo di analisi dei dati e calcolo dei valori massimi, minimi, media e moda tanto per le ore positive quanto per il numero di pulsii; nel caso dei dati del Mar di Bamba le distribuzioni sovrapposte sono state eseguite sia per i pulsii riscontrati a 50 kHz, sia per quelli riscontrati a 5 kHz;
- confronto e calcolo delle percentuali di variazione dei pulsii riscontrati nelle registrazioni derivanti dal Mar di Bamba a 50 e a 5 kHz;
- confronto di 700 valori di ICI (Inter Click Interval), 350 per ciascuna delle due aree di studio e calcolo, per ciascuno dei due gruppi, dei valori di massimo, minimo, media, moda.

3.4.7 Analisi spettrale

Questo tipo di analisi si è resa necessaria al fine di confrontare, da un punto di vista della distribuzione energetica, i pulsii rilevati nelle due differenti aree di studio.

Grazie all'utilizzo del programma Adobe Audition 3.0 sono stati selezionati rispettivamente quattro pulsii rilevati nelle registrazioni derivanti dal Parco Nazionale di Cabrera e due pulsii rilevati nelle registrazioni del Mar di Bamba, per ciascuno di essi è stata eseguita un'analisi della frequenza al fine di ottenere sia da un punto di vista grafico che da un punto di vista numerico la distribuzione dell'energia in ciascuno di essi.

In seguito i dati sono stati trasferiti in un documento Excel e da essi sono stati ricavati, prima, i grafici relativi alla distribuzione di energia di ciascun pulso rispetto alla frequenza e, in seguito, un grafico finale che riporta tutte le distribuzioni di energia sovrapposte.

Il fine ultimo di questa analisi è stato di verificare che nei pulsii del Parco Nazionale di Cabrera, supposti essere di capodoglio (*P. macrocephalus*), l'andamento della distribuzione dell'energia fosse confrontabile a quella riscontrata nei pulsii del Mar di Bamba, prodotti con certezza da capodogli (*P. macrocephalus*).

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati qui riportati si riferiscono all'analisi delle registrazioni effettuate nel Mar di Bamba ad una frequenza di 50 kHz e nel Parco Nazionale di Cabrera a 5 kHz; inoltre le registrazioni provenienti dal Mar di Bamba sono anche state analizzate in seguito alla loro conversione ad una frequenza di 5 kHz al fine di poter effettuare un confronto tra le due aree e tra le differenti frequenze di campionamento.

4.1 Mar di Bamba

In seguito all'analisi delle registrazioni di quest'area è stato riscontrato 1 giorno positivo, durante il quale le ore positive rilevate sono state 4, con un totale di 2191 pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*) contati ad una frequenza di campionamento di 50 kHz e di 1558 pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*) contati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz.

Tali dati sono così suddivisi (Tab. 5):

MESE	GIORNI POSITIVI	ORE POSITIVE	PULSI 50 kHz	PULSI 5 kHz
Giugno 2009	1	4	2191	1558
Luglio 2009	0	0	0	0

Tab. 5 Suddivisione dei giorni positive, delle ore positive e del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 5 e di 50 kHz durante tutto il periodo di campionamento nell'area del Mar di Bamba.

I grafici ottenuti dall'elaborazione di questi dati sono riportati di seguito.

1. Modello giornaliero delle ore positive (Fig. 51): rappresenta la distribuzione giornaliera del numero di ore positive rilevate durante l'intero periodo di registrazione, ovvero quante volte ciascuna ora del giorno, durante l'intero periodo di campionamento, è risultata positiva.

In questo grafico si può osservare che, nell'unico giorno positivo del periodo di campionamento, le ore positive sono risultate 4, l'ora 06:00, 07:00, 08:00, 09:00, 11:00.

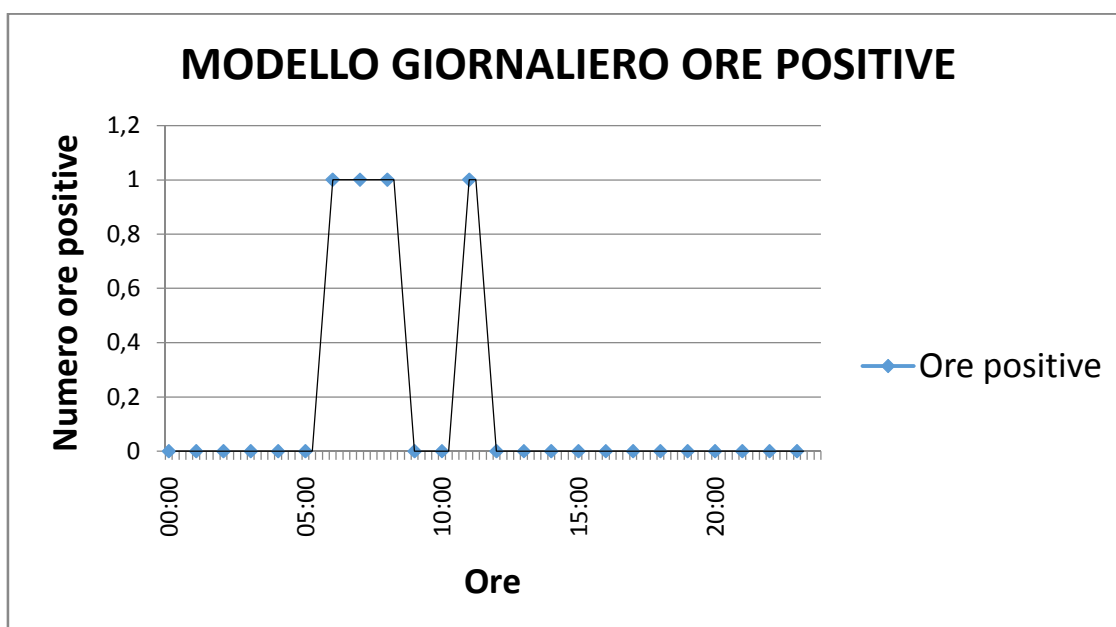


Fig. 51 Grafico rappresentante il modello giornaliero delle ore positive (indica quante volte ciascuna ora del giorno è risultata positiva durante l'intero periodo di campionamento): durante l'intero periodo di campionamento le ore positive sono state 4 (le ore 06:00, 07:00, 08:00, 11:00).

2. Modello giornaliero del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 50 kHz (Fig. 52): rappresenta la distribuzione giornaliera dei pulsii rilevati, cioe il numero di pulsii riscontrati ad ogni ora durante l'arco della giornata considerando l'intero periodo di registrazione, ad una frequenza di 50 kHz.

Qui si puo osservare che nelle ore 06:00 e 07:00 il numero di pulsii riscontrati e molto alto e decisamente superiore ai numeri di pulsii riscontrati nelle ore 08:00, 09:00, 11:00.

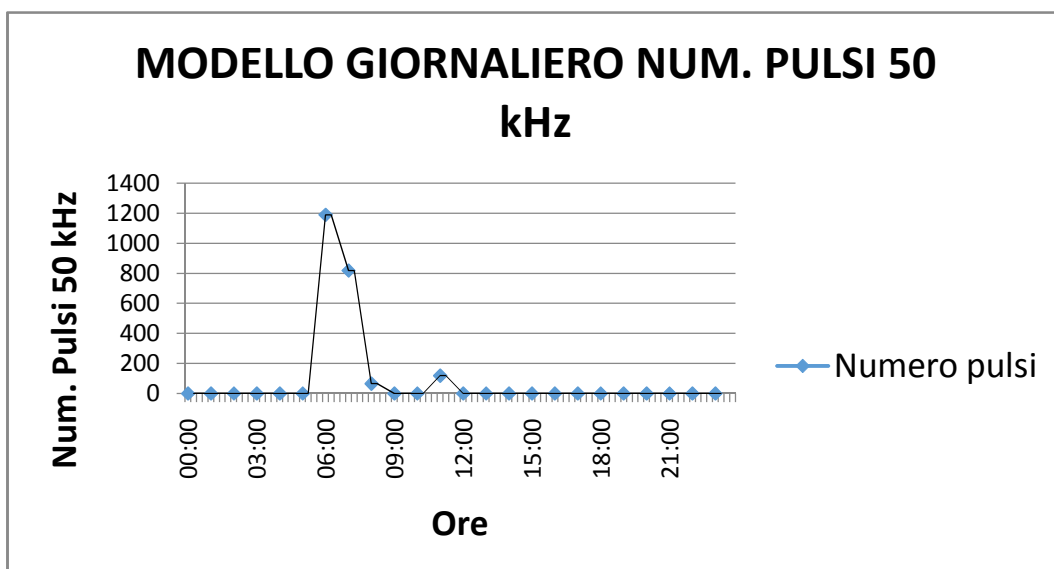


Fig. 52 Grafico rappresentante il modello giornaliero del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 50 kHz (indica quanti pulsii sono stati rilevati ad ogni ora del giorno nell'arco dell'intero periodo di registrazione). Nelle ore 06:00 e 07:00 si riscontra un maggior numero di pulsii rilevati, rispetto alle altre ore positive.

3. Modello giornaliero dei pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz (Fig. 53): rappresenta la distribuzione giornaliera dei pulsii rilevati, cioè il numero di pulsii riscontrati ad ogni ora durante l'arco della giornata considerando l'intero periodo di registrazione, ad una frequenza di 5 kHz.

Anche in questo caso, come nel precedente, le ore 06:00 e 07:00 sono quelle in cui il numero di pulsii è molto alto e decisamente maggiore rispetto alle altre ore positive.

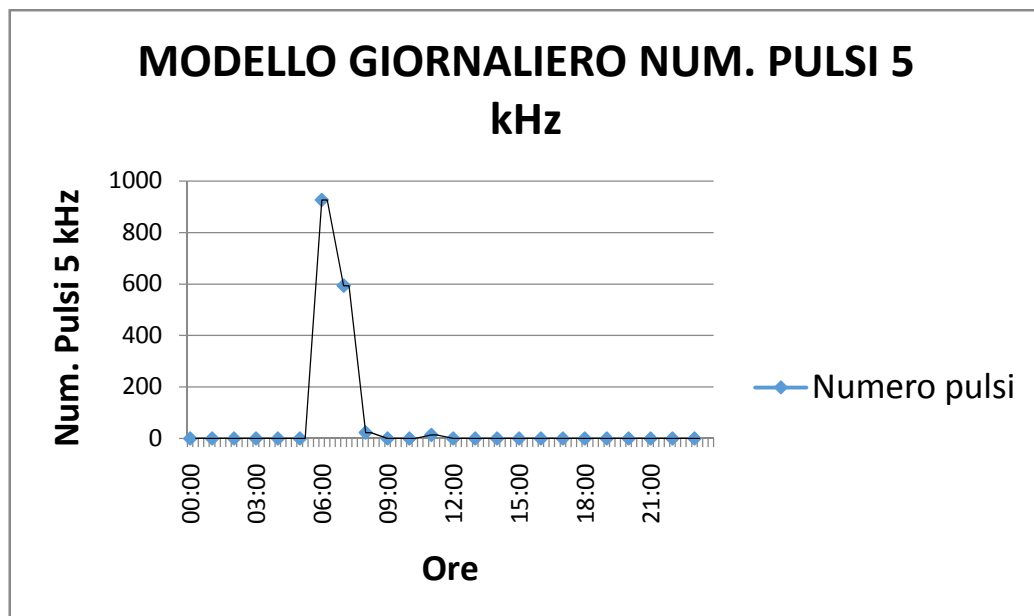


Fig. 53 Grafico rappresentante il modello giornaliero del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz (indica quanti pulsii sono stati rilevati ad ogni ora del giorno nell'arco dell'intero periodo di registrazione). Anche qui nelle ore 06:00 e 07:00 si riscontra un maggior numero di pulsii rilevati, rispetto alle altre ore positive.

4. Confronto dei modelli giornalieri del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 50 kHz e di 5 kHz (Fig. 54). In questo grafico si osserva che in entrambi i casi, ovvero sia ad una frequenza di 50 kHz che alla frequenza di 5 kHz, i pulsii riscontrati, benché risultino in quantità differenti alle due frequenze analizzate, sono abbondanti nelle ore 06:00 e 07:00 e superiori in numero rispetto a quelli rilevati nelle altre ore positive.

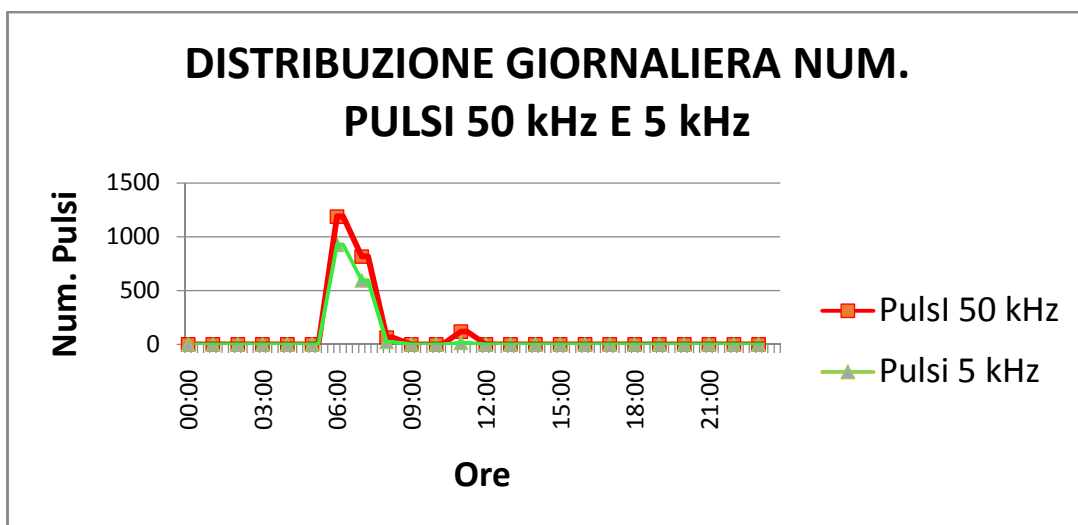


Fig. 54 Grafico rappresentante la sovrapposizione del modello giornaliero del numero di pulsii rilevati alle frequenze di campionamento di 50 e di 5 kHz. Si può osservare che il numero di pulsii rilevati è differente, tuttavia, ad entrambe le frequenze analizzate, il numero di pulsii risulta più abbondante nelle ore 06:00 e 07:00.

5. Modello giornaliero delle ore positive e dei pulsivi rilevati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz e di 50 kHz (Fig. 55): rappresenta la sovrapposizione della distribuzione giornaliera delle ore positive e dei pulsivi rilevati alle due frequenze analizzate, considerando l'intero periodo di campionamento.

In questo grafico si può osservare che, nel corso della giornata, l'andamento delle ore positive e quello relativo al numero di pulsivi, ad una frequenza di 5 e di 50 kHz, non sono coerenti, infatti il numero di pulsivi rilevati varia molto a parità di numero di ore positive.

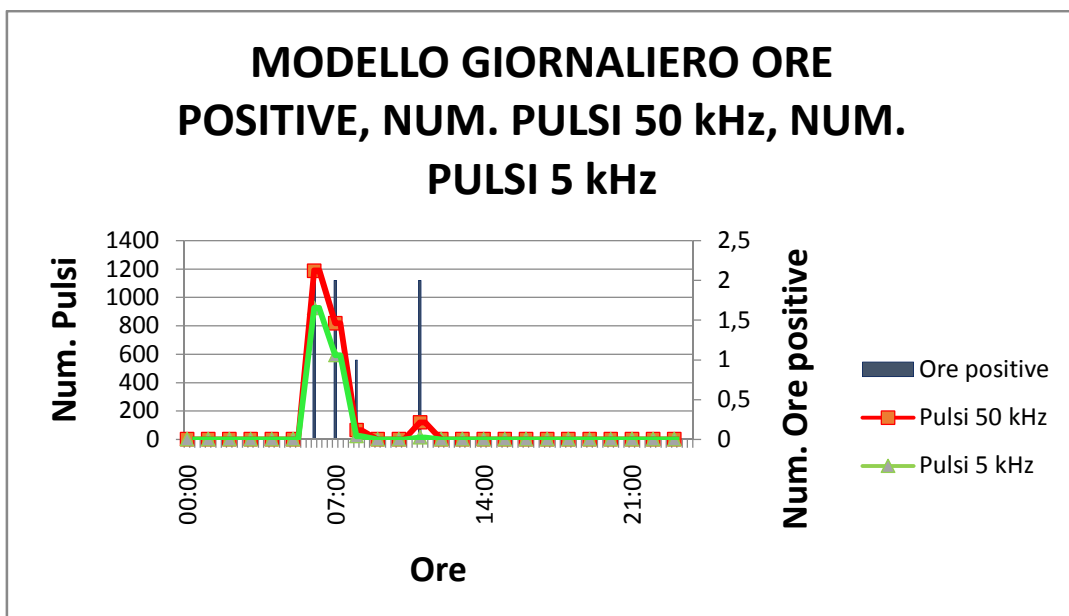


Fig. 55 Grafico rappresentante la sovrapposizione dei modelli giornalieri delle ore positive e del numero di pulsivi rilevati ad una frequenza di 5 e di 50 kHz. Si può osservare che, nel corso della giornata, l'andamento delle ore positive e quello relativo al numero di pulsivi, ad una frequenza di 5 e di 50 kHz, non sono coerenti, infatti il numero di pulsivi rilevati varia molto a parità di numero di ore positive.

6. Modello dei giorni positivi rilevati durante l'intero periodo di campionamento (Fig. 56): distribuzione, nel corso dei mesi, delle percentuali dei giorni positivi riscontrati.

Si può osservare che nel mese di giugno i giorni positivi rilevati rappresentano una percentuale del 7,14%, mentre nel mese di luglio una percentuale dello 0%, dunque, nel seguente grafico, si può osservare una netta diminuzione dei giorni positivi passando da un mese a quello successivo.

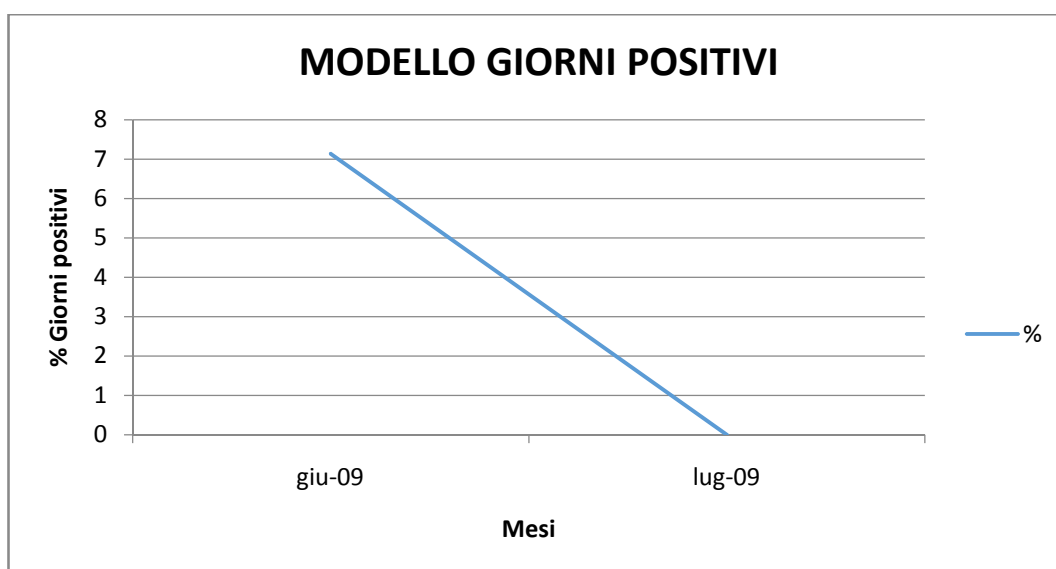


Fig. 56 Grafico rappresentante il modello delle percentuali dei giorni positivi rilevati durante l'intero periodo di campionamento. Nel corso del periodo analizzato si osserva una diminuzione dei giorni positivi passando da una percentuale del 7.14 % nel mese di giugno ad una percentuale dello 0 % nel mese di luglio.

7. Modelli dei pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 50 kHz e di 5 kHz durante l'intero periodo di campionamento (Fig. 57-58): distribuzione, nel corso dei mesi, delle percentuali dei pulsii riscontrati alle due differenti frequenze di campionamento.

Nei rispettivi grafici si può osservare il medesimo andamento riscontrato per la percentuale dei giorni positivi, poiché le percentuali dei pulsii riscontrati a 50 e a 5 kHz, benché siano differenti come valori, indicano una presenza di pulsii nel solo mese di giugno e, dunque, il relativo andamento è una diminuzione nel corso del periodo di campionamento.

Qui, in verità, non si parla propriamente di un vero modello stagionale poiché il periodo di campionamento è stato solo di un mese.

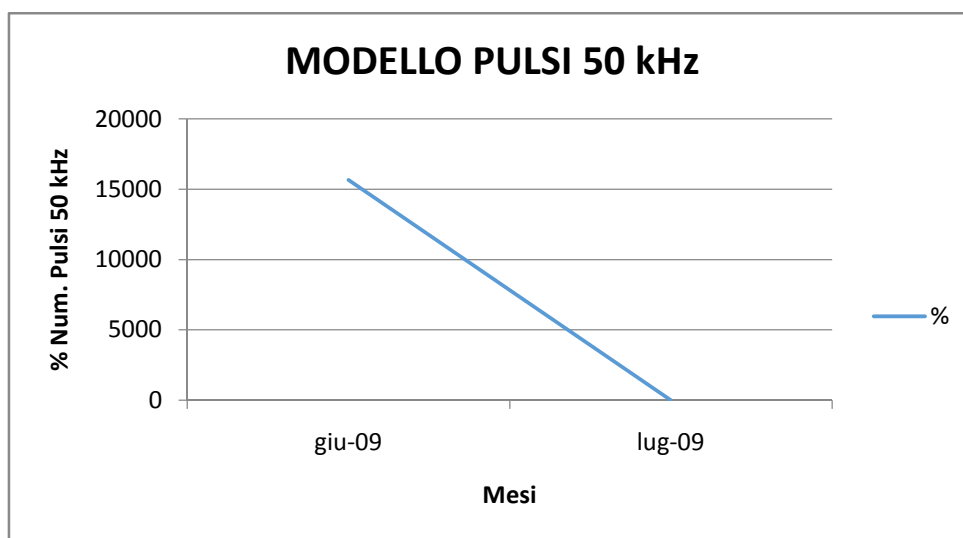


Fig. 57 Grafico rappresentante il modello delle percentuali dei pulsii rilevati a 50 kHz durante l'intero periodo di campionamento. Analogamente alla situazione precedente si osserva una diminuzione del numero di pulsii rilevati passando dal mese di giugno al mese di luglio.

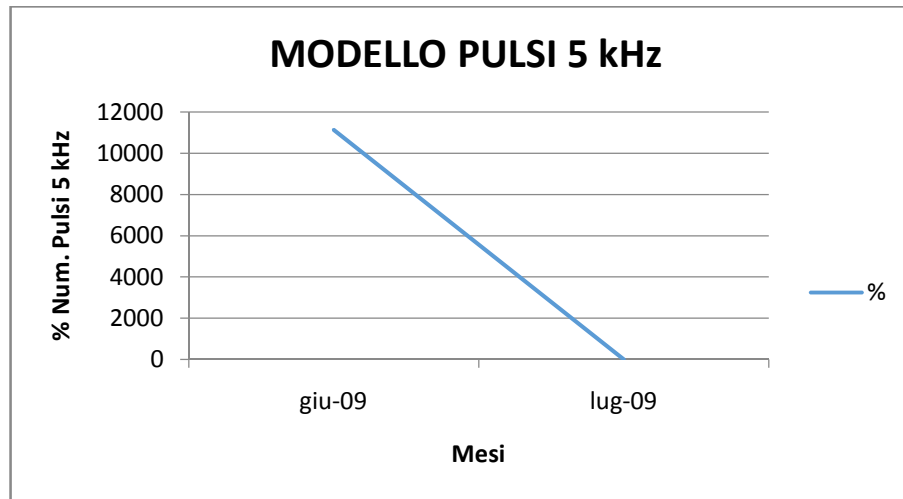


Fig. 58 Grafico rappresentante il modello del numero di pulsivi rilevati a 5 kHz durante l'intero periodo di campionamento. Analogamente alle situazioni precedenti si osserva una diminuzione del numero di pulsivi rilevati passando dal mese di giugno al mese di luglio.

8. Distribuzione delle ore positive e dei pulsivi riscontrati ad una frequenza di 50 kHz durante tutto il periodo di campionamento (Fig. 59).

In questo grafico si può osservare che il giorno 26 giugno 2009 è l'unico riscontrato come positivo durante l'intero periodo di campionamento; inoltre in corrispondenza di tale giorno si riscontra, dunque, un picco sia per quanto riguarda il numero di ore positive sia per il numero di pulsivi rilevati alla frequenza di 50 kHz.

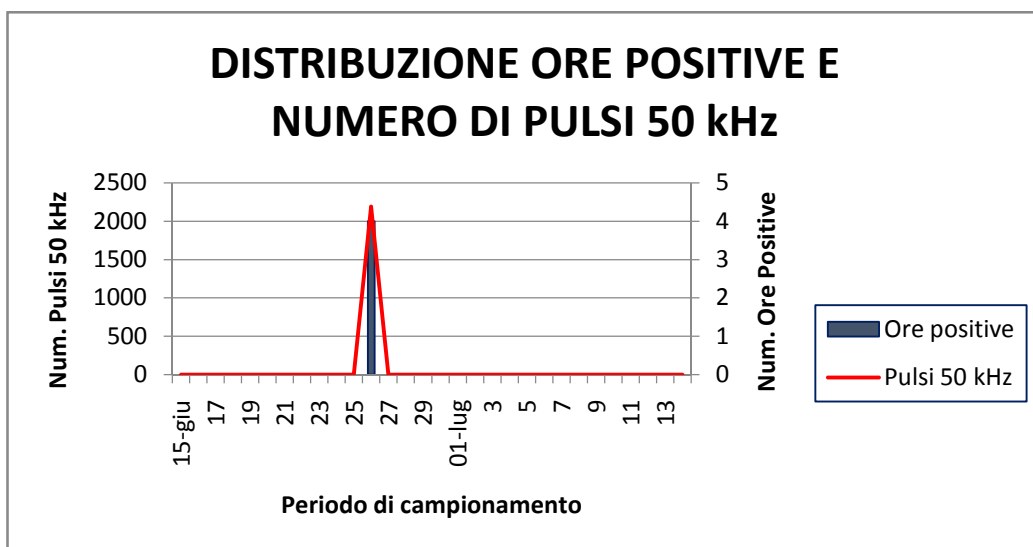


Fig. 59 Grafico rappresentante la distribuzione delle ore positive e del numero di pulsivi rilevati a 50 kHz durante tutto il periodo di campionamento. A livello del 26 giugno 2009, unico giorno positivo rilevato, si osserva un picco sia per le ore positive che per il numero di pulsivi.

Inoltre nella tabella 6 Qui riportata sono indicati i valori di massimo, minimo, media e moda che sono stati calcolati sia per le ore positive che per il numero di pulsii rilevati a 50 kHz per tutto il periodo di campionamento.

VALORI	ORE POSITIVE	NUM. PULSI 50 kHz
MAX	4	2191
MIN	0	0
MEDIA	0.13	73.03
MODA	0	0

Tab. 6 Rappresentazione dei valori di massimo, minimo, media e moda calcolati per il numero di ore positive e per il numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 50 kHz durante tutto il periodo di campionamento.

9. Distribuzione delle ore positive e dei pulsii rilevati a 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento (Fig. 60). Anche in questo grafico, come nel precedente, si può osservare un picco sia per quanto riguarda il numero di ore positive, sia per quanto riguarda il numero di pulsii rilevati a 5 kHz, nel giorno del 26 giugno 2009, unico giorno positivo di tutto il periodo di campionamento.

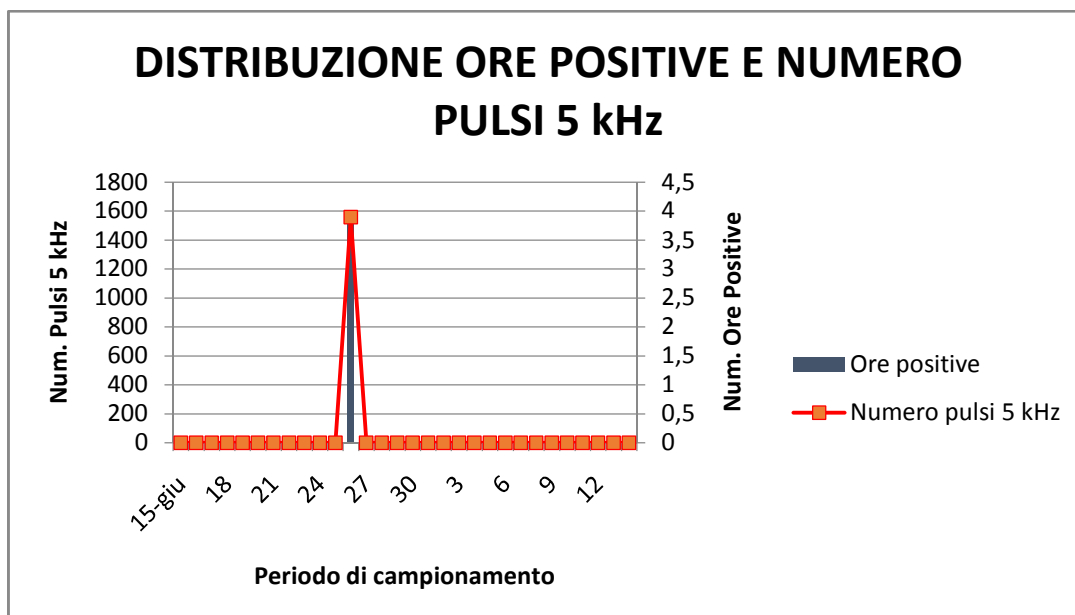


Fig. 60 Grafico rappresentante la distribuzione delle ore positive e del numero di pulsii rilevati a 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento. A livello del 26 giugno 2009, unico giorno positivo rilevato, si osserva un picco sia per le ore positive che per il numero di pulsii.

Inoltre nella tabella 7 qui riportata sono indicati i valori di massimo, minimo, media e moda che sono stati calcolati sia per le ore positive che per il numero di pulsii riscontrati a 5 kHz per tutto il periodo di campionamento.

VALORI	ORE POSITIVE	NUM. PULSI 5 kHz
MAX	4	1558
MIN	0	0
MEDIA	0.13	51.93
MODA	0	0

Tab. 7 Rappresentazione dei valori di massimo, minimo, media e moda calcolati per il numero di ore positive e per il numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento.

10. Variazione del numero di pulsii rilevati a 5 e a 50 kHz nei files positivi (Fig. 61).

Nel seguente grafico si può osservare che nei 7 files in cui sono stati riscontrati dei pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*), il numero di tali pulsii è differente a seconda della frequenza di campionamento considerata di 5 o di 50 kHz. In particolare si può notare che il numero di pulsii rilevati a 50 kHz è maggiore di quelli rilevati a 5 kHz, inoltre tale differenza appare più accentuata nei files in cui è stato rilevato un maggior numero di pulsii. Nel grafico sono riportate le relative abbondanze dei pulsii rilevati in ciascun file alle due frequenze di interesse; inoltre è rappresentata una linea che riporta l'andamento delle percentuali di diminuzione del numero di pulsii nei differenti files alle due frequenze analizzate.

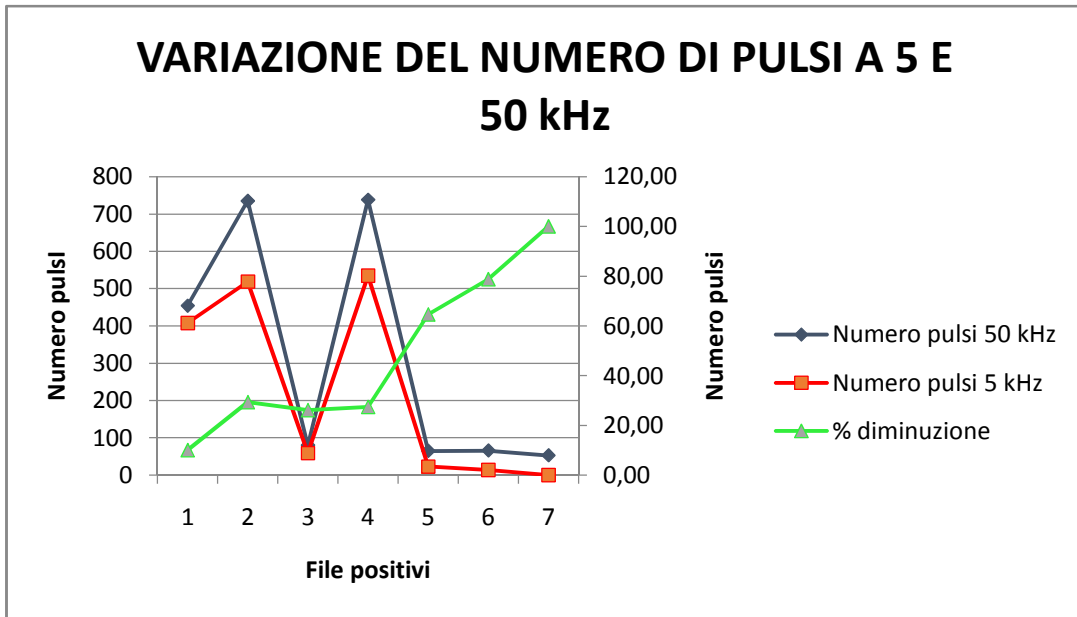


Fig. 61 Grafico rappresentante la variazione del numero di pulsi rilevati alle frequenze di 50 e di 5 kHz. Il numero di pulsi rilevati a 50 kHz è maggiore di quelli rilevati a 5 kHz, tale differenza appare più accentuata nei files in cui è stato rilevato un maggior numero di pulsi

11. Grafico rappresentante l'andamento dei 350 valori di ICI (InterClick Interval) (s) derivanti dai pulsi rilevati nelle registrazioni del Mar di Bamba, analizzati ad una frequenza di 5 kHz (Fig. 62).

Dalla distribuzione ottenuta si può osservare che l'andamento di questi valori appare più o meno stabile, soprattutto nella parte centrale del grafico.

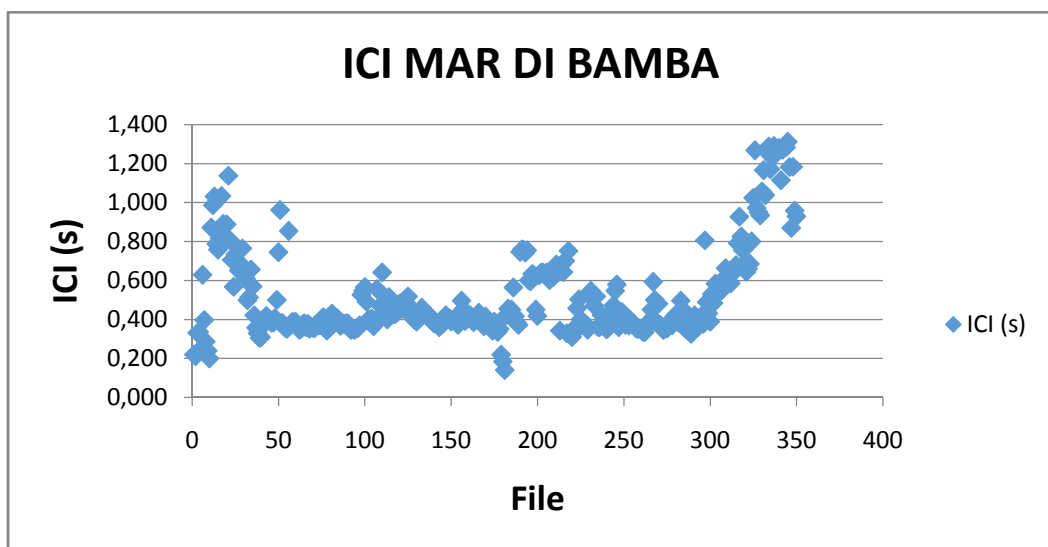


Fig. 62 Grafico rappresentante la distribuzione dei 350 valori di ICI (s) calcolati a partire dalle registrazioni del Mar di Bamba. Si può osservare che i valori considerati mostrano un andamento abbastanza stabile.

Inoltre nella seguente tabella (Tab.8) sono riportati i valori di massimo, minimo, media e moda, calcolati per i valori di ICI (s) analizzati.

MASSIMO	1.312
MINIMO	0.140
MEDIA	0.520
MODA	0.370

Tab. 8 Rappresentazione dei valori di massimo, minimo, media e moda calcolati per i 350 valori di ICI analizzati, riguardanti i pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz.

4.2 Parco Nazionale di Cabrera

In seguito all'analisi delle registrazioni di quest'area sono stati rilevati 64 giorni positivi, durante i quali le ore positive sono state 109, con un totale di 507 pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*) contati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz.

Tali dati sono così suddivisi (Tab. 9):

MESE	GIORNI POSITIVI	ORE POSITIVE	PULSI 5 kHz
Agosto 2012	17	24	114
Settembre 2012	17	32	146
Ottobre 2012	15	31	157
Novembre 2012	11	18	74
Dicembre 2012	4	4	16

Tab. 9 Suddivisione dei giorni positive, delle ore positive e del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento nell'area del Parco Nazionale di Cabrera.

I grafici ottenuti dall'elaborazione di questi dati sono riportati di seguito.

1. Modello giornaliero delle ore positive (Fig. 63): rappresenta la distribuzione giornaliera del numero di ore positive rilevate durante l'intero periodo di registrazione, ovvero quante volte ciascuna ora del giorno, durante l'intero periodo di campionamento, è risultata positiva.

In questo grafico si può notare una leggera diminuzione del numero di ore positive rilevate nel corso della giornata, tuttavia questa diminuzione non risulta rilevante.

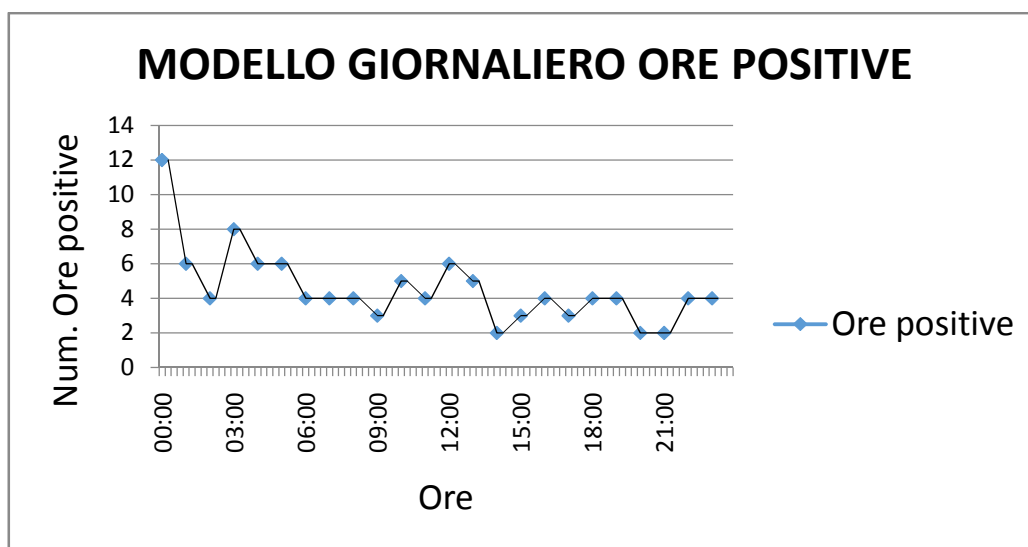


Fig.63 Grafico rappresentante il modello giornaliero delle ore positive (indica quante volte ciascuna ora del giorno è risultata positiva durante l'intero periodo di campionamento): si può notare una leggera diminuzione del numero di ore positive rilevate nel corso della giornata, tuttavia questa diminuzione non risulta rilevante.

2. Modello giornaliero dei pulsivi rilevati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz (Fig. 64): rappresenta la distribuzione giornaliera del numero di pulsivi riscontrati a 5 kHz, cioè il numero di pulsivi riscontrati ad ogni ora durante l'arco della giornata, considerando l'intero periodo di registrazione. Anche in questo grafico, come nel precedente, si osserva una diminuzione non rilevante dei valori osservati nel corso della giornata.

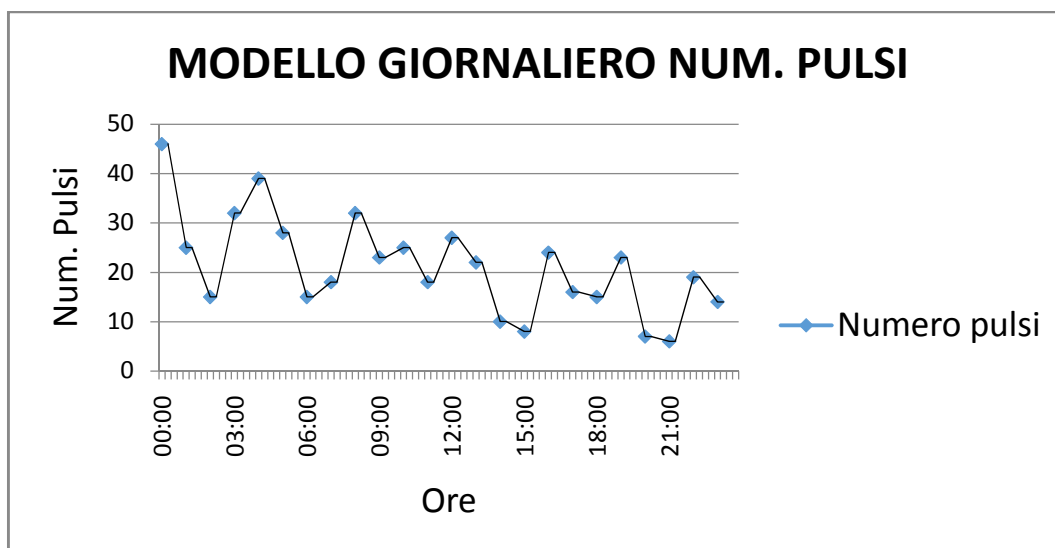


Fig. 64 Grafico rappresentante il modello giornaliero del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di campionamento di 5 kHz (indica quanti pulsii sono stati rilevati ad ogni ora del giorno nell'arco dell'intero periodo di registrazione). Si osserva una diminuzione non rilevante dei valori osservati.

3. Confronto dei modelli giornalieri del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz e del numero delle ore positive (Fig. 65). Il grafico ottenuto da questo confronto mette in evidenza come l'andamento delle ore positive riscontrate e quello del numero di pulsii rilevati in ciascuna ora siano coerenti, ossia ad un maggior numero di ore positive, ad una determinata ora della giornata, corrisponde un maggior numero di pulsii.

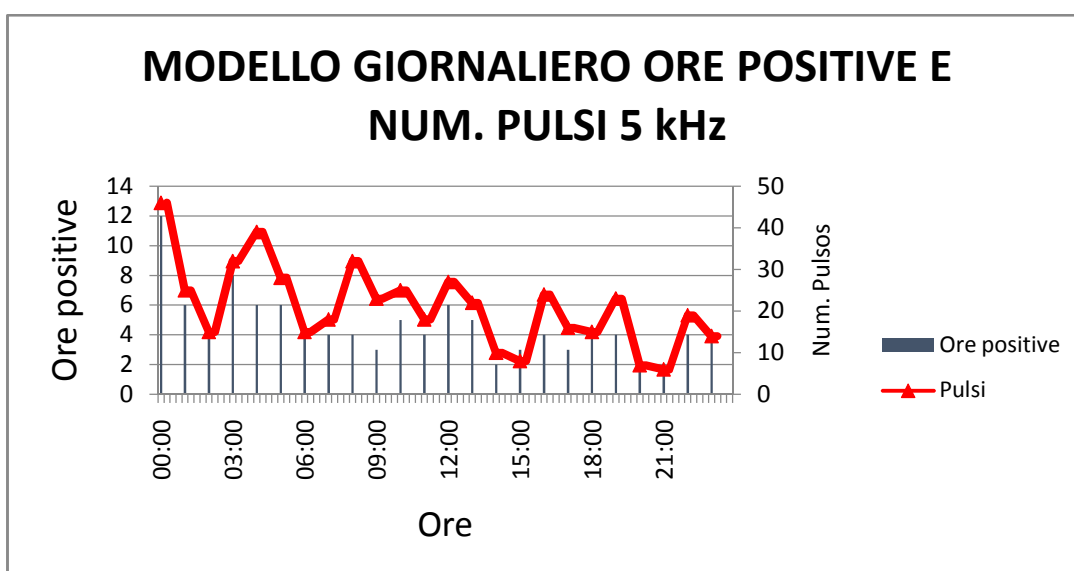


Fig. 65 Grafico rappresentante la sovrapposizione dei modelli giornalieri delle ore positive e del numero di pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz.

L'andamento delle ore positive riscontrate e quello del numero di pulsii rilevati in ciascuna ora sono coerenti: ad un maggior numero di ore positive, ad una determinata ora della giornata, corrisponde un maggior numero di pulsii.

4. Modello stagionale dei giorni positivi (Fig. 66): distribuzione, nel corso dei mesi, delle percentuali dei giorni positivi rilevati. L'andamento di questo grafico mette in evidenza come vi sia una diminuzione del numero di eventi positivi riscontrati durante il corso dei mesi analizzati, infatti da una percentuale di giorni positivi del 54,84% nel mese di agosto, del 56,67% nel mese di settembre e del 51,72% del mese di ottobre si passa al 37,93% nel mese di novembre e al 12,90% nel mese di dicembre. A differenza della medesima situazione analizzata nel Mar di Bamba qui si può parlare di un modello stagionale poiché il periodo di campionamento è più esteso.

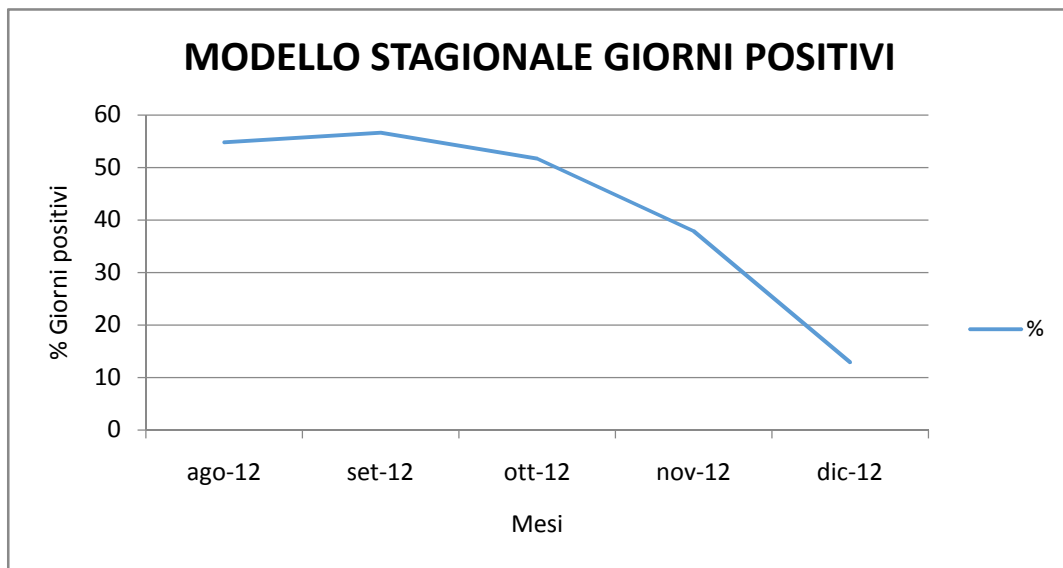


Fig. 66 Grafico rappresentante il modello stagionale dei giorni positivi rilevati durante l'intero periodo di campionamento. Nel corso del periodo analizzato si osserva una diminuzione del numero di eventi positivi riscontrati durante il corso dei mesi analizzati.

5. Modello stagionale dei pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz durante l'intero periodo di campionamento (Fig. 67): distribuzione, nel corso dei mesi, delle percentuali di tali pulsii riscontrati in quest'area.

In questo grafico si osserva un leggero aumento dei valori dal mese di agosto al mese di ottobre e poi una brusca diminuzione degli stessi nei mesi di novembre

e di dicembre. Questa diminuzione qui riportata riflette la diminuzione degli eventi positivi riscontrata nel grafico precedente.

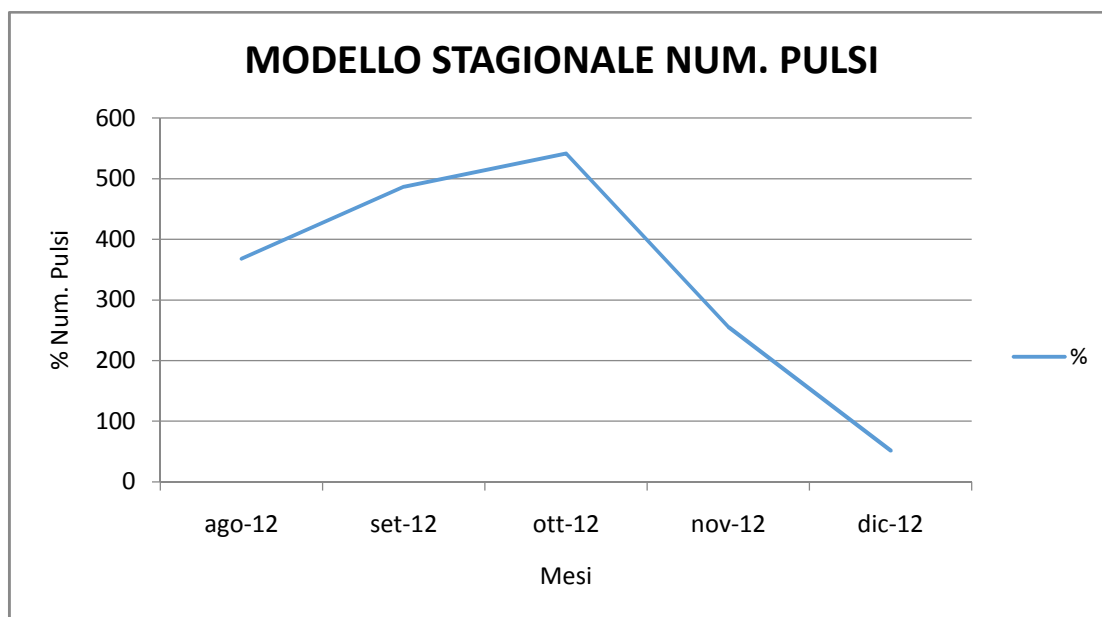


Fig. 67 Grafico rappresentante il modello stagionale del numero di pulsii rilevati a 5 kHz durante l'intero periodo di campionamento. Analogamente alla situazione precedente si osserva una diminuzione del numero di pulsii rilevati dal mese di agosto al mese di dicembre.

6. Distribuzione delle ore positive e dei pulsii rilevati a 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento (Fig. 68).

In questo grafico si può osservare come, durante tutto il periodo di campionamento, vi sia una coerenza tra il numero di ore positive e il numero di pulsii riscontrati nel corso di ciascun giorno analizzato, infatti nei giorni in cui le ore positive sono maggiori anche il numero di pulsii rilevati è maggiore rispetto a giorni in cui le ore positive sono di meno e anche il rispettivo numero di pulsii è minore.

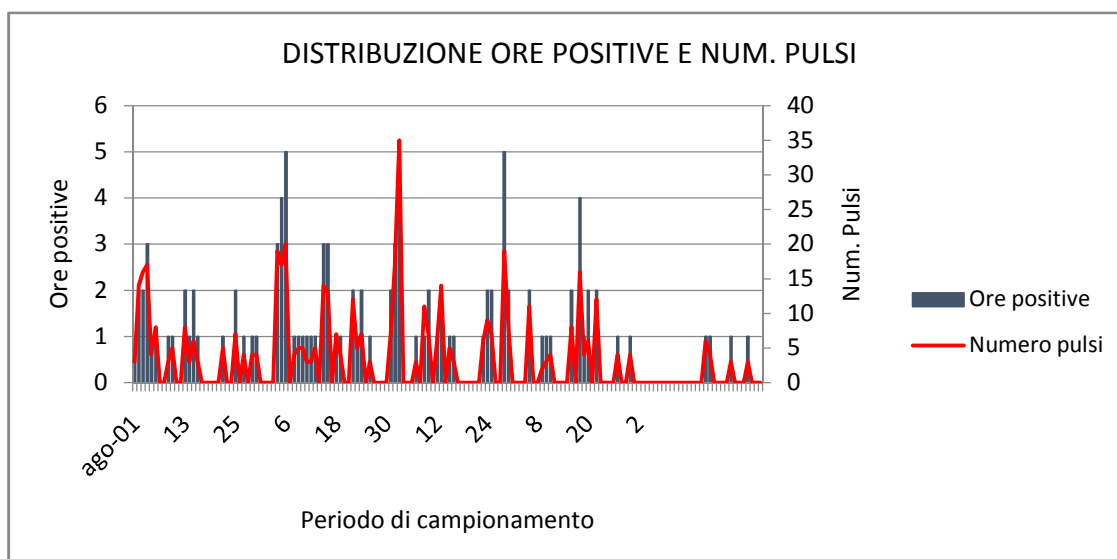


Fig. 68 Grafico rappresentante la distribuzione delle ore positive e del numero di puls rilevati a 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento. Si può osservare una coerenza tra il numero di ore positive e il numero di puls riscontrati nel corso di ciascun giorno analizzato.

Inoltre nella tabella 10 qui riportata sono indicati i valori di massimo, minimo, media e moda che sono stati calcolati sia per le ore positive che per il numero di puls rilevati ad una frequenza di 5 kHz per tutto il periodo di campionamento.

VALORI	ORE POSITIVE	NUM. PULSI 5 kHz
MAX	5	35
MIN	0	0
MEDIA	0.73	3.38
MODA	0	0

Tab.10 Rappresentazione dei valori di massimo, minimo, media e moda calcolati per il numero di ore positive e per il numero di puls rilevati ad una frequenza di 5 kHz durante tutto il periodo di campionamento.

- Grafico rappresentante l'andamento dei 350 valori di ICI (InterClick Interval) (s) analizzati derivanti dai puls rilevati nelle registrazioni del Parco Nazionale di Cabrera (Fig. 69).

Dalla distribuzione ottenuta si può osservare che l'andamento di questi valori non appare stabile, infatti i valori sono del tutto variabili.

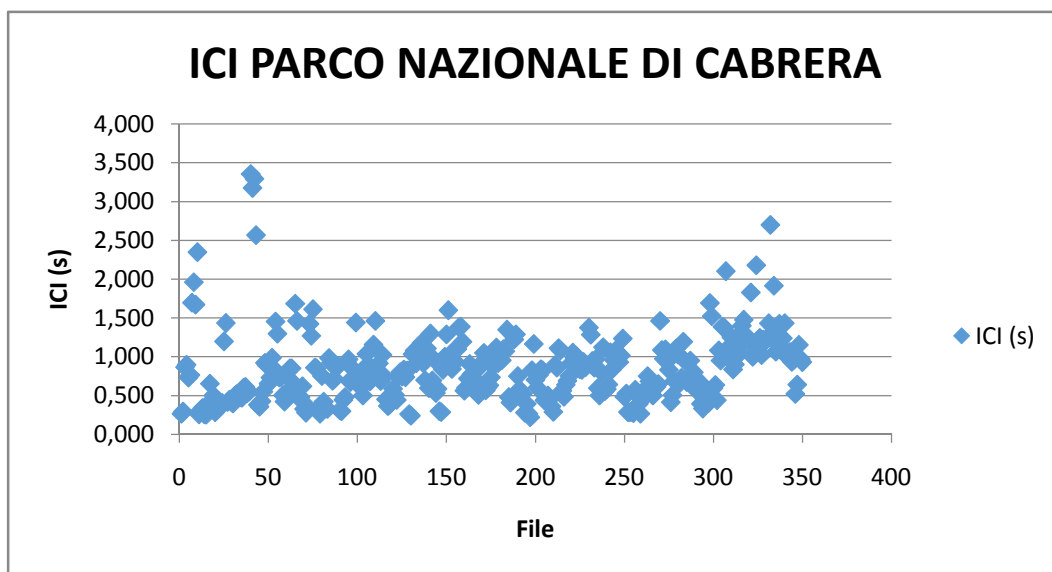


Fig. 69 Grafico rappresentante la distribuzione dei 350 valori di ICI (s) calcolati a partire dalle registrazioni del Parco Nazionale di Cabrera. Si può osservare che i valori considerati non mostrano un andamento stabile.

Inoltre nella seguente tabella 11 sono riportati i valori di massimo, minimo, media e moda, calcolati per i valori di ICI (s) analizzati.

MASSIMO	3.356
MINIMO	0.219
MEDIA	0.845
MODA	0.501

Tab. 11 Rappresentazione dei valori di massimo, minimo, media e moda calcolati per i 350 valori di ICI analizzati, riguardanti i pulsii rilevati ad una frequenza di 5 kHz.

4.3 Confronto dei risultati ottenuti dalle registrazioni del Mar di Bamba e del Parco Nazionale di Cabrera

I pulsii riscontrati nelle registrazioni del Mar di Bamba sono emessi da capodoglio (*P. macrocephalus*), infatti alla frequenza di campionamento di 50 kHz essi si vedono

chiaramente ed anche il suono che ne deriva è quello tipico prodotto da questi animali; inoltre presentano una certa continuità che è caratteristica del capodoglio (*P. macrocephalus*) durante la caccia.

Per quanto riguarda i pulsii rilevati nelle registrazioni del Parco Nazionale di Cabrera, invece, i pulsii riscontrati sono molto più discontinui e i treni di pulsii successivi sono caratterizzati da pochi pulsii ciascuno, tuttavia il suono che ne deriva è quello caratteristico di questo animale ed, inoltre, c'è una certa regolarità all'interno dei treni di pulsii, benché siano brevi.

Inoltre, occorre osservare una differenza riscontrata nel numero di pulsii nelle due aree di studio: i pulsii rilevati nel Mar di Bamba sono molto più numerosi rispetto a quelli riscontrati nel Parco Nazionale di Cabrera benché il periodo di campionamento sia minore, dunque, nel primo caso, i pulsii sono più numerosi e concentrati in un giorno, mentre nel secondo caso sono meno numerosi ma più distribuiti nel tempo.

Per quanto riguarda il valore degli ICI (s) riscontrati mentre nel caso del mar di Bamba essi presentano una certa regolarità, quelli del Parco Nazionale di Cabrera sono molto più variabili, come si può osservare nel seguente grafico (Fig. 70).

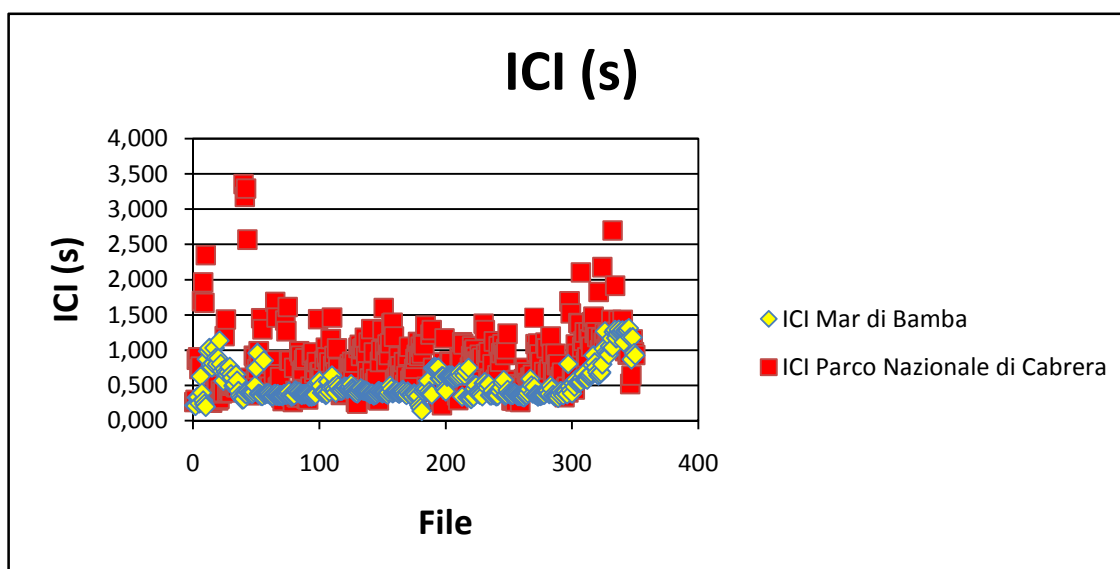


Fig. 70 Grafico rappresentante i valori di ICI (s) sovrapposti ottenuti dalle registrazioni del Mar di Bamba e del Parco Nazionale di Cabrera.

Al fine di verificare che i pulsii riscontrati nelle registrazioni relative al Parco Nazionale di Cabrera fossero effettivamente prodotti da capodogli (*P. macrocephalus*) è stato effettuato un confronto spettrale tra i pulsii del Parco Nazionale di Cabrera e quelli del

Mar di Bamba, analizzati in entrambi i casi alla frequenza di 5 kHz: sono state scelte le registrazioni del Mar di Bamba da utilizzare come confronto poichè in queste ultime sono stati riscontrati con certezza i pulsi dei capodogli (*P. macrocephalus*) sia dal punto di vista sonoro che dal punto di vista della distribuzione dei pulsi.

Nella figura 71 è riportato il grafico finale relativo alla distribuzione di energia rispetto alla frequenza dei diversi pulsi.

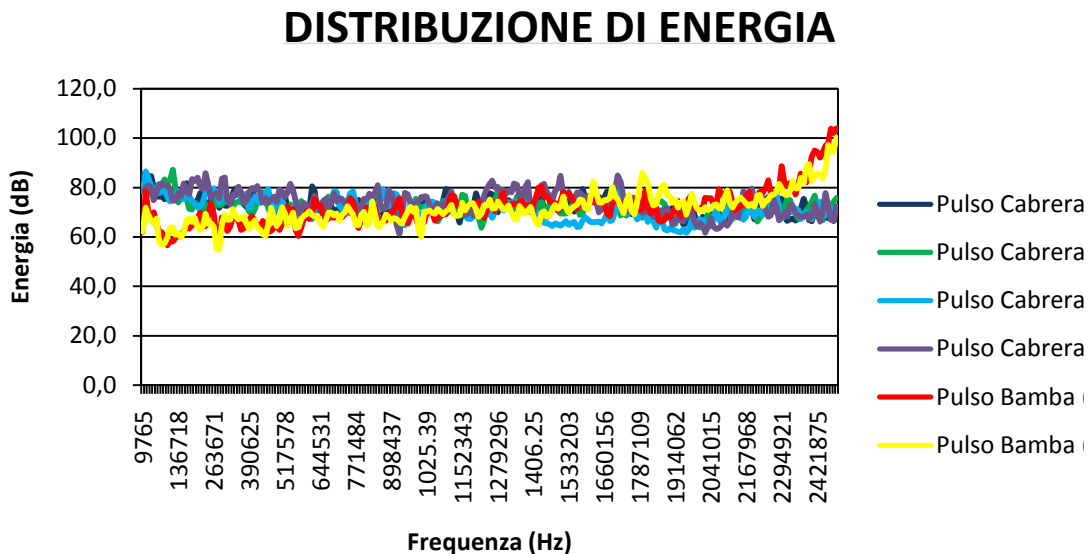


Fig. 71 Grafico rappresentante la distribuzione di energia di quattro pulsi di capodoglio (*P. macrocephalus*) rilevati nel Parco Nazionale di Cabrera e di due pulsi di capodoglio (*P. macrocephalus*) rilevati nel Mar di Bamba.

Osservando il grafico sopra riportato si può osservare come nella parte centrale di esso l'andamento della distribuzione di energia nei differenti pulsi, sia che essi derivino dalle registrazioni del Mar di Bamba che da quelle del Parco Nazionale di Cabrera, sia simile, mentre nella parte iniziale e finale l'andamento della distribuzione di energia dei pulsi del Mar di Bamba sia differente da quello dei pulsi dell'altra area.

Occorre tenere presente che i valori dell'energia sono stati resi positivi, dunque dove nel grafico si riscontra un abbassamento della linea tale andamento corrisponderà ad un aumento dell'energia e, viceversa, quando la linea sale si avrà una diminuzione dell'energia.

Le differenze riscontrate tra i pulsi del Parco Nazionale di Cabrera e del Mar di Bamba nelle parti iniziali e finali sono spiegabili osservando gli spettrogrammi dai quali sono

stati ricavati questi dati: nello spettrogramma del Mar di Bamba, analizzato alla frequenza di 5 kHz e ottenuto a partire da una frequenza di 50 kHz, si può osservare che a basse frequenze si riscontra un forte rumore di fondo, evidenza che giustifica l'incremento di energia iniziale, ovvero a basse frequenze riportato nel grafico; inoltre sempre nello spettrogramma del Mar di Bamba si osserva ad alte frequenze una fascia più scura che evidentemente si manifesta con una diminuzione dell'energia rilevata nella parte finale del grafico, ovvero ad elevate frequenze.

Tale differenza di energia rilevata nella parte alta e bassa dello spettrogramma è dovuta ad un artefatto adottato dal programma Adobe Audition 3.0 al momento del passaggio da una frequenza maggiore ad una minore: per mantenere omogenea la distribuzione di energia lungo i pulsii, in presenza di un forte rumore di fondo, il programma introduce una diminuzione di energia nella parte alta dello spettrogramma (Fig. 72).

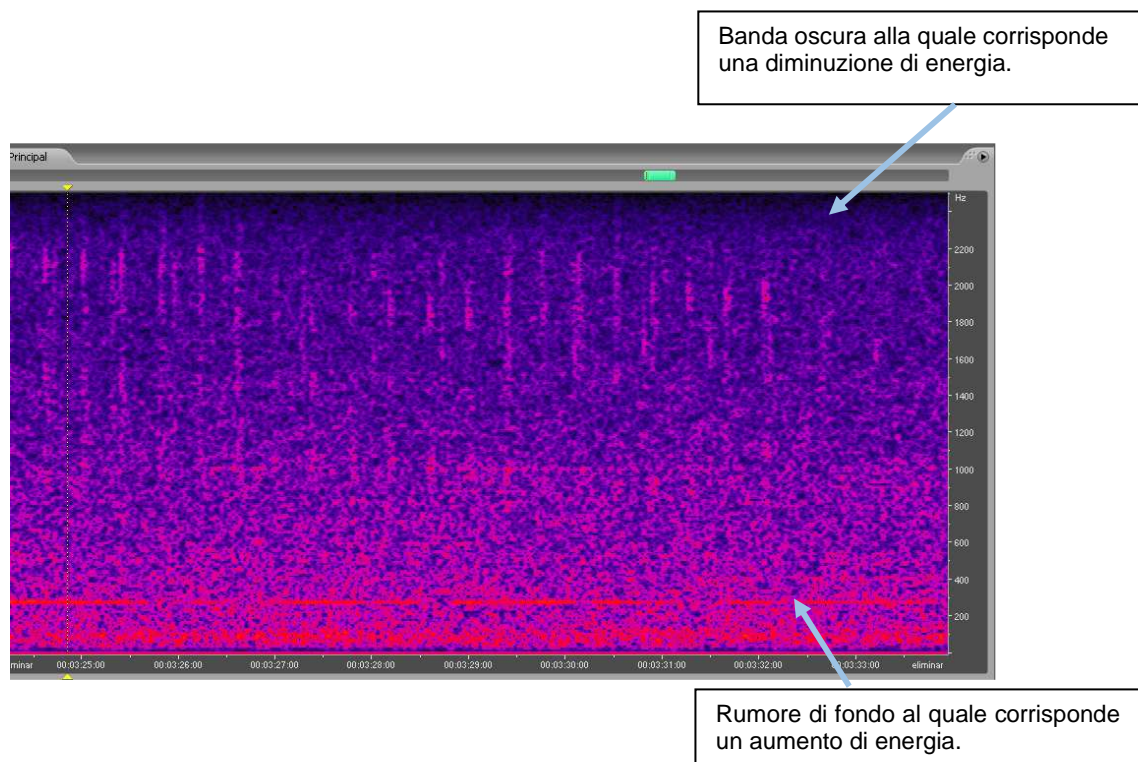


Fig. 72 Spettrogramma relativo ai pulsii rilevati nel Mar di Bamba. Si può osservare nella parte in alto una banda scura alla quale corrisponde una diminuzione di energia e, nella parte in basso, una banda più chiara relativa al rumore di fondo e al conseguente aumento di energia.

In base a queste osservazioni, dunque, si può affermare che dalle analisi e dai confronti spettrali i pulsii rilevati nelle registrazioni del Parco Nazionale di Cabrera sono di capodoglio (*P. macrocephalus*) così come quelli derivanti dalle registrazioni del Mar di Bamba.

4.4 Altri suoni riscontrati nelle registrazioni

4.4.1 Mar di Bamba

In quest'area è stata rilevata, inoltre, la presenza di altri animali, questo è stato possibile anche grazie al fatto che qui la frequenza di campionamento era fissata a 50 kHz, tale ampiezza ha permesso, dunque, di rilevare suoni emessi a differenti frequenze.

Oltre alla presenza di capodogli (*P. macrocephalus*) sono stati riscontrati: stenelle (*Stenella coeruleoalba*), tursiopi (*Tursiops truncatus*), globicefali (*Globicephala melas*), balenottere comuni (*Balaenoptera physalus*).

4.4.2 Parco Nazionale di Cabrera

In quest'area sono stati rilevati, oltre ai suoni emessi dai capodogli (*P. macrocephalus*), suoni emessi da alcuni pesci.

5. CONCLUSIONI

In base ai risultati ottenuti sono state tratte le seguenti conclusioni:

-i pulsii rilevati nel Mar di Bamba sono di capodoglio (*P. macrocephalus*), dunque in quest'area sono presenti questi animali, benché non si possa parlare propriamente di un modello stagionale poiché il periodo di campionamento è stato solo di un mese;

-i pulsii riscontrati nel Parco Nazionale di Cabrera, in base alle evidenze ottenute fino ad ora, si suppone siano di capodogli (*P. macrocephalus*), dunque, anche in quest'area si può affermare che siano presenti questi animali. In questo caso si può iniziare a parlare di un modello stagionale, cui seguiranno i risultati che deriveranno dall'analisi delle registrazioni dei mesi successivi a quelli analizzati che verranno effettuate nell'ambito di questo progetto;

-la differenza nella variabilità dei valori di ICI può essere dovuta al fatto che i valori del Mar di Bamba derivavano da pochi treni di pulsii durante un solo mese, mentre quelli del Parco Nazionale di Cabrera derivavano da molti più treni durante cinque mesi;

-le differenze riscontrate tra i pulsii rilevati nel Mar di Bamba e nel Parco Nazionale di Cabrera si suppone siano dovute a due principali fattori: in primo luogo la frequenza di campionamento che è stata adottata per le registrazioni nel Mar di Bamba è notevolmente superiore a quella utilizzata nel Parco Nazionale di Cabrera, dove la frequenza di campionamento utilizzata è stata di 5 kHz, dunque, in questa seconda area, tutti i suoni con una frequenza maggiore di 5 kHz non sono stati captati e questo può riguardare anche i pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*), evidenza che spiegherebbe la differenza nel numero di pulsii riscontrati nelle due aree e la discontinuità nei treni di pulsii del Parco Nazionale di Cabrera: in quest'area non tutti i pulsii effettivamente presenti potrebbero essere stati rilevati poiché potevano presentare una frequenza superiore a 5 kHz.

A supporto di ciò occorre ricordare, inoltre, come il numero di pulsii rilevati nel Mar di Bamba diminuisca passando da un'analisi delle registrazioni a 50 kHz ad un'analisi delle stesse a 5 kHz, dopo aver convertito la frequenza di campionamento.

Un'altra spiegazione per le differenze del numero e delle caratteristiche dei pulsii rilevati nelle due aree di studio può essere legata alle caratteristiche del fondale delle due aree di studio: mentre nel Mar di Bamba l'immersione degli strumenti è stata realizzata a livello della piattaforma continentale ad una profondità di circa 500 m, nel Parco Nazionale di Cabrera tale immersione è stata realizzata sempre a livello della piattaforma continentale, ma ad una profondità molto minore, di circa 80-90 m, quindi nel caso del Parco Nazionale di Cabrera la scarpata continentale potrebbe agire come barriera acustica per i pulsii di ecolocalizzazione, molto direzionali, dei capodogli (*P. macrocephalus*);

-in base ai risultati ottenuti in questo studio e dalle relative conclusioni si propone, per la prossima immersione degli strumenti, di alzare la frequenza di campionamento a 20 kHz, utilizzando un nuovo dispositivo PAM (Passive Acoustic Monitoring), il SAMARUC che utilizza una memoria solida e consuma meno batterie pur realizzando registrazioni a frequenze maggiori, al fine di essere certi di avere la possibilità di rilevare i pulsii di capodoglio (*P. macrocephalus*) anche nel Parco Nazionale di Cabrera, così da poter confermare l'effettiva presenza di tale animale in quest'area.

La frequenza di campionamento proposta di 20 kHz sembra essere un buon compromesso tra la capacità di captare suoni in un rango più ampio (la frequenza di 20 kHz è quella massima affinché la memoria possa durare tre mesi), durata delle batterie degli strumenti e periodo durante il quale si possono mantenere gli strumenti immersi.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Amano, M. & Yoshioka M., 2003, Sperm whale diving behavior monitored using a suction-cup attached TDR tag. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 258, 291–295.
2. Andre´, M., Terada, M., and Watanabe Y., 1997, “Sperm whales (*Physeter macrocephalus*) behavioural response after playback of artificial sounds,” Report of The International Whaling Commission Vol. 47, pp. 499–504.
3. AU W.W.L., 1993. *The Sonar of Dolphins*. Springer-Verlag: 1-277.
4. Backus RH, Schevill WE, 1966, *Physeter* clicks. In: Norris KS(ed) *Whales, dolphins, and porpoises*. University of California Press, Berkeley, pp 510–528
5. Beale, T. 1839 *The natural history of the sperm whale*. London: John van Voorst.
6. Becker PR, Mackey EA, Demiralp R, Suydam R, Early G. et al., 1995, Relationship of silver with selenium and mercury in the liver of two species of toothed whales (odontocetes). *Mar Pollut Bull* 30: 262-271.
7. Best, P.B., Canham, P.A.S. & Macleod N., 1984, Patterns of reproduction in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. *Report of the International Whaling Commission, Special Issue*, 6, 51–80.
8. Bolognari A., 1951, La migrazione del Capodoglio nel Mediterraneo. *Bolletino di Zoologia*, 18, 253-256.
9. Bowles A. E., Smultea M., Würsig B., DeMaster D. P. & Palka D., 1994, Relative abundance and behaviour of marine mammals exposed to transmissions from the Heard Island Feasibility Test. *Journal of the Acoustical Society of America* 96, 2469–2484.
10. Caldwell D.K. and Caldwell M.C., Dec. 1987, Underwater echolocation-type clicks by captive stranded pygmy sperm whales, *Kogia breviceps*. P. 8 In: *Abstr. 7th bienn. Conf. Biol. Mar. Mamm.*, Miami, FL; 88p.
11. Carrillo M., Ritter F., 2010, Increasing numbers of ship strikes in the Canary Islands: proposals for immediate action to reduce risk of vessel-whale collisions, *J. Cetacean Res. Manage.* 11(2): 131–138.
12. Castellote M., Clark Christopher W., Lammers Marc O., 2011, Population identity and migration movements of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea and Strait of Gibraltar.

13. Chepko-Sade DB, Halpin ZT (eds), 1987, Mammalian dispersal patterns: the effects of social structure on population genetics. University of Chicago Press, Chicago.
14. Clarke M. R., 1970, Function of the spermaceti organ of the sperm whale. *Nature* 228, 873–874.
15. De Stephanis R. and Urquiola E., 2006, Collisions between ships and cetaceans in Spain. Paper SC/58/BC5 presented to the IWC Scientific Committee, May 2006, St. Kitts and Nevis, West Indies, 6pp.
16. Douglas A.B., Calambokidis J., Raverty S., Jeffries S.J., Lambourn D.M. and Norman S.A., 2008, Incidence of ship strikes of large whales in Washington State. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*.
17. Drouot V., Gannier A., Goold J. C., 2004, Summer social distribution of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea, *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 84, 675-680.
18. Drouot-Dulau V., Gannier A., 2007, Movements of sperm whale in the western Mediterranean Sea: preliminary photo-identification results, *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 87, 195–200.
19. Drouot V., Bérubé M., Gannier A., Goold J., Reid R. J., Palsbøll P. J., 2004, A note on genetic isolation of Mediterranean sperm whales (*Physeter macrocephalus*) suggested by mitochondrial, *J. Cetacean Res. Manage.* 6(1):29–32.
20. Duguy R., 1991, Les mammifères marins de la Méditerranée occidentale. *Bull Soc Zool Fr* 114(3):89–96.
21. Evans P.G.H., 1997, Ecology of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the Eastern North Atlantic, with special reference to sightings and stranding records from the British Isles. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. Biology*, 67, Supplement, 37–46.
22. Fristrup K. M. & Harbison G. R., 2002, How do sperm whales catch squid? *Mar. Mamm. Sci.* 18, 42–54.
23. Gambaiani D.D., Mayol P., Isaac S.J. and Simmonds M.P., 2009, Potential impacts of climate change and greenhouse gas emissions on Mediterranean marine ecosystems and cetaceans. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 179–201.
24. Gannier A., Drouot V., Goold J.C., 2002, Distribution and relative abundance of sperm whales in the Mediterranean Sea, *Mar Ecol Prog Ser*, Vol. 243: 281-293

25. Gannier A., Praca E., 2006, SST fronts and the summer sperm whale distribution in the north-west Mediterranean Sea, *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 86, 5468/1–7.
26. Gaskin D. E., 1967, Luminescence in a squid *Moroteuthis* sp. (probably *ingens* Smith) and a possible feeding mechanism in the sperm whale *Physeter catodon* L. *Tuatara* 15, 86–88.
27. Gordon J. C., 1987, “The behaviour and ecology of sperm whales off Sri Lanka,” Ph.D. thesis, University of Cambridge, U.K.
28. Greenwood PJ, 1980, Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. *Anim Behav* 28(4):1140–1162.
29. Hastings, Mardi C., Whitlow W. L., 2012, Marine bioacoustics and technology: the new world of marine acoustic ecology, *Advances in Ocean Acoustics: Proceedings of the 3rd International Conference on Ocean Acoustics (OA2012)*. AIP Conference Proceedings, Volume 1495, pp. 273-282.
30. Hughes L., 2000, Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? *Trends Ecol Evol* 15:56–61.
31. IMO, 2007, Work Programme of the Committee and Subsidiary Bodies – Measures for minimising the risks of collisions with cetaceans. *Marine Environment Protection Committee: MEPC 57/18/2*.
32. Jaquet N., Dawson S., Douglas L., 2001, Vocal behaviour of male sperm whales: Why do they click?, *J. Acoust. Soc. Am.* 109 (5), Pt. 1.
33. Jaquet, N. & Gendron D., 2002, Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biology*, 141, 591-601.
34. Kenyon K.W., 1981, Sea otter *Enhydra lutris* (Linneus, 1785). P- 209-223 *In: S.H. Ridgway and R. J. Harrison (eds), Handbook of marine mammals, vol.1. Academic Press London; 235 p.*
35. Klinowska, M. *Dolphins, 1991, Propoises and whales of the world/The IUCN red data book. Int. Union Conserv. Nat., Gland, Switz., and Cambridge, U.K.; 429 p.*
36. Knowlton, A.R. and Kraus, S.D., 2001, Mortality and serious injury of northern right whales (*Eubalaena glacialis*) in the western North Atlantic Ocean. *J. Cetacean Res. Manage.* 2: 193–208.
37. Law RJ, Morris RJ, Allchin CR, Jones BR, Nicholson MD, 2003, Metals and organochlorines in small cetaceans stranded on the east coast of Australia. *Mar Pollut Bull* 46: 1206-1211.

38. Le Vourch J., Millot C., Castagne N., Le Borgne P., Olry J.P., 1992, Atlas of the thermic fronts of the Mediterranean Sea derived from satellite imagery. *Mém Inst Océano Monaco* 16(6).
39. Luoma S.N., Ho Y.B., Bryan G.W., 1995, Fate, bioavailability and toxicity of silver in estuarine environments. *Mar Pollut Bull* 31: 44-54.
40. Macleod C., 2009, Global climate change, range changes and potential implications for the conservation of marine cetaceans: a review and synthesis, *Endang Species Res* 7: 125–136.
41. Madsen P. T., Møhl B., 2000, Sperm whales (*Physeter catodon* L. 1758) do not react to sounds from detonators, *J. Acoust. Soc. Am.* 107 (1).
42. Madsen P. T., Møhl B., Nielsen B. K. and Wahlberg M., 2002, Male sperm whale behaviour during exposures to distant seismic survey pulses, *Aquatic Mammals* 2002, 28.3, 231–240.
43. Madsen P. T., Wahlberg M., Møhl B., 2002, Male sperm whale (*Physeter macrocephalus*) acoustics in a high-latitude habitat: implications for echolocation and communication, *Behav Ecol Sociobiol* 53:31–41.
44. Mangano, A., 1983, *Physeter macrocephalus* Linneo, nel Mediterraneo centrale: ricerche eto-ecologiche. Tesi di Laurea, University of Messina, Italy.
45. Mate B.R., Stafford K.M. and Ljungblad D.K., 1994, “A change in sperm whale (*Physeter macrocephalus*) distribution correlated to seismic surveys in the Gulf of Mexico,” *J. Acoust. Soc. Am.* 96, 3268–3269.
46. Miller P. J. O., Johnson M. P., Tyack P. L. & Terray E. A., 2004a, Swimming gaits, passive drag, and buoyancy of diving sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *J. Exp. Biol.* 207, 1953–1967.
47. Morel A., André J.M., 1991, Pigment distribution and primary production in the western Mediterranean, as derived from space (CZCS) observations. *J Geophys Res* 96(C7): 12685–12698.
48. Mullins J., Whitehead H. and Weilgart L. S., 1988, “Behaviour and vocalizations of two single sperm whales, *Physeter macrocephalus*, off Nova Scotia,” *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 1736–1743.
49. Nielsen J.N., 1912, Hydrography of the Mediterranean Sea. *Oceanol Acta* 10(2):143–149.
50. Nishiwaki M. and Marsh H., Dugong, 1985, *Dugong dugon* (Müller, 1776). O. 1-31 *In*: S.H. Ridgway and R. Harrison (eds.), *Handbook of marine mammals vol.3* Academic Press, London; 362 p.

51. Notarbartolo di Sciara G., Demma M., 1994, Guida dei mammiferi marini del Mediterraneo. Franco Muzzio Ed., Padova: 1-262.
52. Notarbartolo di Sciara G., Demma M., 2004, Guida dei Mammiferi Marini del Mediterraneo, Roma, Franco Muzzio editore; 81 p.
53. Panigada S., 2006, Ship Strikes in the Mediterranean Sea and the ACCOBAMS activities. Special-Ship Strikes. Vol. 3(1), August 2006, pp.12.
54. Papastavrou V., Smith S. C. and Whitehead H., 1989, "Diving behaviour of the sperm whale (*Physeter macrocephalus*) off the Galapagos Islands," Can. J. Zool. 67, 839–846.
55. Parmesan C., Yohe G., 2003, A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421:37–42.
56. Pavan G., Borsani J.F., 1997, Bioacoustics research on cetaceans in the Mediterranean Sea. Mar. Fresh. Behav. Physiol., 30: 99-123.
57. Perrin W. F., Würsig B., Thewissen J. G. M., 2002, Encyclopedia of Marine Mammals. Academic Press, London.
58. Randall R., Notarbartolo di Sciara G., 2006, The status and Distribution of Cetaceans in the Black Sea and Mediterranean Sea. Workshop Record Monaco 5-7 marzo 2006.
59. Rendell L., Mesnick S. L., Dalebout M. L., Burtenshaw J., Whitehead H., 2011, Can Genetic Differences Explain Vocal Dialect Variation in Sperm Whales, *Physeter macrocephalus*, Behav Genet.
60. Rendell L.E., Whitehead H., 2003a, Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). Proc Roy Soc Lond B 270:225–231.
61. Ridgway S.H. and Harrison R.J. (eds.), 1981a Handbook of marine mammals, vol. 1: The walrus, sea lions, fur seals and sea otter. Academic Press, London; 235 p.
62. Ridgway S.H. and Harrison R.J. (eds.), 1981b, Handbook of marine mammals, vol. 2: Seals. Academic Press, London; 359 p.
63. Ridgway S.H. and Harrison R.J. (eds.), 1985, Handbook of marine mammals, vol. 3: The sirenians and baleen whales. Academic Press, London; 362 p.
64. Richardson W. J., Greene C. R., Malme C. I. & Thompson D. H., 1995, Marine Mammals and Noise. Academic Press. San Diego CA, 1-576.
65. Richardson W.J., Greene C. R., Malme C.I. and Thomson D.H., 1998, Marine Mammals and Noise. Academic Press. London.

66. Ritter F., 2010, Quantification of ferry traffic in the Canary Islands (Spain) and its implications for collisions with cetaceans. *J. Cetacean Res. Manage.* 11(2).
67. Roskov Y., Kunze T., Orrell T., Abucay L., Paglinawan L., Culham A., Bailly N., Kirk P., Bourgoin T., Baillargeon G., Decock W., De Wever A., Didžiulis V., eds. (2014). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2014 Annual Checklist*. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands.
68. Sanchez P. S., 2013, “Estudio de la presencia y estacionalidad del rorcual común (*Balaenoptera physalus*, Linnaeus 1758) en el Mediterráneo occidental mediante dispositivos acústicos pasivos fondeados en la reserva marina de las Islas Columbretes (Castellón)”, tesi di laurea, Facoltà di Scienze Ambientali, Universidad Politècnica di Valencia.
69. Savery L. C., Wise S. S., Falank C., Wise J., Gianios C., Thompson W. D., Perkins C., Mason M. D., Payne R., Kerr I., Wise J. P., 2013, Global Assessment of Silver Pollution using Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) as an Indicator Species, Savery et al., *J Environ Anal Toxicol*.
70. Shouhall B.L., Bowles A.E., Ellison W. T., Finneran J.J., Gentry R.L. *et al.*, 2007, Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aq. Mamm.* 33, 411-522.
71. Stirling I., 1988, *Polar bears*. Univ. Michigan Press, Ann Arbor.; 200 p.
72. Talpalar A. E., Grossman Y., 2005, Sonar versus Whales: Noise may disrupt neural activity in deep-diving cetaceans., *UHM* 2005, Vol. 32, No. 2.
73. Thomas C.D., Cameron A., Green R.E., Bakkenes M. and others, 2004, Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145–148.
74. Tyack P.L., 2000, Functional aspects of cetacean communication. In: *Cetacean Societies: Field Studies of Dolphins and Whales* (Ed. by J. Mann, R.C. Connor, P.L. Tyack & H. Whitehead), pp. 270–307. University of Chicago Press, Chicago and London.
75. Walther G.R., Post E., Convey P., Menzel A and others, 2002, Ecological responses to climate change. *Nature* 416: 389–395.
76. Watkins W. A. and Schevill W. E., 1977, “Sperm whale codas,” *J. Acoust. Soc. Am.* 62, 1485–1490.
77. Watkins W. A., Daher M. A., Fristrup K. M. and Howald T. J., 1993, “Sperm whales tagged with transponders and tracked underwater by sonar,” *Marine Mammal Science* 91, 55–67.

78. Watkins, W. A. and Schevill W. E., 1975, "Sperm whales react to pingers," *Deep-Sea Res.* 22, 123–129.
79. Whitehead H., 1998, Cultural selection and genetic diversity in matrilineal whales. *Science* 282:1708–1711. doi:10.1126/science.282.5394.1708.
80. Whitehead H., MacLeod C. D. & Rodhouse P., 2003, Differences in niche breadth among some teuthivorous mesopelagic marine mammals. *Mar. Mamm. Sci.* 19, 400–406.
81. Wiens J.J., Graham C.H., 2005, Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 36:519–539.
82. Worthington L.V., Schevill W.E., 1957, Underwater sounds heard from sperm whales. *Nature* 10:291.

7. WEBGRAFIA

1. <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2014>.
2. <http://ahistoryofnewyork.com/2012/11/>
3. <http://iwc.int/catches>
4. <http://iwc.int/ship-strikes>
5. <http://misshaileyjane.wordpress.com/tag/spermaceti-organ/>
6. <http://themarinedetective.com/category/marine-mammals/sperm-whale/>
7. [http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1087
&Itemid=142](http://www.accobams.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1087&Itemid=142)

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare...

La Prof.ssa Fabbri per avermi sostenuta durante la stesura della tesi con estrema disponibilità e gentilezza.

José Antonio Esteban per l'accoglienza nel suo dipartimento, per gli insegnamenti, la collaborazione, le chiacchierate e i preziosi consigli, per essere stato un capo ma anche un amico.

Tutti i docenti dell'Università di Bologna e dell'Universidad Católica de Valencia che hanno contribuito al mio percorso accademico.

I miei genitori perché hanno reso possibile tutto questo, perché ci sono sempre e non si tirano mai indietro di fronte a nuove sfide.

Mia sorella, Valeria, che, inseguendo il suo sogno dall'altra parte del mondo, non mi ha mai lasciata sola da questa parte mentre inseguivo il mio.

I miei nonni, i miei zii... tutta la mia famiglia che ha gioito per ogni successo e, nonostante la distanza, mi è sempre stata vicina.

Tutte le persone de L'Oceanogràfic di Valencia, in particolare David, Ivan, Juan, Pedro e Susana che mi hanno accolta nella loro "famiglia", mi hanno fatta sentire a casa, mi hanno insegnato tanto e...sono riusciti a strapparmi un abbraccio!

Anna, Chiara e Silvia coinquiline, compagne di Erasmus, ma soprattutto amiche perché hanno reso la mia esperienza in Spagna unica.

Jaisa, una delle persone più "pazze" e più speciali che io abbia mai conosciuto, perché ha condiviso con me le gioie e le difficoltà della nostra esperienza in Spagna, perché in fondo il Brasile non è troppo lontano e un giorno ci rivedremo.

Tutti i miei compagni di corso che, pur essendo sparsi per varie parti d'Italia e del mondo, mi sono sempre stati vicini e hanno condiviso con me ostacoli e successi.

Tutti gli amici "pavesi", Paolo, Arianna, Federica, Carlotta, che hanno iniziato con me il percorso universitario e nonostante i cambi di rotta non mi hanno mai persa.

Ravenna e Valencia, due città che mi hanno accolta e sono diventate per un po' la mia casa, che mi hanno permesso di crescere e di diventare la persona che sono.

Ed infine tutte le persone che mi hanno sempre ricordato di essere...

“come il mare che infrangendosi contro gli scogli, trova sempre la forza di riprovarci”.