

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea Magistrale in Biologia Marina

Risposte comportamentali a stimoli acustici nell'Aragosta Mediterranea
Palinurus elephas.

Relatore
Elena Fabbri

Candidato
Giovanni de Vincenzi

Correlatore
Giuseppa Buscaino

III Sessione
ANNO ACCADEMICO 2013/2014

*"Seva ascendes, pulsata, brulans, kitzelans, dementissima.
Elevator clatterans, pausa, clatterans, populus in corridoro.
Hanc nisi mors mihi adimet nemo!
Juncea puellula, jo pensavo fondissime, nobserva nihil quidquam."*

[Cit. Nabokov]

SOMMARIO

1.INTRODUZIONE	5
1.1 TASSONOMIA	7
1.2 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA.....	8
1.3 MORFOLOGIA, ECOLOGIA e HABITAT	9
1.4 RISORSA DEL MEDITERRANEO.....	14
2.SIGNALI ACUSTICI NEI DECAPODI	18
2.1 RASP E SCREECH	19
2.2 MECCANISMO D’EMISSIONE	23
2.2.1 ANATOMIA DEI MUSCOLI DELLE ANTENNE.....	25
2.3 SISTEMA SENSORIO	26
2.3.1 ORGANI SENSORIALI CUTICOLARI	27
2.3.2 STATOCISTI	30
2.3.3 ORGANO CORDOTONALE	31
3. SCOPO DELLA RICERCA.....	32
4.MATERIALI E METODI.....	33
4.1 Soggetti utilizzati e disegno sperimentale.....	33
4.2 Test in singoli.....	38
4.3 Acquisizione, montaggio e proiezione degli stimoli acustici	38
4.4 Sistema di monitoraggio Audio-Video e analisi.....	41
5. ANALISI STATISTICA.....	47
6. RISULTATI	47
7. DISCUSSIONE.....	53
8. BIBLIOGRAFIA.....	58
9. RINGRAZIAMENTI.....	67

1.INTRODUZIONE

L'aragosta Mediterranea (*Palinurus elephas*, Fabricius 1787), oltre ad essere importante dal punto di vista biologico ed ecologico, data la sua ampia distribuzione geografica ed il ruolo critico che riveste in numerose reti trofiche marine (Lipcius et al., 1994), costituisce una risorsa commerciale considerevole in tutto il Mediterraneo. Nonostante negli ultimi trent'anni si sia registrato un marcato decremento delle catture di *P. elephas* (Secci et al., 1999; Ceccaldi & Latrouite, 2000; Goni & Latrouite, 2005; Groeneveld et al., 2006), la pesca dell'aragosta rossa mantiene un elevato appeal economico grazie al suo alto valore unitario di mercato (Goni & Latrouite, 2005). L'importanza di questo studio nasce dall'assunzione che il rumore di natura antropica potrebbe avere effetti negativi sugli stock di aragoste, in quanto andrebbe a sovrapporsi e mascherare sia il suono del fondo marino, il quale, come dimostrato da diversi autori (Phillips & Macmillan, 1987; Phillips & Pernose, 1985; Macmillan et al., 1992; Able, 1996; Jeffs et al., 2003), riveste un'importante ruolo di orientamento nelle fasi larvali di molti decapodi, sia i suoni d'importanza bio-ecologica prodotti da conspecifici e non (Johnson & Tyack, 2003; Nowacek et al., 2007). Il rumore antropico, oltre agli effetti di mascheramento potrebbe rappresentare anche una fonte di stress ambientale negli esemplari di aragosta, causando una serie di effetti a catena il cui meccanismo generante è caratterizzato per l'appunto da fattori stressogeni (Hastein et al., 2005; Elwood et al., 2009; Buscaino et al., in preparazione). In questo progetto di tesi si sono volute indagare le risposte comportamentali di *Palinurus elephas* a suoni di diversa natura (Sweep-tone e Rasp), desumendo la sensibilità di questa

specie a spettri sonori diversi in frequenza ed ampiezza. Nonostante alcuni Autori ipotizzano che le emissioni di segnali acustici possano svolgere un ruolo di chiamata d'emergenza per altri animali in contesti anti-predatoriali (Klump & Shalter, 1984; Smith, 1986; Driver & Humphries, 1988), il ruolo della stridulazione e della potenziale ricezione di questi segnali nelle aragoste rimane ad oggi poco esplorata e conosciuta.

Buscaino et al. (2011b) hanno dimostrato che le emissioni acustiche definite 'Rasp' di *Palinurus elephas* avvengono in associazione a comportamenti anti-predatoriali (consistenti in movimenti del corpo ampi che si ripercuotono in un significativo spostamento delle antenne), ritenendo valide e percorribili le ipotesi sostenute da altri Autori, i quali attribuiscono a queste emissioni significati quali il richiamo d'aiuto verso altri conspecifici, l'allerta degli stessi a un pericolo, l'attrazione di un secondo predatore in grado di contrastare l'attacco del primo, aposematismo e la riduzione della frizione cinetica tra antenne e predatore per facilitarne la fuga (Smith, 1986; Driver & Humphries, 1988; Bouwma & Herrnkind, 2009; Staaterman et al., 2010). Nonostante questo, la comunicazione intraspecifica dell'aragosta mediterranea rimane ipotetica perché l'abilità di questi animali nella percezione dei segnali acustici (inclusi quelli emessi da conspecifici) non è documentata e la sensibilità delle aragoste a stimoli di diversa frequenza rimane tutt'ora sconosciuta (Buscaino et al., 2011a). A questo proposito abbiamo valutato indirettamente la sensibilità di *P. elephas*, attraverso l'analisi delle risposte comportamentali, a differenti frequenze in quanto, attualmente, vi sono studi che dimostrano la sola capacità di questo

decapode nella percezione delle bassissime frequenze (Packard et al., 1990).

1.1 TASSONOMIA

Palinurus elephas è un Crostaceo Decapode appartenente alla famiglia Palinuridae.

Di seguito è riportata la tabella Sistemática (Tabella 1).

Tabella 1. Sistemática dell'Aragosta rossa *Palinurus elephas*.

Phylum	<u>Arthropoda</u>
Subphylum	<u>Crustacea</u>
Classe	<u>Malacrostaca</u>
Sottoclasse	<u>Eumalacrostaca</u>
Superordine	<u>Hoplocarida</u>
Ordine	<u>Decapoda</u>
Sottordine	<u>Macrura-Reptantia</u>
Infraordine	<u>Palinuridea</u>
Famiglia	<u>Palinuridae</u>
Genere	<u>Palinurus</u>
Specie	<u><i>Palinurus elephas</i></u>

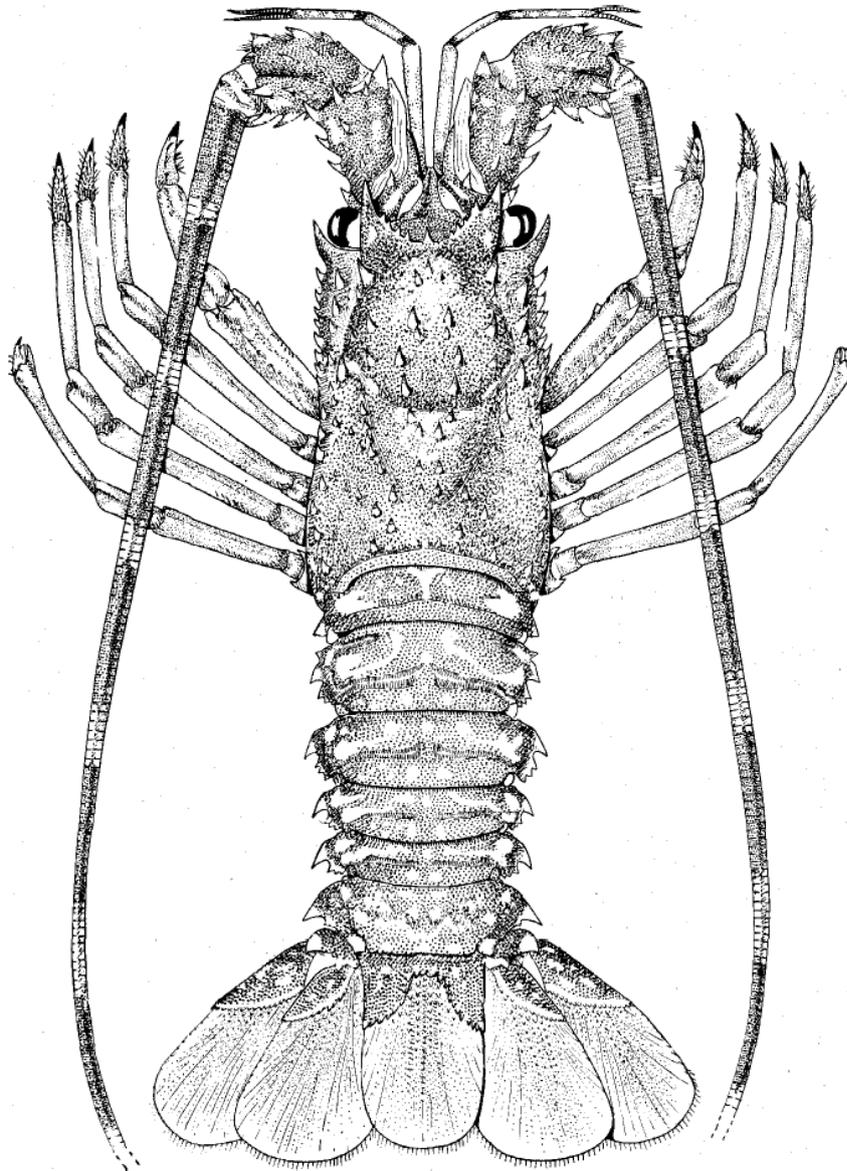
1.2 DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA



Figura 1. Distribuzione dell'aragosta rossa *Palinurus elephas*.

L'aragosta europea *Palinurus elephas* (Fabricius, 1787) è distribuita (Fig. 1) sulle coste Est Atlantiche dalla Norvegia al Marocco e in quelle Mediterranee eccetto che nelle regioni sud-orientali e nel Mar Nero (Holthuis, 1991). E' possibile rinvenire la presenza di questo decapode anche nelle isole Canarie (Hunter, 1999), nelle Azorre (Udekem d'Acoz, 1999) e probabilmente nelle isole Madeira.

1.3 MORFOLOGIA, ECOLOGIA e HABITAT



Palinurus elephas, noto anche come aragosta rossa, è un crostaceo decapode appartenente alla famiglia Palinuridae. Morfologicamente parlando la specie è caratterizzata da un carapace sub-cilindrico, più largo nel quarto inferiore, assenza di un rostro mediano distinto e presenza di numerose spine coniche leggermente appuntite di cui le più

robuste disposte in file longitudinali. Sul bordo anteriore del carapace sono presenti due corna frontali a forma di triangolo, separate da uno spazio a forma di V. Le antenne sono lunghe e le antennule brevi e bifide. L'animale possiede un ventaglio caudale ben sviluppato e presenta in



Figura 2. Particolare 5° pereopode di *P. elephas* femmina.

ciascun segmento un netto solco trasversale, interrotto sulla linea mediana (Holthuis, 1987). La colorazione è bruno-rossastra dorsalmente e bianca ventralmente (Hunter, 1999). *P. elephas* è inoltre caratterizzato da

due larghe macchie bianche simmetriche sui tergiti dei somiti 1-5, con un'unica macchia

localizzata centralmente sul segmento terminale.

Questo crostaceo presenta uno spiccato dimorfismo sessuale. In particolare, il quinto pereopodio può essere usato come carattere nella distinzione dei sessi: nella femmina questo termina in una pseudo pinza (Fig. 2) che viene adoperata per lacerare l'involucro della spermatofora contenente gli spermatozoi, mentre nel maschio termina con un'unica unghia (Bouvier, 1940; Zariquiey, 1968; Berry, 1970). Ulteriormente nei maschi è possibile riscontrare una particolare conformazione della coxa del V paio di pereopodi dove sbocca il *ductus ejaculatorius*, mentre nella femmina l'apertura sessuale si trova alla base del III paio.

Palinurus elephas vive tra la costa e i 200 metri di profondità su substrati rocciosi o coralligeni, ove la disponibilità di rifugi quali micro-cave e anfratti naturali è numerosa (Ceccaldi & Latrouite, 2000). Il ciclo vitale di questo decapode riflette il modello di sviluppo predominante dei

crostacei (Sastry, 1983), caratterizzato dal rilascio, dopo lo sviluppo embrionale, di una larva natante planctonica libera. Come tutte le aragoste, anche *P. elephas* attraversa cinque fasi nel corso della vita: stadio embrionale, stadio larvale (fillosoma), stadio postlarvale (puerulo), stadio giovanile e stadio adulto (Fig. 3). Nelle

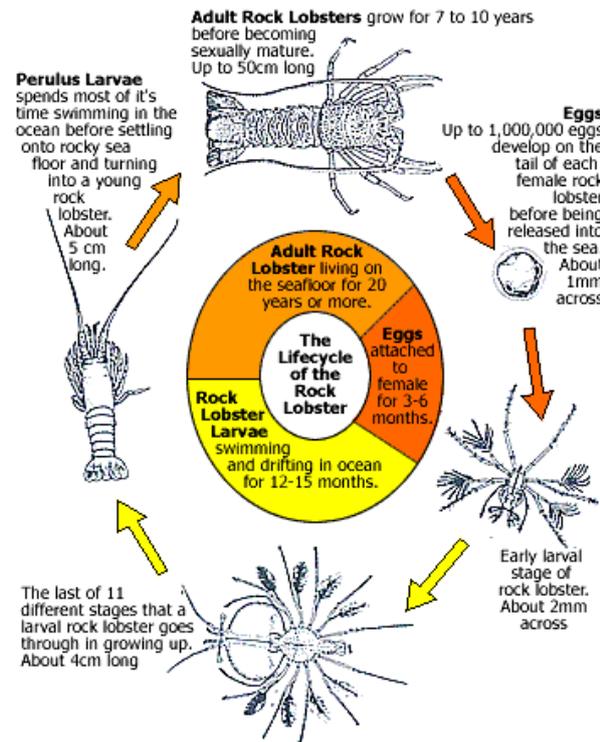


Figura 3. Ciclo vitale dell'aragosta *P. elephas*. E' possibile distinguere i 5 stadi attraversati dall'animale: embrione, fillosoma, puerulo, giovane e adulto. Immagine prelevata dal sito: aquafarmer.com.au.

zone a Ovest del Mediterraneo, durante l'estate, gli stadi postlarvali si trovano all'interno di piccole fenditure a 5-15 metri di profondità (Diaz et al., 2001), sebbene siano stati osservati soggetti a profondità maggiori di 35 metri (Goñi et al., 2000). Questi lasciano i nascondigli alla ricerca di sostentamento al calar del sole (Diaz et al., 2001). Durante il primo anno di vita bentonica, i giovani dell'aragosta sono predati da una larga gamma di pesci (Lavalli & Herrnikind, 2009) e invertebrati mobili (Butler et al., 2006) raggiungendo, in alcuni casi, una mortalità del 95% (Sharp et al., 2000; Cruz et al., 2007). Per quanto riguarda la predilezione di habitat, poco è conosciuto riguardo i giovani di questa specie e per lo più ci si basa sulle osservazioni di Mercer (1973) dove viene indicata la tendenza a vivere in gruppo all'interno di cavità o anfratti della roccia. Gli adulti di *P. elephas* hanno la tendenza a vivere in piccoli gruppi, preferibilmente alla base di rocce o massi, sopra letti di

ghiaia. Come i giovani anche gli adulti sono maggiormente attivi nelle ore notturne quando lasciano la tana alla ricerca di nutrimento (Hunter, 1999). Prima dell'alba ritornano nel proprio rifugio diurno (fenomeno dell'homing, Herrnkind, 1980), spesso occupando la stessa tana.

Nell'Atlantico *P. elephas* intraprende una migrazione primaverile pre-riproduttiva seguita da una post-riproduttiva in tardo autunno (Mercer, 1973; Ansell & Robb, 1977). Un comportamento simile è stato postulato per *P. elephas* delle Isole Columbretes (ovest Mediterraneo) (Goñi et al., 2001b). Di tali migrazioni, studiate mediante radiotelemetria ultrasonica e marcatura e ricattura degli individui, sono stati registrati solo brevi spostamenti (Hepper et al., 1967; Secci et al., 1999; Giacalone et al., 2006), tranne qualche rara eccezione (Relini & Torchia, 1998; Secci et al., 1999).

P. elephas preda vari organismi bentonici (Goñi et al., 2001a). È altamente onnivoro prediligendo molluschi, echinodermi, policheti, briozoi, altri crostacei e frammenti di microalche (Ansel, 1977; Campillo et al., 1979). Questa specie è generalista opportunista cambiando le preferenze alimentari in funzione dell'abbondanza degli organismi bentonici. In ogni caso però molluschi ed echinodermi rappresentano le prede più importanti nella dieta di questa specie (Goñi et al., 2001a).

Come per le altre specie di crostacei, la predazione rappresenta probabilmente la causa principale di mortalità naturale per *P. elephas*, particolarmente accentuata durante gli stadi giovanili (Marin, 1985). Sia il polpo (*Octopus vulgaris*, Cuvier, 1797) che la cernia (*Epinephelus marginatus*, Lowe, 1834) sono conosciuti come predatori principali di questo crostaceo nell'ovest-mediterraneo (Quetglas et al., 2001). Altri

predatori nella fascia Mediterranea sono: *Labrus* spp., *Scorpaena* spp. e *Serranus* spp. (Marin, 1987); ma anche pesci pelagici risultano predare *Palinurus elephas* (Fage, 1927; Heldt, 1929; Legendre, 1936; Caroli, 1946). Studi sulla dieta di questo crostaceo non hanno rivelato segni di cannibalismo sotto condizioni naturali (Goñi et al., 2001a) anche se ne sono stati osservati casi in cattività (Marin, 1987).

1.4 RISORSA DEL MEDITERRANEO



Figura 4. Particolare di *Palinurus elephas* in una raffigurazione nei mosaici dei vivai Pompeiani.

Le carni dei crostacei sono di grande pregio, apprezzate dai popoli sin dall'antichità, tant'è che nei mosaici dei vivai pompeiani vi sono raffigurazioni di *Palinurus elephas* che si accingono a combattere contro polpi.

Secondo i dati dell'Istituto Nazionale della Nutrizione, il valore nutrizionale di questa specie è particolarmente buono per l'apporto proteico (16.20g. su 100g.), di carboidrati (1.90g. su 100g.), di sali minerali (Calcio: 60mg; Fosforo: 280mg; Ferro: 0.8mg su 100g.) e di vitamine (B1 e B2). La domanda mondiale da parte delle industrie alimentari è cresciuta nell'ultimo ventennio anche per l'aragosta rossa, rendendo così necessaria la programmazione di strategie di gestione mirate.

La Tabella 2 riassume le regolamentazioni attualmente vigenti in alcuni paesi del Mediterraneo:

Tabella 2. Misure restrittive e taglie minime di cattura adottate in diverse Nazioni. Dati ricavati da Goñi e Latrouite, 2005.

Nazione		Misure Restrittive	Taglia minima di Cattura (MSL) LC=Lungh. Carapace; LT=Lungh. Tot.
IRLANDA		Nessun Fermo; 2 aree interdette alla pesca con reti	11 cm LC
GRAN BRETAGNA		?	?
FRANCIA	Atlantico	Nessun Fermo	9.5 cm LC
	Mediterr.	Fermo: Settembre→Marzo; 2 aree protette	8 cm LC
PORTOGALLO		Nessun Fermo; divieto pesca ♀♀ ovigere	9.5 cm LC
SPAGNA		Fermo: Settembre→Febbraio; divieto pesca ♀♀ ovigere	8 cm LC
ITALIA ¹		Fermo: Gennaio→Aprile; divieto pesca ♀♀ ovigere	10.7 cm LC
CROAZIA		Fermo: Ottobre→Aprile; divieto pesca ♀♀ ovigere	8 cm LC
GRECIA		Fermo: Settembre→Dicembre; divieto pesca ♀♀ ovigere	8.5 cm LC
TUNISIA		Fermo: Settembre→Febbraio; divieto pesca ♀♀ ovigere	6.7 cm LC
MAROCCO		Nessun fermo	17 cm LT

Il sovrasfruttamento di questa importante risorsa ha indotto diverse nazioni a non limitarsi alle sole misure restrittive del fermo biologico e della taglia minima di cattura ma a predisporre oasi di rifugio entro Aree Marine Protette (AMP). Considerando i dati scaturiti dalla ricerca di mercato effettuata dalle Camere di Commercio di Cagliari e Oristano²

¹ In Sardegna esistono apposite normative regionali (D.P.R. 2/10/1968 N° 1639, ART. 132 E ART. 88; REGOLAMENTO CEE N° 3094/86 E REGIONALE N° 1626/94) che impongono il fermo temporaneo della pesca dal 1° settembre al 28 febbraio e la taglia minima di cattura di 24 cm LT.

² Studio di Mercato Crostacei e Molluschi Cefalopodi (2011).

Gruppo di lavoro BMTI: Pesolio G., Nardoni G., Bologna C., Romano I., Somma M.C., Varesi N.

(2011), l'Italia è il quarto paese europeo per produzione di crostacei. Se a livello mondiale la pesca di astici e aragoste costituisce solo il 4% delle catture complessive, in Italia essa raggiunge un valore molto più elevato, prossimo al 16%. Analizzando la produzione nazionale in termini monetari, degno di nota è l'apporto proveniente dai polivalenti passivi (che riuniscono in realtà battelli simili a quelli della piccola pesca, ma con lunghezza maggiore di 12 metri), sistema di pesca che, nel settore dei crostacei, si concentra prevalentemente nella cattura di aragoste, astici e pannocchie. Di notevole importanza sono gli scambi con l'estero di prodotti ittici appartenenti alla categoria dei crostacei e molluschi i quali rappresentano congiuntamente circa il 36% del valore delle importazioni ed il 33% del valore delle esportazioni. Nelle esportazioni di crostacei (Tabella 5), i partner commerciali dell'Italia sono prevalentemente paesi europei. Nel 2010 il valore complessivo è stato destinato per il 92% ai Paesi dell'Ue-27, di cui circa il 64% delle esportazioni in valore (24,3 milioni di euro) sono indirizzate verso il mercato spagnolo, paese con il quale l'Italia detiene il maggior numero di scambi totali in termini di flusso di importazioni ed esportazioni di crostacei. Nel complesso le esportazioni italiane sono aumentate nel 2010 di 7,5 milioni di euro (con una crescita di quasi il 25%), e di 7,2 milioni solo quelle verso i mercati europei (+26%).

Tabella 5. Esportazioni di crostacei freschi e congelati per paese (2008-2010)
 Fonte: Elaborazione BMTI su dati Istat.

Importazioni Paesi	Valori in milioni di euro				Quantità Tonnellate			
	2008	2009	2010	Inc. % 2010	2008	2009	2010	Inc. % 2010
Spagna	20,7	17,7	24,3	64%	1.916	1.881	2.685	59%
Slovenia	2,4	1,9	2,0	5%	304	258	264	6%
Croazia	1,3	1,1	1,4	4%	173	148	178	4%
Romania	0,9	0,9	1,0	3%	123	119	123	3%
Malta	0,9	0,8	1,5	4%	124	112	190	4%
Austria	0,5	0,4	0,5	1%	59	46	47	1%
Germania	0,3	0,4	0,3	1%	37	56	29	1%
Albania	0,7	0,3	0,4	1%	145	76	73	2%
Tunisia	0,3	0,3	0,4	1%	120	78	88	2%
Grecia	2,1	2,0	2,7	7%	295	291	422	9%
Francia	2,5	2,8	1,8	5%	422	579	205	5%
UE 27	31,2	27,6	34,8	92%	3.393	3.458	4.076	90%
MONDO	34,8	30,4	37,9	100%	4.026	3.915	4.549	100%

2.SEGNALI ACUSTICI NEI DECAPODI

I crostacei dell'ordine dei Decapodi sono conosciuti per la loro inclinazione a produrre segnali acustici (Cohen & Dijkgraaf, 1961; Schone, 1968; Budelmann, 1992). Lo stomatopode *Hemisquilla californiensis* emette brontolii usati per la comunicazione intraspecifica, con una potenziale funzione di mantenimento del territorio o richiamo dei compagni (Staaterman et al., 2011). I crostacei appartenenti ai generi *Uca* e *Ocypode* non solo producono suoni, ma rispondono anche ai segnali modificando il comportamento (Salmon & Atsides, 1968; Horch & Salmon, 1969). I maschi emettono 'spontaneamente' suoni (in quanto l'emissione si ha in assenza di stimoli provenienti da altri granchi) all'interno delle loro tane o sull'uscio delle stesse (Salmon, 1983) specialmente durante le fasi notturne d'alta marea quando le femmine sono recettive (Popper et al., 2001). Il gambero della Louisiana *Procambarus clarkii* produce treni d'impulsi sia fuori (Favaro et al., 2011) che dentro (Buscaino et al., 2012) l'acqua. A seconda della specializzazione alcuni crostacei sono abili nell'emissione di suoni stridulanti mediante specifici organi come nel caso di *P. longipes* e *P. argus* (Meyer-Rochow & Penrose, 1976; Patek, 2001), altri emettono suoni schioccanti serrando le chele come nel caso di *Synalpheus parneomeris* (Au & Banks, 1998). Nonostante molti artropodi producano segnali acustici, il ruolo ecologico di tali emissioni rimane tuttora ignoto (Buscaino et al., 2012). Come riportato da Buscaino et al. (2012) alcuni autori (Moulton, 1957; Hazlet & Winn, 1962; Meyer-Rochow & Penrose, 1974, 1976; Patek, 2001; Patek & Oakley, 2003; Bouwma & Herrnkind, 2009.) sostengono che i crostacei emettono suoni solo in

contesti comportamentali antipredatoriali, altri (Moulton, 1957; Buscaino et al., 2011a; Buscaino et al., 2011b.) ne suggeriscono l'emissione anche in contesti sociali.

2.1 RASP E SCREECH

Come si è detto precedentemente, i crostacei appartenenti alla famiglia dei Palinuridi possono essere diversificati in Stridulatori (emissione di suoni) e non Stridulatori. A questo proposito innumerevoli sono state le

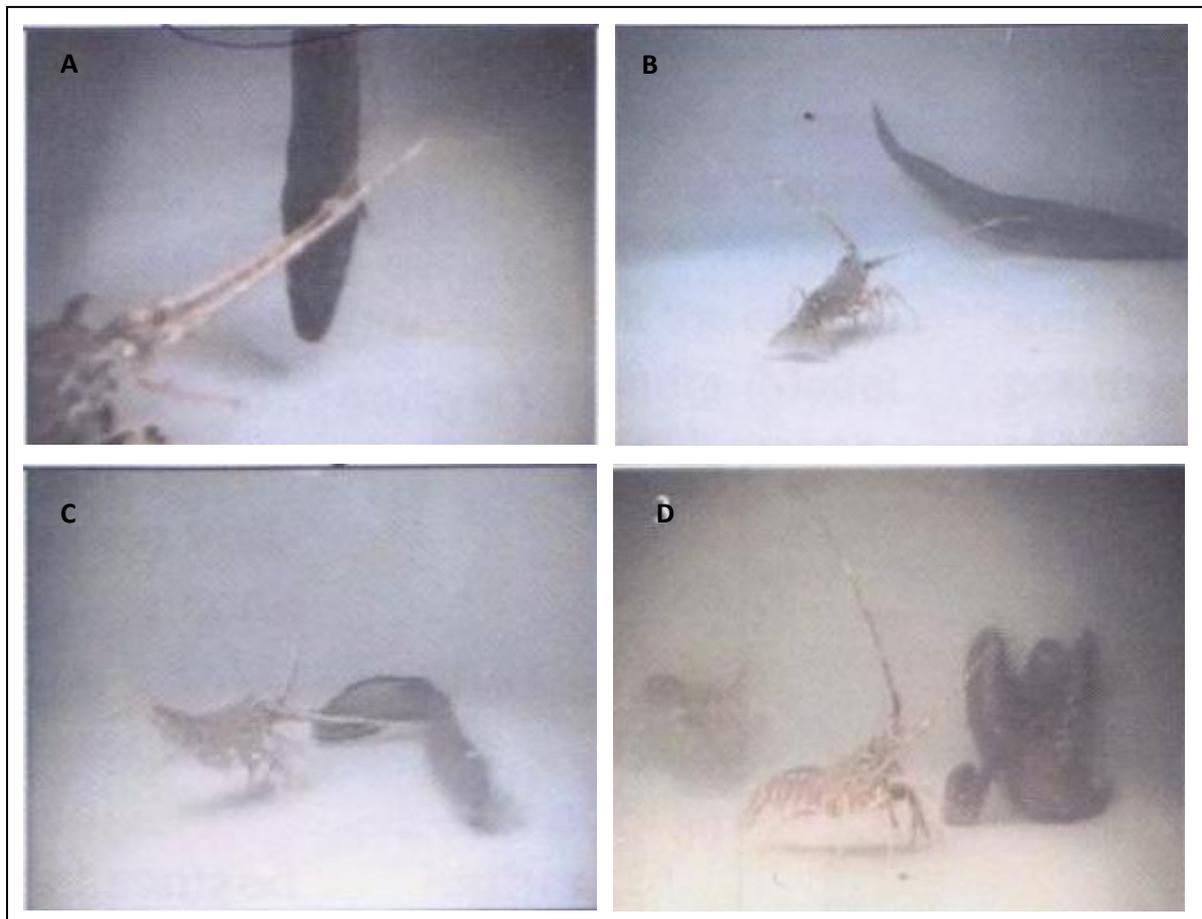


Figura 5. *Palinurus elephas*. Eventi comportamentali dell'aragosta Europea vs. un predatore (*Conger conger*, Linnaeus, 1758). (A) Parry: la punta o il lato dell'antenna prende contatto con il predatore per scacciarlo. (B) Point: una o entrambe le antenne vengono mosse attorno o verso il predatore. (C) Lunge: le antenne vengono mosse rapidamente mentre l'animale si muove verso il predatore. (D) Whip: l'aragosta colpisce il predatore con le antenne senza movimenti del corpo associati. Immagine acquisita da Buscaino et al., 2011b.

ipotesi su quale fosse il significato biologico di queste emissioni. Come

convengono Buscaino et al. (2011a) con altri autori (Smith, 1986; Driver & Humphries, 1988; Bouwma & Herrnkind, 2009; Staaterman et al., 2010); tali ipotesi includono il richiamo d'aiuto verso i conspecifici, l'allerta degli stessi a un pericolo, l'attrazione di un secondo predatore in grado di contrastare l'attacco del primo, aposematismo e la riduzione della frizione cinetica tra antenne e predatore per facilitarne la fuga. A questo vediamo susseguirsi che i decapodi stridulatori producono suoni specialmente durante le interazioni con i predatori (Lindberg, 1955; Smale, 1974; Mulligan & Fisher, 1977; Buscaino et al., 2011a). Nel 2009, Bouwma & Herrnkind dimostravano che esemplari dell'aragosta *Palinurus argus* disabilitate attraverso mutilazioni di parti dell'apparato stridulatore che si colloca alla base delle antenne, venivano attaccate e uccise da predatori più frequentemente rispetto a coloro il cui apparato rimaneva integro. Le antenne dell'aragosta rivestono il ruolo di arma primaria nei confronti dei predatori (Lindberg, 1955; Kanciruk, 1980; Cobb 1981; Kelly et al., 1999; Buscaino et al., 2011b). Infatti, le antenne spinose, con la loro potente muscolatura basale, possono essere usate in una larga gamma di tattiche difensive (Buscaino et al., 2011b), come ad esempio per mantenere il predatore a distanza (Point o Parry) (Buscaino et al., 2011b) (Fig.4a-b) o usandole come vere e proprie fruste sbattendole sul corpo del medesimo (Whip) o armi nel corso di attacchi al predatore da estrema-ratio (Lunge) (Lavalli & Herrnkind, 2009; Buscaino et al., 2011b) (Fig.4c-d). Nelle aragoste sono stati identificati due diversi suoni, i *Rasp* e gli *Screech*; i primi sempre associati a movimenti meccanici delle antenne, per i secondi non si ha ancora nessuna conferma, ma si pensa possano essere prodotti da un meccanismo

addizionale, speculare allo stick e slip (vedi più avanti) (Meyer-Rochow & Penrose, 1976; Patek, 2001, 2002; Patek & Baio, 2007). Entrambi i segnali, quindi, si vedono accompagnati non solo alla presenza ma anche all'utilizzo delle appendici antennali.

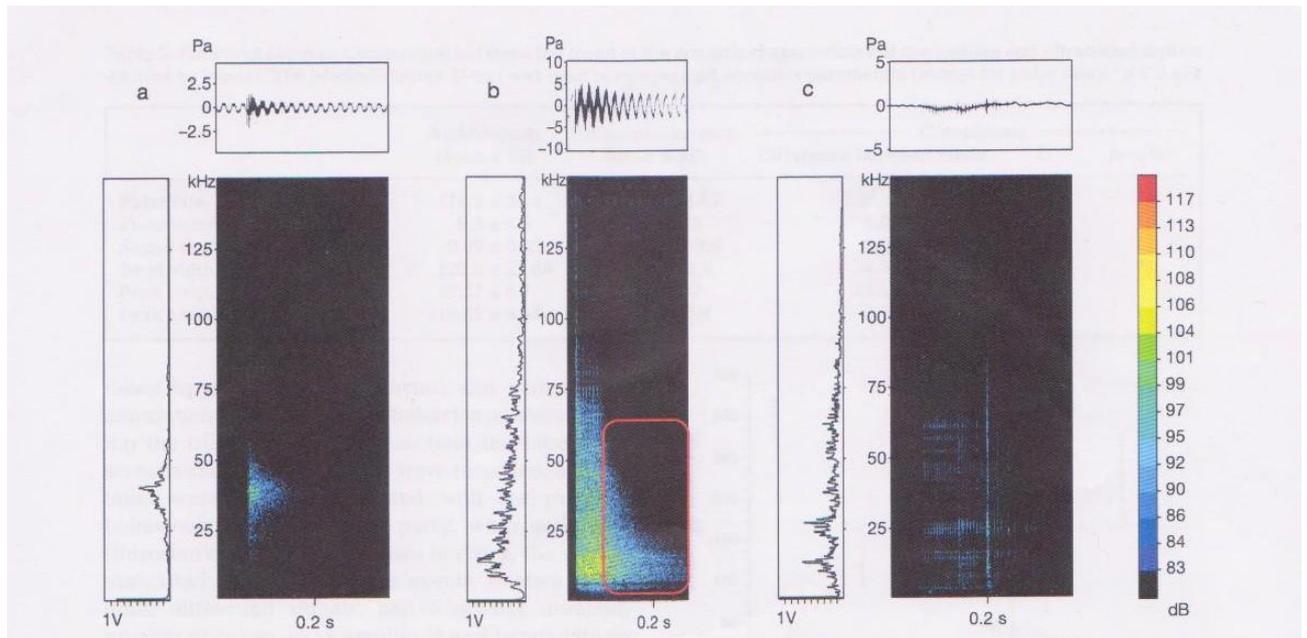


Figura 6. *Palinurus elephas*. (a) Screech (registrato in vasca). (b) Rasp (registrato in vasca). (c) Rasp (registrato in mare). Oscillogramma (in alto), spettro della potenza massima (a sinistra), e spettrogramma (a destra) dei segnali emessi dall'aragosta a un metro dall'idrofono. L'oscillogramma mostra la pressione (Pa) vs. il tempo (s). Lo spettro di potenza mostra la frequenza (kHz) vs. l'ampiezza relativa (V). Lo spettrogramma mostra la frequenza (kHz) vs. il tempo (s), con intensità in dB re 1 μ Pa in scala colorimetrica.

Immagine acquisita da Buscaino et al., 2011a.

- **Rasp:** questi segnali sono udibili dall'udito umano e la produzione è associata sempre alla presenza di un predatore e a quegli eventi che innescano meccanismi comportamentali specifici (Patek & Baio, 2007; Buscaino et al., 2011a). Sono caratterizzati da durata, larghezza di banda, numero di impulsi per singolo rasp e picco d'ampiezza alti; viceversa, picco di frequenza e pulse rate sono bassi (Tabella 6). In media, l'energia del singolo rasp è concentrata

in un range che va dai 2 ai 75 kHz, con un picco di frequenza a 15 kHz (Buscaino et al., 2011a) (Fig.5b).

- ***Screech***: questi segnali non si trovano nel range dell'udibile³ per l'orecchio umano e la loro produzione avviene anche in assenza del predatore (Buscaino et al., 2011a). Nonostante la produzione di questi ultrasuoni si ha senza evidenti movimenti delle antenne, alcuni autori suppongono ci sia un meccanismo simile allo stick e slip alla base della generazione (Meyer-Rochow & Penrose, 1976; Patek, 2001, 2002; Patek & Baio, 2007). Sono caratterizzati da durata, larghezza di banda, numero di impulsi per singolo segnale e picco d'ampiezza bassi; viceversa, picco di frequenza e pulse rate sono alti (Tabella 6). In media la concentrazione maggiore d'energia in questi segnali è ben distribuita in un range che va dai 20 ai 55 kHz, mentre pare essere minore alle basse frequenze per svanire a quelle <5 kHz (Buscaino et al., 2011a) (Fig.5a).

³ Affinché l'orecchio umano possa percepirle, le oscillazioni generate da un suono devono avere una frequenza compresa tra circa 20Hz e 16-18kHz. Le inferiori a 18-20Hz saranno chiamate infrasuoni, le superiori a 20kHz ultrasuoni (G. Pavan, 1992).

Tabella 6. *Palinurus elephas*. Medie delle caratteristiche acustiche degli impulsi sonori emessi dall'aragosta rossa. Immagine acquisita da Buscaino et al.(2011a).

	Audible rasp Mean \pmSD	Ultrasound screech Mean \pmSD
Pulse rate, H	118.2 \pm 54.4	289.9 \pm 115.7
Pulse number per signal, n	9.5 \pm 4.5	3.4 \pm 1.3
Signal duration,	0.09 \pm 0.05	0.013 \pm 0.008
Bandwidth, kHz	122.9 \pm 23.69	88.6 \pm 23.9
Peak frequency, kHz	19.52 \pm 6.7	34.71 \pm 9.2
Peak amplitude, dB re 1 μPa	119.82 \pm 8.44	114.11 \pm 5.94

2.2 MECCANISMO D'EMISSIONE

Gli Artropodi producono suoni usando una schiera straordinaria di parti del corpo. La maggior parte di questi meccanismi acustici sono stridulatori, nei quali due superfici dure si sfregano tra loro (Dumortier, 1963; Ewing, 1989). A prima vista i meccanismi di produzione dei suoni nei palinuridi appaiono simili a quelli di molti altri artropodi, come nei grilli, nei quali un organo duro (il plettro) viene strofinato su creste macroscopiche (il file). Tuttavia la morfologia dell'aragosta rivela che il file manca di creste (Phillips et al., 1980). Il suono che viene prodotto, chiamato "*Rasp*", è il risultato dello sfregamento di due superfici ed è quindi il prodotto dell'attrito che si crea tra la matrice e la superficie (Patek, 2001). Questo meccanismo è chiamato *stick-and-slip* e, come detto pocanzi, vede lo scivolamento di una massa, il plettro, su una superficie stazionaria, il file, attraverso un movimento di traslazione delle articolazioni antennali prossimali (Patek, 2002) (Fig.6). Tale

meccanismo non è stato rinvenuto in nessun altro sistema biologico e potrebbe essere unico dei palinuridi (Patek, 2001). Il suono è prodotto unicamente durante i movimenti diretti posteriormente delle antenne, quando il plectro gratta contro le pareti del file (Patek, 2002). Oltre il su citato Rasp, Buscaino et al. (2011a) hanno descritto un ulteriore segnale, chiamato Screech, descrivendone le caratteristiche acustiche (durata del segnale, numero d'impulsi per segnale, picco di frequenza e d'ampiezza, frequenza d'impulsi) e notando che, a differenza dei rasp, questi segnali vengono emanati anche in assenza di predatori.

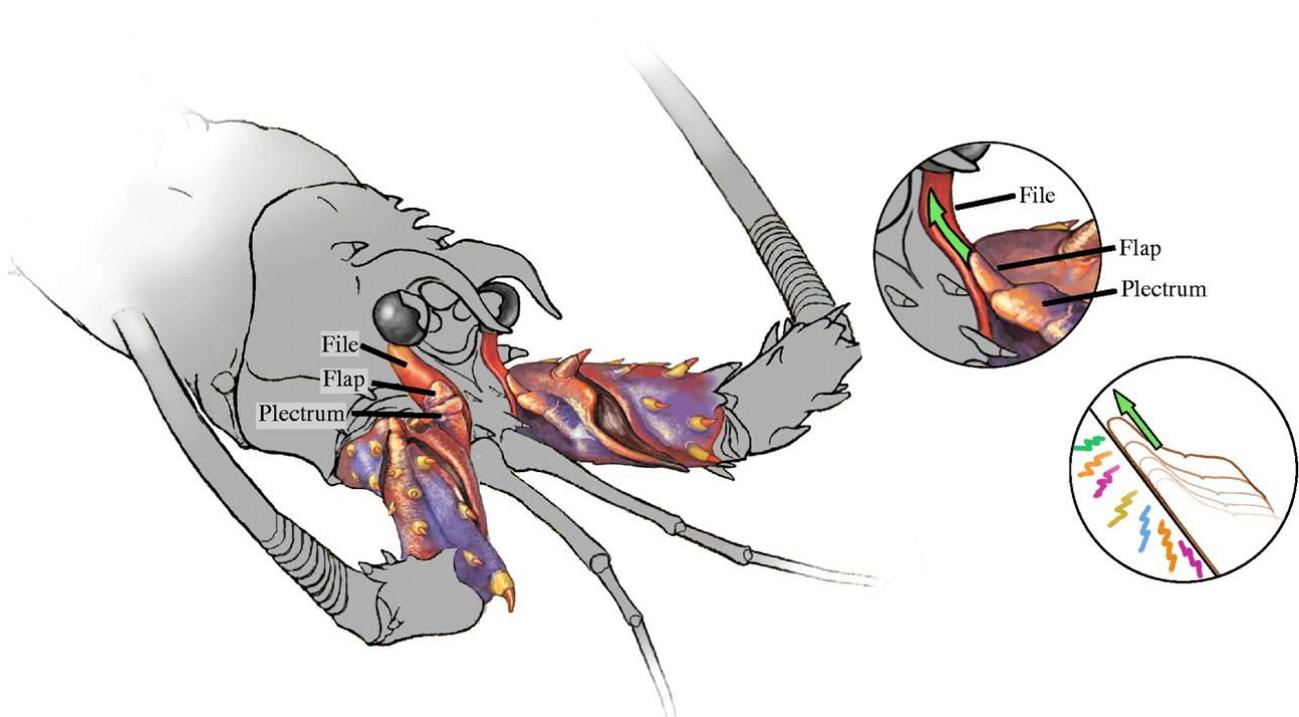


Figura 7. Meccanismo di produzione del suono nell'aragosta mediterranea *Palinurus elephas*.
Image © Sally J. Bensusen/courtesy Natural History Magazine.

2.2.1 ANATOMIA DEI MUSCOLI DELLE ANTENNE

In uno studio del 2002, Patek pone a confronto l'anatomia

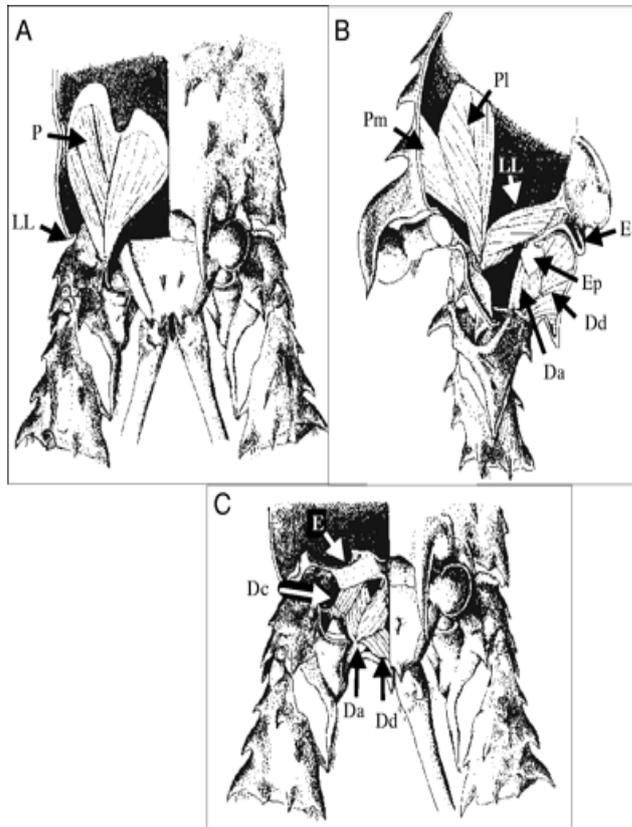


Figura 8. Muscoli connessi alla base delle antenne in *Palinurus elephas*. (A) Vista dorsale con carapace rimosso che mostra il promotore (P) e l'elevatore laterale (LL). (B) Visione sagittale che mostra il promotore mediale (Pm), promotore laterale (Pl), l'elevatore laterale, il depressore A (Da) e il depressore D (Dd), l'epistoma (E) e il processo mediano (Ep). (C) Visione dorsale con rimozione del promotore e dell'elevatore laterale per mostrare il depressore A (Da), depressore C (Dc) e depressore D (Dd). Immagine realizzata da Natalia Rybczynski.

dell'articolazione delle antenne in specie (*Jasus lalandii*, H. Milne-Edwards, 1837) di Palinuridi non produttori di suoni, con specie (*Palinurus argus*, Latreille, 1804; *Palinurus elephas*, Fabricius, 1787) produttrici, asserendo che i primi sono in possesso di due articolazioni in corrispondenza dei bordi laterale e mediale delle antenne, i secondi invece mancano di quella mediale che

diviene plettro, il quale acquisisce mobilità; all'interno dei secondi, a loro volta

troviamo estensioni muscolari differenti. In *Palinurus elephas* il muscolo Promotore (Fig.7A) si protende lateralmente al plettro, connesso al bordo mediale dell'antenna e consta di un solo lobo pennato che lo lega alla regione latero-dorsale del carapace. Il muscolo elevatore laterale (Fig.7A,B) si estende dal bordo dorso-laterale del primo segmento dell'antenna per estendersi ventralmente e prendere connessione sulle

superfici dorsale e posteriore del ripiegamento dell' epistoma (superficie ventrale della piastra antennulare.) I muscoli depressori, sempre da come riportato da Petek (2002), in *P. elephas* sarebbero tre. Il depressore A (Fig.7B,C) è connesso al bordo medio-ventrale del primo segmento dell'antenna e si estende in diverse aree di ripiegamento epistomale. Il depressore C (Fig.7B,C) si sviluppa dalla metà della parete postero-ventrale di ogni antenna sino al piano dell'epistoma. Il depressore D (Fig.7B,C) prende contatto dalla parete medio ventrale delle antenne al piano mediale dell'epistoma.

2.3 SISTEMA SENSORIO

I crostacei Decapodi hanno una varietà di recettori sensoriali (meccanocettori) interni ed esterni i quali sono addetti a rispondere al suono e alle vibrazioni (Popper et al., 2001). Questi recettori somigliano (ma non sono omologhi) a quelli dei vertebrati rispondendo a stimoli idrodinamici, movimenti di particelle e a cambiamenti di pressione (Budelman, 1992). Alcuni decapodi hanno un'estesa schiera di cellule cigliate sia all'interno (Cohen & Dijkgraaf, 1961) che sopra (Dumortier, 1963) la superficie del corpo. I meccanicocettori dei decapodi –che di seguito vedremo nello specifico– includono: organi sensoriali cuticolari, statocisti e organi cordotonali. Disturbi meccanici come l'accelerazione o il flusso idrodinamico stimolano queste cellule sensoriali con consecutiva attivazione di potenziali d'azione (Wiese, 1976).

2.3.1 ORGANI SENSORIALI CUTICOLARI

Gli organi di senso cuticolari, distribuiti sulla superficie delle antenne, principalmente sono sensibili ai movimenti dell'acqua, alla pressione e alla vibrazione, quantunque agli eventi meccanici che scaturiscono dal contatto con oggetti solidi presenti nell'ambiente. Secondo uno studio di Vedel J.P. (1985) di questi meccanocettori ne esisterebbero 5 tipologie differenti (mostrate in Fig.9) e ognuno di questi sarebbe innervato da neuroni sensoriali, rispondendo così agli stimoli meccanici. Su un' antenna di 35cm di lunghezza si trovano approssimativamente 3700 strutture Spine-like (**S**), 1300 smooth hairs (**SH**), 850 feathered hairs (**FH**), 80 recettori idrodinamici (**HR**) e 20 strutture considerate essere organi campaniformi.

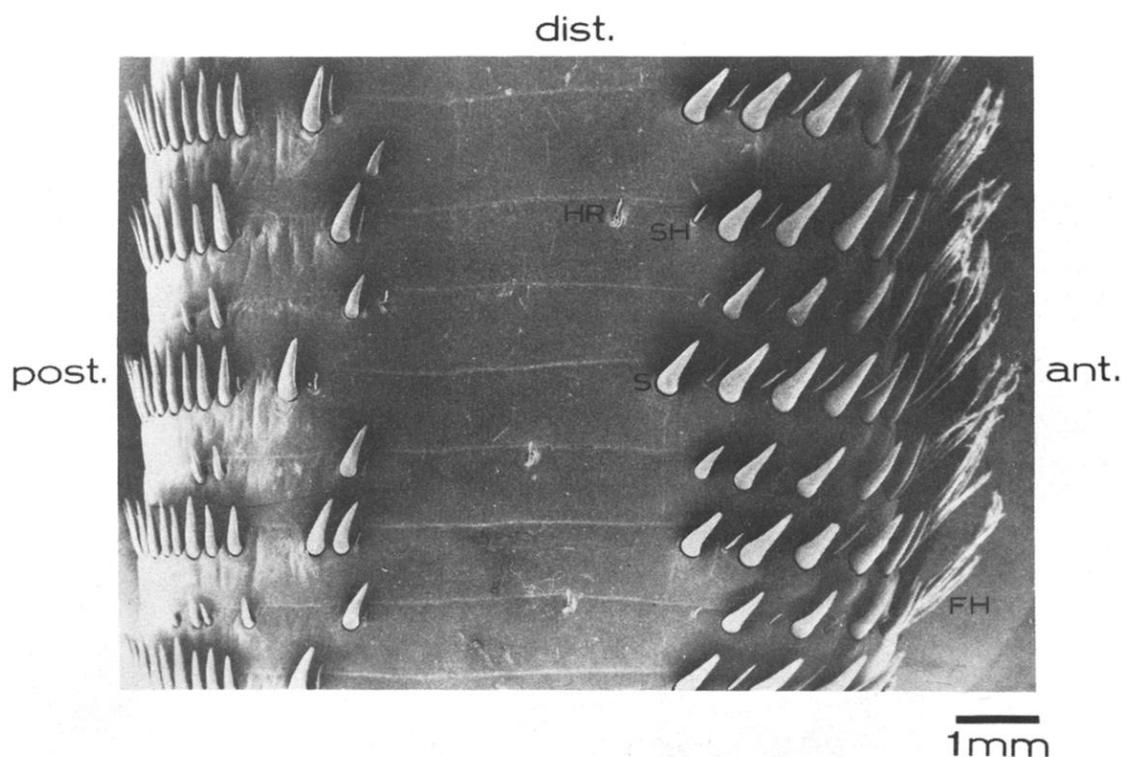


Figura 9. Scansione al microscopio elettronico di alcuni anelli della parte prossimale del flagello dell'aragosta *Palinurus vulgaris*. S, strutture spine-like; SH, smooth hair; FH, feathered hair; HR, hydrodynamic receptor. Immagine acquisita da J.P. Vede

- ***Spine-like* (S)**: queste strutture cuticolari esterne sono le più numerose ed hanno forma di grandi spine leggermente incurvate misuranti 1mm in lunghezza e approssimativamente 0.6mm di diametro. Queste possono muoversi distalmente e prossimalmente sfruttando però un angolo davvero piccolo. Sono innervate da tre diversi neuroni sensoriali; uno appare essere una cellula fasica, rispondendo quando il meccanocettore viene mosso distalmente o prossimalmente, gli altri e due, invece, possono essere considerati cellule toniche dato che hanno una bassa sensitività dinamica e che sono eccitate continuamente quando si trovano in una posizione diversa da quella di riposo. Le unità fasciche sono estremamente sensibili alle basse frequenze, reagendo a stimoli inferiori ai 5 Hz (Fig.9).
- ***Feathered hairs* (FH)**: queste sono strutture lunghe (2-3mm) e flessibili, come suggerisce il nome simili a piume, le quali, in gruppi da 4 a 6, si ritrovano collocate sulla parte anteriore degli annuli, tendendo a diminuire se non addirittura a scomparire nel terzo distale dell'antenna. Questo meccanocettore è innervato da una sola tipologia di cellula sensoria, la quale viene attivata quando il recettore è mosso distalmente o prossimalmente. A differenza delle strutture **S**, gli **FH** sono completamente insensibili alle vibrazioni dell'acqua e non rispondono alle correnti, bensì lo stimolo fisiologico sembra risultare solo come conseguenza del movimento dell'antenna;

tant'è che in posizione di riposo i neuroni sensoriali associati a queste strutture rimangono silenti (Fig.9).

- **Smooth hairs (SH)**: questi complessi cellulari si localizzano dietro le strutture **S** ma solo nella parte anteriore di ogni annulus. La loro lunghezza è variabile, da 100 µm a 1.5 mm e possono muoversi in tutte le direzioni. Ogni **SH** è innervato da 2 neuroni sensoriali sensibili a movimenti distali, prossimali e laterali. Di questi, uno è preferenzialmente sensibile ai flussi lenti, l'altro risponde in particolare a vibrazioni di piccola ampiezza. Non rispondono invece ai flussi idrodinamici deboli; solo correnti d'acqua molto forti dirette su questi organi sensoriali possono attivarne i neuroni (Fig.9).
- **Recettori idrodinamici (HR)**: questi complessi si trovano in gran numero distribuiti sia sul corpo dell'animale che sulle appendici. Sulle antenne gli **HR** sono localizzabili sulle parti laterali e sulla regione anteriore degli annuli vicino le **FH**. Si trovano in una depressione poco profonda dal cui centro sporge un pelo che misura dalla punta alla base 150-300 µm. Generalmente micromovimenti imposti a queste strutture ne inducono l'attivazione di due cellule sensoriali; una reagisce quando gli **HR** sono spostati distalmente, l'altra quando il movimento avviene nella direzione opposta. I recettori idrodinamici sono estremamente sensibili agli spostamenti d'acqua; tant'è che rispondono in maniera più intensa alle basse frequenze che durante il movimento dinamico (Fig.9).

- **Recettori di Vibrazione:** queste strutture sensoriali sono situate alla base dell'antenna nei pressi della giunzione di questa con la testa. Tali complessi sono simili agli organi campaniformi osservabili in altri crostacei e conosciuti per l'altissima sensibilità alle vibrazioni. Nelle antenne dell'aragosta questi organi appaiono come piccole cupole localizzate in depressioni poco profonde con un diametro di 40 μ m.

2.3.2 STATOCISTI.

Le Statocisti sono sistemi recettoriali localizzate in diverse regioni del corpo come nel segmento basale delle antennule e nella zona della testa (Cohen & Dijkraaf, 1961). Una statocisti è essenzialmente una camera piena di liquido contenente una massa detta Statolito. Nei decapodi queste concrezioni compatte consistono in granuli sabbiosi inclusi in una matrice gelatinosa, i quali granuli si trovano a contatto con le cellule cigliate sensoriali a loro volta poste sulle pareti della camera (Cohen & Dijkgraaf, 1961; Popper, 2001). La funzione primaria di questi complessi recettoriali è quella di mantenere l'equilibrio innescando movimenti di raddrizzamento (Budelmann 1992). Quando un movimento del corpo provoca l'inclinazione della statocisti, gli statoliti contenuti al suo interno si spostano nella medesima direzione, provocando la flessione delle ciglia sensoriali con consecutiva generazione di potenziali d'azione (Sherwood, 2005).

2.3.3 ORGANO CORDOTONALE

Gli Organi Cordotonali si trovano nelle giunzioni di appendici mobili, come antenne o zampe (Budelmann, 1992). Questi organi coinvolgono cellule recettoriali toniche e fasiche incluse nei muscoli, nell'apodema o nel tessuto connettivo, le quali, a loro volta, sono connesse al sistema nervoso centrale dell'animale (Popper, 2001). A seconda della struttura dell'organo, questi recettori possono rispondere ai movimenti, allo stress (tensione) e alle vibrazioni, dovute alle basse frequenze, del mezzo acquatico (Taylor, 1968).

3. SCOPO DELLA RICERCA

L'obiettivo del presente lavoro mira a rivelare i meccanismi comportamentali dell'aragosta Mediterranea *Palinurus elephas* (Fabricius 1787) sottoposta a tre diversi stimoli acustici. Precisamente parliamo di una categoria di impulsi sonori a bassa frequenza (tra 0.1 e 20kHz), l'altra ad alta frequenza (tra 20 e 80 kHz), e infine stimoli acustici di conspecifici (Rasp, 2-75 kHz). Un'attenzione particolare è stata diretta verso i comportamenti scatenati da suoni di conspecifici, per l'esattezza i Rasp, in modo da poter avere una linea di base utile per quelli che saranno i successivi studi che verranno condotti sulla comunicazione intraspecifica di *Palinurus elephas*, in quanto dati inerenti questo particolare campo sono attualmente mancanti. In particolare esemplari singoli sono stati sottoposti a tre differenti tipologie di stimoli acustici per verificare alterazioni nel comportamento attraverso l'analisi di filmati audio-visivi.

4.MATERIALI E METODI

4.1 Soggetti utilizzati e disegno sperimentale

Il presente studio è stato condotto presso l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IAMC) di Capo Granitola (TP). In questo studio sono stati impiegati esemplari di aragosta Europea (*Palinurus elephas*) catturati a una profondità tra 20 e 25 metri nei pressi di Mazara del Vallo, usando tramagli commerciali (54-mm ampiezza della maglia, 1200 m di lunghezza). Dopo la cattura le aragoste sono state trasferite in due vasche circolari in PVC (2.35 m di diametro e 1 m di profondità. Fig. 10) dove sono state mantenute in condizione d'acclimatamento per un mese.



Figura 10. Impianto sperimentale presso l'IAMC-CNR di Capo Granitola. L'area in questione comprende la vasca di acclimatamento, quella destinata ai test sperimentali e quella post sperimentale

In questo periodo gli animali sono stati nutriti ad libitum con molluschi e pesci congelati. Dopo tale periodo di acclimatamento, 40 aragoste, prelevate in maniera randomica, sono state sottoposte



Figura 11. Sonda multiparametrica per il monitoraggio delle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua.

singolarmente ai test e usate soltanto in una prova (per rispettare l'assunzione dell'indipendenza sperimentale di ogni prova). All'inizio del test, il singolo esemplare è stato rilasciato all'interno della vasca sperimentale (vasca test), identica in forma e misure alla vasca da cui sono stati prelevati. Nessun rifugio era presente all'interno di questa. Le aragoste sono state private del cibo 2 giorni prima dell'inizio dell'esperimento e tutti gli animali sono rimasti sotto fotoperiodo naturale. Tutte le vasche sono state equipaggiate con un sistema indipendente di pompaggio d'acqua marina (25 ± 3.7 l min⁻¹; media \pm DS). La salinità è stata di 35.4 ± 0.72 ppt (media \pm DS) e la temperatura di 18.23 ± 0.41 °C (media \pm DS) durante l'intero periodo di studio (è stata utilizzata una sonda parametrica 556MPS, YSI Incorporated, Yellow Springs, OH, USA. Fig 11). La fase sperimentale è stata svolta durante i mesi da Settembre a Novembre 2013. Nel corso della sperimentazione, le aragoste sono state sottoposte a quattro condizioni acustiche differenti:

- Esposizione ciclica per un tempo complessivo di 10 minuti ad uno sweep lineare di durata di 0.5 secondi e frequenze comprese tra 0.1 e 20 kHz (Sweep basso);

- Esposizione ciclica per un tempo complessivo di 10 minuti ad uno sweep lineare di durata di 0.5 secondi e frequenze comprese tra 20 e 80 kHz (Sweep alto);
- Esposizione ciclica per un tempo complessivo di 10 minuti a un mix di Rasp di durata compresa tra 0.062 e 0.175 secondi (Rasp).
- Condizione di Controllo durante la quale gli animali non sono stati esposti ad alcun suono se non al rumore presente all'interno della vasca e prodotto dallo stesso impianto sperimentale (Controllo).

In totale sono stati utilizzati 40 soggetti, 10 per ogni condizione sperimentale, dei quali 5 esemplari maschi e 5 femmine. Dopo un periodo di acclimatamento durato 1 ora all'interno della vasca test, la fase sperimentale ha previsto un periodo di Pre-Test (10 minuti), During-Test (10 minuti) e Post-Test (10 minuti). La durata totale di ogni test è quindi stata di 1.5 ore (vedi Diagramma in Figura 10) . Nel corso della fase di During i soggetti venivano esposti ad uno dei tre stimoli acustici (sweep basso, sweep alto, rasp) o soltanto al rumore di base della vasca sperimentale in funzione della diversa condizione sperimentale. Gli sweep della durata di 0.5 secondi sono stati proiettati continuamente per l'intero periodo di During. Per i rasp invece sono state create 5 playlist della durata di 2 minuti ciascuna nelle quali in modalità casuale si sono alternati 9 rasp differenti e momenti di

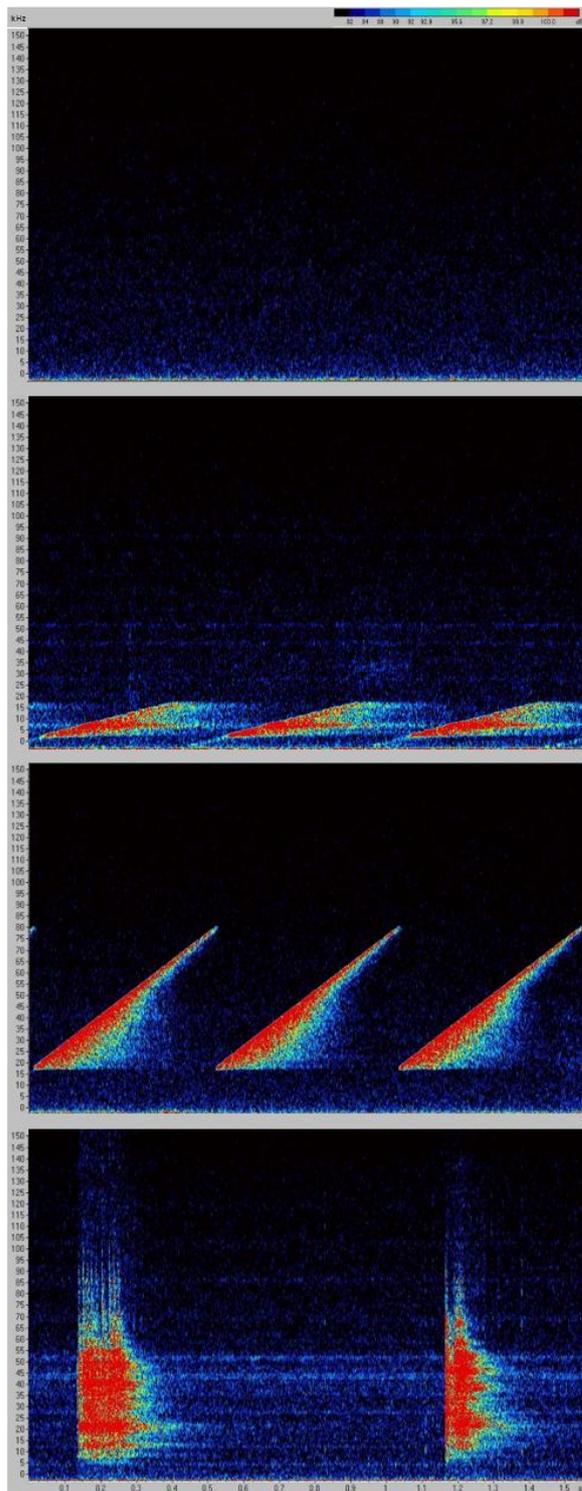


Figura 11. Spettrogrammi del rumore di fondo dell’impianto e dei tre stimoli acustici (Sweep basso, Sweep alto, Rasp) utilizzati nello studio: Frequenza (kHz) vs Tempo (s). L’intensità è raffigurata su scala colorimetrica (dB 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$, frequenza di campionamento 92 kHz).

silenzio. Per tutto il periodo di Pre-, During- e Post-Test, gli esemplari sono stati video e audio monitorati per un totale di 30 minuti. Dopo essere stati utilizzati a fini sperimentali, i soggetti sono

stati spostati all'interno di una vasca post-sperimentale (vasca Post-Test) e li mantenuti sino al termine dell'intero iter al fine di non essere riutilizzati per successive fasi di test.

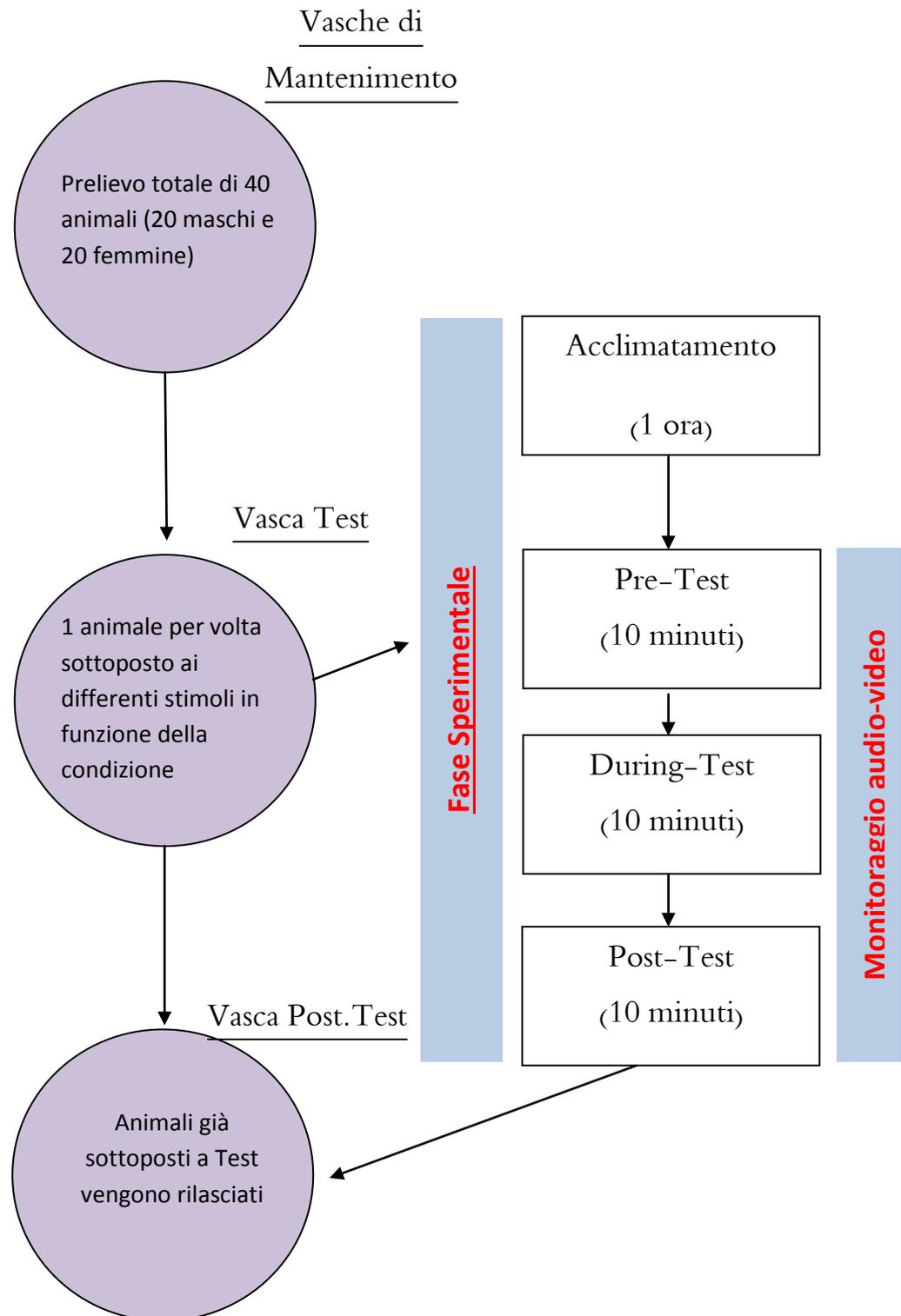


Figura 12. Diagramma del disegno sperimentale

Al fine di rendere più semplice la denominazione delle differenti prove sperimentali e poter riassumerne la sequenza nel piano di realizzazione randomico, abbiamo creato i seguenti acronimi:

4.2 Test in singoli

- 10 repliche condizione Basse Frequenze: *B1M, B2M, B3M, B4M, B5M, B6F, B7F, B8F, B9F, B10F*.
- 10 repliche condizione Alte Frequenze: *A1M, A2M, A3M, A4M, A5M, A6F, A7F, A8F, A9F, A10F*.
- 10 repliche condizione Rasp: *R1F, R2M, R3F, R4M, R5F, R6F, R7M, R8F, R9M, R10M*
- 10 repliche condizione di controllo: *C1M, C2M, C3M, C4F, C5M, C6M, C7F, C8F, C9F, C10F*

4.3 Acquisizione, montaggio e proiezione degli stimoli acustici

La proiezione degli sweep lineari prescelti per lo studio è avvenuto attraverso un generatore di segnali (modello 33220, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, United States) connesso a un trasduttore subacqueo. Si è ricorso a 2 diversi trasduttori, un UW30 (Lubell, Columbus, Ohio, USA) è stato adottato per la proiezione degli sweep a bassa frequenza (0.1-20 kHz), l'altro, cilindrico in vetroresina (assemblato dal Gruppo di Bioacustica IAMC-CNR), è stato impiegato per la proiezione degli sweep ad alta frequenza (20-80 kHz). Se gli sweep lineari sono stati sintetizzati con un generatore di segnali, i Rasp di aragosta provengono, invece, da registrazioni (Gruppo di Bioacustica dell' IAMC-CNR) di aragoste mantenute in gabbie nel porto di Capo Granitola. Con queste registrazioni, successivamente, sono state create

5 sequenze diverse (utilizzando il software Avisoft ProSASlab) della durata di 2 minuti cadauna, nelle quali randomicamente si sono alternati questi impulsi sonori. Nei 120 secondi di durata totale di ogni singola compilation, si sono alternati in modalità casuale i 9 rasp (di durata compresa tra 0.062 e 0.175 secondi) per una durata complessiva di 6 secondi (il 5% del decorso totale di ogni singola sequenza) (Tab.7).

Tabella 7. Compilation Seq. 1. Schema di una delle 5 sequenze utilizzate per la creazione delle playlist sulla base del quale è possibile notare in base al secondo di riferimento il rasp utilizzato e la durata (in secondi) di questo.

Secondo	4	7	8	9	12	14	15	[...]	112	117
Rasp(n°)	6	3	1	2	7	8	4	[...]	5	8
Durata(s)	0.175	0.062	0.144	0.13	0.114	0.117	0.166	[...]	0.066	0.117

Per quanto riguarda l'emissione degli stimoli biologici nella condizione "Rasp" è stato necessario uno studio preliminare al fine di proiettare e ottenere nella vasca sperimentale segnali acustici di aragosta (Rasp) il più possibile simili a quelli originali. Infatti, questi segnali acustici sono costituiti da un treno di impulsi ad ampia banda di frequenza che comprende sia una parte udibile che una parte ultrasonica. Le difficoltà maggiori sono consistite nel mandare un segnale che comprendesse anche frequenze ultrasoniche. Poiché le normali schede audio dei computer non sono in grado di riprodurre segnali ad alta frequenza è stato necessario l'acquisto di una scheda professionale dotata di amplificatore (Avisoft UltrasoundGate Player 216H) in grado di inviare al proiettore la corretta struttura del rasp di aragosta. Quindi si sono effettuate altre prove inviando i segnali all'interno della vasca sperimentale priva di animali, per analizzare qualitativamente lo spettro sonoro degli impulsi da utilizzare, mettendoli a paragone con lo spettro sonoro degli stessi

generati però dalle aragoste. Le valutazioni principali vertevano sull'utilizzo di un solo trasduttore, quello per le alte frequenze, o di entrambi (uno per le alte e uno per le basse frequenze). Dalla visualizzazione dello spettro di potenza dello stesso Rasp sintetizzato da entrambi i trasduttori o da uno solo (quello per le alte frequenze) e messo a paragone con lo spettro di potenza del Rasp generato direttamente dall'aragosta è stato possibile notare che: nel primo caso (impiego di due proiettori) era riprodotta l'intera banda di frequenza (2-75 kHz) ma il segnale differiva significativamente dall'originale, presentando picchi assenti nel Rasp originario e discostandosi sempre più da questo all'aumentare della frequenza del segnale; nel secondo caso (impiegando il proiettore per le alte frequenze) le frequenze sino ai 16-18 kHz non venivano riprodotte, ma a partire dalle alte (18-20 kHz) il segnale si sovrapponeva a quello originale. Si è deciso quindi di utilizzare solo il trasduttore per le alte frequenze, in quanto il segnale così generato era maggiormente simile all'originale (seppur mancante del picco di



Figura 13. Amplificatore Bruel & Kjer

frequenza che nei rasi si aggira intorno ai 15 kHz).

Una volta deciso il trasduttore da usare e create le 5 playlist contenenti gli stimoli acustici, queste sono state sottoposte agli animali nella fase di During-Test usando la funzione “loop mode” del software Avisoft-SASLab recorder (Avisoft Bioacustics), attraverso l’uscita USB del PC connesso a una scheda dotata di amplificatore (Avisoft UltrasoundGate Player 216H) e connessa al trasduttore cilindrico in vetroresina su citato.

4.4 Sistema di monitoraggio Audio-Video e analisi



Figura 14. Sistema di acquisizione acustico

Per evitare di disturbare gli animali all’interno della vasca sperimentale il laboratorio d’analisi è stato piazzato a due metri da questa e l’equipaggiamento richiesto per il monitoraggio e la registrazione audio-video è stato ivi installato. I segnali acustici emessi dalle aragoste sono stati registrati usando un idrofono calibrato (modello 8104, Brüel & Kjær, Nærum, Denmark) con una sensibilità di -205.6 ± 4.0 dB re $1V/\mu Pa$ nella banda di frequenza compresa tra 0.1 Hz e 80 kHz. L’idrofono è stato connesso a una scheda di conversione analogico-digitale dotata di preamplificatore (USGH416HB, Avisoft Bioacustics, settaggio del gain a 40 dB) gestita dal software dedicato Avisoft Recorder USGH (Avisoft Bioacustics). I

segnali sono stati acquisiti a 300 campioni al secondo a 16 bits e analizzati dal software Avisoft-SASlab Pro (Avisoft Bioacustics).

Per monitorare il comportamento delle aragoste è stato impiegato un sistema d'acquisizione video sincronizzato con l'impianto usato per registrare i segnali acustici. I video per il monitoraggio del comportamento sono stati registrati con una camera analogica (modello 830, Skynet Italia s.r.l.) piazzata in cima alla vasca sperimentale (2.5 metri d'altezza). Questa è stata associata a un PC tramite una scheda di conversione analogico-digitale e i file acquisiti gestiti da Nero Vision 12.0 (Nero Development & Services GmbH, Germany). Successivamente i video registrati sono stati analizzati attraverso l'ausilio del software EthoVision XT 9.0 (Noldus Information Technology, Wageningen, Paesi Bassi). L'arena sperimentale è stata calibrata usando il fondo della stessa, e l'asse di calibrazione per designare l'origine (0,0) è stata

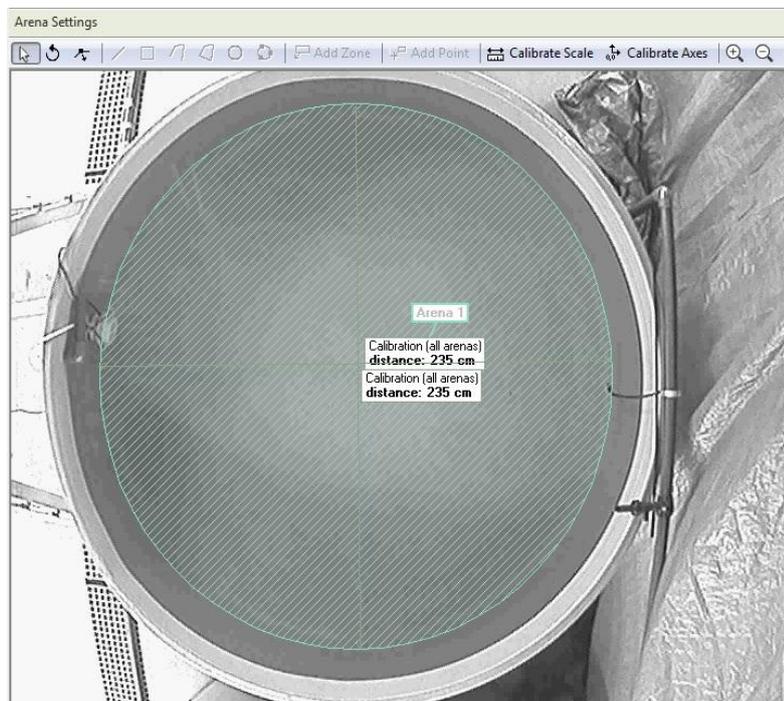


Figura 15. Calibrazione dell'area sperimentale.

impostata al centro della vasca (Fig. 15). Il software rileva l'animale marcandolo con un center-point, successivamente analizza ogni frame - distinguendo il soggetto dallo sfondo sulla base di una scala di grigi e di luminosità-, estraendo coordinate, sulla base del centro geometrico e della superficie areale, per ogni soggetto e per ogni frame (Fig. 16).

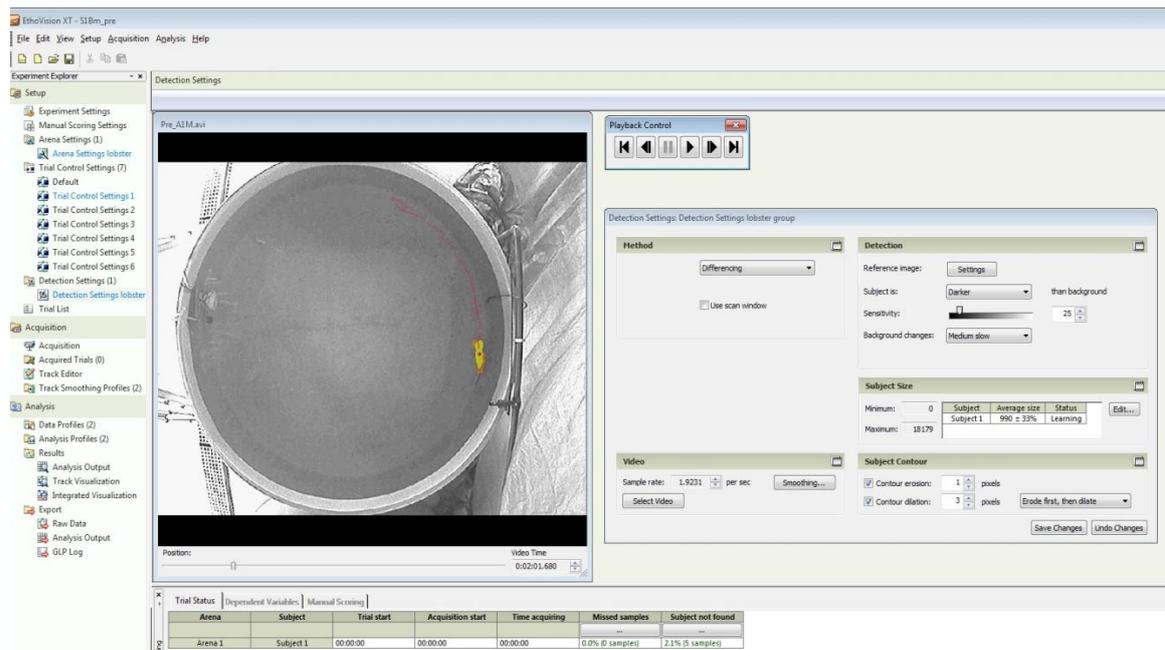


Figura 16. Visualizzazione real-time degli output relativi ai parametri comportamentali misurati dal software.

Usando la modalità 'Manual scoring setting' si è provveduto ad aggiungere il riconoscimento dello stato comportamentale definito come Tail Flip (vedi più avanti) che non si trova tra i comportamenti rilevabili di base del programma. L'acquisizione dei dati è avvenuta a 25 frames per secondo ottenendo dati su diverse variabili (Fig. 17).

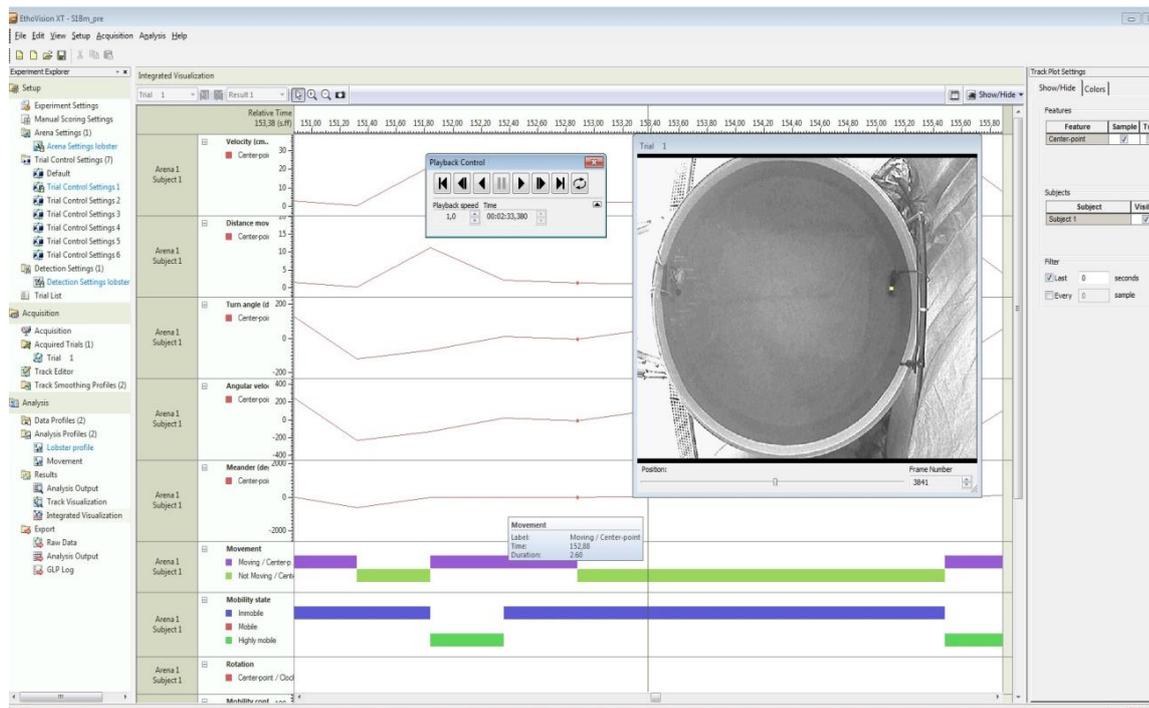


Figura 17. Settaggio per il riconoscimento automatico dei soggetti studiati.

Nelle prove sono stati valutati i seguenti stati comportamentali: ***Distanza Percorsa*** (la distanza percorsa dal soggetto durante il periodo della prova; espressa in cm), ***Mobilità*** (immobile/mobile/altamente mobile, valuta la durata cumulativa dello spostamento dell'intera superficie attribuibile al corpo dell'animale, anche se il suo baricentro non tende a spostarsi), ***Velocità*** (distanza mossa dal soggetto per unità di tempo, centimetri/secondi), ***Movimento*** (Movimento/No Movimento; lo stato del soggetto è in movimento se la velocità eccede la soglia di 1.80 cm/s, quando questa scende sotto la soglia di 1.50 cm/s il rilevamento si interrompe), ***Tail Flip*** (rapida flessione dell'addome e del telson risultante in un movimento all'indietro propulsivo (Lavalli and Herrnkind, 2009; Buscaino et al., 2012), espresso in numero di osservazioni) (vedi Tabella 8). In ogni

prova, la perdita del soggetto comprovata dal software di tracciamento video si è rivelata <2%.

I rilevamenti inerenti le ***Emissioni Acustiche*** (numero di rasp e screech emessi) dei soggetti sono state fatte tramite l'utilizzo del software Avisoft SASlab Pro (Avisoft Bioacustics). Questo si è calibrato sulla base delle impostazioni usate nel sistema d'acquisizione e successivamente si è settata la modalità 'Pulse train analysis'. Attraverso quest'analisi, è stato possibile contare, in modalità semiautomatica, il numero dei segnali emessi dagli individui identificati dal programma.

Comportamento	Stato Comportamentale	Descrizione	Unità
Distanza percorsa	---	Distanza totale percorsa dall'animale (calcolata sulla base degli spostamenti del baricentro)	Centimetri
Mobilità	Immobile/Mobile	Valuta la durata cumulative dello spostamento dell'intera superficie attribuibile al corpo dell'animale, anche se il suo baricentro non tende a spostarsi	Secondi
Velocità	---	Distanza Media mossa dal center point del soggetto per unità di tempo	Centimetri al secondo
Movimento	Movimento/No Movimento	Lo stato del soggetto è in movimento se la velocità eccede la soglia di 1.80 cm/s, quando questa scende sotto la soglia di 1.50 cm/s il rilevamento si interrompe	Centimetri al secondo
Tail Flip	---	L'aragosta esegue una rapida flessione dell'addome e della coda risultante in un movimento propulsivo all'indietro (Lavalli and Herrnkind, 2009; Buscaino et al., 2012)	Numero di eventi
Emissioni Acustiche emesse	---	Numero di rasp e screech emessi (Buscaino et al., 2012)	Numero di emissioni al secondo

Tabella 8. Stati comportamentali valutati nei Test

5. ANALISI STATISTICA

Primariamente i dati sono stati testati usando il chi-squared test per attestare se questi avessero una distribuzione normale o gaussiana. Successivamente i dati, non presentando una distribuzione normale, sono stati sottoposti a test non parametrici per confrontare i differenti parametri comportamentali scaturiti dalle prove sperimentali. Il test U di Mann-Whitney è stato adoperato per individuare differenze significative tra maschi e femmine per ogni parametro comportamentale. Successivamente, tramite l'utilizzo del test di Kruskal-Wallis, sono state valutate differenze tra gli stati di pre-, during- e post-test delle variabili comportamentali (Segnali acustici emessi, Distanza percorsa, Stato di mobilità, Movimento, Tail Flip e Velocità) all'interno delle 4 condizioni sperimentali: Alte frequenze, Basse frequenze, Rasp e Controllo. La differenza tra due valori è stata considerata statisticamente significativa se il valore di "alfa" (p-value) era inferiore a 0.05. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate usando il software STATISTICA 7.0 (StatSoft).

6. RISULTATI

Dall'analisi fatta per verificare eventuali differenze significative in base al sesso nelle condizioni di Pre-Test (Mann-Whitney U Test) ne è risultato che il comportamento tra maschi e femmine non differisce, se non per la variabile 'Not Moving', dalla quale risulta che le femmine, in condizioni basali, sono maggiormente mobili rispetto ai maschi come presentato in Figura 18.

Per quanto concerne l'effetto degli stimoli acustici adottati nel presente studio, abbiamo preliminarmente confrontato la condizione Pre-Test in tutti i test sperimentali condotti per ciascuna variabile comportamentale, non riscontrando alcuna differenza significativa tra le variabili prese in considerazione.

Successivamente, l'analisi statistica ha mirato a svelare differenze e modificazioni comportamentali delle aragoste, valutando nell'insieme maschi e femmine e confrontando le variabili nel corso delle fasi di Pre-, During- e Post-Test, al fine di determinare gli effetti dei differenti stimoli acustici (Sweep basso, alto e Rasp.). Differenze significative sono state osservate solo nel gruppo di esemplari esposti ai Rasp, all'interno delle variabili 'Mobilità', 'Movimento' (conseguentemente le significatività hanno riguardato i comportamenti complementari quali 'Immobilità' e 'Not Moving') e 'Velocità'. Nello specifico per quanto riguarda il comportamento di Mobilità si evince che nel during-test i soggetti tendono a ridurre il tempo speso in movimento rispetto alla fase di pre-test e queste differenze permangono anche nella fase di post-test. Per quanto riguarda i comportamenti di Moving e Velocità i soggetti hanno la tendenza a muoversi di più e mostrare velocità maggiori nella fase di pre-test rispetto al during-test. Tali differenze non si riscontrano nella fase di post-test tornando a valori basali. Nelle Figure 19-23 sono riportate le differenze tra le fasi di Pre-, -During e Post-Test nelle condizioni di controllo e di esposizione ai tre stimoli acustici proiettati, per ciascuna variabile comportamentale oggetto di valutazione.

Nel corso dell'intero iter sperimentale, non è stato osservato alcun evento di Tail Flip.

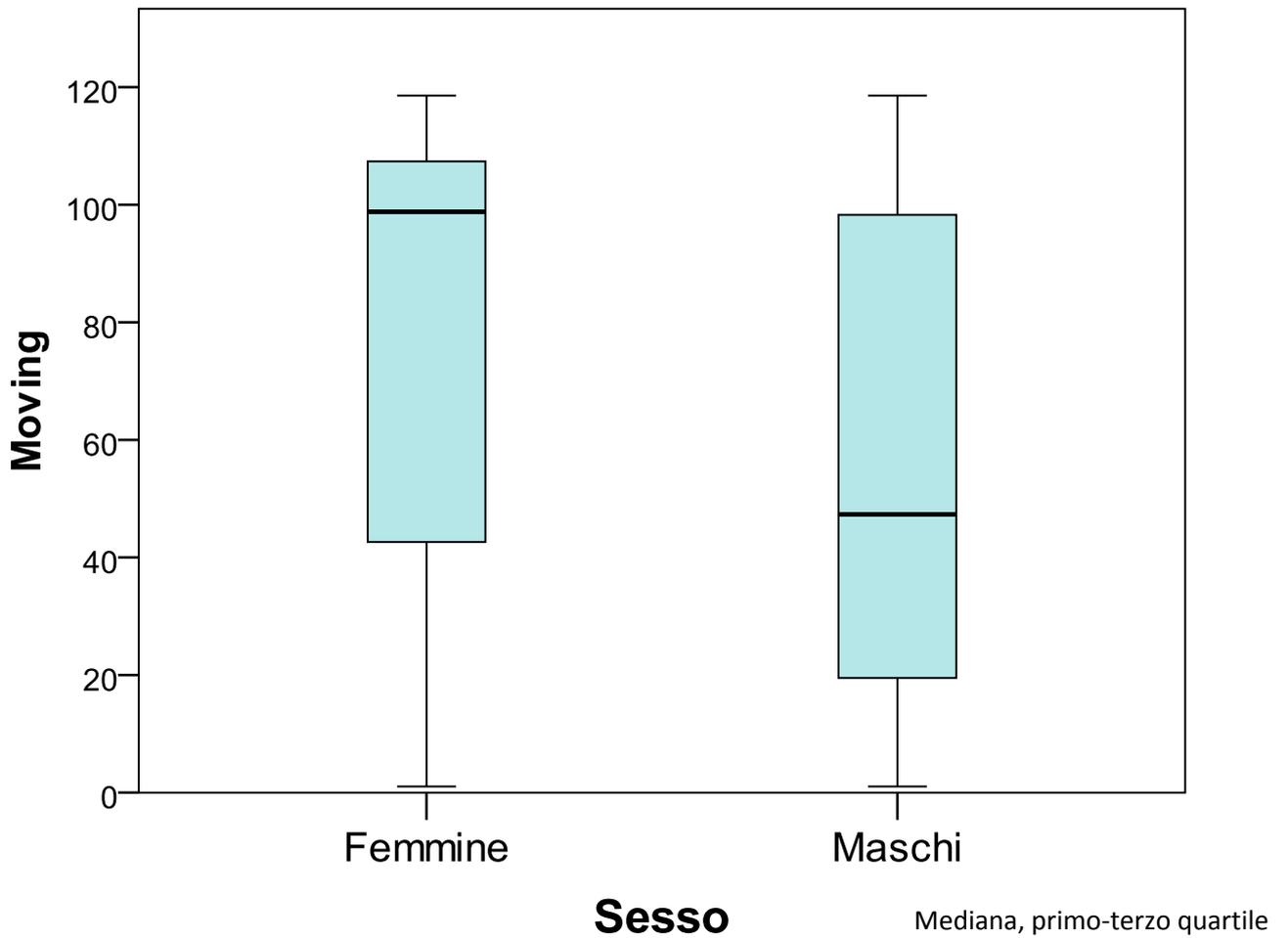
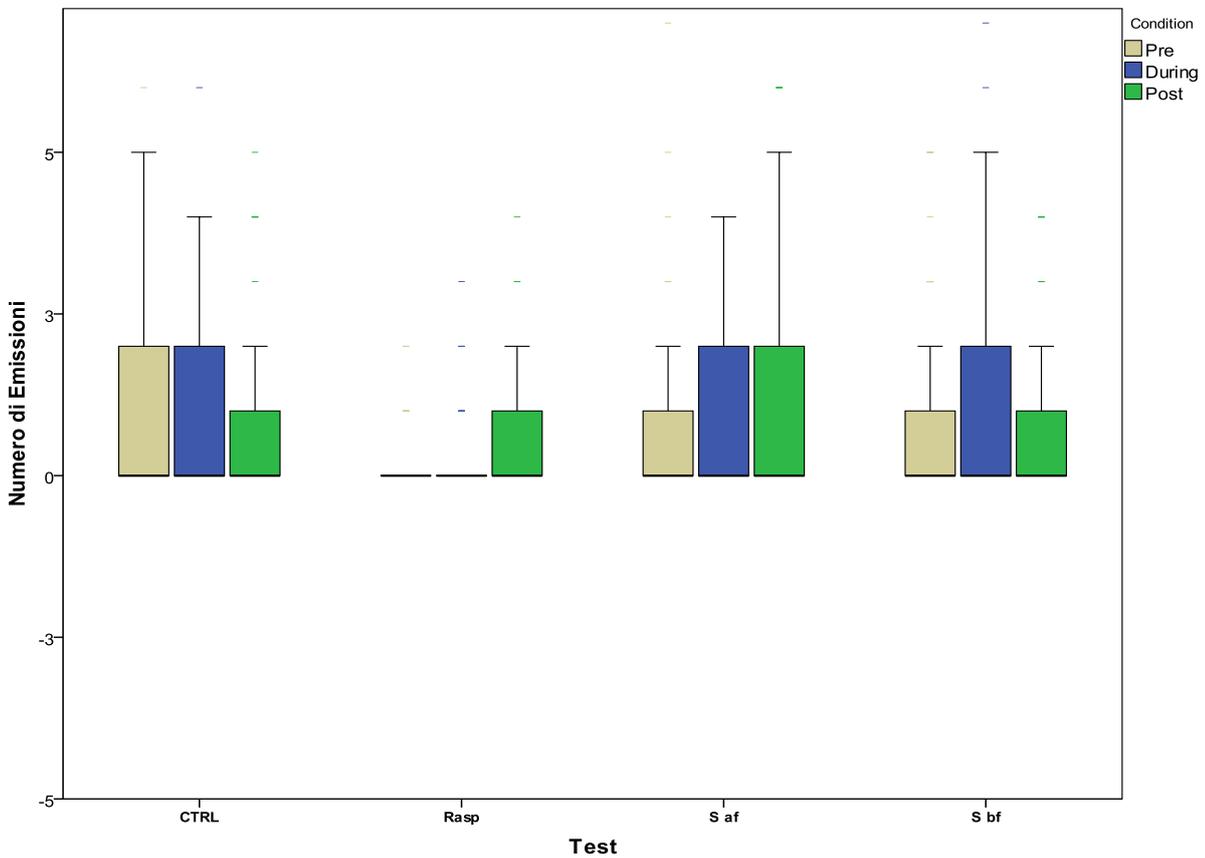
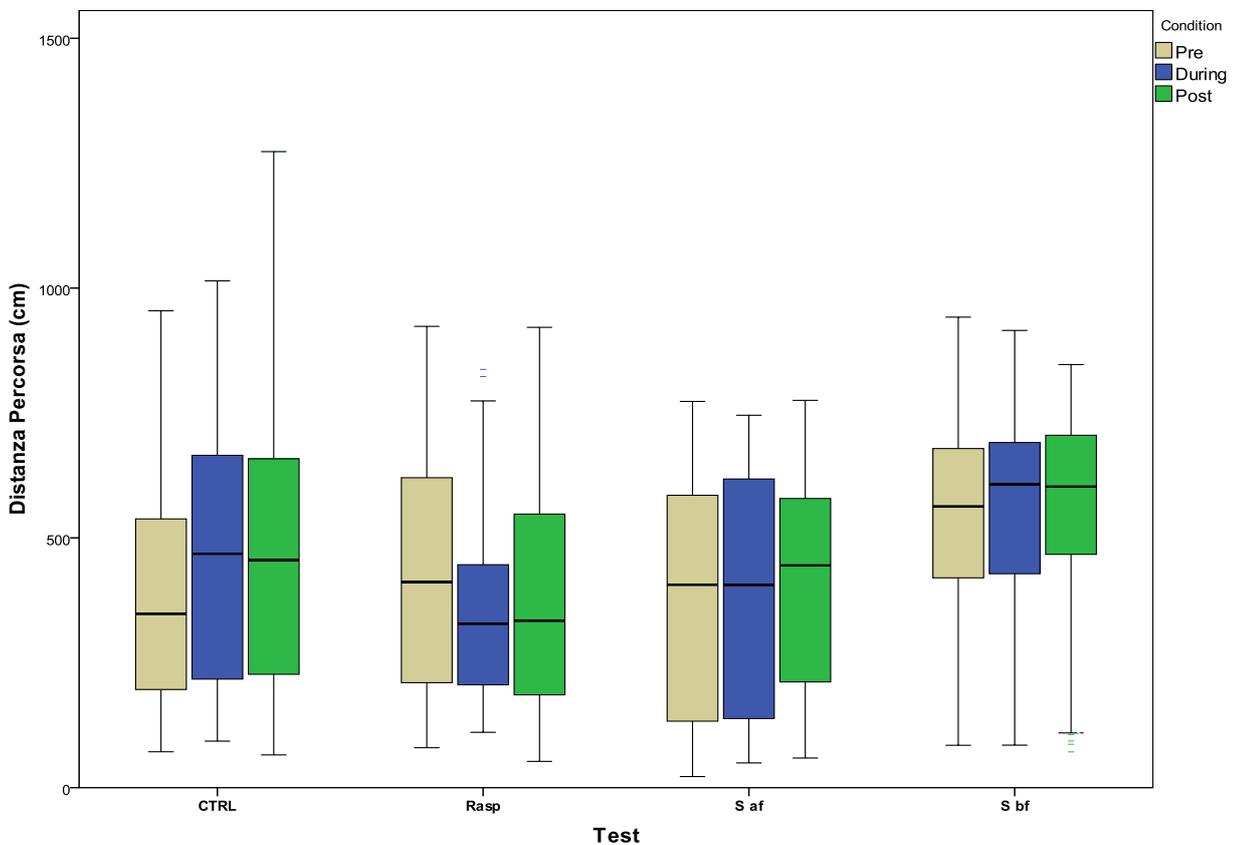


Figura 18. Mediana, 1° e 3° quartile dei valori di Moving delle aragoste maschi e femmine in condizione basali (Pre-esperimento). Le differenze sono statisticamente significative $p < 0.05$.



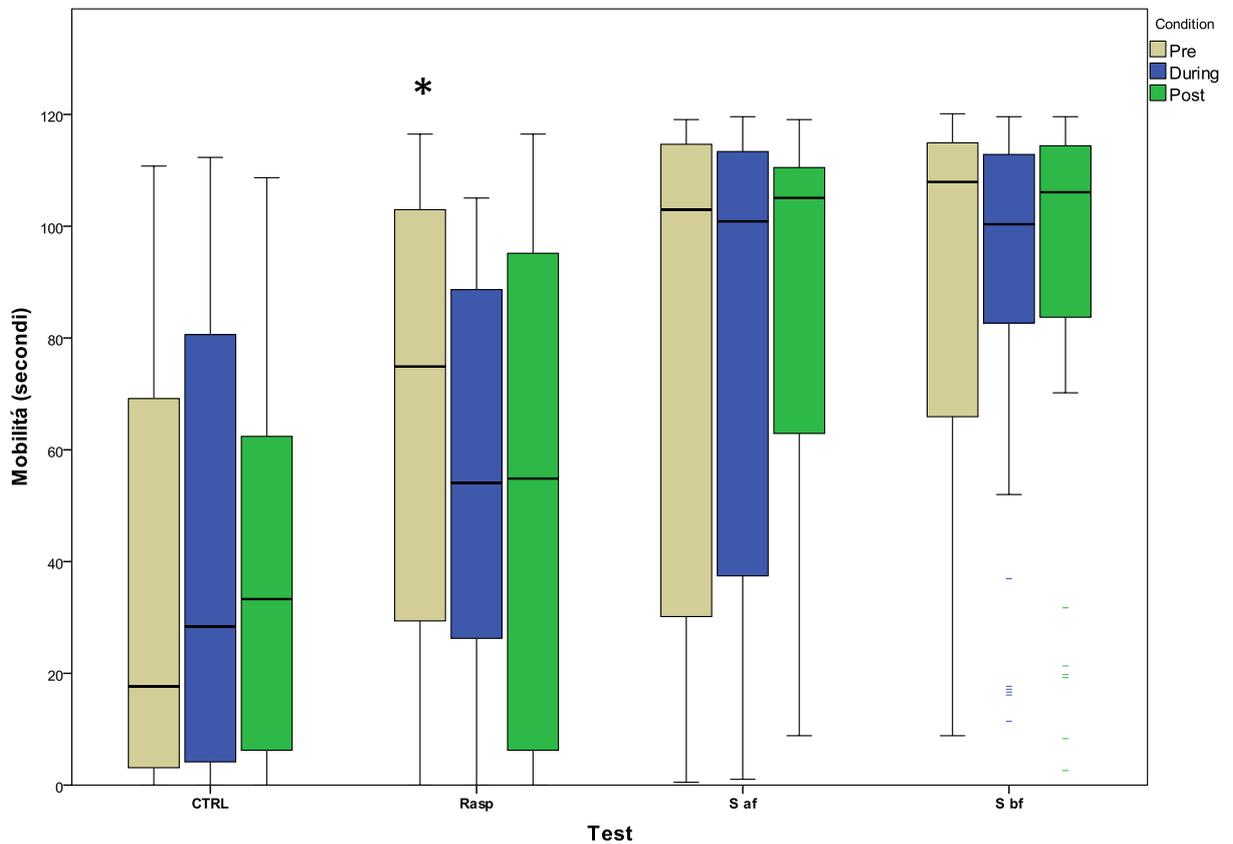
Mediana, primo-terzo quartile

Figura 19. Numero di emissioni (mediana, 1° e 3° quartile) delle aragoste di controllo ed esposte alle tre condizioni acustiche. Rasp = proiezione dei segnali emessi dalle aragoste denominati Rasp; S af = proiezione dello Sweep ad alte frequenze (20-80 kHz); S bf = proiezione degli Sweep a basse frequenze (0.1-20 kHz). Le differenze significative sono identificate da: * = $p < 0.05$.



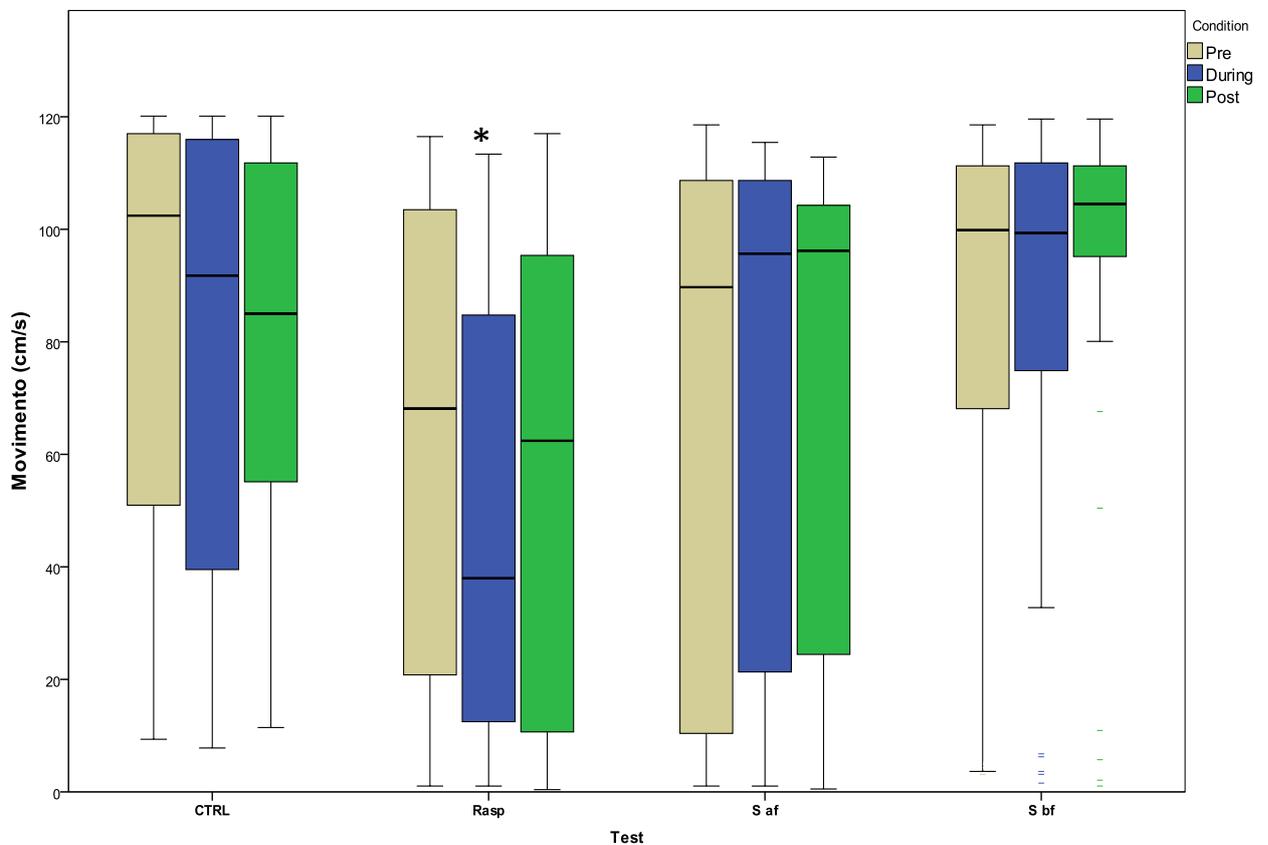
Mediana, primo-terzo quartile

Figura 20. Distanza percorsa (mediana, 1° e 3° quartile) dalle aragoste di controllo ed esposte alle tre condizioni acustiche. Rasp = proiezione dei segnali emessi dalle aragoste denominati Rasp; S af = proiezione dello Sweep ad alte frequenze (20-80 kHz); S bf = proiezione degli Sweep a basse frequenze (0.1-20 kHz). Le differenze significative sono identificate da: * = $p < 0.05$.



Mediana, primo-terzo quartile

Figura 21. Mobilità (mediana , 1° e 3° quartile) delle aragoste di controllo ed esposte alle tre condizioni acustiche. Rasp = proiezione dei segnali emessi dalle aragoste denominati Rasp; S af = proiezione dello Sweep ad alte frequenze (20-80 kHz); S bf = proiezione degli Sweep a basse frequenze (0.1-20 kHz).
Le differenze significative ($p < 0.05$) Pre vs. During e Post sono identificate dal seguente simbolo: *



Mediana, primo-terzo quartile

Figura 22. Movimento (mediana , 1° e 3° quartile) delle aragoste di controllo ed esposte alle tre condizioni acustiche. Rasp = proiezione dei segnali emessi dalle aragoste denominati Rasp; S af = proiezione dello Sweep ad alte frequenze (20-80 kHz); S bf = proiezione degli Sweep a basse frequenze (0.1-20 kHz).
Le differenze significative ($p < 0.05$) During vs. Pre sono identificate dal seguente simbolo: *

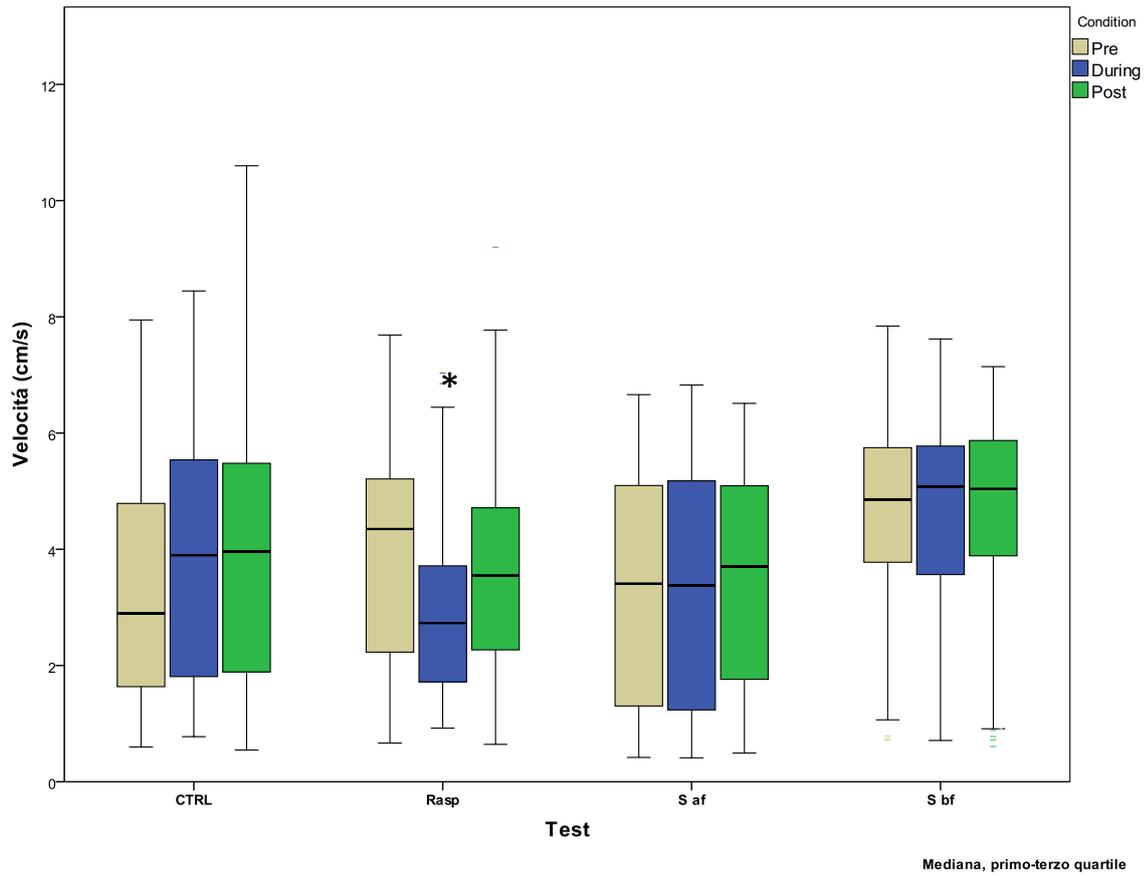


Figura 23. Numero di emissioni (mediana , 1° e 3° quartile) delle aragoste di controllo ed esposte alle tre condizioni acustiche. Rasp = proiezione dei segnali emessi dalle aragoste denominati Rasp; S af = proiezione dello Sweep ad alte frequenze (20-80 kHz); S bf = proiezione degli Sweep a basse frequenze (0.1-20 kHz).
Le differenze significative ($p < 0.05$) During vs. Pre sono identificate dal seguente simbolo: *.

7. DISCUSSIONE

Abbiamo condotto un'indagine per valutare le condizioni basali e definire le differenze comportamentali tra maschi e femmine senza la proiezione di alcuno stimolo. Dall'analisi della condizione pre-test effettuata tra maschi e femmine ne risulta che, al di là della Mobilità, i parametri misurati nel presente studio non sono influenzati dal sesso. Questo risultato si trova in accordo con quanto riportato da Follesa et al. (2009) i quali non hanno osservato alcuna relazione statistica tra i patterns di movimento e il sesso in specie di *Palinurus elephas* soggetti a tag-ricattura all'interno di un'area del centro-ovest del Mediterraneo. Golet et al. (2006) ha ottenuto gli stessi risultati per l'aragosta americana (*Homarus americanus*). L'unica differenza statisticamente significativa riscontrata all'interno della variabile Mobilità indica una maggior propensione delle femmine al movimento; Mobilità intesa come qualsiasi spostamento attribuibile all'intero corpo dell'animale su scala temporale (come riportato in Tabella 8). Tale risultato trova corrispondenza con il lavoro di Kelly (2001), il quale riscontra in esemplari di *Jasus edwardsii* soggetti a tag-acustico in un'area del nord-est della Nuova Zelanda, una maggior mobilità degli esemplari femmina nel periodo post riproduttivo (tarda Estate, Autunno inoltrato), ciclo nel quale si è svolta la fase sperimentale del presente studio. I risultati ottenuti da questo studio mostrano che il comportamento di *Palinurus elephas* in condizioni sperimentali possa aver rispecchiato l'andamento locomotore dettato dalla stagionalità, parametro osservato in altre aragoste seppur appartenenti a specie differenti e ad altre latitudini. Questo risultato osservato in soggetti mantenuti in cattività testimonia il

fatto che le condizioni di mesocosmo possono rappresentare un modello valido (comportamentale) per lo studio di questi animali in quanto gli esiti ottenuti possono essere estesi alle reali dinamiche naturali.

Nel confronto tra le condizioni di pre-, during e post-test dei tre differenti stimoli acustici sono scaturite differenze significative solo nei soggetti sottoposti a rasp (range di frequenza 2-75 kHz). Nonostante gli sweep tone abbiano bande di frequenza (Sweep basso = 0.1-20 kHz; Sweep alto = 20-80 kHz) che ritroviamo all'interno degli stimoli biologici (rasp), la proiezione di questi suoni non ha determinato differenze comportamentali significative rispetto agli stati basali. E' allora possibile ipotizzare che le aragoste siano in grado di discernere tra stimoli acustici biologici e quelli che, seppur caratterizzati da componenti acustiche comuni, non lo sono. L'aragosta è una specie mobile e i movimenti sono altamente relazionati agli aspetti ecologici e biologici. In particolare, territorialità, nomadismo e migrazione sono stati comportamentali legati al movimento che hanno implicazioni sulla sopravvivenza, crescita e riproduzione dei crostacei decapodi (Herrnkind 1983, Spanier et al. 1988, Lawton & Lavalli 1995, Vannini & Cannicci 1995). I nostri risultati indicano che le aragoste esposte ai rasp decrementano significativamente la loro attività locomotoria intesa come Movimento, Mobilità e Velocità rispetto alle condizioni basali; è quindi presumibile che questi suoni vengano percepiti come informazioni comunicative che supportano e/o completano le comunicazioni di natura chimico-sensoriale. A tal riguardo, molti Autori hanno investigato l'attività sensoriale delle aragoste nel riconoscimento delle sostanze chimiche e il ruolo d'informazione

comunicativa svolto da queste. Johnson & Atema (2005) hanno evidenziato come esemplari di aragosta americana *Homarus americanus* privati di specifici meccanicettori non erano più in grado di rilevare la presenza di feromoni rilasciati da possibili rivali aumentando così il numero di scontri per la detenzione territoriale. Briones-Fourzàn (2009) invece ha descritto il ruolo giocato dagli “odori d’allarme” rilasciati da aragoste ferite nell’avvertire i conspecifici a potenziali pericoli. Alcuni autori sostengono che, in aggiunta a questi sistemi di comunicazione chimica, i segnali acustici siano utilizzati come stimoli dediti al mantenimento di un contatto con conspecifici in modo tale da poter adottare strategie anti-predatoriali e di aggregazione (Herrnkind et al., 2001; Barshaw et al., 2003; Briones-Fourzàn et al. 2006; Lavalli & Herrnkind 2009). Nel nostro esperimento, la proiezione dei rasp ha comportato da parte degli esemplari, una riduzione dei parametri comportamentali locomotori misurati. Questo risultato comportamentale è stato riportato da Buscaino et al. (2011b) in individui di *P. elephas* in cui l’attività locomotoria è ridotta significativamente in seguito all’esposizione ad un predatore, a differenza delle emissioni acustiche che hanno subito un incremento. Il risultato rilevato potrebbe, quindi, indicare che i Rasp svolgano un ruolo significativo nella comunicazione intraspecifica, convenendo con l’ipotesi di molti Autori i quali attribuiscono a questi suoni funzioni bio-ecologiche quali: chiamata di aiuto di conspecifici, allerta di conspecifici ad un pericolo, aposematismo (Smith 1986, Bouwma & Herrnkind 2009, Staaterman et al. 2010).

Dall' analisi dei risultati è possibile notare che la variazione dei comportamenti locomotori Movimento e Velocità dopo l'emissione dei rasp (post-test) tende a tornare a valori basali, mentre per la Mobilità questa variazione permane anche nella successiva fase di post-test (valori significativamente bassi in comparazione con i livelli registrati nella fase di pre-test). Come detto in precedenza la Mobilità è da intendersi come qualsiasi spostamento attribuibile all'intero corpo dell'animale su scala temporale (vedere tabella 8) ed è il solo parametro che risulta essere condizionato a lungo termine dai suoni di conspecifici (rasp). E' ipotizzabile quindi che i rasp incidano nella comunicazione tra conspecifici ponendo gli animali in una condizione di estrema attenzione e allerta con conseguente riduzione dei rischi potenzialmente connessi allo spostamento dell'animale nello spazio circostante. Un risultato simile, spunto di riflessione per lo svolgimento di un ruolo comunicativo di questi stimoli acustici è fornito da uno studio di Buscaino et al. (2011a) dove è stato descritto il comportamento d'Allerta di individui di *Palinurus elephas* (inteso come immobilità del corpo e delle antenne, rialzamento del telson e distensione degli arti) esposti a un predatore (*Octopus vulgaris*). In questo studio si è osservato che i soggetti testati singolarmente emanavano un numero maggiore di impulsi sonori rispetto ai soggetti analizzati in gruppo, facendo ipotizzare che questi impulsi possano essere utilizzati nel reclutamento di conspecifici. Conseguentemente a questo, tra tutti i possibili significati attribuibili nella sfera della comunicazione intraspecifica, siamo nella condizione

di poter conferire ai rasp il possibile significato ecologico di segnalazione della presenza di un potenziale pericolo.

Molti animali hanno un comportamento gregario e sono attratti da conspecifici (Alexander 1974; Reed & Dobson 1993; Stamps 1994; Danchin & Wagner 1997). Herrnkind et al. (2002) hanno dimostrato che il comportamento d'aggregazione, in esemplari di *Panulirus argus*, aumenta significativamente durante i movimenti all'aperto (migrazione), e in seguito all'esposizione ai predatori. Herrnkind e il suo gruppo di ricerca ha così ritenuto valida l'ipotesi di molti Autori i quali suggeriscono che l'aggregazione possa essere evolutivamente favorita dai benefici ottenuti dall'associazione con conspecifici finalizzata ad esempio alla vigilanza contro predatori, alla difesa di gruppo, alla cooperazione nella caccia e nella difesa della prole o per incrementare le opportunità riproduttive (Treisman 1975; Bertman 1978; Pulliam & Caraco 1984; Endler 1991). Diviene quindi ipotizzabile dalle discussioni condotte fin'ora e dagli studi precedentemente condotti sull'argomento che l'avvertimento di conspecifici ad eventuali pericoli può trovare ripercussioni nelle dinamiche di sopravvivenza, crescita e riproduzione di questa specie e che il ruolo dei rasp possa quindi essere implicato negli andamenti bio-ecologici (vedi gli stati aggregativi) di questi palinuridi.

8. BIBLIOGRAFIA

- **Able K.P.** 1996. Large scale navigation. *Journal of Experimental Biology* 199, 1–2.
- **Alexander R.D.** 1974. The evolution of social behavior. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 5: 325–383.
- **Ansell A. & Robb, L.** 1977. The spiny lobster *Palinurus elephas* in Scittish waters. *Marine Biology*. 43: 63–70.
- **Au W.W.L., Banks K.** 1998. The acoustic of the snapping shrimps *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *J. Acoust.Soc. Am.* 103: 41–47.
- **Barshaw D.E., Lavalli K.L., Spanier E.** 2003. Offense versus defense: response of three morphological types of lobsters to predation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 256: 171–182.
- **Berry, J.W.** 1970. Marginality, stress and ethnic identification in an acculturated Aboriginal community. *Journal of Cross-Ciilrural Psychology*, I. 239–252
- **Bertram B.C.R.** 1978. Living in groups: predators and prey. In: *Behavioural Ecology: an Evolutionary Approach*. 1st edn (Ed. by J. R. Krebs & N. B. Davies), pp. 64–96. Oxford: Blackwell Scientific.
- **Bouvier E.L.** 1940. Recherches sur le development post-embryonnaire de la langouste commune (*Palinurus vulgaris*). *Nature*, 91: 633–634.
- **Bouwma P.E., Herrnkind W.F.** 2009. Sound production in Caribbean spiny lobster *Panulirus guttatus* and its role in escape during predatory attack by *Octopus briareus*. *NZ J Mar Freshw Res.* 43: 3–13.
- **Budelmann B.U.** 1992. Hearing in Crustacea. In Webster DB, Fay RR, Popper AN (eds) *Evolutionary biology of hearing*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 131–139.
- **Buscaino G., Filiciotto F., Maccarrone V., Di Stefano V., Mazzola S., Buffa G., Buscaino C., Alonge G., D'Angelo S.** 2012. The under water acoustic activities of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *The Journal of the Acoustic Society of America*. Vol. 132: 1792–1798.
- **Buscaino G., Filiciotto F., Maccarrone V., Di Stefano V., Mazzola S., Buffa G., Gristina M., Bellante A., Patti B.** 2011. Defensive strategies of European

- spiny lobate *Palinurus elephas* during predator attack. Marine Ecology Progress Series. Vol. 423: 143–154.
- **Buscaino G., Filiciotto F., Maccarrone V., Di Stefano V., Mazzola S., Buffa G., Buscaino C., Gristina M., Tranchida G., Bellante A.** 2011. Acoustic behaviour of the European spiny lobate *Palinurus elephas*. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 441: 177–184.
 - **Butler M.J., Steneck R.S., Herrnkind W.F.** 2006. Juvenile and adult ecology. In: Phillips BF (ed) Lobsters: biology, management, aquaculture and Fisheries. Blackwell Publishing, Oxford, pp 263–309
 - **Campillo A., De Reynall L., Amadei J.** 1979. Première observation sur la reproduction de la langouste rouge *Palinurus elephas* Fabr. *De Mediterranee Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, 25/26: 4.
 - **Caroli E.** 1946. Di un puerulus di *Palinurus vulgaris* pescato nel Golfo de Napoli. Pubblicazione Stazione Zoologica di Napoli, 20: 152–157.
 - **Ceccaldi H.J. & Latrouite D.** 2000. The French fisheries for the European spiny lobster *Palinurus elephas*. In: Spiny Lobster Fisheries and Culture, (B.F. Phillips, ed), pp 200–209. Fishing News Book, Blackwell Science.
 - **Choen M.J., Dijkgraaf S.** 1961. Mechanoreception. In: Waterman TH (ed) The physiology of Crustacea, Vol II. Academic Press, New York, pp 65–108
 - **Cobb, J. S.** 1981. Behaviour of the western Australian spiny lobster, *Panulirus cygnus* George, in the field and laboratory. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 32:399–409.
 - **Cruz R., Lalana R., Baez-Hidalgo M., Adriano R.** 2007. Gregarious behaviour of juveniles of the spiny lobster, *Panulirus argus* (Latreille, 1804) in artificial shelters. Crustaceana 80:577–595
 - **Danchin E. & Wagner R. H.** 1997. The evolution of coloniality: the emergence of new perspectives. Trends in Ecology and Evolution. 12: 342–347.
 - **Driver P.M, Humphries N.** 1988. Protean behavior: the biology of unpredictability. Oxford University Press, Oxford.
 - **Dumortier B.** 1963. Morphology of sound emission apparatus in Arthropoda. In: Busnel, R.G (ed) Acoustic behaviour of animals. Elsevier, Amsterdam, pp 277–345.

- **Dumortier, B.** 1963. Morphology of sound emission apparatus in Arthropoda. In *Acoustic Behaviour of Animals* (ed. R. G. Busnel), pp. 277–345. New York: Elsevier Publishing Company.
- **Elwood R. W., Barr S., Patterson L.** 2009. Pain and stress in crustacean? *Applied Animal Behavior Science*. 118: 128–136.
- **Endler J. A.** 1991. Interactions between predators and prey. In: *Behavioural Ecology: an Evolutionary Approach*. 3rd edn (Ed. by J. R. Krebs & N. B. Davies), pp. 169–196. London: Blackwell Scientific.
- **Ewing A. W.** 1989. *Arthropod Bioacoustics: Neurobiology and Behaviour*. Ithaca: Cornell University Press.
- **Fage L.** 1927. Sur le stade natant (puerulus) de la langouste commune (*Palinurus vulgaris* Latreille). *Archives de Zoologie Experimentale et Generale.*, 67 : 32–39
- **FAO FISHERIES DEPARTMENT.** 2004. *The State of World Fisheries and Aquaculture Report*.
- **Favaro L., Tirelli T., Gamba M. Pessani D.** 2011. Sound production in the red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. *Zool. Anz.* 250: 143–150.
- **Giacalone V.M., D'Anna G., Pipitone C., Badalamenti F.** 2006. Movements and residence time of spiny lobsters *Palinurus elephas* released in a marine protected area: an investigation by ultrasonic telemetry. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 86: 1101–1106.
- **Goldman J.A., Patek S.N.** 2002. Two sniffing strategies in palinurid lobster. *The Journal of Experimental Biology*. 205: 3891–3902.
- **Goni R., Latrouite D.** 2005. Review of the biology, ecology and fisheries of *Palinurus* spp. species of European waters : *Palinurus elephas* (Fabricius, 1787) and *Palinurus mauritanicus* (Gruvel, 1911). *Cahiers de Biologie Marine*, 46(2): 127–142.
- **Goñi R., Reñones O. & Quetglas A.** 2000. Abundance and movement of *Palinurus elephas* in a North–western Mediterranean marine reserve. *The Lobster Newsletter*, 13: 4–7.
- **Goñi R., Reñones O. & Quetglas A.** 2001a. Diet of the spiny lobster *Palinurus elephas* of the marine reserve of Columbretes Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80: 1–3.

- **Goñi R., Reñones O. & Quetglas A.** 2001b. Dynamics of protected population of the lobster *Palinurus elephas* in the marine reserve of Columbretes Islands assessed by trap surveys. *Marine and Freshwater Research*, 52: 1577–1578.
- **Gristina M., Fiorentino F., Garofalo G., Badalamenti F.** 2009. Shelter preference in captive juveniles of European spiny lobster *Palinurus elephas* (Fabricius, 1787). *Mar. Biol.* 156: 2097–2105.
- **Hastein T., Scarfe A.D., Lund V.L.** 2005. Science-based assessment of welfare aquatic animals. *Rev Sci Tech Off int Epiz.* 24: 529–547.
- **Heldt H.** 1929. Rapport sur la langouste vulgaire. Conseil International pour l'Exploration de le Mer, 4 : 113–126.
- **Hepper B.T.** 1977. The fishery for crawfish, *Palinurus elephas* off the coast of Cornwall. *Journal of the Marine biological Association of the U. K.*, 57: 925–941.
- **Herrnkind W.F.** 1980. Spiny lobsters: pattern of movements. In: *The Biology and management of lobsters*, Vol I (Cobb J. S. e Phillips B.F. eds) Academic press, NY, pp. 349–407.
- **Herrnkind W.F., Childress M.J., Lavalli K.L.** 2002. Cooperative defence and other benefits among exposed spiny lobsters: inferences from group size and behavior. *Marine and Freshwater Research* 52: 1113 – 1124.
- **Holthuis L.B.** 1991. FAO species catalogue. Vol.13. Marine lobsters of world. An annotated and illustrated catalogue of species of interest to fisheries known to date. FAO Fisheries Synopses, n°125, Vol.13. Rome, FAO, 292 pp.
- **Hunter E.** 1999. Biology of the european spiny lobate, *Palinurus elephas* (Decapoda, Palinuridea) *Crustaceana* 72: 545–565.
- **JeVs A.G., Tolimieri N., Haine O., Montgomery J. C.** 2003. Crabs on cue for the coast: the use of underwater sound for orientation by pelagic crab stages. *Marine and Freshwater Research* 54, 841–845.
- **Johnson M.P. and Tyack P.L.** 2003. A digital acoustic recording tag of measuring the response of wild marine mammals to sound. *IEEE Journal of Oceanic Engineering.* 28: 2–10.
- **Kanciruk P.** 1980. Ecology of juvenile and adult *Palinuridae* (spiny lobsters). Pp. 59–96 in J. S. Cobb and B. F. Phillips, eds. *The biology and management of lobsters*. Vol. 2. Academic Press, New York.

- **Kelly S.** 2001. Temporal variation in the movement of the spiny lobster *Jasus edwardsii*. Marine Freshwater Research. 52: 323–331.
- **Kelly S., MacDiarmid A.B., Babcock R.C.** 1999. Characteristics of spiny lobster, *Jasus edwardsii*, aggregations in exposed reef and sandy areas. Mar. Freshwater Res. 50:409–416.
- **Lavalli K.L., Herrnkind W.F.** 2009 Collective defense by spiny lobster (*Panulirus argus*) against triggerfish (*Balistes capricus*): effects of number of attackers and defenders. NZ J Mar Freshw Res 43:15–28
- **Legendre R.** 1936. Les stades larvaires et post-larvaires de *Palinurus vulgaris* et *Scyllarus arcutus* au large du golfe de Gascogne. Livre Jubil. De M. E. L. Bouvier : 53–58.
- **Lindberg R.G.** 1955. Growth, population dynamics, and field behavior in the spiny lobster, *Panulirus interruptus* (Randall). Univ. Calif. Publ. Zool 59:157–248.
- **Lipcius R.N., Cobb J.S.** 1994. Ecology and fishery biology of spiny lobsters. In: spiny lobster management. (Phillips BF, Cobb JS e Kittaka J. Eds.) Fishing news books. 1–24.
- **Macmillan D.L., Phillips B.F., Coyne J.A.** 1992. Further observations on the antennal receptors of rock lobsters and their possible involvement in puerulus stage navigation. Marine Behaviour and Physiology 19, 211–225.
- **Marin J.** 1985. La langouste rouge : biologie et exploitation. La Peche Maritime, fevrier 1985 : 105–113.
- **Marin J.** 1987. Exploitation, biologie et dynamique du stock de langouste rouge de Corse, *Palinurus elephas* Fabricius. Thèse, Univ. AixMarseille, Faculté Sciences Luminy. 328 pp.
- **Mercer J.P.** 1973. Studies on the spiny lobster (Crustacea, Decapoda, Palinuridae) of the west coast of Ireland, with particular reference to *Palinurus elephas* Fabricius 1787. Thesis, University College, Galway. 331 pp.
- **Meyer-Rochow V.B., Penrose J.D.** 1974. Sound and sound emission apparatus in puerulus and postpuerulus of the western rock lobster, *Palnulus longipes*. J. Exp. Biol. 189: 283–289.
- **Meyer-Rochow V.B., Penrose J.D.** 1976. Sound production by the western rock lobster *Palinurus longipes*. J.Exp. Biol. 23: 191–209.

- **Moulton J.M.** 1957. Sound production in the spiny lobster *Palinurus argus* (Latreille). *Biol Bull.* 113. 286–295.
- **Mulligan B.E., Fischer R.B.** 1977. Sounds and behavior of the spiny lobster *Panulirus argus*. *Crustaceana* 32:185–199.
- **Nowacek D.P., Thorne L.H., Jhonston D.W., Tyack P.L.** 2007. Responses of cetacean to anthropogenic noise. *Mammal Review.* 37: 81–115.
- **Packard A., Karlsen H.E., Sand O.** 1990. Low frequency hearing in decapods. *J Comp Physiol A.* 166: 501–505
- **Patek S.N., Baio J.E.** 2007. The acoustic mechanism of stick and slip friction in the California spiny lobster *Panulirus interruptus*. *J. Exp. Biol.* 210: 3538–3546.
- **Patek S.N., Oakley T.H.** 2003. Comparative Tests of Evolutionary Trade-offs in a Palinurid Lobster Acoustic System. *Evolution.* 57: 2082–2100.
- **Patek, S. N.** 2001. Spiny lobsters stick and slip to make sound. *Nature* 411, 153–154.
- **Patek, S.N.** 2002. Squeaking with a sliding joint: mechanics and motor control of sound production in palinurid lobsters. *The Journal of Experimental Biology* 205, 2375–2385
- **Phillips B.F. & Macmillan D.L.** 1987. Antennal receptors in puerulus and postpuerulus stages of the rock lobster *Panulirus cygnus* (Decapoda: Palinuridae) and their potential role in puerulus navigation. *Journal of Crustacean Biology* 7, 122–135.
- **Phillips B.F. & Penrose J.D.** 1985. The puerulus stage of the spiny (rock) lobster and its ability to locate the coast. School of Physics and Geosciences, Western Australian Institute of Technology, Report SPG 374/1985/AP92. p. 48.
- **Phillips B.F., Cobb J.S. & George R.W.** 1980. General biology. In *The Biology and Management of Lobsters: Physiology and Behavior*, vol. 1 (ed. J. S. Cobb and B. F. Phillips), pp. 1–82. New York: Academic Press.
- **Popper A.N., Salmon M., Horch K.W.** 2001. Acoustic detection and communication by decapods crustaceans. *Comp. Physiol A.* 187: 83–89
- **Pulliam H.R. & Caraco T.** 1984. Living in groups: is there an optimal group size? In: *Behavioural Ecology: an Evolutionary Approach*. 2nd edn (Ed. by J. R. Krebs & N. B. Davies), pp. 122–147. Oxford: Blackwell Scientific.

- **Quetglas A., Renones O. & Goni R.** 2001. Trophic interactions among grouper (*Epinephelus marginatus*), octopus (*Octopus vulgaris*) and red lobster (*Palinurus elephas*) in the Western Mediterranean. *Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Mediterranee*, 36: 310.
- **Reed J.M. & Dobson A.P.** 1993. Behavioural constraints and conservation biology: conspecific attraction and recruitment. *Trends in Ecology and Evolution*. 8: 253–256.
- **Relini M., Torchia G.** 1998. Unexpected displacement of a spiny lobster in the Ligurian sea. *Biologia Marina Mediterranea*, 5: 641–643.
- **Robles C., Robb J.** 1993. Varied carnivore effects and the prevalence of intertidal algal turfs. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 166: 65–91.
- **Salmon M.** 1983. Acoustic “calling” by fiddler and ghost crabs. *Mem Aust Mus*. 18: 63–76
- **Salmon M., Atsides S.P.** 1968. Visual and acoustical signaling during courtship by fiddler crabs (Genus *Uca*). *Am Zool* 8: 623–639.
- **Salmon M., Atsides S.P.** 1969. Spectral sensitivity to substrate vibration in fiddler crabs. *Anim Behav*. 17: 66–74.
- **Sastry A.N.** 1983. Pelagic larval ecology and development, in: *The biology of Crustacea*. Vol 7 (Vernberg F. J. e Vernberg V.B. Eds), Academic Press, NY, USA, pp 145–172.
- **Secci E., Cuccu D., Follesa M.C., Sabatini A., Cau A.** 1999. Restocking of *Palinurus elephas* (Fabr, 1787) in a Western Central Sardinian area. *Biologia Marina Mediterranea* 6: 614–616
- **Sharp W.C., Lellis W.A., Butler M.J.I.V., Herrnkind W.F., Hunt J.H., Pardee– Woodring M., Matthews T.R.** 2000 The use of coded microwire tags for mark–recapture studies of juvenile Caribbean spiny lobster, *Panulirus argus*. *J Crust Biol* 20:510–521
- **Sherwood L., Klandorf H., Yancey P.** 2005. *Animal Physiology – From Genes to Organism*. Brooks/Cole, Thomson Learning Company. p. 221
- **Shone H.** 1968. Agonistic and sexual display in aquatic and semiterrestrial brachyuran crabs. *Am Zool* 8: 641–654
- **Smale M.** 1974. The warning squeak of the Natal rock lobster. *S. Afr. Assoc. Mar. Biol. Res. Bull.* 11:17–19.

- **Smith R.J .F.** 1986. Evolution of alarm signals : role of benefits of retaining group member of territorial neighbors. *Am Nat.* 128: 604 – 610.
- **Staaterman E.R., Clark C.W., Gallager A.J., deVries M.S., Claverie T., Patek S.N.** 2011 Rumbling in the benthos: acoustic ecology of the California mantis shrimp *Hemisquilla californiensis*. *Aquat Biol* 13: 97–105
- **Staaterman E.R., Claverie T., Patek S.N.** 2010. Disentangling defense: the function of spiny lobster sounds. *Behavior.* 147: 235–258.
- **Stamps J. A.** 1994. Territorial behavior: testing the assumptions. *Advances in the Study of Behavior.* 23: 173–232.
- **Taylor R.C.** 1968. Water-vibration reception: a neurophysiological study in unrestrained crayfish. *Comp. Biochem. Physiol.* 27: 795–805.
- **Treisman M.** 1975. Predation and the evolution of gregariousness. I. Models for concealment and evasion. *Animal Behaviour.* 23: 779–800.
- **Udekem d’Acoz (d’) C.** 1999. Inventaire et distribution des crustacés décapodes de l’Atlantique nord-oriental, de la Méditerranée et des eaux continentales adjacentes au nord de 25°N. Collection Patrimoines Naturels, 40. Muséum national d’Histoire Naturelle : Paris, France, 383 pp.
- **Wiese K.** 1976. Mechanoreceptors for near field water displacements in crayfish. *J Neurophysiol* 39: 816–833.
- **Yamada S.B., Boulding E.G.** 1996. The role of highly mobile crab predators in the intertidal zonation of their gastropod prey. *Journal of experimental marine biology and ecology.* 204: 59–83.
- **Zariquiey Alvarez R.** 1968. Crustaceos Decapodos Ibericos. *Inv. Pesq.,* 32 : 510 pp.

9. RINGRAZIAMENTI

Vorrei iniziare con un pensiero espresso e condiviso da molti filosofi, psicologi e psichiatri, ossia che l'individuo non è esclusivamente un essere a sé, isolato, ma anche un *essere sociale*. Siamo nati gli uni per gli altri. Per questo motivo mi trovo a dover ringraziare un'infinità di persone, ognuna caratterizzata da una particolarità che difficilmente la si trova in un altro. Parto con il ringraziare la mia famiglia (gatti compresi) in quanto è solo tramite i sacrifici che tutti noi abbiamo fatto che oggi mi trovo dove sono; non posso di certo dire che ho una stabile posizione all'interno della società, ma quanto meno ne ho una buona visuale. Altro ruolo fondamentale è stato giocato da quelle pochissime persone che hanno esulato dal piattume Ravennate. Ravenna è un piatto che va servito freddo e io odio i pasti freddi, se non fosse stato per questi pochi personaggi sarei ancora al primo boccone. Ringrazio l'Andalucia perché mi ha donato prospettive differenti da quelle esistenti nella pianura e un grazie speciale va sicuramente a Enrico Caruso, sottofondo continuo di questi anni Emiliano-Romagnoli. Ringrazio, ovviamente, la Prof.ssa Elena Fabbri per essere stata sempre presente per qualsivoglia incomprendimento. Per la stesura di queste pagine vanno rivolti innumerevoli ringraziamenti in particolare al laboratorio di bio-acustica del CNR di Capogranitola: Giusi, Francesco, i due Vincenzo, Gaspare e Maria; se non fosse stato per il loro assiduo aiuto non mi sarei mai appassionato a questo particolare campo dell'ecologia. Mi hanno insegnato a mettere in pratica tutto quello che l'università ha teorizzato. Più in generale ringrazio mille mila volte l'intero CNR, dalla macchinetta del caffè nell'area ricreativa a Giovanni Cicchirillo (la vera essenza di quel luogo meraviglioso), passando per Yago, Tata e Bernardo.

Altre personalità hanno colmato la mia essenza, Marco, Cira, Annalina, TiZiana, Salvo, tutti cari esseri senzienti. Per ultimo, ma non per importanza, il mio ringraziamento va a Ezio. Dicono che Giovanni e Ignazio vanno sempre in coppia, fanno un duo inscindibile. Forse è stato davvero così in quanto i rispettivi saperi si sono colmati, se non fosse stato per lui buona parte di questo lavoro sarebbe rimasto incompiuto.

“E il dado è tratto...Trat-to”.