

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in Biologia del Comportamento

Ciclo XXIII.

**Analisi Bioacustiche di  
vocalizzazioni di *Stenella Stenella  
coeruleoalba* (Meyen, 1833)  
nel mar Mediterraneo.**

Coordinatore:  
Chiar.mo Prof. Paola Valsecchi

Tutor:  
Chiar.mo Prof. Gianni Pavan

Dottorando: Claudio Fossati

**Analisi Bioacustiche di vocalizzazioni di *Stenella*  
*Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833)  
nel mar Mediterraneo.**



*Stanza dei delfini, Cnosso, Creta, 1500 ac*

Tesi di dottorato in Biologia del comportamento di Claudio Fossati,  
XXIII ciclo, 2011, Dipartimento di Biologia Animale, Università di Parma.

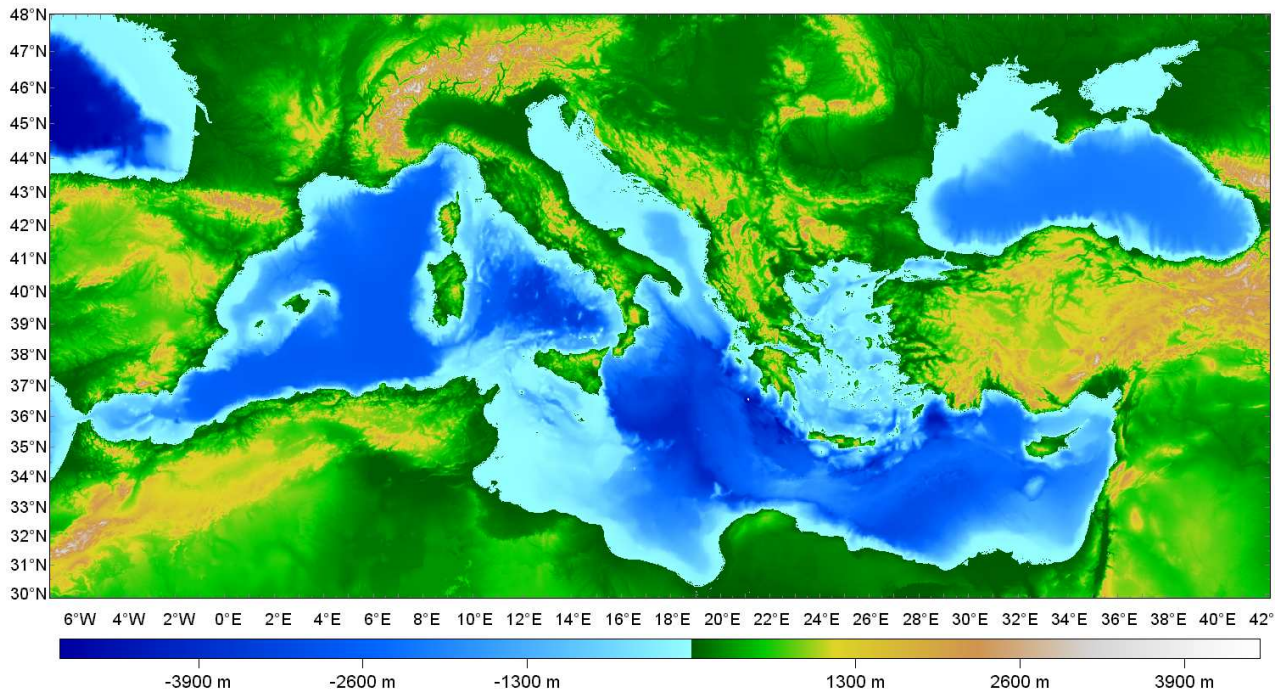
Indice	
<b>Premessa</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduzione</b>	
I Cetacei del Mediterraneo.....	7
Brevi cenni sullo studio del comportamento dei Cetacei.....	8
La stenella: biologia e comportamento.....	9
Bioacustica.....	13
Bioacustica subacquea.....	14
Cetacei e acustica.....	16
Le ricerche del CIBRA.....	20
Nacchere.....	22
<b>Materiali e metodi</b> .....	<b>25</b>
Raccolta delle registrazioni e strumenti impiegati.....	25
Osservazioni di conferma.....	27
Analisi delle registrazioni.....	27
Risultati.....	31
Ritmo circadiano.....	31
Frequenze di risonanza.....	35
<b>Discussione</b> .....	<b>41</b>
L'ipotesi.....	41
Descrizione dell'ambiente pelagico Mediterraneo e sue variazioni circadiane.....	42
Dieta di stenella.....	45
Ecologia delle prede di stenella.....	48
Ricerca bibliografica sulla risonanza delle vesciche natatorie dei pesci.....	49
Descrizione dell'attività acustica di altre specie mediterranee di delfinidi <i>deep divers</i> e cenni sul loro comportamento.....	51
Verifica bibliografica delle capacità di modulazione dell'energia acustica emessa dai delfini.....	55
<b>Conclusioni</b> .....	<b>57</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>58</b>

## Abstract

Il CIBRA Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali dell'Università di Pavia studia il comportamento acustico dei Cetacei dal 1994. Ho fatto parte del gruppo di ricerca sin dalla sua prima crociera, nel 1994 appunto. In questi anni sono state raccolte migliaia di ore di segnali biologici prevalentemente in Mediterraneo. Fra gli altri, un segnale attribuito a stenella ha attirato la mia attenzione. Questo segnale, chiamato Nacchera dal gruppo CIBRA e ora così nominato a livello mondiale, appare come un *click* di ecolocalizzazione, ma con energia e risonanze alle basse frequenze (<10kHz). Ha inoltre un preciso ritmo circadiano, concentrandosi in corrispondenza di alba e tramonto. L'analisi acustica del segnale e la sua variazione giornaliera mi ha fatto supporre che la risonanza non fosse un suono emesso dai delfini, ma un effetto ambiente dovuto alle differenti proprietà acustiche dell'ambiente stesso. In questo lavoro sono illustrati i dati e le circostanze che lo vedrebbero legato al fenomeno delle migrazioni verticali e associato al comportamento alimentare delle stenelle.

CIBRA Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali, University of Pavia, IT, studies the acoustic behavior of Marine Mammals in the Mediterranean Sea since 1994. I'm part of the research team since that date. In all these years of activity we collected thousands of hours of recordings, mainly in the Med Sea. Among others, one signal related to Striped dolphins attracted my attention. This signal, called Nacchera by CIBRA team, is similar to an echolocation click, but with energy and resonances at low frequency (<10kHz). It also has a well defined diel repetition, being present at dawn and dusk. The acoustic analysis and its daily cycle, suggested me that the resonance may be not emitted by dolphins, but a result of diel variations of environment's propagation properties. In this study I explained the data and circumstances that may link Nacchere to vertical migrations and feeding behavior of striped dolphins.





## Premessa

Il Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali dell'Università di Pavia inizia ad operare nel campo della bioacustica subacquea applicata ai mammiferi marini alla fine degli anni ottanta. Nel 1994, grazie a finanziamenti dell'allora Ministero della Marina Mercantile, organizza la sua prima crociera di ricerca in Mediterraneo. Ho avuto l'opportunità di essere parte dell'equipaggio di quella prima crociera, e da allora ho partecipato a tutte le attività di campo e laboratorio del Centro. Questo mi ha permesso di seguire, ed essere parte, dell'evoluzione sia delle metodologie che delle tecnologie di studio, e dei risultati conseguiti.

Durante i primi anni di attività, le ricerche sono state svolte da piccole imbarcazioni a vela/motore, funzionali ma con autonomia limitata, e soggette alle condizioni meteo marine. Lo studio era focalizzato sul comportamento acustico del capodoglio (*Physeter macrocephalus*), ma registrazioni "opportunistiche" venivano raccolte in presenza di qualsiasi segnale biologico, in quanto erano ancora da descrivere i repertori acustici di molte specie. Le crociere si sono svolte principalmente, ma non solo, in Mar Ligure. La specie più frequentemente incontrata era la stenella striata (*Stenella coeruleoalba*). In breve, decine e poi centinaia di ore di registrazione di questo animale sono state raccolte,

catalogate e incluse nella nostra *Sound library* (Priano, 1997). L'analisi delle registrazioni ci ha permesso di definire il repertorio acustico di questa specie, ma il mio interesse si è concentrato su un particolare suono non descritto dagli altri scienziati, da noi battezzato "nacchere". Questa tesi verte principalmente su questo aspetto delle vocalizzazioni di stenella e cerca di fornirne un quadro ambientale e comportamentale.

Dal 1999 abbiamo poi avuto il privilegio di essere partner del NURC (NATO *Undersea Research Centre*) di La Spezia, nell'ambito del progetto SOLMAR (*Sound, Oceanography and Living Marine Resources*). Il CIBRA, in particolare, era finanziato da ONR (*Office of Naval Research, US Navy*) per la "*Bioacoustic characterization of the Mediterranean Sea*" che formalmente includeva ricerche acustiche su tutte le specie di cetacei presenti in Mediterraneo. La piattaforma utilizzata durante le crociere di ricerca è stata (e lo è tutt'ora) l'RV Alliance, nave oceanografica di circa 100mt di lunghezza, progettata e realizzata per essere la nave di superficie più silenziosa al mondo (figura 1).



Fig. 1 NATO RV Alliance

Il suo utilizzo, insieme al progredire delle capacità dei computer e delle tecnologie digitali di acquisizione e archiviazione dati, ha dato un forte impulso alla qualità e quantità delle ricerche eseguite, e ha permesso di evidenziare il fenomeno delle "nacchere" oggetto di questa tesi di Dottorato.

# Introduzione

## I cetacei del Mediterraneo

Nel mar Mediterraneo sono considerate regolari 8 specie (Notarbartolo, 1994): balenottera comune *Balaenoptera physalus*; capodoglio *Physeter macrocephalus*; zifio *Ziphius cavirostris*; globicefalo *Globicephala melas*; grampo *Grampus griseus*; tursiope *Tursiops truncatus*; stenella striata *Stenella coeruleoalba*; delfino comune *Delphinus delphis*. Sulla loro distribuzione e ancor meno sulla dimensione delle loro popolazioni le notizie e i pareri degli scienziati non sono univoci. Ricerche sistematiche e ad ampio raggio in tal senso non sono mai state svolte. Il diverso approccio (visivo o acustico) dei vari gruppi di ricerca spesso dà risultati discordanti. La generale carenza di fondi e la dispendiosità della ricerca in mare non hanno ancora permesso di ottenere un monitoraggio dell'intero bacino Mediterraneo. Sembra comunque assodato che il mar Ligure, con il suo fenomeno di *upwelling*, alla base della catena trofica, sia una zona in cui molti animali si concentrano almeno durante il periodo estivo. E' anche, a onor del vero, la zona più studiata.

Oltre alle specie citate, ve ne sono alcune definite occasionali (balenottera minore *Balaenoptera acutorostrata*; orca *Orcinus orca*; pseudorca *Pseudorca crassidens*; steno *Steno bredanensis*) e altre ancora accidentali.



Anche qui, però, il set di dati a disposizione è limitato, e ad esempio, negli ultimi anni, si sono avuti più avvistamenti di megattera (*Megaptera noveangliae*), considerata accidentale, che di orca (l'ultimo, non confermato, nel 2002), considerata occasionale.

## Brevi cenni sullo studio del comportamento dei cetacei

Comparato a quello degli animali terrestri, il livello generale di conoscenza sui mammiferi marini è ancora lacunoso, anche se negli ultimi anni, specialmente in alcuni settori, ha visto importanti progressi. Una ragione molto semplice è il fatto che la maggior parte di

essi passano la loro vita in mare aperto, un ambiente non facile da praticare. In secondo luogo, la quasi totalità delle loro attività avviene sott'acqua, al di fuori del campo visivo dei ricercatori. Osservazioni sistematiche sono state eseguite solo in cattività o per alcune specie con abitudini costiere, ma a stretto contatto con l'uomo o comunque in ambienti antropizzati. Queste osservazioni, per quanto limitate, sono state utilizzate per tentare spiegazioni sulle abitudini di vita delle altre specie meno facilmente osservabili o che svolgono i loro comportamenti fondamentali, come la predazione, totalmente al di fuori delle nostre capacità di osservazione.

Pochi gruppi di ricerca, principalmente americani, poi, hanno avuto i mezzi per sviluppare strumenti ed esperimenti molto avanzati che hanno svelato parte del comportamento di specie pelagiche definite *deep divers*, che compiono immersioni molto profonde. Sofisticatissimi sensori (principalmente il D-TAG sviluppato da Woods Hole Oceanographic Institution, USA; Johnson, 2003) da attaccare sul dorso degli animali hanno registrato i loro movimenti in profondità e le loro vocalizzazioni in un contesto abbastanza definito (profondità, tempo d'immersione, velocità, orientamento). In altri casi sono stati seguiti in "remoto" grazie a serie di idrofoni (per uso militare) montati sul fondo del mare. In ogni caso, comunque, l'acustica ha svolto un ruolo importantissimo nell'interpretazione del loro comportamento. A maggior ragione, dove non arrivano le osservazioni o gli strumenti, l'acustica passiva è l'unico mezzo per mantenere il contatto con questi animali ogni qual volta iniziano un'immersione.

Estrapolazioni di questi pochi ma illuminanti lavori sono largamente utilizzate per descrivere il comportamento alimentare dei capodogli in Mediterraneo, per esempio, basandoli solo sull'analisi acustica delle sue vocalizzazioni (Drouot, 2004).

## La stenella: biologia e comportamento

### *Inquadramento sistematico e descrizione*

Regno: Animalia

Phylum: Chordata

Classe: Mammalia

Ordine: Cetacea

Sottordine: Odontoceta

Famiglia: Delphinidae

Genere: *Stenella*

Specie: *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833)

Nomi comuni:

IT *Stenella striata*

EN *Striped dolphin*

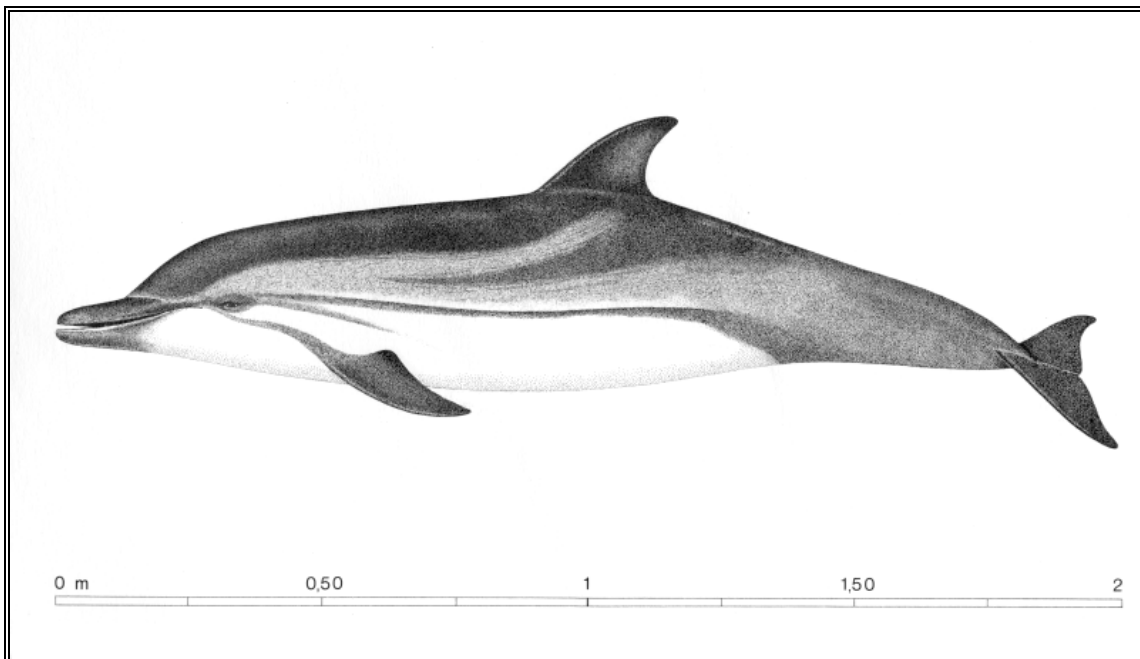


Fig. 2 *Stenella striata* (dis. E. Demma).

La *Stenella striata* (figura 2) è un delfinide di piccole dimensioni che condivide le forme tipiche del genere *Stenella* oltre che del genere *Delphinus*. Ha una pinna dorsale falcata e un rostro moderatamente lungo. E' caratterizzata da una livrea grigio scura che tende al bianco/rosa verso le zone ventrali. Caratteristica distintiva della specie è una banda

chiara/bianca sui fianchi con un evidente "baffo" che va dalla zona posteriore del capo verso la pinna dorsale. Dal rostrò, di colore scuro, si diparte una striscia nera che avvolge la regione dell'occhio e procede sottile, biforcandosi, da un lato verso la regione anale e dall'altro verso la pinna pettorale.

Possiede da 40 a 55 piccoli denti per ogni arcata (figura 3).

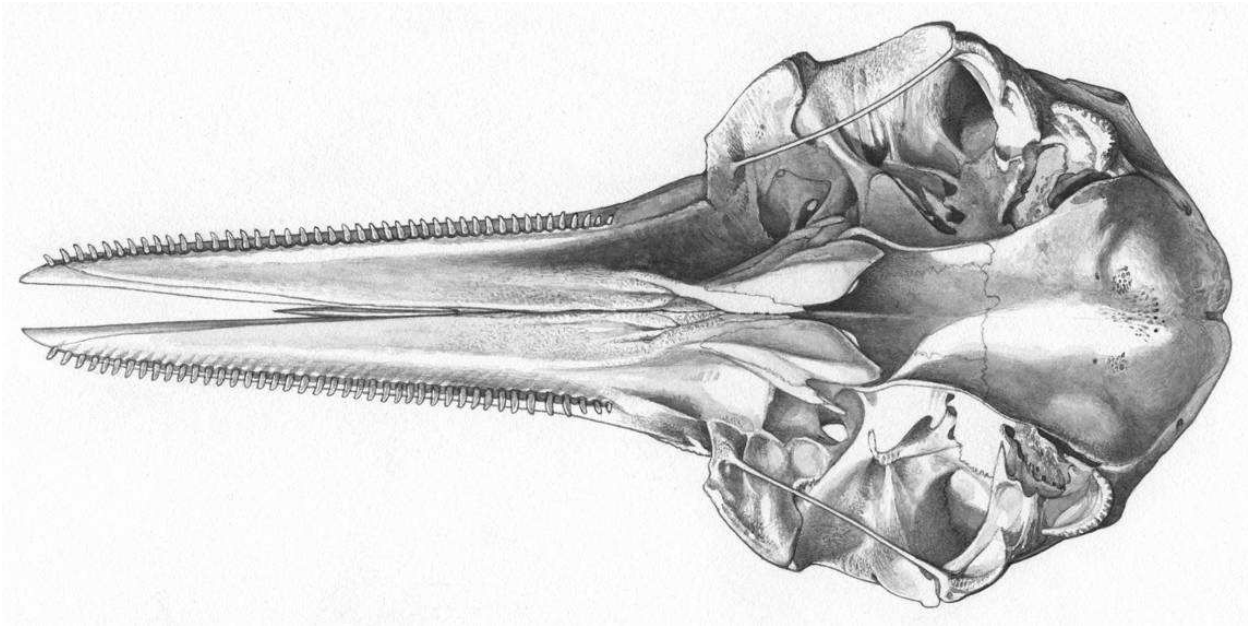


Fig. 3 Cranio di stenella, pianta palatale (dis. E. Demma).

Gli adulti possono superare di poco i 2,5 m e i 150 kg di peso sebbene le popolazioni mediterranee presentino dimensioni più piccole (2 m per 80-120 kg). I piccoli appena nati misurano poco meno di un metro. La specie presenta un modesto dimorfismo sessuale con i maschi lievemente più grandi delle femmine.

#### *Distribuzione e habitat*

La specie è diffusa in tutte le acque temperate e calde del pianeta (Perrin, 1994) con il limite dei 50°N e i 40°S. E' la specie di cetaceo più comune nel Mar Mediterraneo.

Alcuni studi suggeriscono (Aguilar, 2000) che le popolazioni Mediterranee e quelle Nord Atlantiche orientali siano tra loro isolate.

E' un animale tipicamente pelagico che predilige le acque profonde ad alta produttività dove si ciba di pesci, cefalopodi mesopelagici e, in misura ridotta, crostacei. E' possibile osservarla in prossimità delle coste dove il gradiente batimetrico è particolarmente ripido. In queste aree il suo comportamento alimentare varia, includendo pesci, molluschi e

crostacei bentonici.

### *Comportamento e acustica*

È una specie spiccatamente gregaria e vive in genere in gruppi di 10-40 unità (in Mediterraneo la media è 26.5), che tuttavia possono occasionalmente assembrarsi in supergruppi di parecchie centinaia di esemplari. La *Stenella striata* può occasionalmente essere osservata in gruppi misti con altre specie (perlopiù *Delphinus delphis* ma anche *Grampus griseus*). È confidente con l'uomo e spesso si avvicina alle imbarcazioni per cavalcarne l'onda di prua.

Per quanto diffusa e facilmente avvistabile, è poco conosciuta nel suo comportamento. Poche sono le descrizioni della struttura sociale perlopiù derivate da osservazioni condotte in acque giapponesi. Ha probabilmente elaborato strategie comportamentali collaborative per fare fronte alle primarie esigenze di difesa e alimentazione, come descritto per altre specie appartenenti allo stesso genere.

La *Stenella* è poco indagata anche sotto il profilo acustico. Negli ultimi anni si sono iniziate a raccogliere importanti quantità di dati acustici da animali in mare; alcune interessanti osservazioni provengono invece da studi opportunistici in caso di brevi mantenimenti di esemplari in ambienti controllati susseguenti a eventi di spiaggiamento.

Produce perlopiù fischi modulati fra pochi kHz e oltre 20 kHz, nonché clicks di ecolocalizzazione con maggior energia fra 40 e 150 kHz (figura 5). Sembra sia in grado di produrre simultaneamente fischi e click. Le strutture preposte alla produzione dei due tipi di suoni sono infatti distinte (Fulton, 2005). In figura 4 è schematizzato l'apparato respiratorio dei delfini con le annesse strutture deputate alla produzione dei suoni.



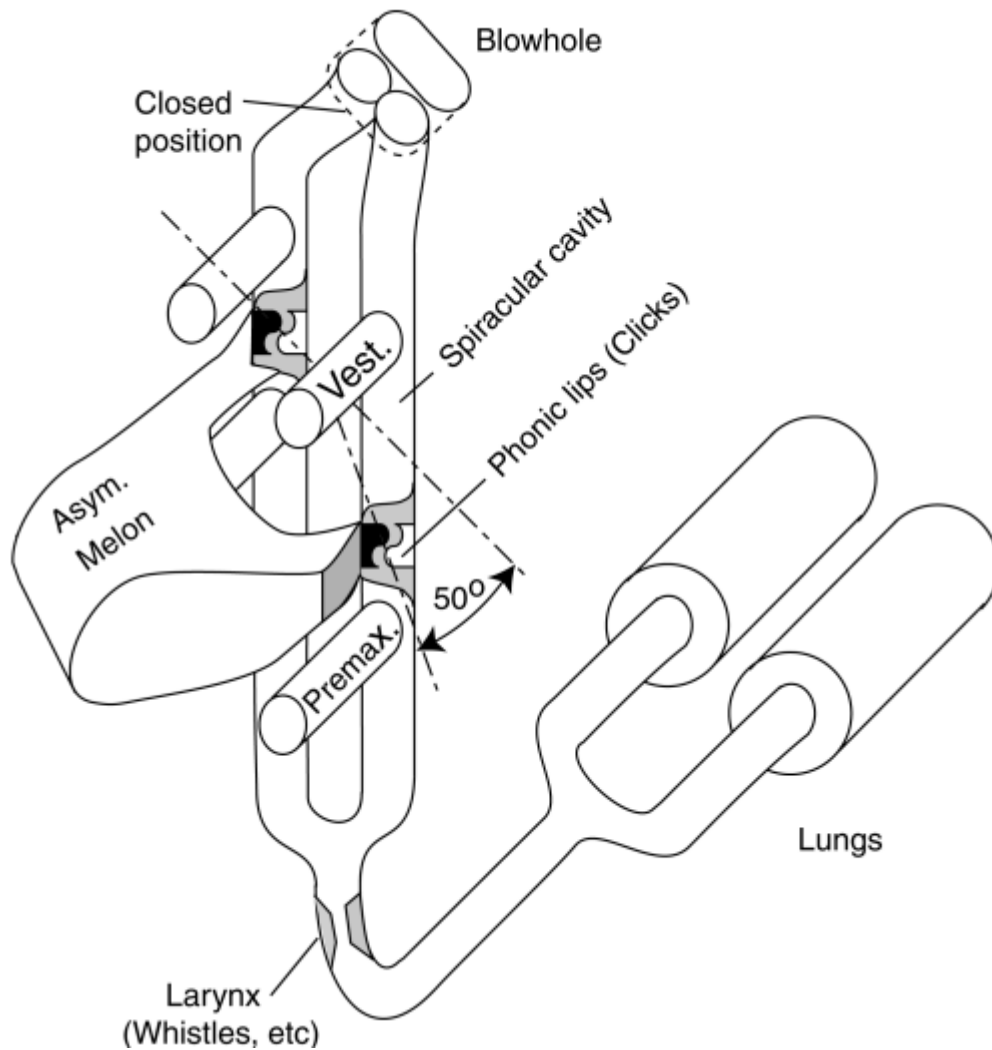


Fig. 4 (da Fulton, 2005) Schematizzazione apparato respiratorio e strutture acustiche connesse.

La stenella frequentemente emette rapide sequenze di click (chiamate burst, in figura 5) che al nostro orecchio appaiono tonali. A questi suoni sono dati i più svariati nomi, mugolii, miagolii, ecc. I fischi modulati appaiono spesso in sequenze con forme identiche e si ritiene che ciascun individuo abbia un proprio fischio firma, con una forma di modulazione costante e riconoscibile, e altre tipologie di fischi variabili in funzione del contesto. Studi in tal senso sono stati svolti dal CIBRA in collaborazione con l'Acquario di Genova. In occasione della nascita di piccoli delfini (tursiopi), evento non infrequente nei delfinari e acquari, si sono seguite acusticamente (e visivamente) le fasi immediatamente seguenti il parto e il periodo di crescita del piccolo. Si è notato che la madre ha aumentato significativamente la frequenza di ripetizione di quello che era considerato il suo fischio



firma. Il piccolo ha mostrato di apprendere e progressivamente imitare il fischio della madre, modificandone un piccolo tratto, fino a farne il proprio fischio firma. Per quanto l'esperimento sia stato svolto in cattività, è ragionevole supporre che in natura si verifichi lo stesso processo (Gnone, 1997).

Tornando alle stenelle in natura, studi recenti rivelano che l'attività acustica è decisamente maggiore di notte, in particolar modo nei periodi di alba e tramonto.

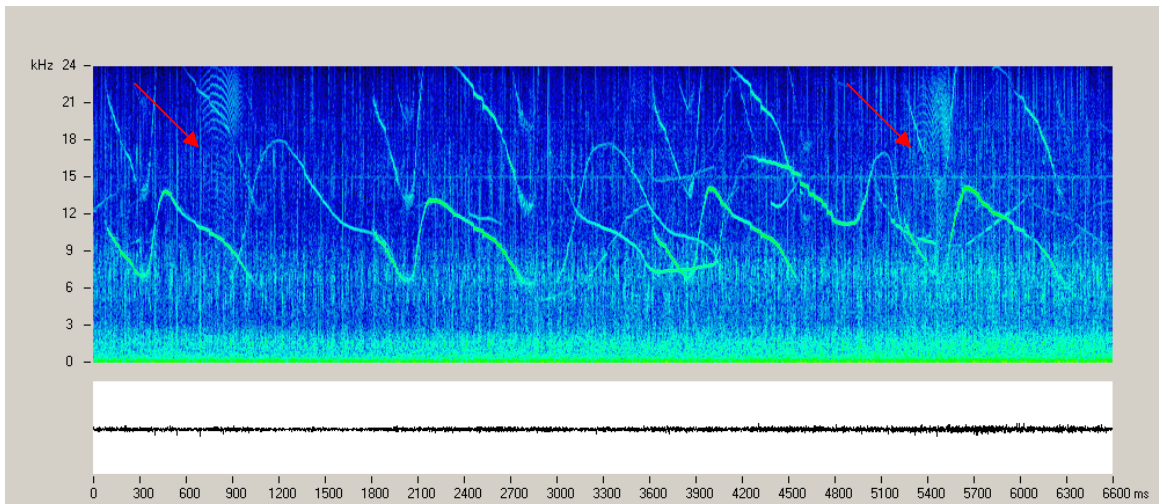


Fig. 5 Registrazione di suoni emessi da un gruppo di stenelle. I fischi di diversi animali si sovrappongono, ma si notano forme ricorrenti probabilmente emesse da uno stesso individuo. Le frecce indicano due *bursts* di *clicks*.

### Status

*Stenella coeruleoalba* è inserita in Appendice II CITES; è attualmente classificata come Least Concern (LC) nella Red List della IUCN ma, per la popolazione mediterranea a causa dei numerosi e potenziali rischi a cui è sottoposta (mortalità da epidemie, alti livelli di contaminanti, catture accidentali durante operazioni di pesca, sovrasfruttamento delle risorse ittiche) è stato proposto il suo inserimento tra le specie indicate come Vulnerable (VU).

### Bioacustica

L'acustica subacquea è una branca dell'acustica che studia la propagazione del suono sott'acqua. Le prime indagini sul suono sott'acqua sono state effettuate dalle Marine Militari per individuare e localizzare le navi e i sommergibili del nemico ascoltando il rumore dei loro motori ed eliche. Le stesse apparecchiature sviluppate per esigenze militari hanno permesso di ascoltare suoni inaspettati, che per molti anni hanno lasciato

perplexi gli esperti, e hanno aperto nuovi filoni di ricerca scientifica: l'oceanografia acustica e la bioacustica marina.

L'acustica subacquea è strettamente collegata con lo sviluppo del SONAR (Sound Navigation And Ranging), che permette di rilevare gli ostacoli sottomarini e di misurare la profondità dell'acqua per rendere più sicura la navigazione. Il sonar può essere attivo o passivo. I sonar attivi emettono suoni e per ascoltare l'eco riflessa dagli oggetti sott'acqua. I più avanzati permettono di mappare le caratteristiche del fondo marino e di discriminare tra i diversi oggetti, ad esempio per trovare le mine. I sonar passivi ascoltano semplicemente i suoni emessi sott'acqua dalle navi, dai sottomarini, e anche dalle balene. I principali progressi nello sviluppo del sonar passivo sono stati inizialmente realizzati per scopi militari, cioè per individuare i sottomarini e le navi per mezzo del rumore emesso dai loro motori ed eliche. Gli idrofoni, una volta coperti da segreto militare, che sono stati utilizzati per l'ascolto di sottomarini, stanno ora fornendo dati acustici per più pacifici scopi. Gli scienziati possono ora ascoltare le balene, inseguire i pesci e anche misurare le variazioni della temperatura globale per mezzo del suono (ATOC - Acoustic Thermometry of Ocean Climate): infatti le onde acustiche si muovono più velocemente in acqua calda che in acqua fredda; misurando il tempo che impiega il suono a viaggiare sott'acqua tra due punti, gli scienziati possono stimare la temperatura media lungo tale percorso.

La bioacustica è una branca della zoologia, strettamente legata all'etologia, il cui oggetto è lo studio della produzione e della ricezione dei suoni negli animali e dei loro sistemi di comunicazione attraverso l'uso dei suoni. La bioacustica studia anche gli organi dell'udito e gli apparati che producono i suoni così come i processi fisiologici con cui vengono prodotti e ricevuti ai fini della comunicazione, nonché ai fini dell'ecolocalizzazione. Infine, con la bioacustica, si cerca di comprendere le relazioni tra le caratteristiche dei suoni che un animale produce e la natura dell'ambiente in cui sono utilizzati e le funzioni che sono destinati ad assolvere. Il suo sviluppo risale a circa il 1950, quando strumenti di registrazione e metodi di analisi sono diventati disponibili per la comunità scientifica.

### **Bioacustica subacquea**

La bioacustica subacquea studia il comportamento acustico degli animali acquatici e le caratteristiche acustiche dell'ambiente sottomarino in cui emettono suoni. In ambiente sottomarino la comunicazione acustica svolge un ruolo cruciale: l'alta velocità di propagazione (circa 1500 m/sec, cinque volte più in aria) e la bassa attenuazione con la distanza consentono una trasmissione efficace dei segnali acustici.

Molte specie utilizzano suoni non solo per comunicare ma anche per esplorare l'ambiente che li circonda. La vista, che in acqua è limitata a pochi metri di distanza e che non può essere utilizzata nelle buie profondità oceaniche, è dunque sostituita con l'uso del suono.

Molti degli organismi che vivono sott'acqua, o vicino l'interfaccia tra aria e acqua, producono suoni: invertebrati, anfibi, rettili, pesci, mammiferi. Nell'ambiente marino le sorgenti acustiche biologiche sono principalmente rappresentate da invertebrati (gamberi, per esempio), pesci e mammiferi marini (cetacei e pinnipedi). Lo studio della comunicazione acustica subacquea è un settore importante della bioacustica. Essa riguarda non solo le caratteristiche dei segnali acustici mediante i quali gli organismi comunicano ed eco localizzano, ma anche la struttura degli organi per la produzione e la ricezione di segnali, le caratteristiche acustiche dell'ambiente attraverso il quale i segnali si propagano, come pure lo sviluppo di strumenti idonei ad individuare ed analizzare i suoni.

Oltre a studiare le caratteristiche tipiche di ogni specie al fine di comprendere il loro significato biologico ed ecologico, la bioacustica marina si occupa anche dello sviluppo di applicazioni pratiche per la gestione e la conservazione dell'ambiente. Gli animali marini non possono essere visti quando si immergono (alcune specie di cetacei possono immergersi per più di 40-50 minuti, e sono state registrate immersioni di zifio di 69 minuti) o quando sono troppo lontani dall'osservatore. Ma i suoni che questi animali emettono viaggiano così bene in acqua che è possibile ascoltarli a distanza di molti chilometri, in alcuni casi fino a decine di chilometri e più. Tramite l'ascolto di questi suoni è possibile sapere quali specie sono presenti una determinata area, censirli e anche, entro certi limiti, capire cosa stanno facendo e come sfruttano le risorse disponibili.

Molti progetti di ricerca sono mirati allo studio di acustica e bioacustica subacquea in relazione al problema della conservazione della fauna e dell'impatto ambientale delle attività umane. Obiettivi scientifici connessi con il monitoraggio e la gestione dell'ambiente marino possono beneficiare di questi metodi di studio non invasivo quali la rilevazione della presenza di alcune specie, sulla base dei loro segnali acustici specie specifici. La capacità di rilevare e riconoscere la firma acustica di ciascuna specie, permette l'identificazione a distanza e, in alcuni casi, lo studio, il monitoraggio e il censimento degli animali, anche ad elevate distanze o quando è impossibile l'osservazione visiva. Inoltre, l'acustica può essere utilizzata per sviluppare entrambi i dispositivi attivi e passivi di dissuasione per mettere in guardia i cetacei che ecolocalizzano per esempio sulle reti da pesca e quindi per impedire la loro accidentale cattura. Poiché la ricerca bioacustica comporta l'individuazione, la classificazione sistematica e l'analisi delle emissioni

acustiche degli animali, librerie sonore zoologiche (fonoteche zoologiche) sono di primaria importanza. Le fonoteche sono istituzioni nazionali e internazionali il cui compito principale è quello di raccogliere, catalogare e conservare le registrazioni delle emissioni sonore degli animali e renderle disponibili alla comunità scientifica, nonché a fini didattici.

Molti organismi acquatici producono suoni. Invertebrati (soprattutto crostacei), pesci, mammiferi marini (Cetacei e Pinnipedi), producono suoni con frequenze che vanno dagli infrasuoni agli ultrasuoni. Tutti questi segnali acustici vengono emessi in un ambiente complesso e rumoroso (rumorosità cui l'uomo contribuisce in modo significativo con le sue attività). Produzioni sonore in crostacei e pesci sono abbastanza comuni anche se non esaustivamente studiate; nei pesci Teleostei più di 50 famiglie comprendono specie che utilizzano i suoni per comunicare, di solito con frequenze inferiori a qualche kHz e bassa intensità del suono (in questo caso la portata è limitata a brevi distanze). Al contrario, i Cetacei utilizzano estesamente il suono, con livelli sonori che permettono la comunicazione su lunghe distanze, ultrasuoni e impulsi acustici che permettono di ecolocalizzazione con precisione un bersaglio fino a centinaia di metri.

### **Cetacei e acustica**

I Cetacei si dividono in due sottordini, gli Odontoceti, provvisti di denti, e i Mysticeti, o balene con fanoni, ognuna con comportamenti e caratteristiche acustiche peculiari.

Gli Odontoceti sono cacciatori attivi che inseguono e catturano le loro prede utilizzando una varietà di sensi. Essi possono variare in dimensione da poco più di 1 metro a più di 18 (capodoglio).

Si nutrono principalmente di pesci e cefalopodi e differenti specie sfruttano diverse nicchie ecologiche. Alcuni animali, come la focena, cacciano nelle acque più basse della battigia, mentre all'altra estremità animali come il capodoglio e lo zifio possono immergersi a profondità di 1000 e più metri. Solo alcune specie vivono nelle acque dolci dei fiumi intertropicali.

Al fine di localizzare e catturare le loro prede in acqua dove la visibilità è generalmente molto scarsa (la maggior parte della luce penetra l'acqua per non più di 30-40 metri), questi animali hanno sviluppato l'ecolocalizzazione. Questa consiste nell'emissione di brevi impulsi a banda larga, i click, che coprono oltre quattro ottave, con frequenze che possono raggiungere i 150 kHz. L'intervallo di ripetizione è dell'ordine di 50-500ms (alcune specie hanno intervalli riconoscibili) nella normale ricognizione e diminuisce fino a pochi millisecondi quando viene focalizzata una possibile preda o deve essere investigato un

oggetto. Il meccanismo con cui viene prodotto l'impulso ad alta potenza non è ancora pienamente compreso e poche sono le specie finora studiate, per le ovvie difficoltà di stabilizzazione o studio in natura.

Il suono è prodotto appena al di sotto della spina nasale ed è quindi focalizzato da una combinazione di riflessioni fuori del cranio e dal passaggio attraverso una sorta di lente acustica costituita dal melone, una massa (di forma variabile da quasi sferica a lenticolare) di tessuti grassi collocata frontalmente al cranio dell'animale (vedi figura 6).

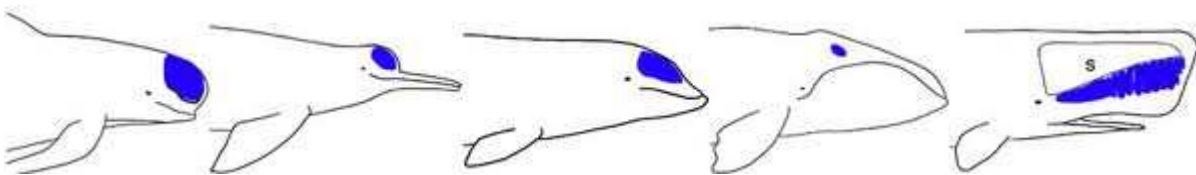
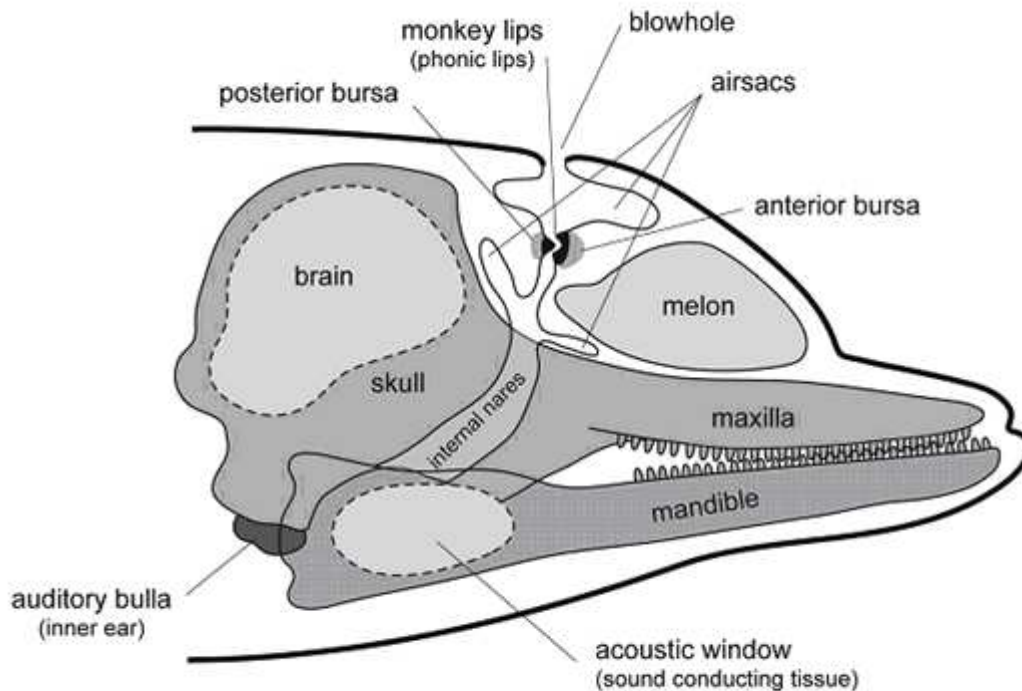


Fig. 6 Posizione del melone in alcuni cetacei

Dopo che emettono un impulso ascoltano gli echi riflessi dall'ambiente circostante, da ostacoli e da prede. Il loro sistema ricevente sembra utilizzare il tipico orecchio dei mammiferi, ma è anche assistito da canali acustici ripieni di grassi nella mandibola e forse anche dai denti inferiori che potrebbero fungere da antenna acustica. Il suono viene condotto dalla regione sottomandibolare all'orecchio interno attraverso "canali" di tessuto adiposo specializzato (figura 7).

### Schematic illustration of a dolphin's head anatomy



### *Sound generator: The Monkey Lips/Dorsal Bursae Complex (MLDB)*

Fig. 7 Anatomia del sistema uditivo, da Cranford, 1996

Oltre ai segnali di ecolocalizzazione, la maggior parte degli Odontoceti produce fischi tonali per la comunicazione intraspecifica. Essi possono anche produrre un terzo tipo di suono, che può essere descritto come un lamento o un ronzio. È prodotto attraverso l'emissione di clic di ecolocalizzazione a bassa potenza e ad alta frequenza di ripetizione. Sono stati registrati tassi di ripetizione di ben oltre 1000 impulsi al secondo.

I Mysticeti sono filtratori e si nutrono di plancton e piccoli pesci; appartengono al sottordine i cetacei più grandi, (con esclusione del capodoglio che è un Odontocete) con dimensioni che variano dalla balenottera minore (8 metri in media) fino alla balenottera azzurra (28 metri e più), il più grande animale vivente. Si nutrono catturando una grande quantità di acqua all'interno della loro bocca e poi espellendo l'acqua attraverso filtri formati dai fanoni, formazioni cornee che prendono il posto dei denti. I fanoni catturano il plancton e i piccoli pesci che vengono poi ingeriti. Poiché non hanno bisogno di inseguire le singole prede, per quel che ne sappiamo oggi, i Mysticeti non hanno sviluppato meccanismi di ecolocalizzazione. Emettono principalmente suoni tonali a bassa frequenza per la comunicazione inter-specifica anche se vi è qualche evidenza che la balenottera comune e l'azzurra sono in grado di emettere segnali modulati in frequenza che possono essere

potenzialmente utilizzati per ottenere una "immagine acustica" a larga scala dell'ambiente. Poiché le basse frequenze si propagano bene in acqua, i suoni dei Mysticeti possono propagarsi per centinaia di chilometri.

L'ambiente subacqueo ha le sue peculiarità acustiche e i Cetacei si sono straordinariamente ben adattati a queste. In questi mammiferi la comunicazione acustica ha acquisito un ruolo privilegiato rispetto ad altri canali di comunicazione. I meccanismi uditivi e gli organi che producono il suono si sono altamente evoluti e diversificati con l'acquisizione della capacità di ecolocalizzare (biosonar, o sonar biologico), peculiare degli Odontoceti, e tra gli altri animali ha raggiunto un livello equivalente di complessità e accuratezza solo nei pipistrelli (Chiroteri).

La produzione di segnali acustici è estremamente varia e va dalle frequenze molto basse delle grandi balene agli impulsi ad ultrasuoni dei delfini che ecolocalizzano. I brevi segnali del biosonar ("*click*") dei piccoli odontoceti hanno frequenze di picco da 70 kHz a più di 150 kHz, con livelli alla sorgente fino a 230 db re 1 $\mu$ Pa/1m. I segnali per la comunicazione sociale sono in genere inferiori ai 25 kHz negli Odontoceti e ai 5 kHz nei Mysticeti, con livelli alla sorgente che variano da 120 a più di 190dB re 1 $\mu$ Pa/1m.

La balenottera comune *Balaenoptera physalus*, l'unico misticete costantemente presente nel Mar Mediterraneo, emette segnali per lo più a infrasuoni (20-40 Hz) con un livello alla sorgente fino a 186 db re 1 $\mu$ Pa/1m, che sono emessi in lunghe sequenze e possono essere rilevati a grandi distanze dato che le basse frequenze si propagano in acqua con una piccola attenuazione.

Negli Odontoceti il raggio di propagazione dei segnali di ecolocalizzazione ad alta frequenza è stato osservato raggiungere diverse centinaia di metri, mentre i fischi modulati, con frequenze tipicamente inferiori a 25 kHz, sono generalmente rilevabili nel raggio di 1-5 km. I forti segnali impulsivi a banda larga (*click*) emessi regolarmente dai capodogli (*Physeter macrocephalus*) in immersione, contenenti frequenze che superano 30 kHz con un livello stimato alla sorgente di oltre 220 db re 1 $\mu$ Pa/1m (Mohl, 2000), sono invece rilevabili nel raggio di 10-15 km.

E' da sottolineare il fatto che la distanza di propagazione di un suono, a parità di condizioni oceanografiche, non è solo dipendente dalla sua intensità all'origine. Il mare infatti funge da filtro passa basso, cioè attenua molto di più le alte frequenze rispetto alle basse. In pratica, un suono a bassa frequenza si propaga meglio, ed è quindi udibile più lontano, di un suono ad alta frequenza. In ogni caso la propagazione del suono in acqua segue leggi molto complicate, continuamente variabili, dipendenti da molteplici fattori. In

figura 8 è rappresentato un modello di propagazione dipendente dal profilo di velocità del suono nella colonna d'acqua.

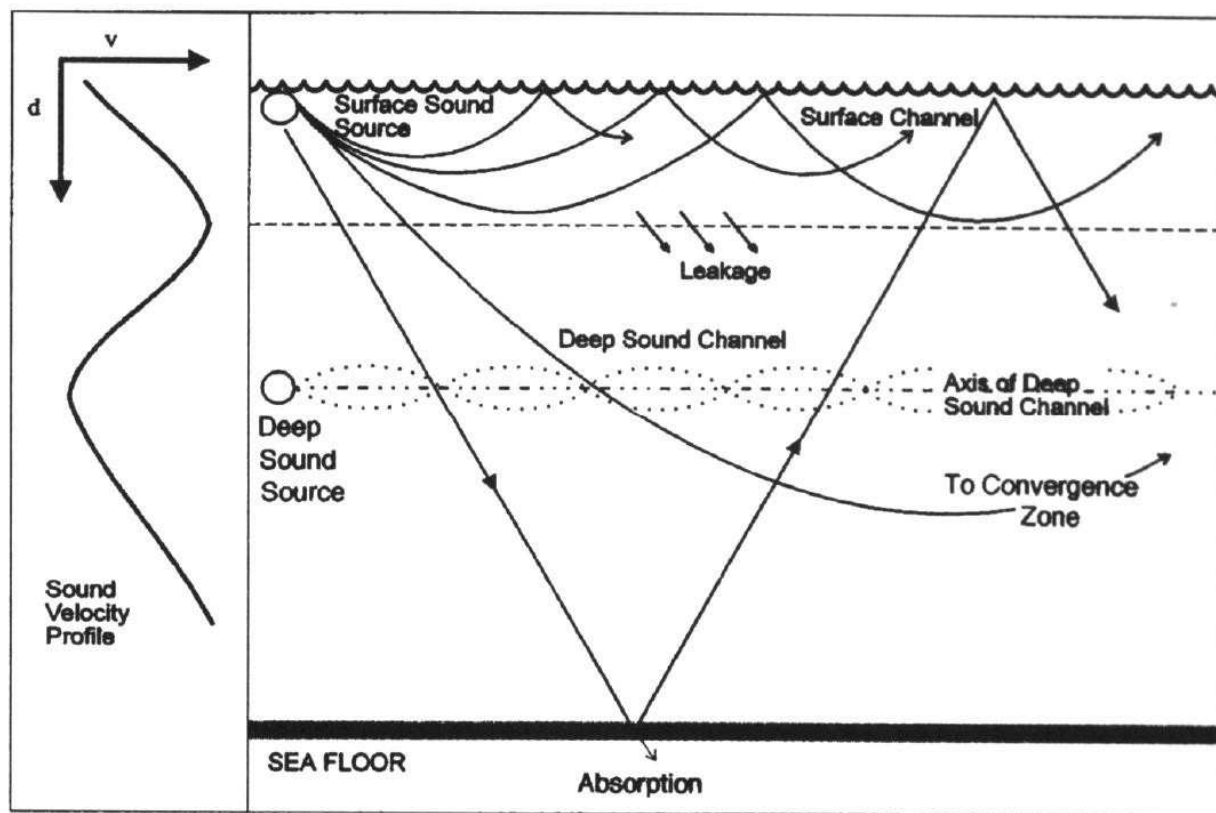


Fig. 8 Esempio di modello di propagazione del suono in mare.

### Le ricerche del CIBRA

L'attività di ricerca in campo propria del CIBRA è iniziata nel 1994 ed è proseguita fino ad oggi con una serie di crociere di ricerca a cadenza almeno annuale, dapprima limitatamente al Mar Mediterraneo, e successivamente, dal 2004, nella maggior parte degli oceani del mondo, dal Polo Nord al Sud Pacifico. Le prime crociere si sono svolte a bordo di imbarcazioni a vela/motore di 14-16 mt di lunghezza, per periodi limitati (per ragioni di costi) e relativamente a corto raggio, generalmente in Mar Ligure. Il principale strumento utilizzato era un dipolo trainato le cui caratteristiche ne fanno ancor oggi un ottimo *array*. La sua sensibilità e il bassissimo *self-noise* garantivano un'ottima capacità di detezione e la risposta in frequenza copriva la gamma di frequenze di nostro interesse. Più limitata, al tempo, era la capacità di acquisizione in termini di banda e spazio per le registrazioni. I registratori digitali utilizzati (DAT Casio DA-2) arrivavano a soli 24kHz e la capacità di una cassetta digitale a nastro era generalmente di un'ora. Altra limitazione era costituita dal consumo elettrico della strumentazione, che poteva contare solo su pannelli solari e



batterie non in grado di supportare monitoraggio acustico e registrazione 24h/24h. Il protocollo di campionamento prevedeva quindi 5 minuti di ascolto ogni 20, che si estendeva per un periodo variabile in caso di contatto acustico ed eventuale registrazione dei segnali captati. I primi anni di attività hanno quindi prodotto una serie di registrazioni “opportunistiche” e frammentarie, ma che al tempo costituivano un’interessante e valida base per la categorizzazione dei repertori acustici delle specie incontrate, ancora largamente incompleti per i cetacei mediterranei. E’ stato quindi possibile cominciare a descrivere il repertorio acustico di ciascuna specie incontrata, pur nel limite della banda analizzata. Per le stenelle in particolare, è risultato chiaro che, come per altre specie dello stesso genere, esse erano in grado di emettere *clicks* legati al meccanismo dell’ecolocalizzazione (Au, 1993), treni di *clicks* variamente spazati temporalmente, e fischi, cioè suoni modulati in frequenza con significato sociale.

Le ricerche hanno poi beneficiato di un notevole salto di qualità dovuto in parte all’avanzamento tecnologico digitale, in parte alla collaborazione con il NURC. Verso la fine degli anni novanta, infatti, la velocità delle CPU dei computer è rapidamente aumentata, e in genere tutto il settore legato all’informatica ha visto grandi miglioramenti (applicazioni, hardware, spazio su disco...). Queste migliorie hanno permesso un rapido aumento della frequenza di campionamento utilizzando computer e schede di acquisizione standard e non più le costosissime e sofisticate strumentazioni di pochi anni prima, spesso al di là della nostra disponibilità economica. La larghezza di banda analizzata è così velocemente passata da 24 a 48 kHz, successivamente 96 e più fino a coprire l’intero inviluppo di frequenze di tutte le specie conosciute. Contemporaneamente si sono potuti abbandonare i registratori digitali a cassette e si è passati alla registrazione direttamente su disco. L’utilizzo dell’Alliance, la nave da ricerca del NURC, poi, ha aperto una serie di possibilità che l’uso di piccole imbarcazioni a vela precludeva. Una nave di quelle dimensioni infatti ha diverse settimane di autonomia, corrente elettrica illimitata, e un’ottima resistenza al mare che non costringe ad abbandonare la zona di operazioni se non per condizioni meteo particolarmente severe. Queste caratteristiche hanno reso per la prima volta possibile (dal 1999) la raccolta di registrazioni 24 ore al giorno per diversi giorni di seguito. Le analisi acustiche conseguenti hanno potuto evidenziare, per alcune specie, in particolare la stenella, un chiaro ritmo circadiano nella quantità e qualità dell’attività acustica. L’analisi acustica di queste registrazioni e il loro ritmo giornaliero hanno evidenziato un particolare e ricorrente aspetto che ha suggerito lo spunto di questo studio.

## Nacchere

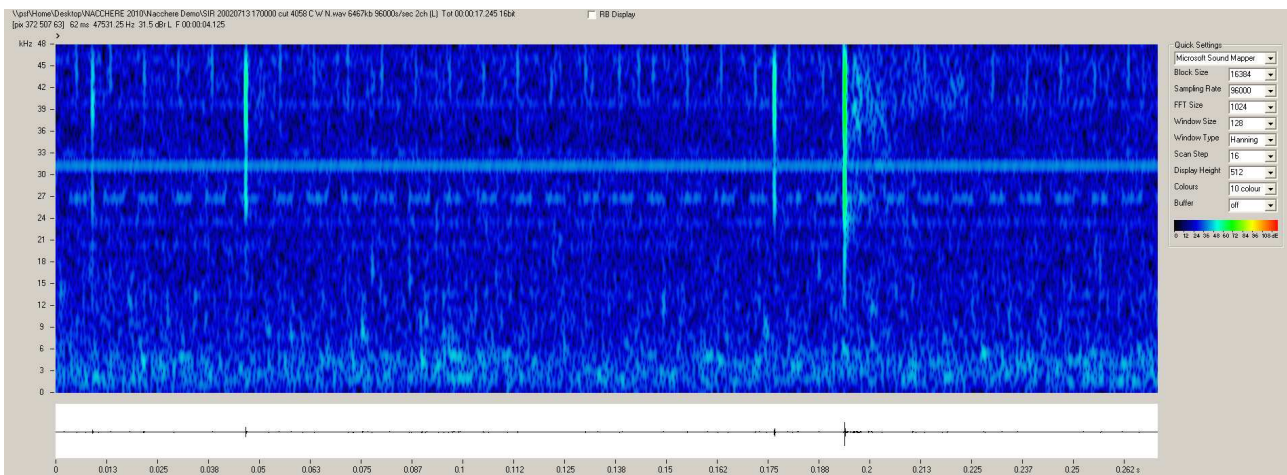
Prima di entrare in dettaglio, è importante fare una precisazione. Non è sempre possibile, attraverso l'analisi acustica, distinguere ogni singola specie, soprattutto all'interno di una stessa famiglia o genere. Non è immediato, ascoltando delle registrazioni, discriminare fra tursiope (*Tursiops truncatus*, ospite di tutti i delfinari) e stenelle. Ma è quasi, se non del tutto impossibile, distinguere una stenella striata da altre specie del suo genere o da un delfino comune. In Mediterraneo, però, la stenella striata è di gran lunga il cetaceo più abbondante in acque pelagiche (Perrin, 1994). I nostri dati di avvistamento confermano ampiamente il dato bibliografico, così come lo fanno quelli di tutti i gruppi che lavorano in Mediterraneo. L'unico delfino con il quale potrebbe essere confusa, il delfino comune (figura 9), ha abitudini costiere, ed è decisamente limitato come areale e numero di individui presenti. Per queste ragioni, le vocalizzazioni tipiche del genere stenella in Mediterraneo, quando registrate in alto mare, sono da tutti i ricercatori classificate come appartenenti alla specie stenella striata.



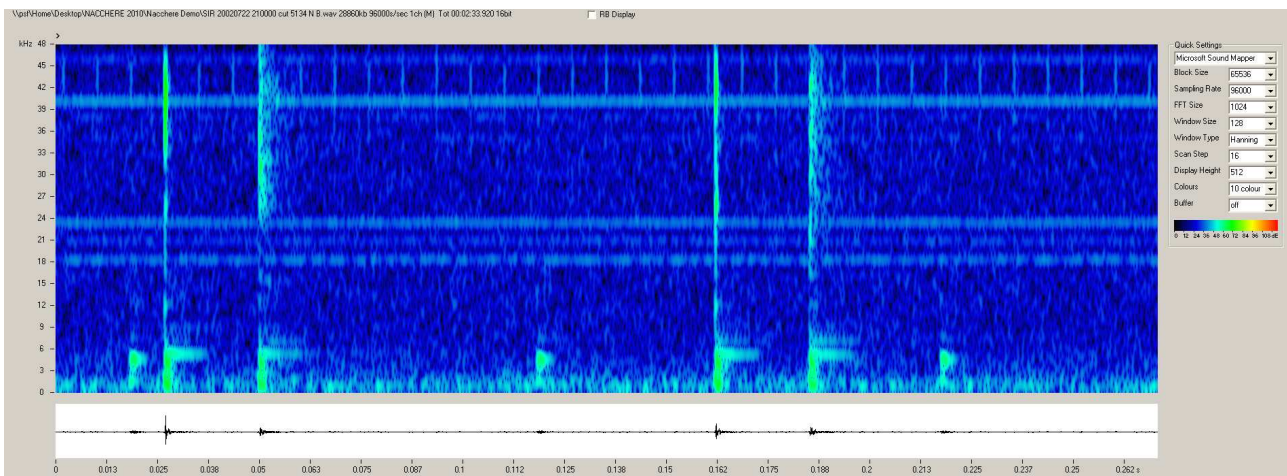
Fig. 9 Delfino comune *Delphinus delphis*

Con il progredire della tecnologia, delle possibilità di ricerca e del conseguente numero di ore di registrazioni acustiche di stenella a disposizione per l'analisi, un fenomeno ha cominciato ad attirare l'attenzione degli scienziati del CIBRA (al tempo Pavan, Fossati, Manghi e Priano). Nel contesto dei *clicks* di ecolocalizzazione, concetto ormai accettato da tutti i ricercatori (Au, 1993), sembravano comparire due differenti tipologie di *click*: uno assimilabile a quelli ben descritti in tutte le pubblicazioni in merito (generalmente a banda larga, con la maggior parte dell'energia sulle alte frequenze (> 10kHz) e durata limitata a meno di 50 microsecondi) e uno del tutto simile ma con un puntiforme, ma consistente picco di energia a bassa frequenza (variabile fra 1 e 8kHz), prolungato nel tempo. Nei due

spettrogrammi sottostanti, a 48kHz di banda e durata di circa mezzo secondo, si vede chiaramente la differenza fra *click* e *nacchera* (figura 10). In quello superiore i *clicks* sono rappresentati dalle linee verticali che non mostrano componenti al di sotto dei 10kHz, mentre in quello inferiore si nota come ci sia un forte picco di energia centrato sui 6kHz e prolungato nel tempo.



### Clicks



### Nacchere

Fig. 10 *Clicks* e *nacchere* (notare che nello spettrogramma inferiore i *click/nacchera* rappresentati sono solo due, seguiti del loro eco sulla superficie del mare).

Dapprima questo suono era stato semplicemente annotato sui log di descrizione con il termine “nacchere” (vedi figura 11), in quanto all’orecchio sembrava molto simile al popolare strumento spagnolo.

log no. 71	ora 11.810.0	rotta	ambiente elica	specie CLICKS WHISTLES	nastro no.	filtri H L	operazioni - note DEPT = 30 V = 2 N/NOTS
1019	lat 42°36'61"	beaufort			start	ampli gain	
	long 0813.150				stop	rec gain	cellph.
log no. 72	ora 11.813.0	rotta 100	ambiente elica debole Zona motore debole	specie picchi deboli	nastro no.	filtri H L	operazioni - note
1019	lat 42°36'128"	beaufort 1/2			start	ampli gain	
	long 0813.4149				stop	rec gain	cellph.
log no. 73	ora 18.50	rotta 210	ambiente traghetti	specie G. griseus (clicks, nacchere, mungiti)	nastro no. A172	filtri 500 H L	operazioni - note 12 annunci V=0; depth; PoTo a vela 1:20:05 MOTORE
1019	lat 42°36'00"	beaufort			start 09:41:00	ampli gain 40dB	
	long 08137.33				stop 1:20:47	rec gain 3	cellph.
log no. 74	ora 11.914.0	rotta	ambiente	specie CLICKING P.C.?	nastro no.	filtri H L	operazioni - note VIDEO CAS VATTI 0:00:35 → 0:13:19 START STOP 1:25 SA: MOTORE
1019	lat 42°35'103"	beaufort			start 1:20:48	ampli gain	
	long 08136.95				stop 1:29:00	rec gain	cellph.
log no. 75	ora	rotta	ambiente	specie CLICKS GRATTI + P.C.?	nastro no. A173	filtri 2M H L	operazioni - note (F1 cambio) 00:01:44 FILTRO 500
1019	lat	beaufort			start 10:00:02	ampli gain 40	
	long				stop ↓	rec gain 3	cellph.
navigazione			cibra pg. 15 /		registrazioni		

centro di bioacustica e ricerche ambientali - università di genova - italia

Fig. 11 Nella terza riga di log compare per la prima volta il termine nacchere; ore 18:50, 10 settembre 1996, Mar Ligure.

Quando poi l'estendersi dei cicli di registrazioni ha reso possibile coprire, e comparare, più giorni consecutivi 24h/24h, è risultato evidente un ritmo circadiano di presenza/assenza ben definito che ci ha fatto dedicare particolare attenzione, e studio, al fenomeno. Nel corso degli ultimi anni, un episodio banale ma illuminante mi ha permesso di costruire gradatamente un'ipotesi di spiegazione delle nacchere che le vedrebbe legate all'attività alimentare delle stenelle. Durante la preparazione di una tazza di caffè istantaneo, ho notato che il rumore del cucchiaino nella tazza, mentre mescolavo la soluzione acqua/caffè, cambiava man mano che la polvere si scioglieva. Il suono diveniva progressivamente sordo, al pari di quello che più volte ci era capitato di ascoltare in mare con i *clicks/nacchere* di stenella. In pratica, nella tazza, lo scioglimento della polvere di caffè produce una sottile schiuma, che il mescolamento distribuisce all'interno del liquido. Il suono del cucchiaino che urta le pareti della tazza, quindi, non si propaga più attraverso semplice acqua (iniziale condizione di "riposo"), ma acqua frammista a bollicine d'aria che ne cambiano le proprietà acustiche. Consultando testi di fisica acustica, non è stato difficile verificare che una bolla di gas in un liquido, una volta opportunamente insonificata,

risponde con una propria frequenza di risonanza dipendente dalla sua dimensione, pressione, forma ecc. (Brennen, 1995) Non è quindi il cucchiaino a modificare il suono emesso, ma è un effetto dell'ambiente circostante a cambiare la nostra percezione del suono stesso. La domanda che mi sono posto è quindi stata se anche nel caso delle nacchere non fosse il mezzo a cambiare ciclicamente le sue proprietà, modificando la nostra percezione dei *clicks* dei delfini. Con la collaborazione dei miei colleghi, Pavan, Priano e Caltavuturo, ho raccolto una serie di dati e indizi che compongono un quadro interdisciplinare e coerente a supporto della mia ipotesi.

## **Materiali e metodi**

### **Raccolta delle registrazioni e strumenti impiegati**

Il *dataset* preso in considerazione per questo lavoro è stato raccolto, nel corso di più anni (1994 – 2010), in Mediterraneo (Ligure, Tirreno, Sardegna, Ionio, Baleari, Alboran) e in Atlantico (Gibilterra, Portogallo). Purtroppo, registrazioni di nacchere di stenella spp o *Delphinus capensis* personalmente raccolte intorno alle Antille Olandesi (mar dei Caraibi) nel 2004 sono andate perse e quindi non incluse nel presente studio. In complesso, comunque, più di un migliaio di ore di registrazioni di nacchere sono state raccolte dal 1994 a oggi. Le specie sicuramente associate a queste registrazioni sono la stenella (in Mediterraneo) e stenella e delfino comune *Delphinus delphis* in Atlantico (talvolta osservati in gruppi misti). Come già accennato, lo strumento inizialmente utilizzato era un dipolo lungo 12 metri, con spaziatura fra i sensori di 8 metri, e 250 metri di cavo di traino elettromeccanico, realizzato nel 1992 da ALENIA-ELSAG Sistemi Navali (in figura 12) su specifiche CIBRA.



Fig. 12 Particolare dell'*array* Alenia al traino di una barca a vela (foto D.M. Rossi)

Lo strumento tipicamente veniva trainato dalla poppa delle imbarcazioni utilizzate a circa 4 nodi (poco più di 7km/h) a circa 20 metri di profondità. La risposta in frequenza era 0 – 100kHz con un picco di risonanza centrato sui 40kHz. Il segnale analogico veniva digitalizzato a 48kHz e registrato su nastro tramite un DAT Casio DA-2. L'analisi veniva poi eseguita in laboratorio con un software di analisi sviluppato da Gianni Pavan, ora chiamato SeaPro. Con l'evolversi della tecnologia, si è passati a utilizzare schede di acquisizione digitale della serie Edirol, dall'UA-5 (48kHz di campionamento) fino all'attuale UA-25EX con campionamento a 96kHz. Contemporaneamente, sono state utilizzate schede con campionamento anche superiore, come il MOTU Traveller a 192kHz. Tutte queste schede vengono collegate direttamente al PC via USB o Firewire e il segnale è gestito, visualizzato e registrato su HD da SeaPro. Oltre all'idrofono Alenia descritto, sono stati utilizzati un gran numero di altri *array* trainati pensati e realizzati presso i laboratori CIBRA ed equipaggiati con sensori diversi. Nel corso delle crociere SIRENA, poi, le nacchere sono state registrate con strumenti di derivazione militare come sonoboe (dotate di 1 idrofono sospeso a una profondità programmabile e collegate alla nave via radio VHF) o Beamformer (nello specifico una serie di 256 idrofoni acquisiti in simultanea e capaci di abbattere via software il rumore ambiente). Inoltre, le registrazioni sono state effettuate da innumerevoli imbarcazioni. Questa varietà strumentale esclude il rischio che il segnale in oggetto sia un artefatto tecnico.

Come accennato nell'introduzione, dapprima le registrazioni sono state raccolte non sistematicamente sulle 24 ore. Il protocollo d'ascolto era di 5 minuti ogni 20, e l'oggetto delle ricerche era il capodoglio. Registrazioni particolarmente chiare di stenella sono



comunque state raccolte fin dal primo anno. Il loro andamento circadiano, alla base della spiegazione fornita in questo studio, è emerso solo dopo il 1999, con l'iniziare delle crociere SIRENA. La diversa piattaforma utilizzata (una nave da ricerca con circa 30 persone di equipaggio più 25 scienziati e diverse settimane di autonomia) e gli avanzamenti tecnologici hanno permesso la raccolta di registrazioni 24h/24h su più giorni consecutivi.

### **Osservazioni di conferma**

Con il consolidarsi della nostra teoria, per quanto difficile, abbiamo cercato una conferma visiva della presenza delle stenelle in concomitanza con le registrazioni di nacchere. Al tramonto, più volte abbiamo potuto assistere “acusticamente” alla transizione da una prevalenza di click normali a nacchere. Quando possibile, sono stati seguiti gruppi di stenelle nelle ultime ore della giornata, mantenendo il contatto visivo e acustico fin oltre il tramonto, confermando acusticamente la transizione da click a nacchere nel particolare gruppo di animali seguiti. Inoltre, durante la notte, durante registrazioni di nacchere, per due volte si sono potute osservare stenelle intorno all'imbarcazione. In uno dei due casi, gli animali erano particolarmente vicini alla barca a vela al momento utilizzata, e con un faro è stato possibile vedere i delfini impegnati in attività di caccia (rapidi movimenti con repentini cambi di direzione). Tutto intorno erano ben visibili, quando illuminati, numerosissimi piccoli pesci (pochi cm di lunghezza) che saltavano spaventati dai delfini.

### **Analisi delle registrazioni**

E' possibile dividere le registrazioni effettuate dal CIBRA in due gruppi: quelle effettuate prima del 1999 e quelle successive a tale data fino a oggi. Nel primo caso, log cartacei venivano compilati ogni 30 minuti circa, con la sommaria descrizione del contenuto delle eventuali registrazioni. Le registrazioni stesse venivano successivamente riascoltate in laboratorio con l'ausilio dello spettrogramma, e descritte più precisamente utilizzando le categorie acustiche in Tabella 1. Da notare che il registratore veniva avviato solo in presenza di segnali acustici interessanti.

La mole delle registrazioni raccolte durante le campagne SIRENA, invece, ci ha spinto a creare un'interfaccia “facilmente” gestibile per la classificazione in tempo reale del segnale captato. Il software, AcLogger, sviluppato da G. Pavan, consiste in un piccolo pannello a schermo con una serie di categorie acustiche (in Tabella 1) che l'operatore deve compilare minuto per minuto.

Tabella 1 Categorie acustiche

Marine mammals' sound categories	
<b>R</b>	Regular click series typical of sperm whales (0.5 - 2 clicks / sec – 500Hz to >20kHz)
<b>CD</b>	Codas, which are patterned series of clicks typical of sperm whales. Associated with R
<b>T</b>	Trumpets, short repeated tonal sounds – normally after fluke-up, before R clicks
<b>C</b>	Generic wideband clicks (repeated in regular series)
<b>HC</b>	High frequency clicks (most energy from >20 kHz to >80 kHz)
<b>B</b>	Bursts of clicks & "buzzes" (series of clicks with high/modulated repetition rate)
<b>N</b>	Nacchere / castanets (sequences of clicks with emphasis on low frequencies)
<b>HW</b>	High frequency whistles (modulated fundamental frequency >8 kHz)
<b>LW</b>	Low frequency whistles (modulated fundamental frequency <8 kHz)
<b>ZC</b>	Ziphius clicks (20-60 kHz, centered on 40 kHz, every 400 msec)
Non biological sound categories	
<b>SN</b>	Ship Noise – either pulsed or tonal
<b>SR</b>	Sonar-like sounds

Due tasti-funzione per ogni categoria permettono di descrivere durata e intensità del segnale appunto all'interno di finestre temporali di un minuto (vedi figura 13).

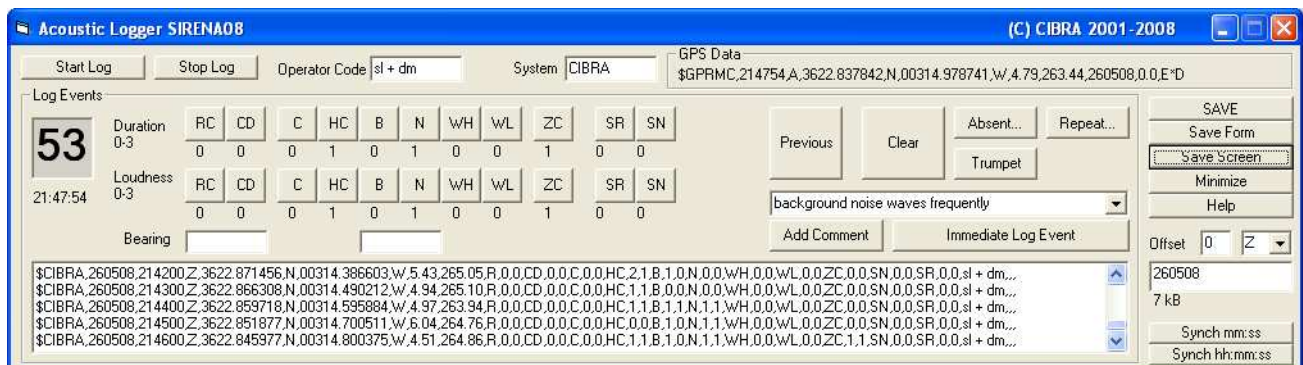


Fig. 13 Acoustic Logger

In pratica, l'operatore in turno di ascolto indossa cuffie audio e controlla lo spettrogramma del segnale captato dagli idrofoni in tempo reale. La visualizzazione del suono, molto fedele e accurata su SeaPro, permette di osservare i segnali al di fuori della banda udibile



umana, come in figura 14 (stimata in media 20Hz – 16 kHz) o con bassa intensità e quindi difficilmente udibili.

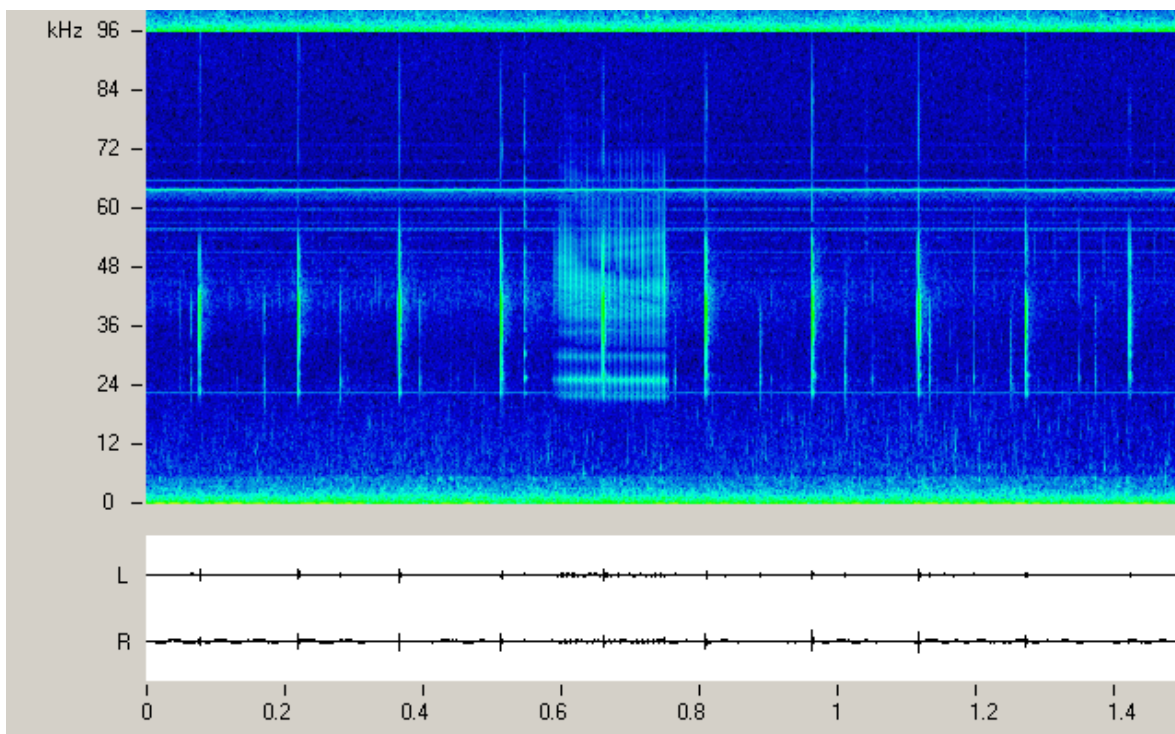


Fig. 14 Spettrogramma di grampo. I *clicks* hanno energia esclusivamente sopra i 20kHz risultando non udibili all'operatore.

Sul pannello di AcLogger, posizionato alla base dello spettrogramma, in presenza di un segnale acustico, l'operatore, con ripetuti click del mouse, seleziona il valore appropriato nella pertinente casella. Ad esempio, se viene udito un fischio di stenella, l'operatore può scegliere un valore da 0 a 3 per descriverne l'intensità (0 = appena udibile o visibile; 3 = forte). Se all'interno del minuto corrente il fischio è singolo o comunque i fischi sono molto scarsi, selezionerà 1 nel pannello dedicato alla quantità del segnale. Selezionerà invece 2 se i fischi sono presenti per circa metà del minuto, o 3 nel caso che per tutto il minuto siano presenti fischi ripetuti (Figura 15).

date	time	latitude	longitude	speed	bearing	DR	LR	DCD	LCD	DC	LC	DB	LB	DN	LN	DWH	LWH	DWL	L'
130702	173800	44.084	8.44233	5.1	37.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130702	173900	44.08516	8.44333	5.2	37.5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
130702	174000	44.08633	8.4445	5.2	37.6	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0
130702	174100	44.0875	8.4455	5.1	38	0	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0
130702	174200	44.08866	8.44666	5.2	37.8	0	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0
130702	174300	44.08983	8.44783	5.1	37.6	0	0	0	0	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0
130702	174400	44.091	8.449	5	38	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	174500	44.09216	8.45016	5.2	37.3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	174600	44.09333	8.45116	5	37.8	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	174700	44.0945	8.45216	5	37.8	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	174800	44.09566	8.45333	5	37.8	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	174900	44.09683	8.4545	4.9	37.3	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0
130702	175000	44.098	8.4555	5	37.3	0	0	0	0	3	1	1	1	2	1	2	1	0	0
130702	175100	44.099	8.45666	5	37.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
130702	175200	44.10016	8.45766	4.9	37.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
130702	175300	44.10133	8.45883	5	38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
130702	175400	44.1025	8.45963	4.9	38	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
130702	175500	44.1035	8.461	5	37.6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Fig. 15 Un estratto del file compilato da Acoustic Logger con i valori per nacchere, fischi e clicks.

In questo modo, già alla fine di ogni crociera, è possibile sapere quando e quanto un determinato suono è stato ascoltato. Il programma compila un file di testo su cui è relativamente agevole compiere operazioni come il conteggio dei minuti di segnali di una determinata specie o di una determinata categoria, la durata dei contatti, e che tipo di segnale è presente (es. fischio, *click*, nacchera ecc.). L'analisi eseguita per questo lavoro è stata di due tipi: analisi della presenza delle nacchere in base all'ora del giorno, e analisi della struttura della nacchera stessa. Nel primo caso, sono state prese tutte le registrazioni già classificate, ammontanti a più di 4000 ore, estratti i dati relativi alla presenza di nacchere, e creati grafici di distribuzione sulle 24 ore. Lo stesso lavoro è stato fatto per le vocalizzazioni di stenella in generale, a scopo comparativo. L'analisi della struttura delle nacchere è stata invece eseguita a campione, individuando gli spezzoni di registrazione di buona qualità, e misurando manualmente le frequenze delle risonanze che distinguono questo segnale dal regolare *click* di ecolocalizzazione.

# Risultati

## Ritmo circadiano

L'analisi di presenza-assenza delle nacchere nell'arco delle 24 ore è stata, in fase di analisi, abbastanza agevole e molto significativa. I dati già classificati raccolti durante le campagne SIRENA, descritti minuto per minuto, sono stati analizzati su base giornaliera, su base di crociera (cioè accorpando tutte le registrazioni di una crociera) e in totale. I grafici mostrano un andamento assolutamente stabile, con identici picchi di emissione centrati sulle ore di alba e tramonto relative alla stagione in cui ogni crociera è stata condotta (giugno – ottobre). Le efemeridi sono state registrate sul posto o calcolate successivamente (soprattutto per le registrazioni effettuate negli anni 1994 – 1999) in base al periodo e alla posizione della nave utilizzando vari software offerti da siti web dedicati all'astronomia. Per quanto riguarda le registrazioni precedenti la fase "SIRENA", il lavoro è stato inverso. Non avendo un dato di durata ma solo quello di inizio della registrazione, abbiamo verificato che quelle contenenti nacchere cadessero nelle fasce temporali già chiaramente individuate. Rispetto alla massa delle nacchere emesse nei periodi di alba e tramonto, o comunque nel periodo notturno, il numero degli eventi registrati al di fuori di queste finestre, e cioè durante le ore centrali della giornata, è molto ridotto a sottolinearne il carattere quasi episodico (come quello riportato in figura 16).

## Time History of Acoustic Contacts

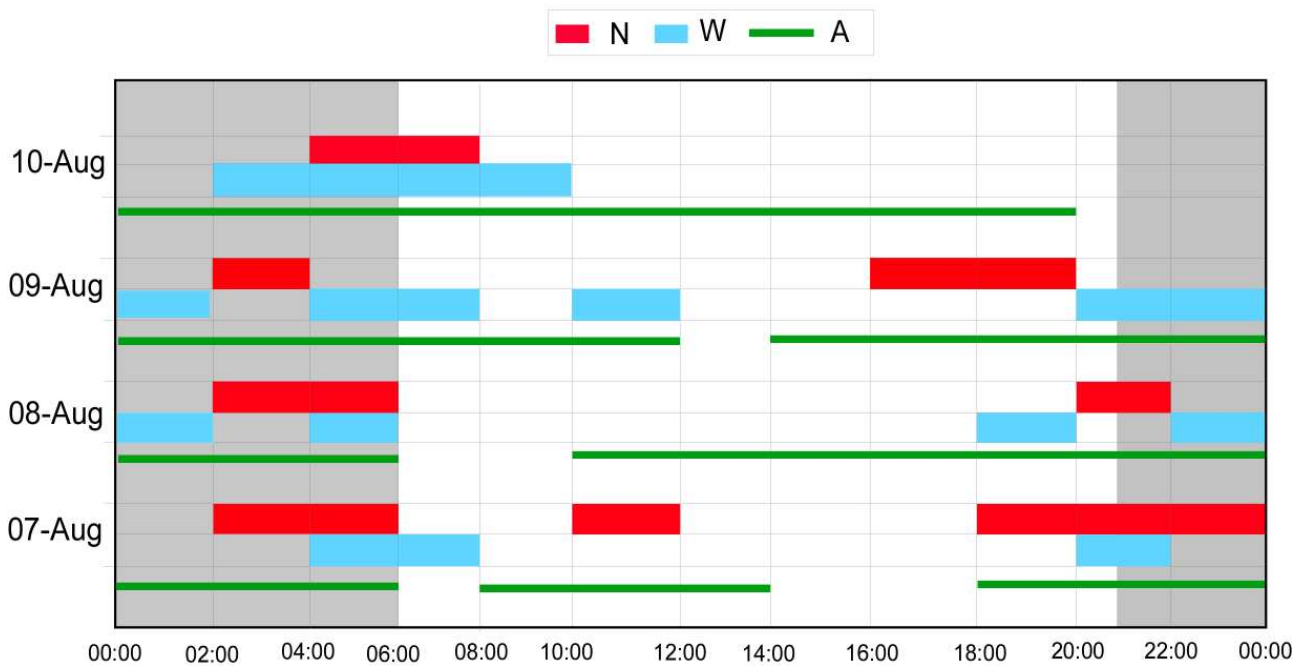


Fig. 16 Andamento giornaliero (4gg) durante SIRENA 00. N, rosso, nacchere; W, azzurro, fischi; A, verde, idrofono operativo; grigio/notte; bianco/giorno. Il 7 Agosto sono state registrate nacchere nelle ore centrali della giornata.

E' da sottolineare il fatto che, durante uno di questi rari eventi, le stenelle sono state osservate in attività di pesca. Infine, l'analisi delle vocalizzazioni totali di stenella mantiene un andamento simile a quello delle nacchere, con picchi concentrati durante alba e tramonto, ma, come si vede in figura 17 e nei grafici in figura 18, con un andamento più appiattito. Registrare una qualche attività vocale diurna, generalmente fischi o click, non è un evento così raro.



# Summary

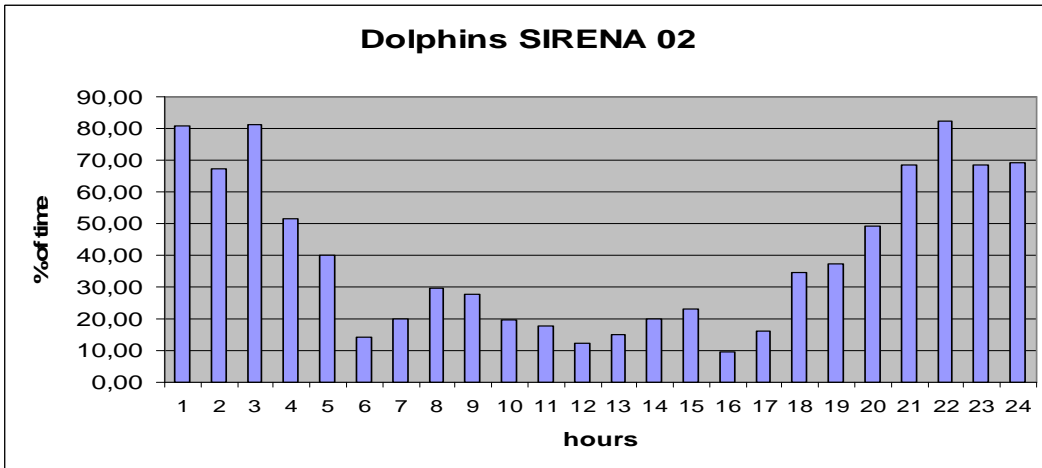
Sirena 00 8 days survey 22 AUG 2000 to 29 AUG 2000  
 Sirena 01 18 days survey and tracking 20 SEPT 2001 to 7 OCT 2001  
 Sirena 02 10 days survey and tracking 5 JUL 2002 to 14 JUL 2002

>15000 nm<sup>2</sup> area investigated 3 times  
 >700 hours of recording >1TB of data

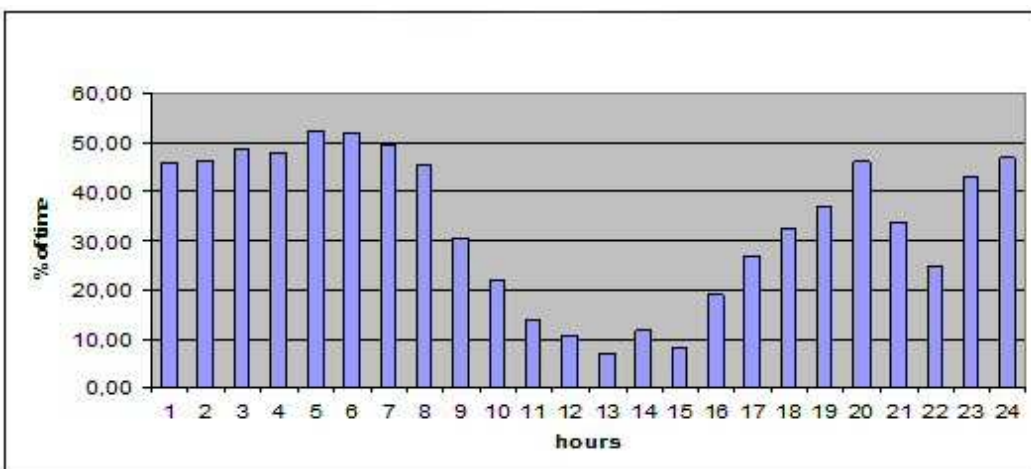
	2000		2001		2002	
n days	8		18		10	
minutes survey	9666	%	20211	%	12441	%
minutes dolphins	3340	34,55	4454	22,04	4964	39,90
minutes nacchere	1561	16,15	3438	17,01	3357	26,98
minutes sperm whale	868	8,98	6551	* 32,41	3050	* 24,52
Equipment quality	<b>average</b> 24 kHz bw		<b>worst</b> 24 kHz bw noisy		<b>best</b> 48 kHz bw low noise	
* results for sperm whales are biased by the time spent tracking them (Fin whales have been detected with sonobuoys only)						

Fig. 17 Dati relativi a tre crociere SIRENA. Si nota come le detezioni totali di delfini (fischi, clicks e nacchere) superino quelle di sole nacchere.

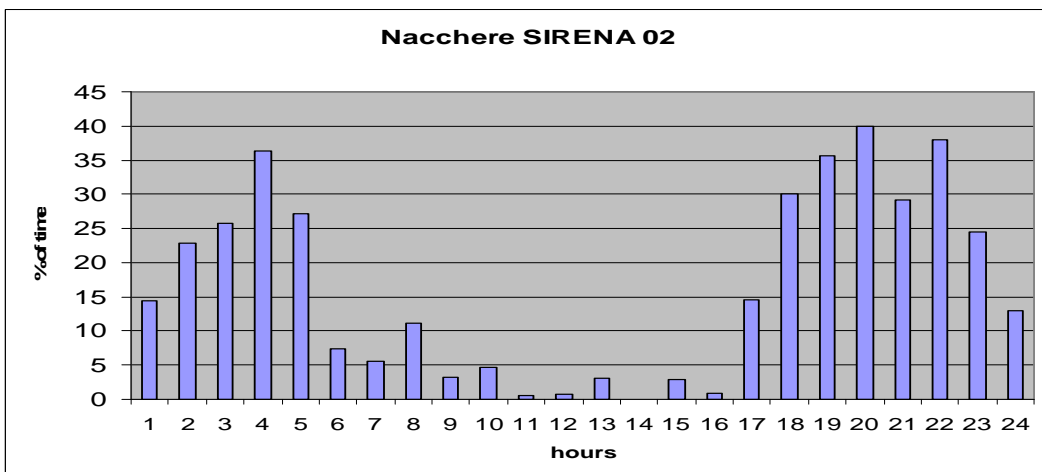
I dati riportati nella scheda qui sopra mostrano come le nacchere siano temporalmente più ridotte (e concentrate, come appare dai grafici sottostanti) rispetto alla totale attività acustica dei delfini. Questo dato avvalora l'ipotesi che il segnale sia legato a un particolare comportamento, quello alimentare appunto, confinato nelle ore del giorno in cui le prede sono più accessibili (in Discussione). Pur con un evidente ciclo di maggior/minor intensità, gli animali mantengono un'attività vocale sulle 24h utilizzando l'intero repertorio acustico ad esclusione delle nacchere. Fischi, *clicks* e treni di essi (chiamati *buzz*, *moans* ecc.) hanno infatti un'importante funzione anche in termini di coesione e comunicazione sociale.



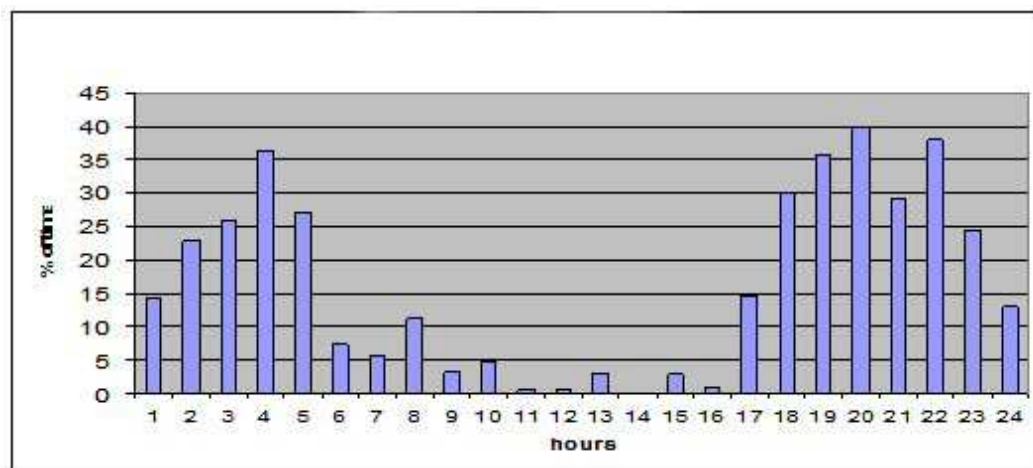
Attività acustica totale di stenella in SIRENA 02 (fischi, *click*, nacchere).



Attività acustica totale di stenella: grafico relativo a 3 anni di crociere.



Nacchere registrate durante SIRENA 02.



Nacchere: grafico relativo a 3 anni di crociere.

Fig. 18 Ritmi circadiani dell'attività acustica di stenella: attività totale nei primi 2 grafici; nacchere nei secondi 2 grafici.

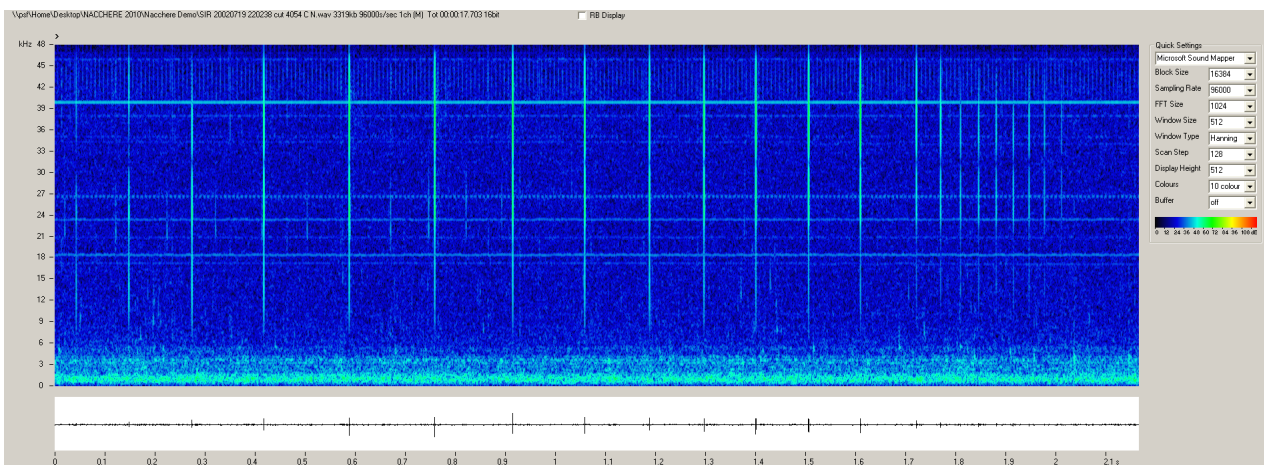
I grafici rappresentati nella figura soprastante sono relativi a 3 anni di crociere svolte in Mar Ligure e nella stessa stagione (estate). Le ore di alba e tramonto sono quindi coincidenti e accorpabili su un unico grafico. I valori ottenuti nelle altre crociere, fatte le dovute correzioni per compensare la differenza di stagione (primavera, autunno) e la diversa longitudine (Baleari, Alboran), sono del tutto sovrapponibili come andamento circadiano, ad avvalorare ulteriormente il dato che alba e tramonto sono i *triggers* delle nacchere.

### Frequenze di risonanza

Ciò che differenzia un normale *click* di ecolocalizzazione da una nacchera è esclusivamente uno o più picchi di energia compresi fra 1 e 8kHz. Tutte le altre caratteristiche, come estensione in frequenza, energia, *repetition rate*, corrispondono a quelli dei normali *clicks*. Spesso, come già detto, è possibile assistere alla transizione da *click* a nacchera in una serie di *clicks*, e spesso *clicks* e nacchere sono presenti all'interno della stessa registrazione, anche sovrapposti (emessi da più animali). Quando il numero dei delfini che vocalizzano è limitato (2-3 individui) inoltre, è anche possibile riconoscere quando il treno di *click* caratterizzato dalle nacchere appartiene a un solo individuo. In pratica, non è mai stato osservato un treno di *clicks* in cui le nacchere comparissero discontinuamente. Questo picco di intensità è stato chiamato risonanza in quanto ha appunto le caratteristiche acustiche di una risonanza. La risonanza acustica è un fenomeno comune spesso cercato e sfruttato sia in natura che in applicazioni umane (es.

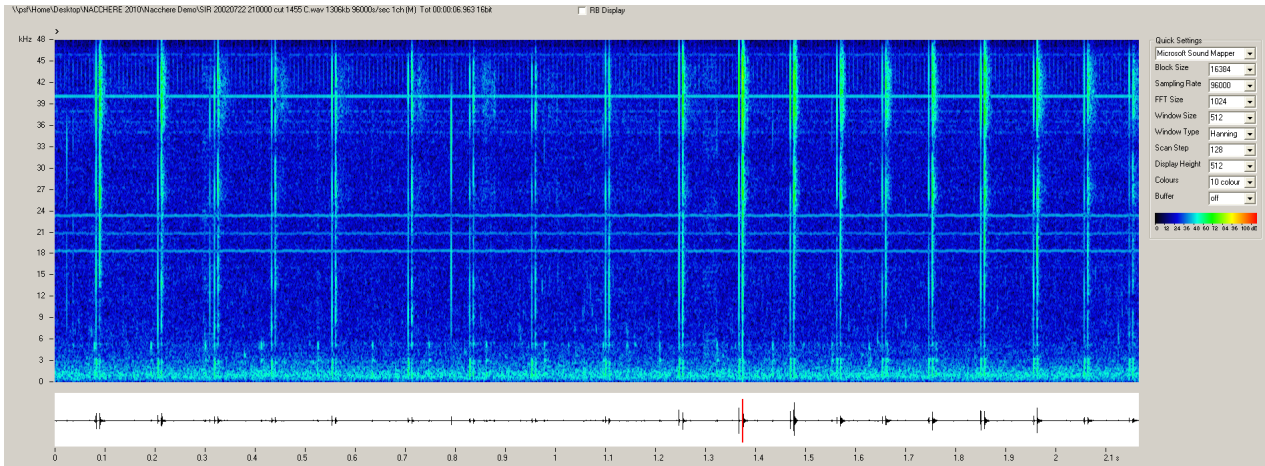


strumenti musicali). Virtualmente ogni oggetto ha una sua frequenza di risonanza, ovverossia una frequenza alla quale tende a vibrare preferenzialmente, dipendente dalla forma, dalla dimensione, dalla massa, dalla sua elasticità. Semplificando, più un oggetto è grosso e pesante, tanto più bassa sarà la sua frequenza di risonanza. Viceversa oggetti piccoli tendono a vibrare a frequenze elevate. Quando un oggetto è colpito da un'onda sonora viene stimolato meccanicamente, può quindi "eccitarsi" e iniziare a vibrare alla propria frequenza di risonanza. Tanto più vicina alla sua frequenza di risonanza è l'onda che lo investe, tanto più ampio sarà l'effetto di risonanza stesso. In pratica, l'onda sonora propria della frequenza di risonanza di un oggetto (o suoi sottomultipli) rimbalzano più volte rafforzandosi all'interno dell'oggetto stesso e prolungandosi nel tempo. Osservando lo spettrogramma già illustrato in figura 10, si nota infatti come l'energia associata al click del delfino abbia una durata temporale molto limitata (il click di ecolocalizzazione ha generalmente una durata inferiore a 50-100 microsecondi, anche se sullo spettrogramma appare più "consistente"), mentre la risonanza perduri per oltre 10 millisecondi. Di seguito sono rappresentati (figura 19) una serie di spettrogrammi che evidenziano le caratteristiche peculiari che definiscono le nacchere.

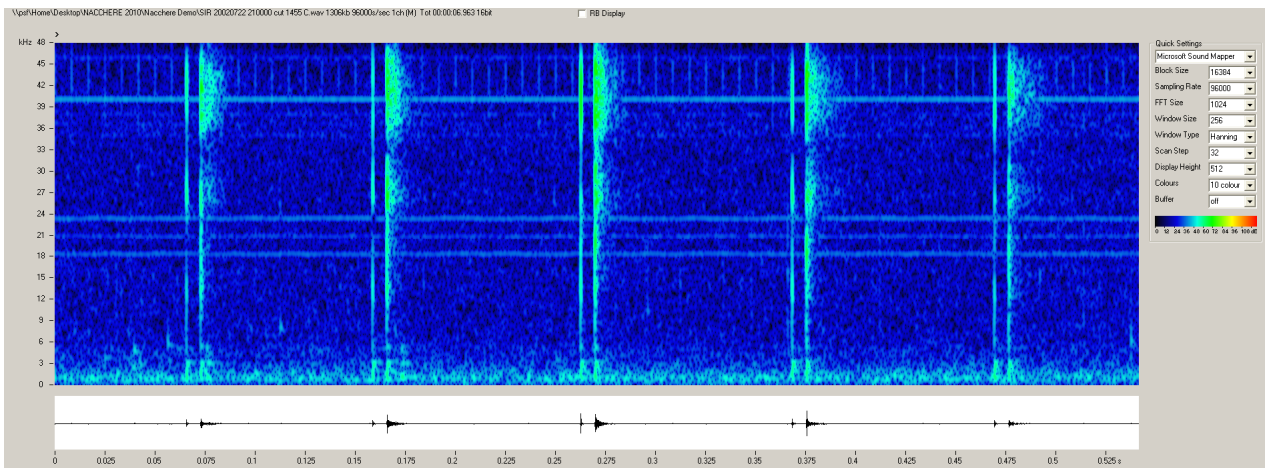


Asse x 2.1 secondi, Asse y 48 kHz. Normali *clicks* di ecolocalizzazione; la maggior parte dell'energia è oltre i 20 kHz e sotto i 10 kHz i *clicks* non sono visibili.

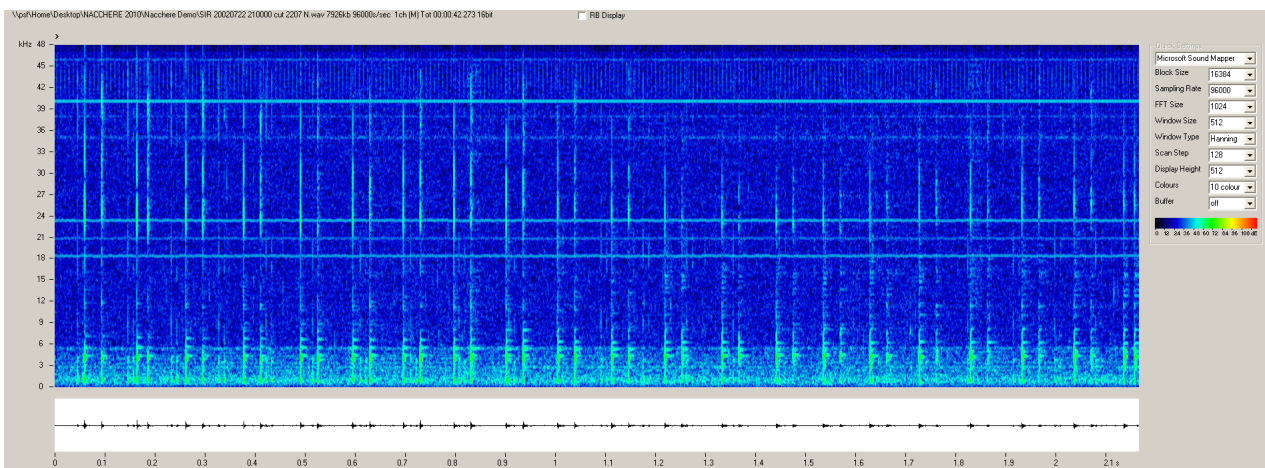
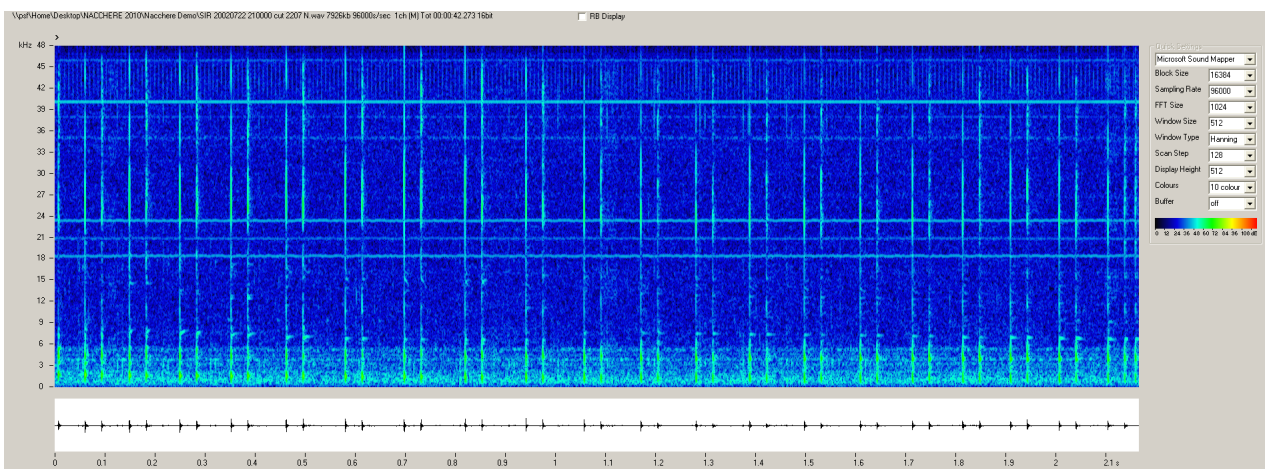
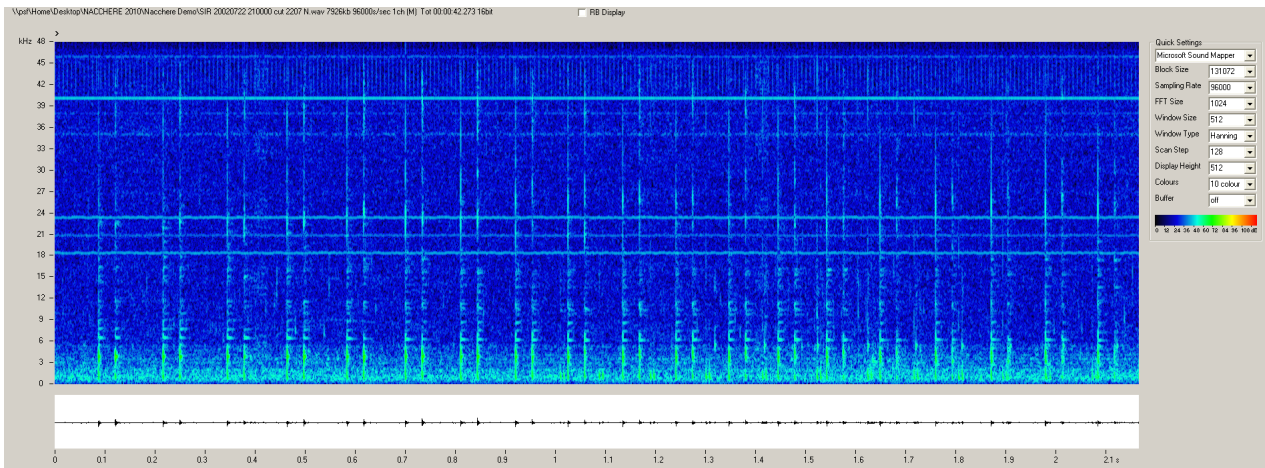




Asse x 2.1 secondi, Asse y 48 kHz. *Clicks* di ecolocalizzazione con energia al di sotto di 10 kHz. La sottile linea verticale che rappresenta il click è seguita dalla riflessione sulla superficie del mare che appare più spessa a causa dello “*scattering*” sulla superficie increspata.

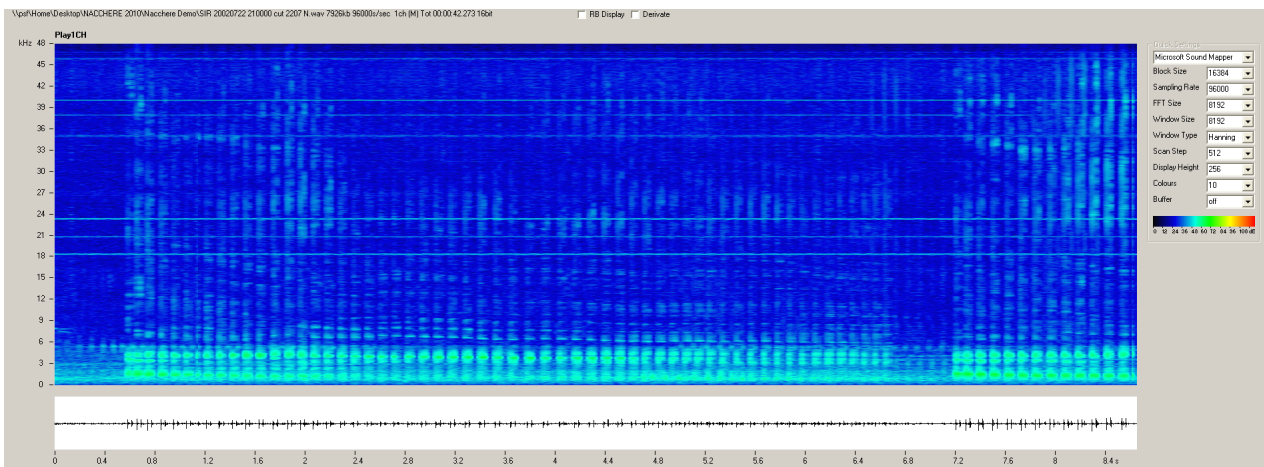
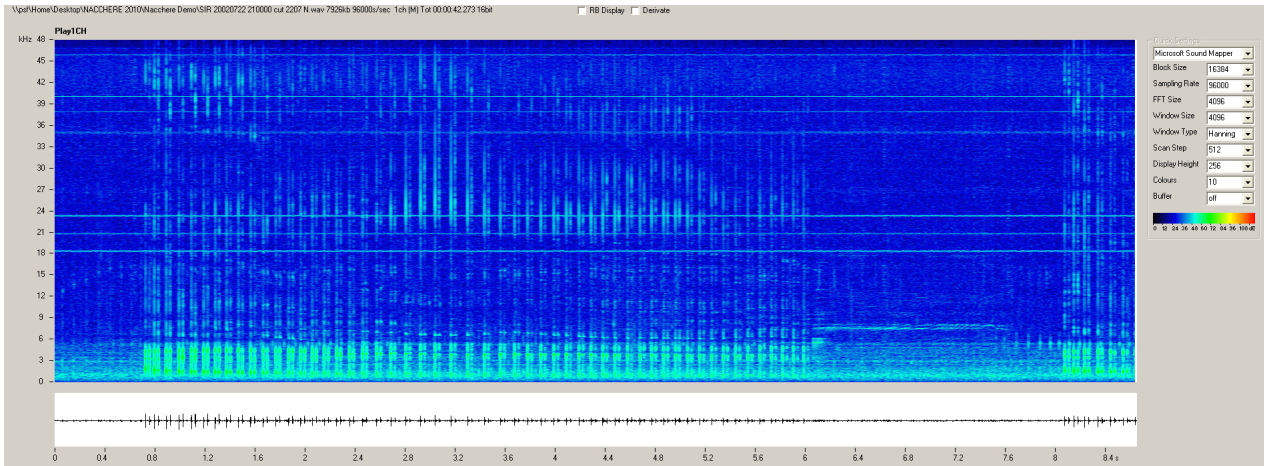


Asse x 0.5 secondi, Asse y 48 kHz. In questo spettrogramma con maggior dettaglio temporale si vede chiaramente la “dispersione temporale” del *click* riflesso dalla superficie increspata del mare.

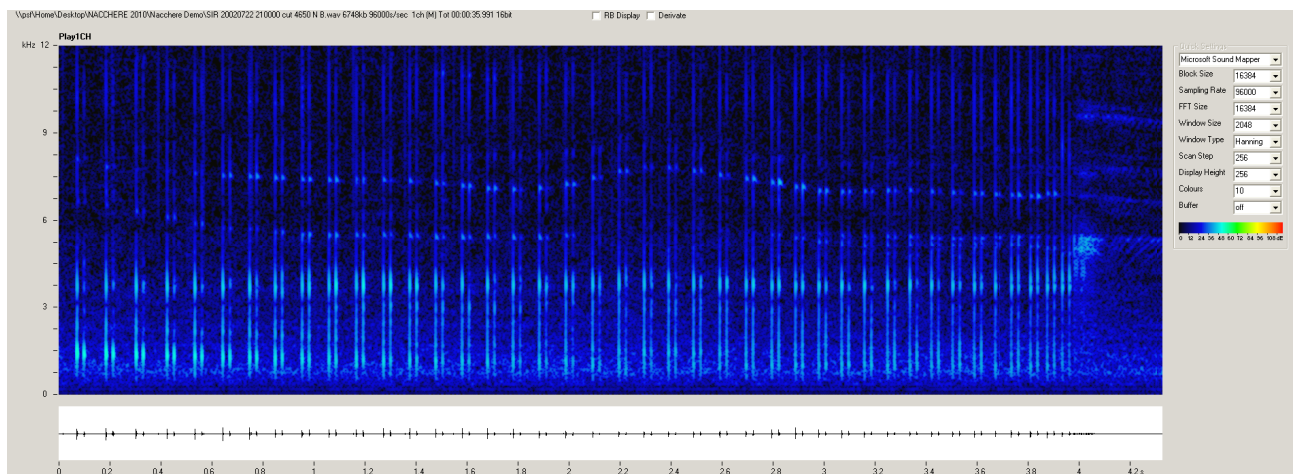


Asse x 2.1 secondi, Asse y 48 kHz. In questa sequenza la spaziatura fra click diretto e riflesso è maggiore; ciò può essere dovuto o a una maggior profondità dell'idrofono o a una diversa posizione dell'animale emettitore. Sono ben evidenti i “baffi” dovuti alle risonanze.

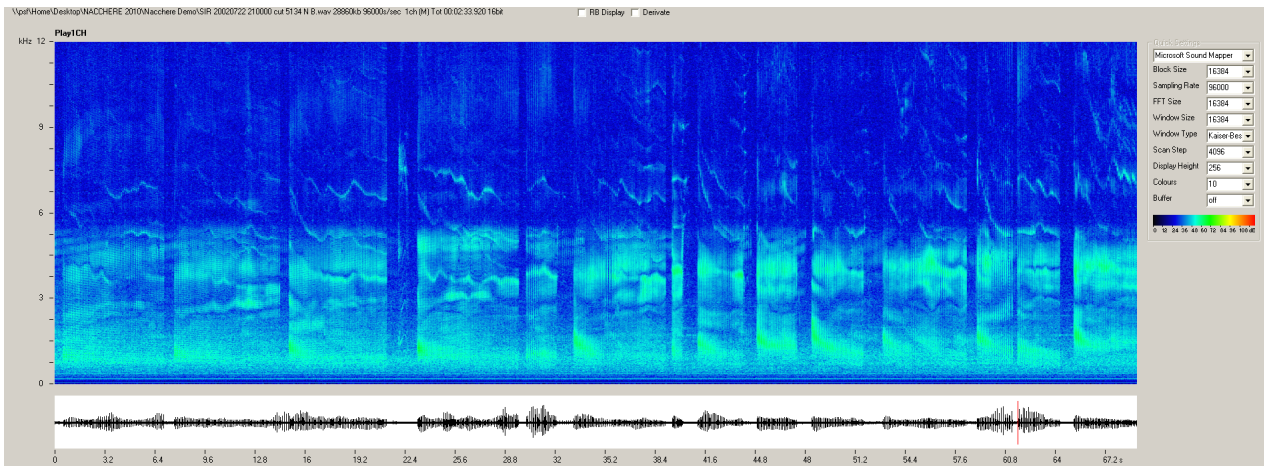




Asse x 8.4 secondi, Asse y 48 kHz. In questa visione spettrografica si vede una intera sequenza di nacchere e la variazione di frequenza delle tracce (“baffi”) di risonanza.



Asse x 4.2 secondi, Asse y 12 kHz. Lo zoom in frequenza sulla banda 0-12 kHz mostra l'andamento variabile della frequenza delle tracce di risonanza.



Asse x 68 secondi, Asse y 12 kHz. La visione spettrografica compatta mostra la successione di sequenze di nacchere e le variazioni delle tracce delle risonanze; si nota anche che nella parte bassa dello spettro c'è una componente che a partire dall'inizio di ogni sequenza cala in frequenza.

Fig. 19 Serie di spettrogrammi in cui vengono visualizzate le caratteristiche acustiche delle nacchere.

Vale la pena, dal punto di vista acustico, riassumere quali siano le caratteristiche delle nacchere funzionali a questo lavoro: 1) aspetto della risonanza; 2) gamma di frequenza della risonanza; modulazione temporale della frequenza della risonanza; involuppo spettrale del *click*.

Nella sezione Discussione qui di seguito questi aspetti verranno analizzati e contestualizzati in riferimento all'ampia bibliografia disponibile.

## Discussione

### L'ipotesi

Una volta verificata la consistenza delle osservazioni iniziali su tutto il *dataset* presente nella Fonoteca CIBRA (ritmo circadiano ben definito e caratterizzazione acustica delle risonanze), come detto nell'introduzione ho ipotizzato che le nacchere non fossero un segnale prodotto dai delfini, ma che fossero un effetto della variazione giornaliera dell'ambiente in cui si muovono e quindi del mezzo di propagazione delle loro vocalizzazioni. E, soprattutto, che potessero esser interpretate, almeno per questa specie, come un buon indizio dell'attività di predazione, altrimenti difficilmente "osservabile".

In dettaglio, alla luce dei dati raccolti e analizzati, ho ipotizzato questo scenario:

le stenelle, delfini con abitudini pelagiche, si nutrono prevalentemente di piccoli pesci e cefalopodi. Questi, a loro volta, si nutrono di zooplancton che, nell'ambiente mesopelagico dove vivono i delfini, compie migrazioni verticali giornaliere concentrandosi in superficie verso alba e tramonto. L'attività vocale generale di stenella ha un andamento sincronizzato con queste migrazioni verticali. E' possibile ipotizzare che almeno parte di questa concomitante attività vocale sia dovuta ad attività di caccia dei delfini, che sfrutterebbero una minor dispendiosa, in termini di energia, accessibilità alle loro prede, concentrate appunto in superficie. In particolare poi, il fenomeno della nacchera ha un andamento circadiano esattamente sovrapponibile a quello delle migrazioni verticali del plancton, raggiungendo il suo massimo proprio quando la biomassa è concentrata in superficie. Dal momento che la caratterizzazione acustica delle nacchere è assimilabile con una risonanza, che la frequenza di questa risonanza è compatibile con quella generata da gruppi di pesci delle stesse dimensioni di quelli mesopelagici predati dalle stenelle, e che questi pesci si concentrano a milioni in superficie durante la notte, sembra ragionevole ipotizzare che la nacchera sia una diretta interazione delle vocalizzazioni di ecolocalizzazione dei delfini durante il comportamento di caccia, con le infinite bollicine d'aria costituite dalle vesciche natatorie dei pesci.

Nel corso di questi ultimi anni, insieme ai miei colleghi, ho raccolto, verificato, incluso e scartato una serie di prove che sembrano fornire una coerente e realistica conferma alla mia ipotesi.

Per chiarezza, l'elenco sottostante riporta la serie di prove che ho raccolto e verificato a supporto della mia ipotesi:

- descrizione dell'ambiente pelagico Mediterraneo e sue variazioni circadiane
- dieta di stenella
- ecologia delle prede della stenella
- ricerca bibliografica sulla risonanza delle vesciche natatorie dei pesci, sui suoni attivamente emessi dai pesci e sulle variazioni circadiane delle proprietà acustiche marine
- descrizione dell'attività acustica di altre specie mediterranee di delfinidi *deep divers* e cenni sul loro comportamento
- verifica della presenza di nacchere nei *deep divers*
- verifica bibliografica delle capacità di modulazione dell'energia acustica emessa dai delfini

### **Descrizione dell'ambiente pelagico Mediterraneo e sue variazioni circadiane**

La gran parte dell'ambiente marino è costituito da zone profonde e prive di luce. Il 90% dei fondali marini ha, infatti, profondità superiori ai 1000 metri. Il rapporto tra i fondali della piattaforma continentale, il cui limite viene considerato mediamente intorno ai 200 m, e il resto dei fondali marini dovrebbe farci considerare i primi nient'altro che una piccola eccezione rispetto ad un ambiente caratterizzato esclusivamente da buio e temperatura costante. Sebbene questa parte dell'ambiente marino sia nettamente dominante, le conoscenze fino ad oggi disponibili sono limitate dalle difficoltà di esplorazione delle aree profonde. Le zone profonde sono tutte quelle al di sotto del limite inferiore della piattaforma continentale. Sono state molte le suddivisioni proposte per l'ambiente profondo ma nessuna è generalizzabile ed accettata concordemente da tutti i ricercatori. Il principale motivo di questa discordanza di opinioni è probabilmente da imputare alle scarse conoscenze ecologiche che si hanno di questi ambienti. Gli ambienti profondi sono estremamente stabili per ciò che riguarda i principali parametri fisico-chimici.

La luce: non essendoci non costituisce in apparenza un problema. In realtà tutta la parte mesopelagica riceve luce di debole intensità e quindi non utile per la fotosintesi ma necessaria per l'orientamento e il movimento di molti organismi. L'assenza di luce nella restante parte dei fondali non significa poi assenza di "vista" poiché espedienti come la

bioluminescenza, per teleostei e invertebrati, e l'ecolocalizzazione, per cetacei odontoceti, acquistano un importante significato.

La salinità: la salinità in ambienti distanti dalle terre emerse e dalla superficie diventa molto costante. In Mediterraneo, in particolare, la salinità media è di circa il 38 per mille.

L'ossigeno: vale anche per l'ossigeno il principio di elevata costanza per le acque profonde, anche se questo sembrerebbe essere in contrasto con la dislocazione spaziale delle sorgenti primarie, ovvero le acque superficiali dove avvengono gli scambi con l'atmosfera e si effettua la fotosintesi. In realtà, anche se la circolazione dalla superficie al fondo è molto lenta, una volta sul fondo le masse d'acqua ossigenate tendono a mantenersi tali a causa delle basse temperature presenti e per il basso consumo dovuto allo scarso numero di individui presenti.

La temperatura: le più importanti variazioni di temperatura avvengono nei primi strati d'acqua per effetto dell'irraggiamento solare e il termoclino rappresenta il passaggio verso zone termicamente sempre più stabili. Sotto il termoclino la temperatura discende sempre più lentamente con l'aumento della profondità, e sotto i 2000-3000 m la temperatura può essere considerata costante in tutti i mari. Nessun altro ambiente sulla terra presenta condizioni così stabili di temperatura ma anche di tutti gli altri parametri precedentemente citati.

La pressione: l'unico fattore che si modifica in maniera significativa e direttamente proporzionale con il procedere in profondità è la pressione. La pressione aumenta di 1 atmosfera ogni 10 metri di profondità, il che significa una potenziale variazione da 20 a 1000 atmosfere per profondità comprese tra i 200 e i 10.000 metri.

Gli organismi di ambienti profondi hanno sviluppato adattamenti a tutti i fattori sopra citati. Molti di questi adattamenti non sono ancora ben conosciuti in quanto riguardano aspetti della fisiologia che non sono facilmente studiabili in ambienti diversi da quello di origine. Altri adattamenti sono più evidenti e direttamente osservabili, come il colore. I pesci mesopelagici assumono, ad esempio, una colorazione piuttosto uniforme che va dal grigio al nero, mentre molti invertebrati come crostacei e cefalopodi hanno un colore rosso. Entrambe queste colorazioni tendono a far scomparire l'animale, il grigio-nero quale colore medio dell'ambiente ed altrettanto il rosso, che essendo stato assorbito nei primissimi metri d'acqua è un colore che a quelle profondità non c'è e quindi dà all'animale il colore medio presente nell'ambiente. Un altro adattamento è la presenza di grandi occhi (ex Tesi Laurea F. Cividini). Questi organi sono particolarmente sviluppati per permettere, da una parte la visione a bassissima intensità luminosa che molte specie utilizzano negli



spostamenti verticali negli strati mesopelagici (50 – 200mt di profondità secondo Cognetti & Sarà, 1999; 200 – 1000 mt secondo la maggioranza degli altri autori), dall'altra per percepire i segnali prodotti da altri organismi tramite bioluminescenza.

Proprio il fenomeno delle migrazioni verticali che caratterizzano la biomassa delle zone mesopelagiche è alla base della mia ipotesi. In questa zona infatti, detta anche crepuscolare, di transizione fra la fascia fotica e afotica, si compiono giornalmente spostamenti verticali della biomassa in entrambe le direzioni, movimenti ai quali gli autori di biologia marina forniscono una serie di spiegazioni non univoche. A noi comunque interessa il fenomeno della concentrazione verso la superficie dello zooplancton (alba e tramonto), e con esso di tutta la catena dei suoi predatori fino ai pesci planctofagi e ai cefalopodi che di essi si nutrono. In figura 20 è illustrato uno schema delle migrazioni verticali di zooplancton cui corrisponde, su più ampia scala, quello dei pesci loro predatori, che passano le ore di luce a profondità superiori ai 200 metri, risalendo durante la notte. In particolare si riportano le abitudini di *Calanus* spp, un copepode di mare aperto, *Cosmetira*, un'idromedusa e *Leptomysis*, un Misidiaceo che ha, però, abitudini costiere (Cognetti, 1999).

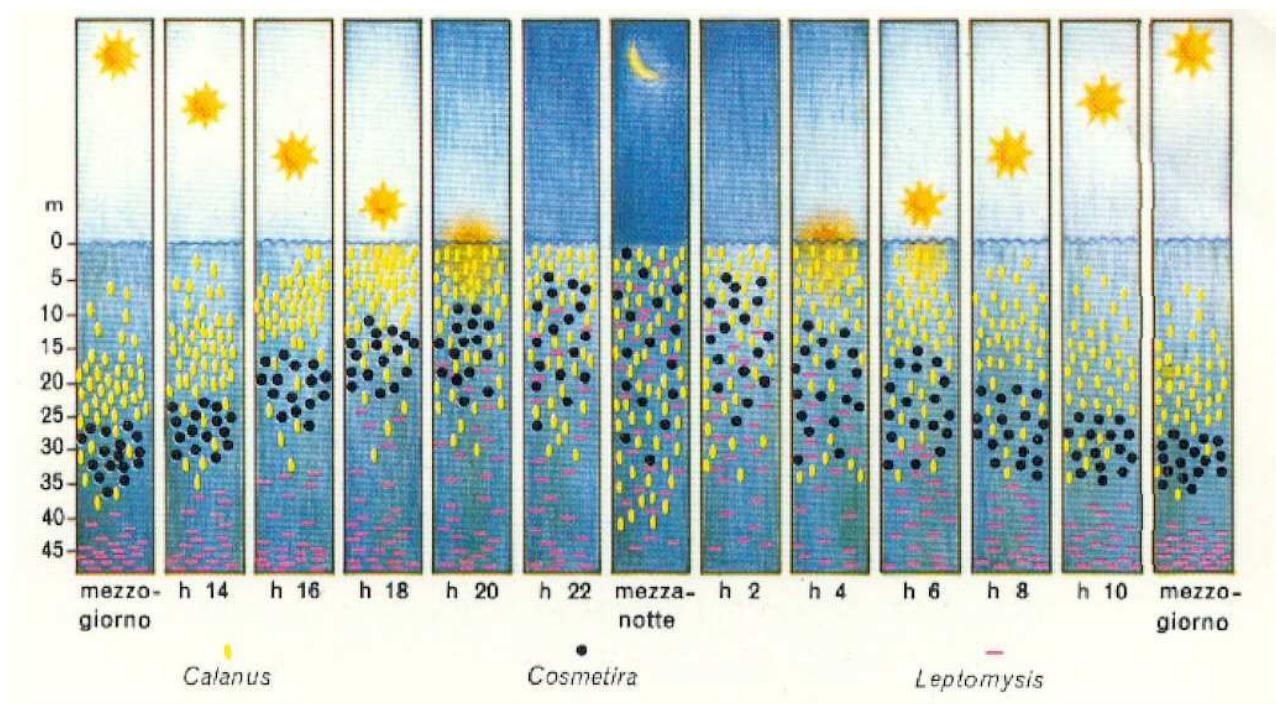


Figura 20. Migrazioni verticali di zooplancton (Fraser in Cognetti, 1999).



Sovrapponendo il disegno di Fraser a quello dell'andamento circadiano delle nacchere si ottiene una perfetta concordanza (figura 21).

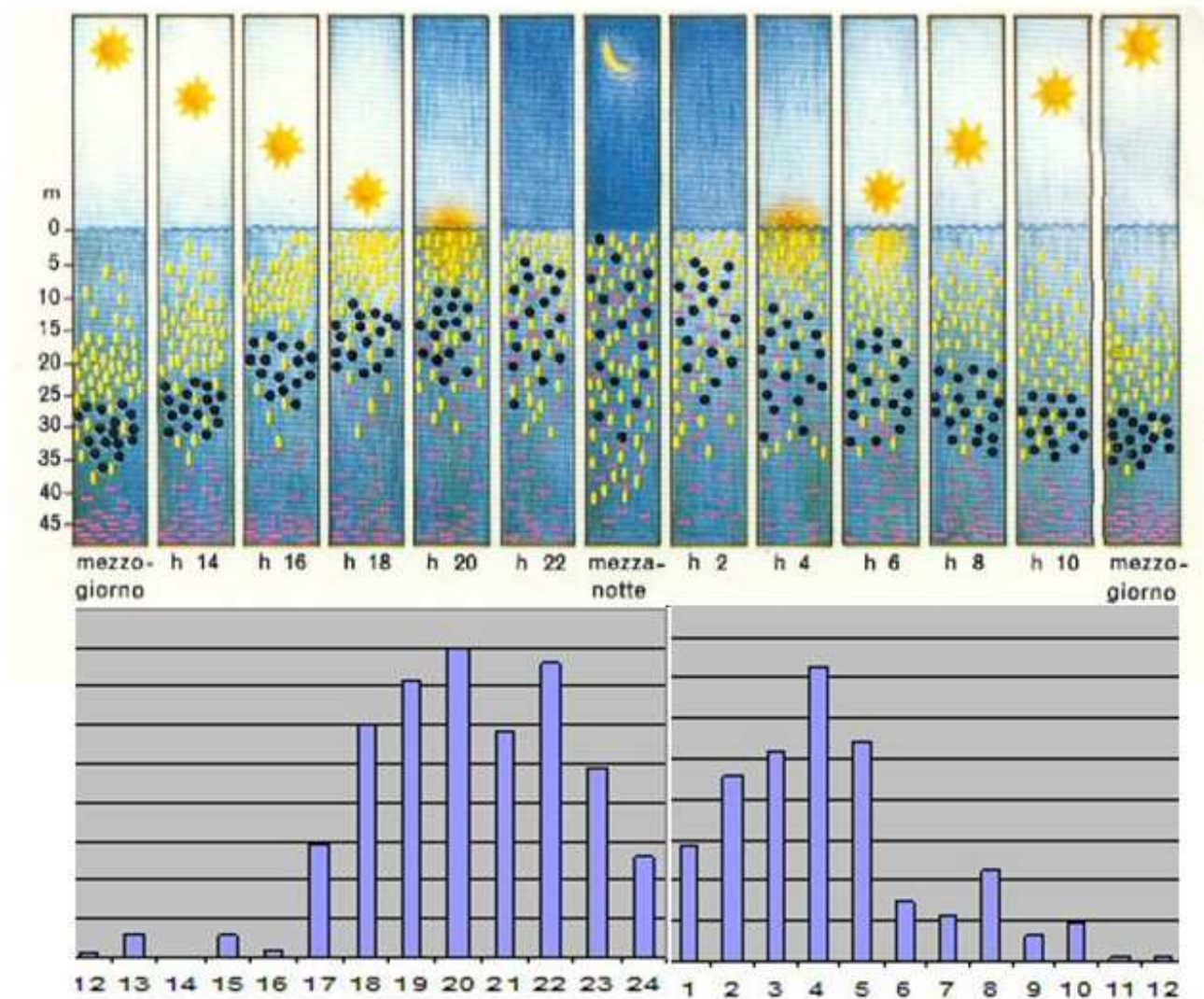


Fig. 21 Ciclo giorno – notte del *preyfield* e delle nacchere.

### Dieta di stenella

Una parte fondamentale di questa ricerca era mettere in relazione la dieta delle stenelle con i pesci responsabili del fenomeno di risonanza. Per questo motivo, esulando questo studio dalle attività da me svolte in mare con CIBRA, ho verificato la bibliografia in materia e ho trovato lavori sia sulle stenelle in Mediterraneo che più generali. Wurtz e Marrale (1993) e Meotti e Podestà (1997) hanno analizzato rispettivamente 23 e 24 contenuti stomacali di stenelle provenienti da catture accidentali o spiaggiamenti in mar Ligure. I due lavori mostrano risultati del tutto simili. In Tabella 2 sono riassunti i valori riportati da Wurtz. Questi risultati sono sostanzialmente confermati in un altro lavoro (Pulcini, 1992) su altri sedici animali provenienti dal Tirreno centrale e meridionale.

Tabella 2

Classe della preda	Numero	Presenza %	Peso %	IRI %
Cefalopodi	199	87	49.7	49.14
Crostacei	43	8.7	0.1	0.51
Osteitti	2481	56.5	49.9	50.35

Legenda: Numero – numero di esemplari rinvenuti complessivamente; Presenza – percentuale dei delfini in cui sono stati ritrovati le classi di prede; Peso – percentuale del peso “umido” della classe sul totale; IRI – Indice di Importanza Relativa, calcolato in base ai tre valori precedenti.

Vi sono poi molti altri lavori sulla dieta di stenella striata e altre specie dello stesso genere in quasi tutti gli oceani del mondo, essendo in particolare la stenella striata una specie cosmopolita. Fra tutti, riporto i risultati di Pauly (1998), in figura 22, che ha riassunto molte delle pubblicazioni in materia di alimentazione dei cetacei. Nell'elenco seguente vengono indicate le otto categorie in cui sono state suddivise le prede, e nel riquadro azzurro le abitudini di alcuni cetacei (delfinidi, *deep divers* e misticeti). Notare come per la stenella striata vi sia una chiara predominanza proprio dei pesci mesopelagici.

Group	Description	Trophic level	
BI	Benthic invertebrates	Mainly molluscs (notably bivalves and gastropods, but also including octopus, echinoderms and crustaceans)	2.2
LZ	Large zooplankton	Mainly small crustaceans, especially euphausiids (krill) such as <i>Euphausia superba</i> in Antarctic waters	2.2
SS	Small squids	Families with mantle lengths of up to 50 cm, such as Gonatidae, (see Roper <i>et al.</i> , 1984)	3.2
LS	Large squids	Families with mantle lengths above 50 cm, such as Onychoteuthidae	3.7†
SP	Small pelagic fishes	Consisting of clupeoids, small scombroids and allied groups	2.7
MP	Mesopelagic fishes	Predominantly fish of the family Myctophidae and other groups of the Deep Scattering Layer	3.2§
MF	Miscellaneous fishes	A diverse group consisting mainly of demersal round fish such as gadoids and perciforms, but also including anadromous fishes such as salmon	3.3
HV	High vertebrates	Marine mammals, seabirds, plus the occasional turtle	4.0‡

Famiglia	Specie	BI	LZ	SS	LS	SP	MP	MF	HV	Livello Trofico
Delfinidi	<i>Globicephala melas</i>			0.4	0.35			0.25		4.4
Delfinidi	<i>Globicephalas macrorhynchus</i>			0.4	0.3	0.1	0.1	0.2		4.3
Delfinidi	<i>Tursiops truncatus</i>			0.2	0.05	0.15		0.6		4.2
Delfinidi	<i>Grampus griseus</i>	0.05		0.5	0.35	0.05		0.05		4.3
Delfinidi	<i>Stenella coeruleoalba</i>	0.05		0.2	0.15	0.05	0.3	0.25		4.2
Delfinidi	<i>Stenella longirostris</i>			0.2	0.2		0.4	0.2		4.3
Delfinidi	<i>Delphinus delphis</i>			0.15	0.15	0.1	0.4	0.2		4.2
Ziphipidi	<i>Ziphius cavirostris</i>	0.1		0.3	0.3		0.15	0.15		4.5
Ziphipidi	<i>Mesoplodon mirus</i>			0.5	0.5					4.5
Ziphipidi	<i>Mesoplodon bidens</i>			0.25	0.3	0.05	0.2	0.2		4.3
Physeteridi	<i>Physeter machrocephalus</i>	0.05		0.1	0.6	0.05	0.05	0.15		4.4
Balenopteridi	<i>Balenoptera physalus</i>		0.8	0.05		0.05	0.05	0.05		3.3
Balenopteridi	<i>Balenoptera musculus</i>		1							3.2

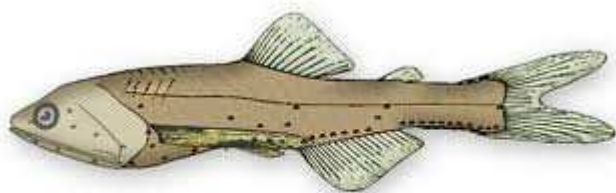
Fig. 22 Alimentazione dei cetacei, Pauly (1998).

E' altrettanto importante, poi, riportare le poche ma interessanti conoscenze sulle strategie di caccia di questi "piccoli" cetacei. Osservazioni dirette sono state riprese da operatori subacquei (durante il giorno) con sequenze di gruppi di delfini che, in modo coordinato, collaborano nel compattare banchi di pesci e che a turno si nutrono proprio dove il gruppo di prede risulta più concentrato. Oltre a queste osservazioni, un interessante lavoro di Benoit-Bird (2009), svoltosi al largo di Ohau (Hawaii, USA) su *Stenella longirostris* con l'ausilio di un Echosounder a 200kHz, ha messo ben in evidenza la stessa strategia cooperativa. Gli animali, in modo coordinato, si muovono per mantenere quanto più compatto il banco dei pesci che stanno predando. I ricercatori suggeriscono che questo comportamento di collaborazione aumenti significativamente il successo del singolo individuo nella cattura dei pesci, che deve necessariamente essere molto alto in termini di numero di catture, considerando la limitata dimensione delle prede (pochi centimetri di lunghezza). Il dato del continuo lavoro di "impacchettamento" dei pesci è compatibile con la variazione in frequenza apprezzabile su sequenze di nacchere (vedi figura 19, come spiegato più avanti).

## Ecologia delle prede di stenella

L'analisi bibliografica ha evidenziato una preferenza alimentare delle stenelle in Mediterraneo equamente divisa fra osteitti (in particolare Mictofidi, conosciuti come pesci lanterna per via dei fotofori, Sternoptychidi, Stomiatidi, Gonostomiatidi e Gadidi) e cefalopodi (in particolare Onychoteutidi, Histioteutidi e Ommastrephidi), illustrati in figura 23. Per quanto, come già detto, per lo zooplancton la spiegazione delle migrazioni verticali giornaliere non sia univoca, è invece generalmente accettato il fatto che pesci e cefalopodi compiano questi movimenti per nutrirsi dove la concentrazione alimentare è ciclicamente maggiore. I pesci, per lo più planctonici, al seguito dello zooplancton, i cefalopodi a seguito dei pesci (e altri organismi quali altri cefalopodi e piccoli crostacei). La bibliografia riporta che i pesci risalgono da profondità comprese fra 200 e 600 metri, mentre i cefalopodi compiono escursioni più ampie, passando le ore di luce a quote anche di 1000 metri (Granata in: Mediterranean Ecosystems, Faranda, 2001. Come i delfini, traggono vantaggio dalla ciclica concentrazione di prede altrimenti disperse nell'intera colonna d'acqua.

La maggior parte dei pesci ha dimensioni ridotte, pochi centimetri, mentre i cefalopodi raggiungono taglie maggiori. In particolare, fra quelli rinvenuti negli stomaci delle stenelle esaminate, la maggior parte dei pesci ha lunghezza inferiore ai 13 centimetri, ma Stomiatidi e Mictofidi, presenti in largo numero, non superano i 5 centimetri. La lunghezza dei cefalopodi predati è invece maggiore, ma comunque generalmente al di sotto dei 20 centimetri.



*Lampanyctus crecodilus* NAFO





*Maurolicus muelleri*, Gonostomiatidae



**Pota**

*Todarodes sagittatus* Lamarck, 1798

Fig. 23 Alcune delle prede abituali di stenella (fonte immagini Internet)

### **Ricerca bibliografica sulla risonanza delle vesciche natatorie dei pesci**

Moltissimi pesci utilizzano le loro vesciche natatorie per produrre attivamente suoni. Il meccanismo utilizzato, nella maggior parte dei casi, sfrutta il fenomeno della risonanza. La vescica viene eccitata da strutture preposte (generalmente fibre muscolari specializzate) ed emette un segnale con frequenze solitamente al di sotto di 1 kHz. Studi eseguiti su

tonni *Thunnus* genere *albacares* e *thynnus* (Allen, 2003) hanno dimostrato come la frequenza di risonanza sia inversamente proporzionale alla dimensione del pesce (vedi grafico in fig. 24).

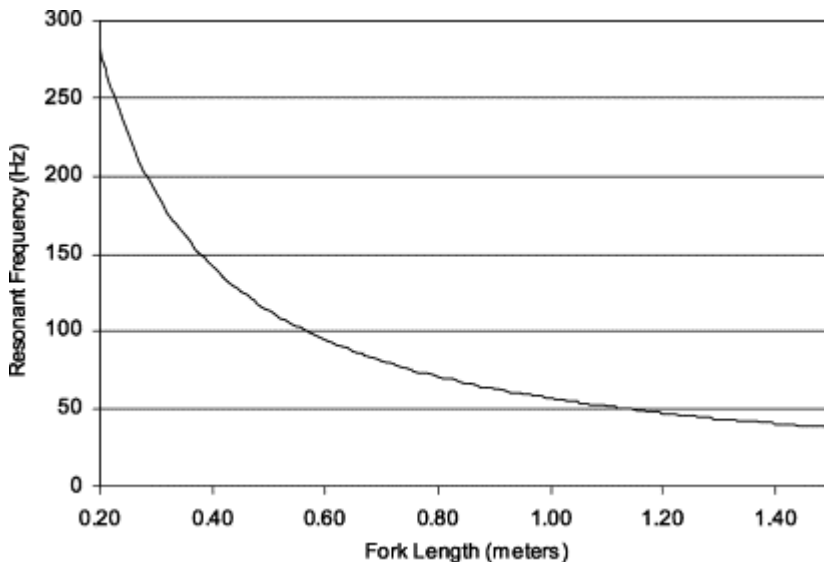


Fig. 24 Frequenza emessa da tonni.

Sull'asse delle ascisse nella figura soprastante è rappresentata la dimensione del tonno, che all'origine degli assi è di 20 centimetri, più del doppio di quella dei pesci oggetto di questo studio. Ma quella descritta è la frequenza emessa dalla vescica natatoria di 1 pesce e attivamente eccitata dal pesce stesso, limitata, come nella maggior parte dei pesci, a frequenze inferiori al kHz. Diverso è l'effetto di risonanza generato nelle vesciche natatorie dei pesci da una sorgente esterna, come descritto da Diachok (2001) su sardine *Sardina pilchardus* e acciughe *Engraulis encrasicolus* nel golfo del Leone, in Mediterraneo. In figura 25 è rappresentata la *backscattered energy* di sardine e acciughe, pesci con dimensioni simili a quelle delle prede di stenella, ed esse stesse presenti nei contenuti stomacali esaminati. La sovrapposizione di frequenze delle nacchere (1 – 8kHz) con quella riportata dal lavoro citato è perfetta. E' da sottolineare, inoltre, come la frequenza e l'intensità di risonanza risultante non da un singolo pesce ma da un gruppo di essi, sia il prodotto di ben più complesse interazioni fra le singole vesciche (Feuillade, 2010). Quindi, tenendo conto del continuo lavoro di "impacchettamento" dei pesci da parte dei delfini durante l'azione di caccia, e i conseguenti rapidi cambiamenti nella disposizione e quota delle prede, è possibile spiegare le modulazioni in frequenza osservate nelle sequenze di nacchere di alcuni secondi, generalmente nell'ordine di 1kHz circa, sia crescente che decrescente. Questa variazione potrebbe dunque esser dovuta alle diverse

forme, dimensioni, profondità della “palla” di pesci che le stenelle cercano di mantenere compatta.

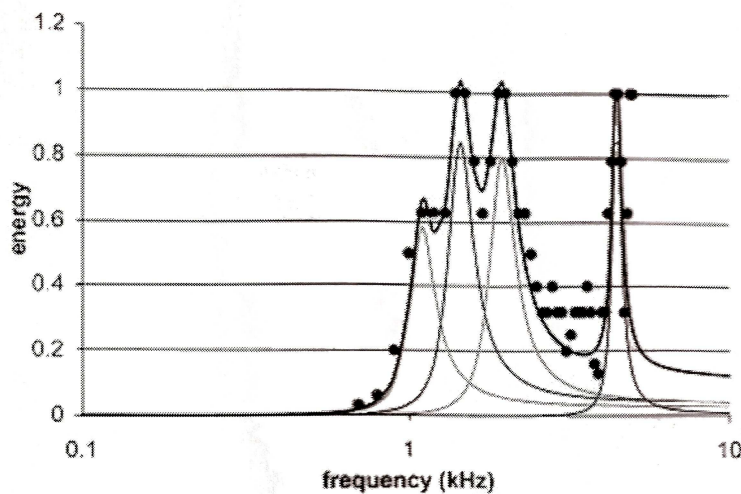


Fig. 25 Holliday (1972) in Diachok (2001)

Un ulteriore lavoro di Diachok (2002) spiega un altro fenomeno osservato in concomitanza con le nacchere. Le proprietà acustiche marine cambiano drasticamente durante alba e tramonto, e l'assorbimento dell'energia acustica in alcune bande di frequenza aumenta anche di 40 db. Effettivamente, nelle nostre registrazioni, spesso è visibile solo la nacchera, mentre del *click* associato rimane traccia solo alle alte frequenze. In pratica, la concentrazione dei pesci agisce da filtro sulle alte frequenze, mentre l'energia propria della frequenza di risonanza della vescica natatoria dei pesci, per effetto della vicinanza con altre vesciche, risulta rafforzata, e quindi rilevata dall'idrofono. Questo fenomeno potrebbe verificarsi quando gli animali si trovano a una certa distanza dall'idrofono.

### **Descrizione dell'attività acustica di altre specie mediterranee di delfinidi *deep divers* e cenni sul loro comportamento**

In Mediterraneo come negli altri mari intorno al mondo, le stenelle condividono lo stesso ambiente pelagico con specie affini e con altri delfinidi che hanno però abitudini e comportamento differente. Questi animali sono generalmente chiamati *deep divers*, non una categoria sistematica, ma piuttosto comportamentale. Fra questi animali in mediterraneo troviamo lo zifio *Ziphius cavirostris*, il globicefalo, *Globicephala melas*, e il capodoglio *Physeter macrocephalus*. Pur vivendo nello stesso ambiente, questi animali hanno evoluto un comportamento alimentare, e conseguenti adattamenti fisiologici,

differenti dalle stenelle. Le prime, infatti, compiono immersioni relativamente ridotte, sembra intorno ai 200 metri (dati sistematici non sono mai stati raccolti), con il chiaro ritmo circadiano descritto sopra (Perrin, 1994). I secondi invece sfruttano una risorsa di cibo che vive stabilmente a profondità maggiori, principalmente cefalopodi demersali. Non dovendo sfruttare periodi di maggior accessibilità o concentrazione delle prede, distribuiscono, come evidenziato dalle registrazioni acustiche, la loro attività di caccia nell'arco delle 24 ore, dedicando ad essa la maggior parte della giornata. Lo sforzo per raggiungere le profondità necessarie a reperire le loro prede è infatti notevole, come evidenziato da recenti studi (Tyack, 2006). Gli zifi, per esempio, dopo lunghe immersioni di oltre un'ora e a profondità di quasi 2000 metri, hanno bisogno di un lungo periodo di recupero per colmare il debito di ossigeno accumulato (vedi figura 26).

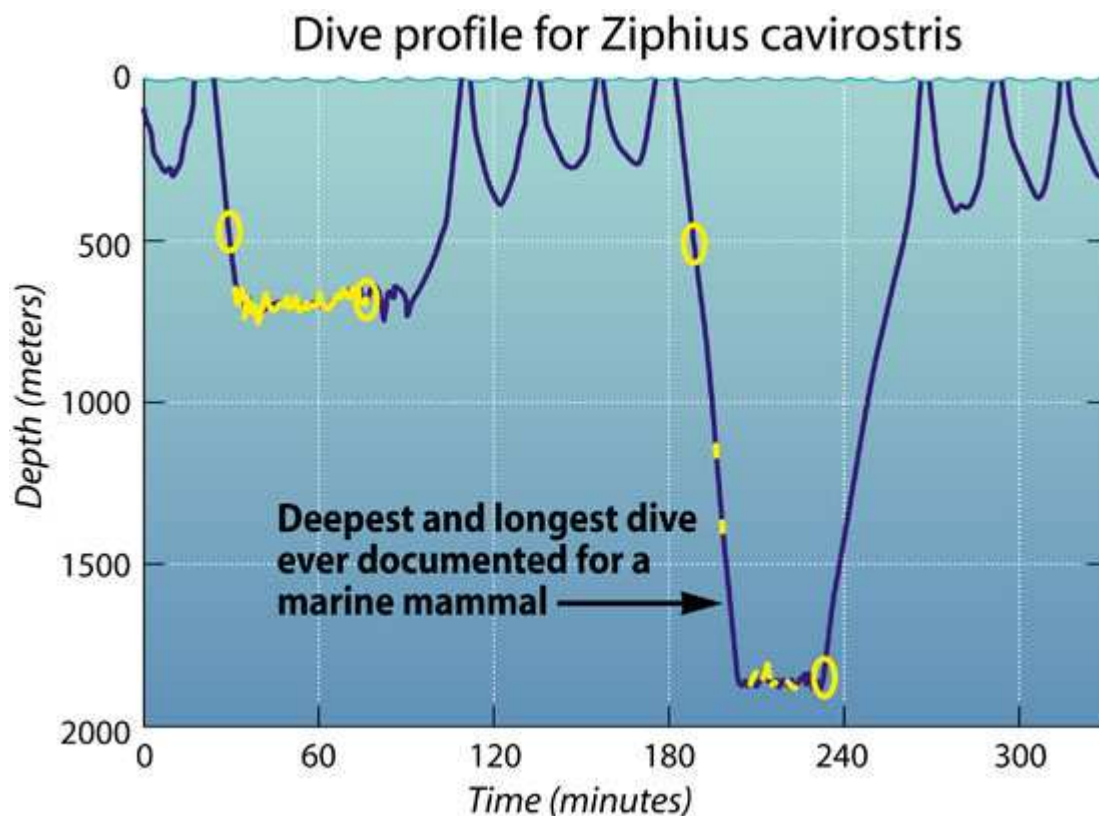


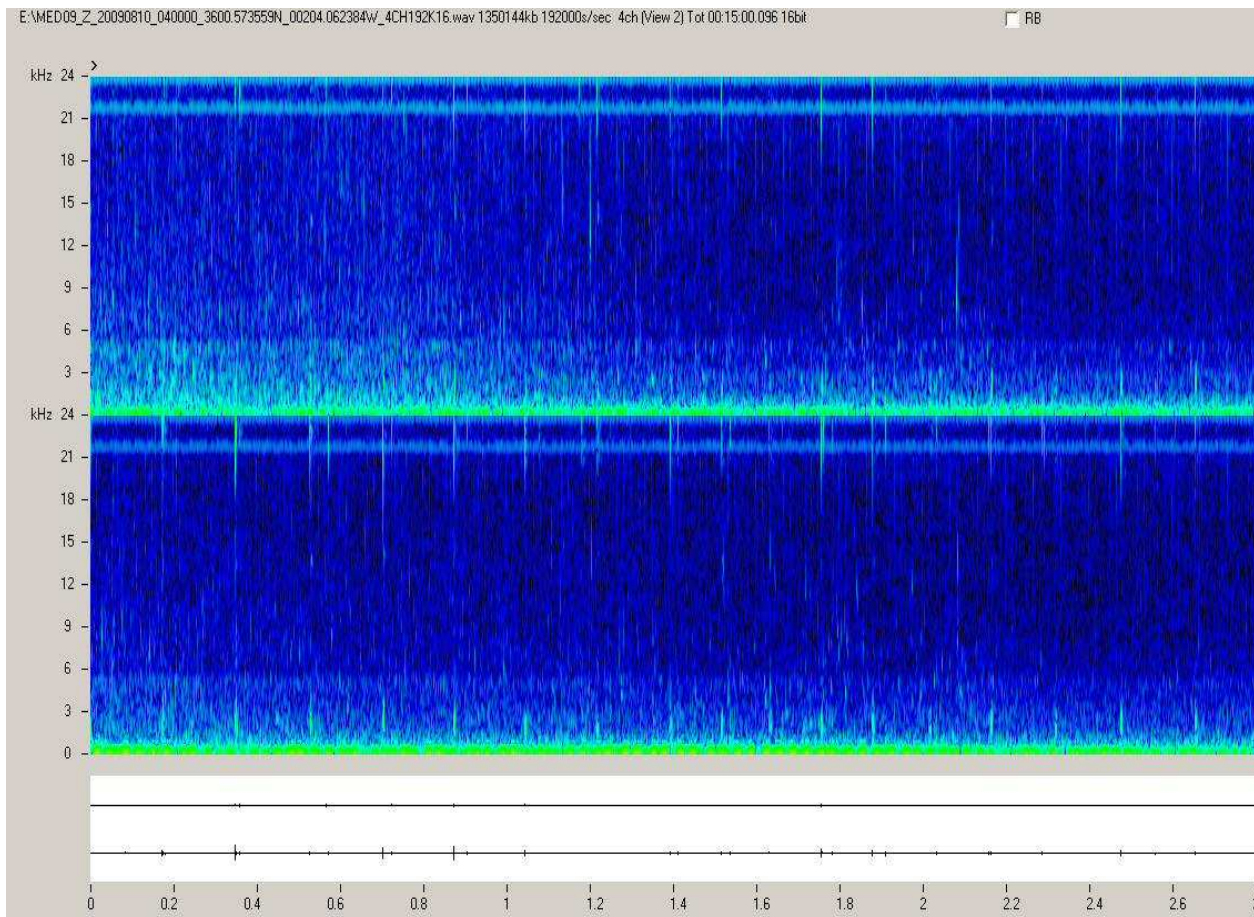
Fig. 26. Profilo di immersione di Zifio registrato con D-TAG, uno speciale registratore di dati applicato con ventose sul dorso dell'animale. Courtesy of P. Tyack (WHOI).

Per completezza va citato un lavoro di Baird (2008) che evidenzia un ritmo circadiano nelle immersioni di zifio intorno alle isole Hawaii, in cui sembra che gli animali cerchino di evitare di rimanere in superficie a lungo durante le ore di luce. Gli autori suggeriscono che questo comportamento sarebbe inteso a diminuire il rischio di essere avvistati dalle orche,

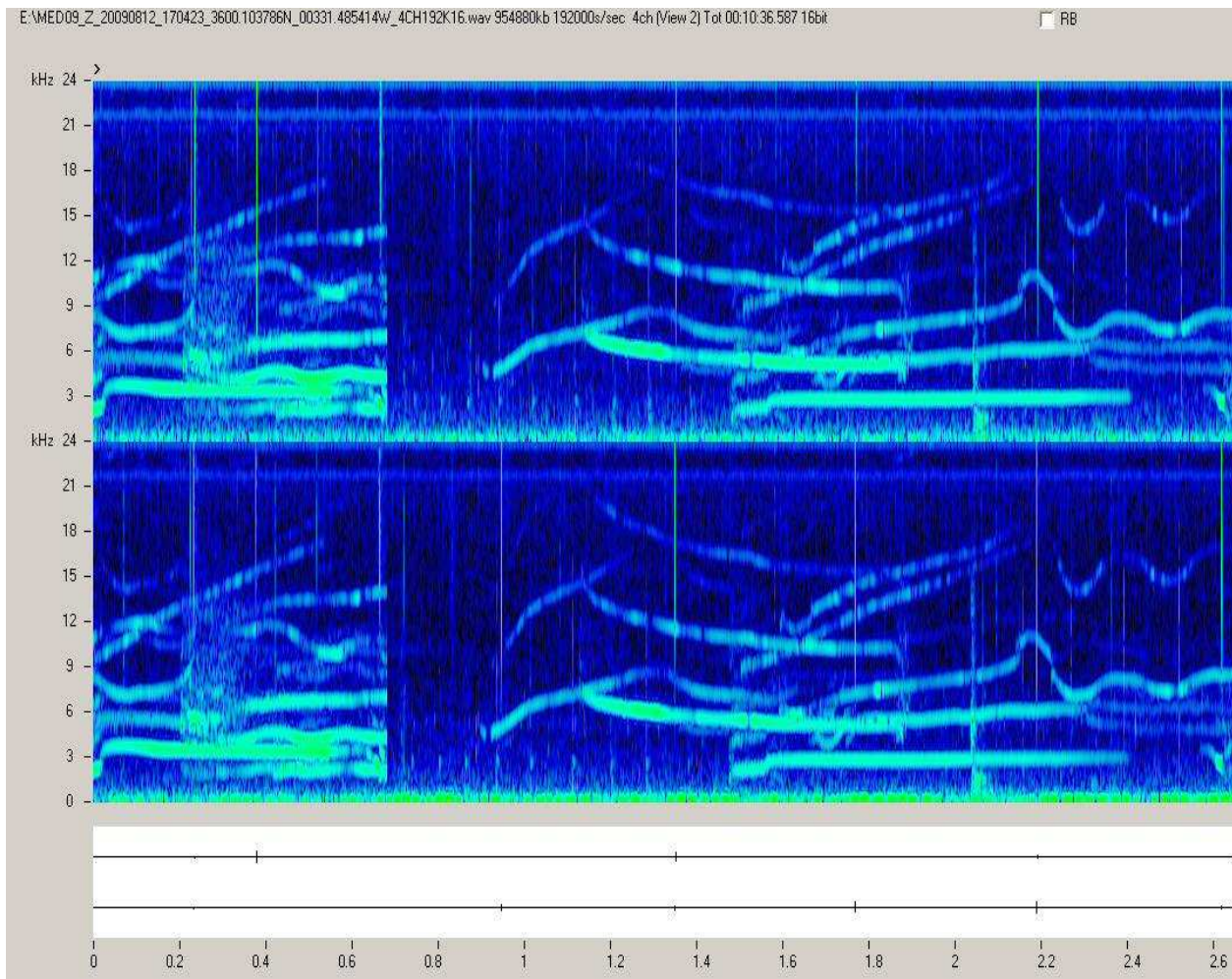


specie loro predatrici e presenti nell'area, che fanno affidamento sulla vista. Questa variazione circadiana, non riscontrabile in Mediterraneo, dove le orche sono una specie considerata occasionale (Notarbartolo, 1994), non ha comunque un andamento così evidente come quello riscontrato nell'attività delle stenelle.

Dal punto di vista acustico, quindi, le nacchere non dovrebbero comparire in queste specie con la regolarità riscontrata per le stenelle. Nacchere sui *deep divers*, infatti, nel corso dei 15 e più anni di attività del CIBRA, sono state registrate con una frequenza meno che episodica. Manca infatti in questi animali, durante il comportamento di caccia, il contesto ambientale descritto per le stenelle. Nelle figure sottostanti sono illustrati i pochi, se non unici, esempi di nacchere su grampo, globicefalo e zifio (figura 27).

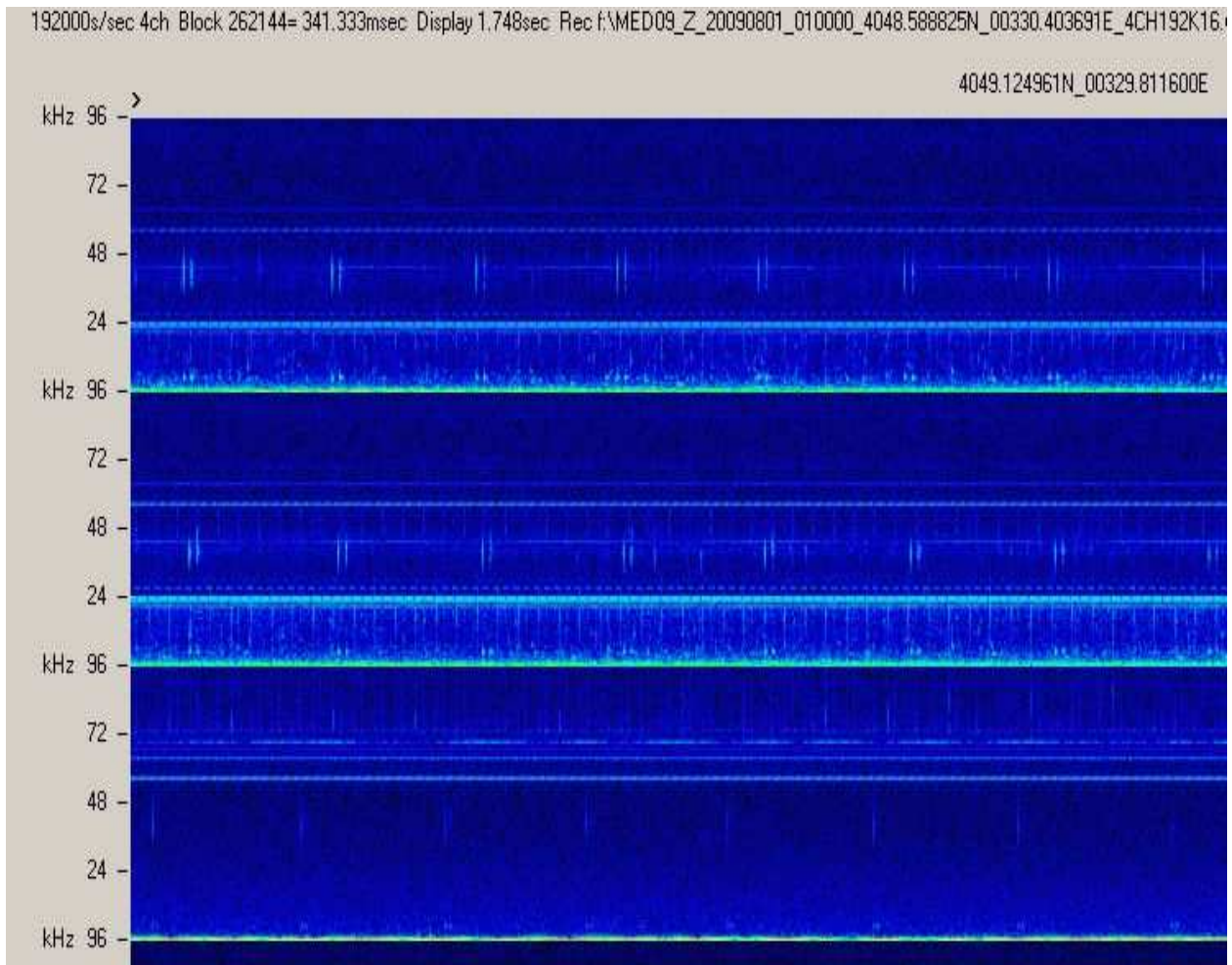


Grampo, sono appena visibili i *clicks* sopra i 20kHz.



Globicefalo, corta sequenza di nacchere a circa 3kHz.





Zifio, nacchere appena visibili a circa 6kHz.

Fig. 27 Nacchere in *deep divers*.

### **Verifica bibliografica delle capacità di modulazione dell'energia acustica emessa dai delfini**

Resta ancora da escludere che la nacchera possa essere un suono emesso all'origine dai delfini. Grazie a studi condotti perlopiù in cattività, si sa che questi animali sono in grado di ottenere un elevatissimo grado di dettaglio circa la forma e la consistenza degli oggetti che "illuminano" acusticamente per "vederli" decodificandone l'eco (Pack, 2002). Sono in grado di discriminare fra più oggetti posti a 100 metri di distanza, individuandoli con una precisione di 10 – 20 centimetri. Sono inoltre in grado di valutarne il movimento sfruttando il principio dell'effetto Doppler (Bullock, 1979). Studi più recenti hanno anche evidenziato l'abilità di modificare lo spettro del segnale (intensità vs frequenza) probabilmente per massimizzare il livello di dettaglio, in quanto più alta è la frequenza del segnale incidente e maggiore è la risoluzione ottenibile tramite eco (Houser, 1999). In figura 28 sono

rappresentati 6 differenti classi spettrali in cui gli autori hanno categorizzato i *clicks* emessi da tursiopi addestrati a riconoscere oggetti nella baia di San Diego e alle Hawaii.

TABLE I. Categories of click types, click type description, and a representative spectrum for each. The horizontal dotted line signifies  $-3$  dB region and the vertical dotted line signifies peak frequency.

Click type	Description	Spectrum
A	unimodal, low frequency ( $< 70$ kHz)	
B	unimodal, low frequency ( $< 70$ kHz); secondary high-frequency peak ( $> 70$ kHz) between $-3$ dB and $-10$ dB down	
C	bimodal	
D	unimodal, high frequency ( $> 70$ kHz); secondary low-frequency peak ( $< 70$ kHz) between the $-3$ dB and $-10$ dB down	
E	unimodal, high frequency ( $> 70$ kHz)	
W	wideband (single continuously bounded region within the $-3$ -dB bandwidth with frequency bandwidth $> 85$ kHz)	
M	3 or more distinctly bounded regions within the $-3$ dB	

Fig. 28 Classi spettrali da Houser (1999)

Come si può vedere, anche se i delfini hanno dimostrato una notevole adattabilità nella modulazione dell'intensità e dello spettro dei loro click di ecolocalizzazione, questa abilità non sembra tale da poter concentrare un picco di intensità in una banda così limitata come

quella che caratterizza le nacchere. Ancora di più, quindi, sembra ragionevole supporre che effettivamente questo suono sia in relazione con un contesto ambientale ben definito e abbia origine all'esterno dell'animale emettitore. Inoltre, le capacità descritte da Houser sono compatibili con un altro carattere spesso associato alla nacchera, quando i delfini sono vicini all'idrofono, e cioè l'estendersi dell'energia del *click* sotto i 10 kHz. Potrebbero cioè produrre impulsi caratterizzati da energia che si estende anche alle basse frequenze proprio per meglio indurre la "risposta" acustica delle vesciche dei pesci che, come illustrano i lavori citati, fornisce un dato sulla dimensione e coesione del gruppo di prede.

## **Conclusioni**

Il fenomeno nacchere è emerso molto chiaramente con il progredire della nostra conoscenza del comportamento acustico delle stenelle. Le analisi che abbiamo svolto al CIBRA ne caratterizzano molto bene le peculiarità qualitative. Vista la mole dei dati, i lunghi tempi di estrazione delle misure e il carattere del mio Dottorato (senza borsa), non c'è stato il tempo materiale per una completa validazione statistica dei dati riportati. Nel corso di questo studio, infatti, pur avendo trascorso diversi mesi in mare ogni anno (principalmente con la Columbia University, NY), mai gli esperimenti condotti hanno permesso di focalizzare attenzione e mezzi sulla verifica della mia ipotesi sulle nacchere. Il lavoro di campo ha solo permesso di aumentare la casistica a disposizione. Né è prevedibile a breve, visti i costi delle operazioni a mare e la scarsità di fondi a disposizione, la realizzazione della serie di studi necessari. Il mio lavoro si è quindi concentrato sulla caratterizzazione del fenomeno nacchere e sul reperimento di tutti quei tasselli (fisica acustica, biologia, etologia, oceanografia, fisiologia) necessari alla verifica dell'ipotesi esposta. Ritengo che il quadro di circostanze che si è delineato fornisca una credibile spiegazione alla mia teoria. Dalla trattazione ho escluso una serie di osservazioni che, per quanto plausibili, senza una validazione sul campo sarebbero risultate pura speculazione. Fortunatamente i nostri colleghi d'oltreoceano, generalmente meglio finanziati e supportati, autori della maggior parte dei lavori qui citati, non hanno ancora pubblicato nulla di specifico sulle nacchere, anche se i fenomeni di risonanza da me descritti cominciano a comparire in bibliografia.

## Bibliografia

Allen, S. & Deemer, D. 2003. Detection and characterization of yellowfin and bluefin tuna using passive-acoustical techniques. *Fisheries Research* Volume 63, Issue 3, September 2003, Pages 393-403

Au, W. W. L. 1993. *The Sonar of Dolphins* (Springer-Verlag, New York).

Baird, R., Webster D., Schorr G., McSweeney D. and Barlow J. 2008. Diel variation in beaked whale diving behaviour. *Marine Mammal Science*. Volume 24, Issue 3, pages 630–642, July 2008.

Benoit-Bird K. J. and Au W. W. 2009. Prey herding by pelagic dolphins, *Stenella longirostris*. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 125, No. 1, January 2009

Brennen, C.E. 1995. *Cavitation and bubble dynamics*. Oxford University Press 1995.

Bullock, T. & Gurevich, V. (1979) Soviet literature on the nervous system and psychobiology of cetacea *Internat Rev Neurobiol* vol 21, pp 47-127

Cognetti, G., Sarà M. 1999. *Biologia Marina*, Calderini ed.

Cranford, T.W., M. Amundin, AND K.S. Norris. 1996. Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation. *J. Morphol.* 228: 223-285.

Diachok, O. 2001. Interpretation of the spectra of Energy scattered by dispersed anchovies. *J. Acoustic Soc. Am.* 110 (6), December 2001.

Diachok, O. 2002. Sound absorption due to fish: From David Weston's discoveries to recent developments. *J. Acoust. Soc. Am.* Volume 112, Issue 5, pp. 2206-2206 (November 2002).

Drouot, V., Gannier A. and Goold J. C. 2004. Diving and Feeding Behaviour of Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals* 2004, 30(3), 419-426

Feuillade, C. 2010. Low-frequency acoustical interactions and scattering from schools of swim bladder fish. *J. Acoust. Soc. Am.* Volume 128, Issue 4, pp. 2278-2278 (October 2010).

Fulton, J.T., Processes in Biological Hearing {online} {Corona Del Mar, CA. USA} Jearing Concepts, {published 2005-08-01}, {revised 2005-08-01},{cited 2005-08-01}. Available on the Internet: URL:<http://www.hearingresearch.net>

Gnone G., Pavan G., Manca S., Benoldi C., Monsignor B., Manghi M., 2001. Fischio firma, imprinting acustico e riconoscimento individuale in una coppia madre-piccolo di tursiopo in cattività. In "Atti 3° Convegno Nazionale sui Cetacei (Napoli 5-6 dicembre 1997)", *Natura* 90 (2): 47-56.

Granata A., Brancato G., Sidoti o. e Guglielmo L. Energy flux in the South Tyrrhenina Deep Sea eco system: role of mesopelagic fishes and squids. In Faranda F. M., Letterio G., Spezie G. 2001. *Mediterranean Ecosystems*, Springer-Verlag Italia, Milano 2001.

Johnson, M. P., and Tyack, P. L. 2003. A digital acoustic recording tag for measuring the response of wild marine mammals to sound. *IEEE J. Ocean. Eng.* 28, 3–12.

Holliday, D.V. (1977b) The use of swimbladder resonance in the sizing of schooled pelagic fish. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 170, 130–35.

Houser, D. S., Helweg D.A. and Moore P. W. 1999. Classification of dolphin echolocation clicks by energy and frequency distribution. *J. Acoust. Soc. Am.* 106 (3).

Meotti C. & Podestà M. 1997. Stomach contents of striped dolphins, *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833), from the Western Ligurian sea (Cetacea, Delphinidae). *Atti Soc. ital. Sci. nat. Museo civ. Stor. nat. Milano*, 137/1996 (I-II): 5-15.

Møhl, B., Wahlberg, M., Madsen, P. T., Miller, L. A. and Surlykke, A. (2000). Sperm whale clicks: Directionality and source level revisited. *J. Acoust. Soc. Am.* 107,638 -648.

Notarbartolo G. & Demma M. 1994. Guida dei Mammiferi Marini del Mediterraneo. Franco Muzzio ed., Padova.

Pack, A., Herman I., Hoffman-Kunhnt M., and Branstetter B. 2002. The object behind the echo: dolphins (*Tursiops truncatus*) perceive object shape globally through echolocation. *Behavioural Processes*, Volume 58, Issues 1-2, 28 May 2002, Pages 1-26

Perrin WF, Wilson CE, Archer FI II (1994) Striped dolphin - *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833). In: Handbook of marine mammals (Ridgway SH, Harrison SR. eds.) Vol. 5: The first book of dolphins. Academic Press, London, pp. 129-160

Priano, M., Pavan G., Manghi M., and Fossati C. 1997. The cetacean sound library of the Interdisciplinary Centre for Bioacoustics and Environmental Research of the University of Pavia. *Proc. I.O.A.* Vol 19 Part 9 (1997).

Pulcini M, Carlini R. and M. Wurtz. 1992. Stomach contents of striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*, Meyen, 1933) from the south-central Tyrrhenian coast. *Eur. Res. Cet.* 6:194-196.

Tyack, P., Johnson M., Aguilar Soto N., Sturlese A. and Madsen P. 2006. Extreme diving of beaked whales. *Journal of Experimental Biology* 209, 4238-4253 (2006)

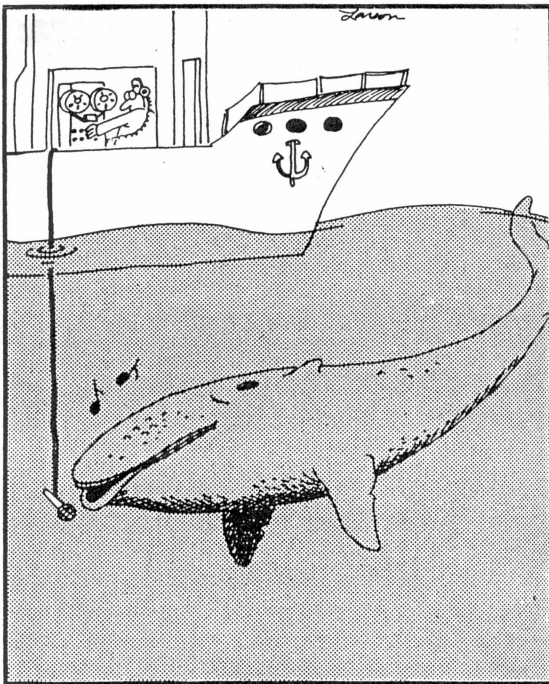
Wurtz M & Marrale D. 1993. Food of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*, in the Ligurian sea. *J.mar. biol. Ass. U.K.* (1993), 73, 571-578.



## Ringraziamenti

Vorrei ringraziare, in ordine né gerarchico né alfabetico, tutte le persone che hanno avuto una parte in questo lavoro.

**Gianni Pavan, Marco Priano, Giovanni Caltavuturo, Paola Valsecchi, Shanis Barnard, Federico Cividini**



"A Louie, Louie . . . wowoooo . . . We gotta go now . . ."