

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNICHE PSICOLOGICHE



TESI DI LAUREA TRIENALE

***STUDIO SULLA DISCRIMINAZIONE NUMERICA IN UN COMPITO DI MATCHING TO
SAMPLE NEL PECILIDE POECILIA RETICULATA***

MATCHING TO SAMPLE IN A TASK TO INVESTIGATE NUMERICAL COGNITION IN GUPPIES

Relatore:

Ch.mo Prof. Marco Dadda

Correlatrice:

Ch.ma Dott.ssa Gabriela Gjinaj

Laureanda: Roxana Vivat

Matricola: 2015265

Anno accademico 2022/2023

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. Cognizione numerica negli animali	2
1.2. Cognizione numerica in <i>Poecilia reticulata</i>	4
1.3. Scopo dello studio.....	4
2. BIOLOGIA DELLA SPECIE POECILIA RETICULATA.....	6
3. MATERIALI E METODI.....	7
3.1. Soggetti sperimentali.....	7
3.2. Apparato sperimentale	7
3.3. Stimoli	8
3.4. Procedura sperimentale.....	9
3.4.1. Familiarizzazione	9
3.4.2. Pre-training.....	9
3.4.3. Training.....	10
4. ANALISI STATISTICHE	12
5. RISULTATI.....	13
5.1. Risultati: livello di gruppo.....	13
5.2. Risultati: livello individuale	15
6. DISCUSSIONE.....	18
Bibliografia.....	20

1. INTRODUZIONE

Gli studi sugli animali nella letteratura scientifica sono ampiamente diffusi. Esiste un fondamento di base che dà valore a tutte le ricerche: i principi dell'evoluzione. L'evoluzione, così come descritta da Charles Darwin nel suo libro *L'origine delle specie*, (1844) dimostra che tutte le specie viventi si sono originate da un unico organismo che, grazie alla *selezione naturale*, è riuscito a sopravvivere e a differenziarsi. L'essere umano si differenzia dalle altre specie *in grado, ma non in natura*. (Shettleworth, 2009). Questo concetto ha permesso all'uomo, da quel momento in poi, di considerare tutte le specie sullo stesso piano. Gli studi si sono potuti concentrare sulle caratteristiche simili tra gli esseri viventi con lo scopo di ricostruire la storia evolutiva delle specie fino al presente. Si può dire anche che, studiare la cognizione nelle altre specie, ci porta a una maggiore comprensione dei diversi stadi dello sviluppo del cervello; le ricerche ci permettono di capire la funzione di specifiche abilità cognitive e del perché sono risultate le più adattative.

Secondo la definizione dell'*American Psychology Association*, la cognizione include tutte le forme di conoscenza e consapevolezza, come percepire, concepire, ricordare, ragionare, giudicare, immaginare, risolvere problemi. Queste stesse abilità sono state studiate nei primati, ma anche nei roditori (Crystal, 2012), negli uccelli (Emery, 2004) e nei pesci (Bshary, 2014). In particolare, l'utilizzo dei pesci in laboratorio è aumentato a partire dagli anni duemila in poi. Uno dei motivi per cui i pesci potrebbero aver avuto meno fama sta nel fatto che, in passato, costoro non venivano considerati esseri abbastanza intelligenti o dotati di qualche particolare capacità. (Brown, 2011).

Gli studi più recenti dimostrano, che al contrario, i pesci sono dotati di diverse abilità cognitive. Sono state studiate le abilità spaziali nei *guppy* (*Poecilia reticulata*); le ricerche dimostrano la capacità dei pesci di usare punti di riferimento e mappe cognitive per orientare i propri salti e di conseguenza ci suggeriscono che i pesci sono in possesso di specifiche facoltà mnestiche. (De Waele, 2022).

Esiste una vasta letteratura sulle abilità sociali nei pesci. È stato dimostrato in una specie tropicale (*Acanthochromis polyacanthus*) che esemplari naïve sono in grado di apprendere informazioni sui predatori dagli individui più esperti grazie alla captazione di segnali di allarme chimico conspecifici. (Manassa, 2012). I pesci, inoltre, sono una delle specie più primitive che esistono, nel senso che sono una delle prime forme viventi a comparire. In questo arco di tempo lunghissimo, sarebbe sciocco pensare che le loro caratteristiche fisiche e le facoltà cognitive siano rimaste invariate: l'evoluzione di queste ha permesso un potenziamento dei comportamenti necessari per la sopravvivenza e la riproduzione. Non stupisce, perciò, che siano una specie che si adatta facilmente in una moltitudine di ambienti (Brown, 2011).

1.1.Cognizione numerica negli animali

La cognizione numerica è una facoltà fondamentale nella presa di decisioni, ricerca del cibo e nell'orientamento. La capacità di discriminare tra due quantità è essenziale per la pianificazione futura delle azioni e per l'individuazione di strategie che garantiscano la sopravvivenza.

In uno studio (Piantadosi, 2017) si è visto che la scelta dei babuini è influenzata dalla numerosità. In particolare, i babuini vennero osservati nel loro habitat naturale di fronte alle scelte spontanee del gruppo. La numerosità si è rivelata il fattore che maggiormente ha influenzato la scelta dei babuini. Questo studio ha dimostrato la grande rilevanza che ha il ragionamento numerico nei primati selvatici. Uno studio (Howard, 2019) sulla cognizione numerica nelle api ha dimostrato come le loro abilità non si limitano alla semplice discriminazione quantitativa, ma dimostrano di essere in grado di possedere facoltà numeriche complesse, come poter associare un simbolo a una determinata operazione matematica, l'addizione e la sottrazione. Infatti, in questo studio, le api sono state addestrate ad associare il colore blu ad un elemento che si andava ad aggiungere e il colore giallo a un elemento che veniva tolto. Più in dettaglio, le api entravano in un labirinto a Y e veniva mostrato loro lo stimolo campione; in base al colore dello stimolo dovevano scegliere il percorso a destra o a sinistra, a seconda di dove si collocava la risposta corretta (Figura 1). Sono state condotte cento prove

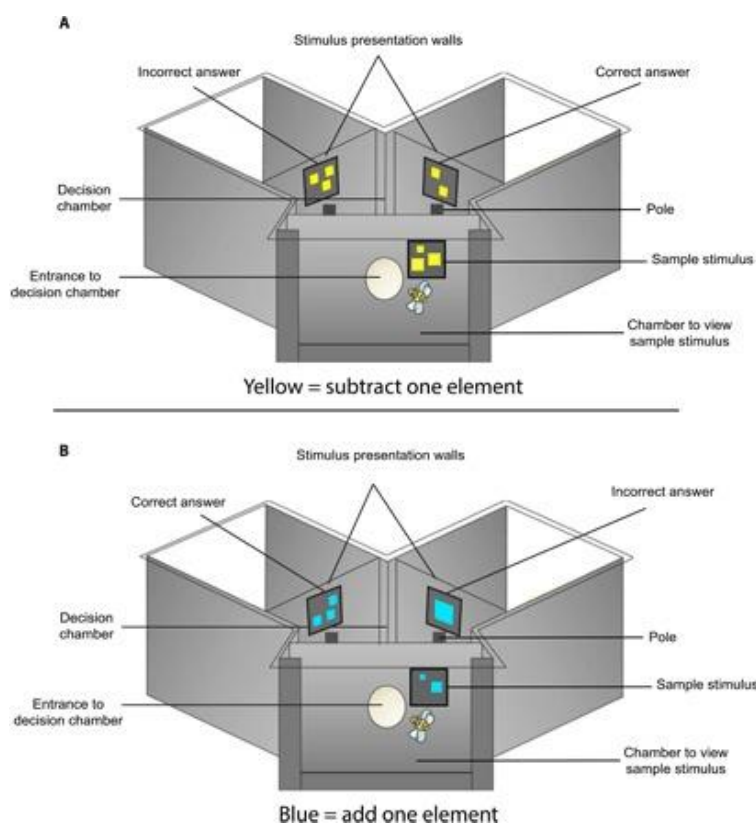


Figura 1 Apparato sperimentale utilizzato per addestrare e testare le api in volo libero sulla loro capacità di apprendere addizione e sottrazione.

e di fronte alle risposte corrette veniva somministrato un premio in cibo. I risultati di questo studio dimostrano che le api sono in grado di imparare a svolgere compiti numerici complessi.

La rilevanza di questi determinati studi e altri simili sta nel fatto che le dimensioni del cervello contano in maniera relativa e che anche gli animali in possesso di un cervello di dimensioni ridotte hanno facoltà cognitive simili a quello dei primati. Determinate facoltà cognitive come sapersi orientare, ricordare, contare, il linguaggio, interpretare simboli non sono una prerogativa unica dell'essere umano, ma solo delle basi che accomuna la maggior parte delle specie. Queste svolgono una funzione adattativa ed è stato dimostrato che alcune abilità specifiche sono superiori persino all'intelligenza umana. Una specie di uccello, conosciuta anche come nocciolaia di Clark (*Nucifraga columbiana*) è in grado di ricordare l'esatta posizione di centinaia di siti dove ha nascosto il cibo, come provvista per l'inverno, anche dopo molti mesi. Non solo, la nocciolaia di Clark ricorda persino il genere di cibo nascosto (Stancher, 2013).

1.2.Cognizione numerica in *Poecilia reticulata*

Diversi studi hanno voluto indagare la cognizione numerica in *P. reticulata*, chiamati anche *guppy*. Le abilità numeriche costituiscono un elemento che va ad aumentare il fitness della specie. Uno studio presenta meglio questo concetto dimostrando che i pesci, di fronte a due quantità di cibo, scelgono quella più numerosa (Lucon-Xiccato, 2015). I *guppy* hanno scelto la quantità maggiore di cibo solo nei due compiti di discriminazione più facili, cioè nel confronto uno contro quattro e due contro quattro. Non si sono notati risultati significativi per quanto riguarda i rapporti tre contro quattro e due contro tre. Questo significa che la loro scelta è stata condizionata dal rapporto numerico.

Un altro studio (Piffer, 2012) ha dimostrato la capacità dei *P. reticulata* di distinguere tra due stimoli differenti; in questo caso i soggetti dovevano scegliere tra due gruppi di conspecifici. I risultati mostrano che i pesci sono stati in grado di discriminare tra due quantità piccole (tre contro quattro) e tra due quantità grandi (cinque contro dieci). Tuttavia, i pesci non sono stati in grado di discriminare un rapporto con una quantità piccola e una grande, del tipo tre contro cinque.

Alla luce dei risultati, i ricercatori sono riusciti a dimostrare che anche i pesci usano due sistemi diversi per elaborare gli stimoli numerici allo stesso modo dei neonati e dei primati non umani. Esistono quindi due meccanismi, uno responsabile dei confronti numerici piccoli fino a tre o quattro elementi e un altro responsabile della stima della grandezza di elementi più numerosi.

1.3.Scopo dello studio

Questo studio vuole indagare maggiormente la cognizione numerica dei pesci, in particolari in esemplari di *P. reticulata*. L'obiettivo è quello di valutare la capacità di discriminazione numerica in presenza di altri stimoli visivi; si cerca di dimostrare che i pesci sono in grado di astrarre il dato numerico anche di fronte alla presenza di diverse forme geometriche, le quali possono costituire un ostacolo per la codifica dell'informazione quantitativa.

Per condurre l'esperimento si è utilizzato il paradigma MTS (Matching to sample) simultaneo. Questa procedura si tratta di un test a scelta simultanea che consiste nel fare una scelta tra due opzioni: viene sfruttata la naturale tendenza verso una preferenza (Agrillo, 2017). Anche in questo caso i soggetti

dovevano fare una scelta tra due opzioni, ma questa doveva essere fatta sulla base di un confronto con un terzo stimolo target.

Lo studio, perciò, si presuppone di valutare le facoltà cognitive complesse dei pesci in un compito di discriminazione numerica.

2. BIOLOGIA DELLA SPECIE POECILIA RETICULATA

I *P. reticulata*, conosciuti anche con il nome di *guppy*, sono originari dalle zone tropicali, tipicamente le zone dell'America del sud come Trinidad, Venezuela e Guyana. (Magurran, 2005).

Attualmente si possono trovare in quasi in tutte le zone tropicali del mondo e questo è possibile grazie alla loro formidabile adattabilità, motivo per cui sono soggetti molto favoriti dagli studiosi. Anche la riproduzione è molto vantaggiosa. Gli avannotti appena nati possono già nuotare e nutrirsi da soli e sono dei soggetti, a tutti gli effetti, indipendenti. Un soggetto femmina può conservare lo sperma maschile e partorire più volte (Magurran, 2005).

I maschi risultano avere una coda più larga e dei colori più accesi; questo perché le femmine hanno delle preferenze proprio in base ai colori (Figura2).



Figura 2 Esemplari di *P. reticulata* con riferimento alla differenza di colori tra i due sessi

Il periodo della gestazione dura tra i 25 e i 35 giorni circa. Dopo poche ore dal parto una femmina è di nuovo in grado di concepire, anche se in media lo fanno ogni quattro settimane.

Già dopo qualche ora dalla schiusa, gli avannotti si presentano con il loro corpo trasparente; al settimo giorno si può vedere il loro tubo alimentare. A 14 giorni si è in grado di distinguere i maschi dalle femmine: le femmine hanno un addome più pronunciato. Le differenze vengono, man mano, messe in evidenza con la crescita. I *P. reticulata* femmina adulti sono più lunghi, tra i 4-7 cm in confronto ai maschi tra i 3-5 (Shahjan, 2013).

3. MATERIALI E METODI

3.1. Soggetti sperimentali

La ricerca è stata condotta con esemplari adulte femmine naïve di *P. reticulata*, conosciuti anche con il nome di *guppies*, allevati all'interno del Laboratorio di Comportamento animale e Cognizione del Dipartimento di Psicologia generale dell'Università di Padova.

I soggetti sono stati prelevati dalle vasche, presenti all'interno del laboratorio, in cui hanno vissuto insieme ad altri esemplari della stessa specie. L'ambiente dei soggetti era arricchito con diversi tipi di vegetazione e ghiaia sul fondo per riprodurre il più possibile l'habitat naturale. Le vasche erano dotate dell'apposito filtro per il riciclo dell'acqua: infatti, quest'ultimo è fondamentale per ripulire le escrezioni dei pesci e scarti di cibo in decomposizione. Al di sopra delle vasche si trovava una lampada a fluorescenza, in posizione centrale. I soggetti seguivano una dieta regolare: veniva somministrato loro il cibo due volte al giorno. Di mattina, intorno alle ore 9:00 venivano nutriti con mangime secco (GVG) e al pomeriggio, intorno alle ore 17:00 con nauplii di *Artemia salina*. Gli esemplari adulti venivano pescati individualmente con un retino apposito; ogni soggetto veniva spostato nella propria vasca sperimentale, nella stanza addetta all'esperimento.

3.2. Apparato sperimentale

Ad ogni soggetto sperimentale veniva dedicata una vasca, differente sia per dimensione che per socialità rispetto alla vasca di provenienza. Ogni soggetto si trovava da solo in una vasca di vetro rettangolare (20x32x50Cm), la quale era stata pulita precedentemente. Ogni vasca era circondata esternamente, su tutte e quattro i lati, da pannelli verdi in polyplack. Sui due lati interni più lunghi venivano posizionati altri due pannelli strutturati nel seguente modo: i pannelli avevano due tagli verticali e tra questi un taglio orizzontale al di sopra; questi a loro volta servivano per far incastrare due strutture di plastica trasparente di forma semi parallelepipedica, le quali inglobavano i filtri del

riciclo dell'acqua e in una di esse era presente anche uno specchio rettangolare. Lo specchio aveva lo scopo di ridurre la percezione di solitudine del soggetto. Queste due strutture, posizionate in parallelo, una di fronte all'altra sui due lati maggiori, formavano al centro della vasca un corridoio più stretto con lo scopo di ridurre il campo visivo del soggetto durante l'esperimento. Questa strategia è utile per ottenere risultati più validi possibili. Lungo i due lati più corti, sempre internamente, erano posizionati due pannelli di color bianco, intagliati centralmente per poter incastrare un semicilindro di plastica trasparente, creando un semicerchio, adibiti all'inserimento degli stimoli target. Al di sopra delle vasche era collocata una lampada al neon per favorire l'illuminazione; sul fondo, invece, era presente uno strato di ghiaia di 2cm; la temperatura era mantenuta tra i 26° e i 28°C.

3.3. Stimoli

Gli stimoli che si andavano a presentare ai nostri soggetti venivano calati nella vasca sui due lati laterali più corti attraverso l'uso di bacchette a tre bracci, costruite appositamente. Le bacchette sono formate da tre bracci rettangolari (33x3,5 cm) in plexiglass trasparente, tenute insieme da un'asticella orizzontale. Nella parte finale delle bacchette venivano incastrati gli stimoli all'interno di un supporto per evitare che scivolassero in acqua una volta immersi. Gli stimoli si presentavano come quadrati (3x3cm) plastificati e venivano inseriti e tolti dal supporto inferiore delle bacchette (Figura 3). Ogni bacchetta aveva sul retro, sui due bracci laterali, una forma ad L in polyplack che serviva come appoggio alla vasca quando la bacchetta veniva immersa.

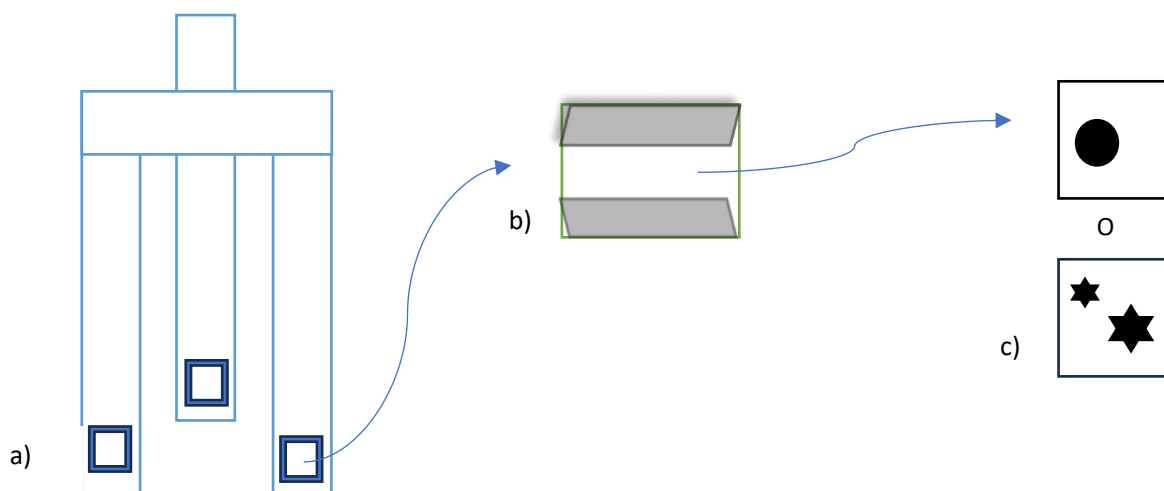


Figura 3 a) Rappresentazione grafica della bacchetta a tre bracci; b) supporto all'interno del quale veniva inserito lo stimolo; c) esempi di stimoli

3.4. Procedura sperimentale

Una volta pronti gli strumenti e trasferiti i soggetti all'interno delle vasche, si iniziava con la procedura che è divisa in tre fasi: familiarizzazione; pre-training; training.

3.4.1. Familiarizzazione

La familiarizzazione dura tre giorni. Al primo giorno, ogni soggetto viene trasferito nel rispettivo apparato. Il secondo e il terzo giorno sono dedicati all'abituazione; tempo necessario perché i *P. reticulata* si abituino ad abitare in un luogo diverso. I soggetti seguono la stessa routine alimentare come quella prima di essere trasferiti nelle vasche sperimentali.

3.4.2. Pre-training

Il pre-training dura due giorni. In questa fase di pre-addestramento lo sperimentatore inizia, in maniera graduale, ad interagire con l'apparato e il soggetto. In particolare, i soggetti si potranno osservare e valutare se sono effettivamente dei buoni candidati; infatti, alcuni soggetti si possono rivelare passivi, cioè non interessati ad interagire. Questo può accadere a causa dello stress che subiscono per via del cambio d'ambiente o possono sentirsi intimiditi dalla bacchetta o dall'esperimentatore stesso. È fondamentale, perciò, eseguire le manovre con particolare delicatezza. Viene utilizzata una bacchetta singola di plexiglass trasparente, priva di stimolo, e immersa, a cambio, sui lati più corti dell'apparato, destra e sinistra, frontale e posteriore. Una sequenza tipo va in questo ordine: frontale-destra; posteriore-destra; frontale -sinistra; posteriore-sinistra. Quando il soggetto si avvicina alla bacchetta, questo comportamento viene rinforzato con una piccola dose di cibo consistente di naupli di artemia, fornito attraverso una pipetta Pasteur. Il primo giorno, ogni soggetto viene esposto a otto prove totali divise in due sessioni da quattro prove ciascuna. In ognuna delle sessioni le prove vengono eseguiti a non più di quindici minuti di distanza tra loro. Tra una sessione e l'altra viene fatta una pausa di circa novanta minuti. Il secondo giorno, ogni soggetto viene

sottoposto a dodici prove totali, divise in due sessioni da sei prove ciascuna. In ogni sessione le prove vengono eseguite a non più di quindici minuti di distanza tra loro. Tra una sessione e l'altra viene fatta una pausa di circa novanta minuti.

3.4.3. Training

Tutti i candidati ritenuti validi possono iniziare la fase sperimentale vera e propria della durata di nove giorni. I soggetti vengono sottoposti a dodici prove, divise in due sessioni da sei. Le bacchette qui utilizzate sono quelle a tre bracci in cui agli estremi inferiori vengono inseriti i diversi stimoli. La bacchetta centrale sarà quella a contenere lo stimolo target, che è identico a uno dei due stimoli laterali che il soggetto dovrà associare per ottenere il rinforzo. Il training consiste in due fasi. La prima fase è rappresentata dai primi cinque giorni in cui vengono mostrati i confronti numerici 1vs4, 1vs5, 1vs6, 2vs5, 2vs6 e 3vs6, andando a rinforzare nel corso delle dodici prove giornaliere sia la numerosità piccola che quella grande di ciascun confronto numerico. Nella seconda fase, della durata di quattro giorni, vengono mostrati i seguenti confronti numerici: 1vs4, 1vs5, 2vs3, 2vs5, 3vs4, 3vs6. In questa fase vengono introdotti due ratio difficili: 2vs3 e 3vs4 che sostituiscono il 1vs6 e il 2vs6. Allo stesso modo della fase precedente, nel corso delle dodici prove si rinforza sia la numerosità piccola che quella grande di ciascun confronto numerico. Gli stimoli consistono dunque, sia in diversi confronti numerici, sia in differenti forme. Inoltre, l'area del probe è stata pareggiata all'area dello stimolo con numerosità minore, maggiore o il valore intermedio tra le due aree al fine di evitare che il soggetto faccia una scelta in base alla quantità di colore nero presente nello stimolo (Figura 5). Qui di seguito vengono mostrate le figure con le otto forme degli stimoli utilizzati (Figura 4).

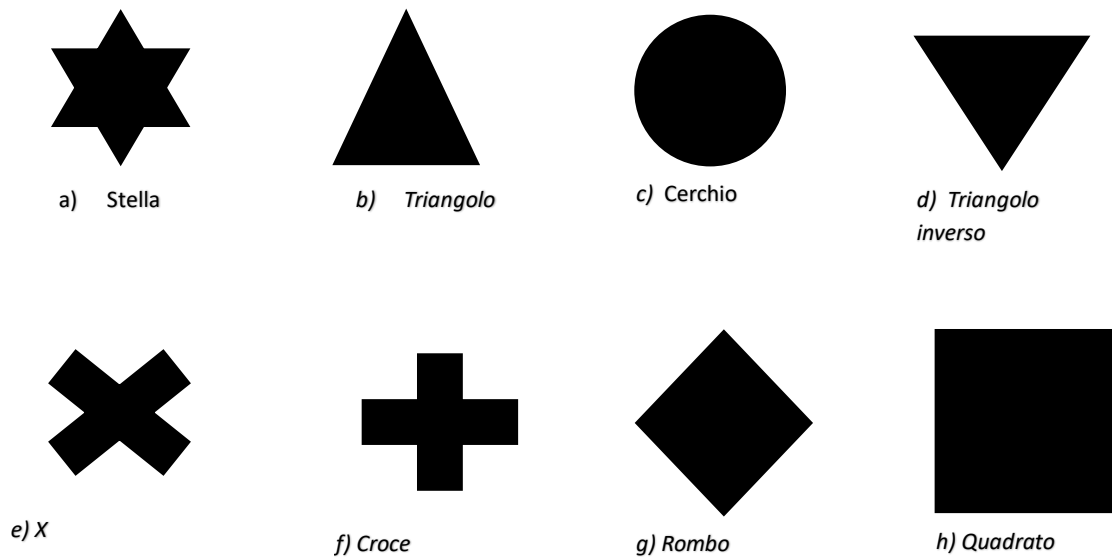


Figura 4 Le forme degli stimoli utilizzati



Figura 5 Esempio stimolo confronto 2vs3 della forma a stella con rinforzo numerosità 2; in questo caso l'aria del probe consiste nell'aria complessiva dello stimolo rappresentante la numerosità 3.

4. ANALISI STATISTICHE

Per le analisi statistiche sono stati considerati i soggetti che hanno iniziato e terminato le 9 giornate di training complessivo. Il campione iniziale consisteva in 26 soggetti, di questi hanno superato la fase di pre-training in 16. Infine, sono 12 i soggetti che hanno iniziato e terminato il training.

La variabile dipendente che è stata considerata per le analisi è la proporzione di risposte corrette che consiste in un indice che varia da 0 ad 1 calcolato secondo la formula:

$$\frac{\textit{numero di scelte corrette}}{\textit{numero di prove totali}}$$

Il valore ottenuto è stato utilizzato per condurre un t-test a campione unico per poter verificare se i soggetti, a livello di gruppo, sono stati in grado di associare lo stimolo raffigurante la numerosità numerica identica a quella rappresentata nello stimolo “probe”. Inoltre, per verificare l’apprendimento a livello individuale, è stato utilizzato un test binomiale considerando la performance di ogni soggetto. Successivamente, è stato creato un modello lineare generalizzato ad effetti misti con distribuzione binomiale (GLMM, funzione ‘glmer’ del pacchetto R ‘lme4’). Il codice identificativo dei soggetti è stato inserito come fattore random, mentre le variabili: giorno, confronto, area del probe e forma delle raffigurazioni numeriche sono stati inseriti come fattori fissi. L’influenza di queste variabili è stata poi valutata utilizzando la funzione ‘Anova’ del pacchetto R ‘car’.

Tutte le analisi sono state condotte attraverso il programma statistico RStudio (versione 4.3.0) (The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <http://www.rproject.org>).

5. RISULTATI

5.1. Risultati: livello di gruppo

Considerando complessivamente le 9 giornate (Grafico 1), i soggetti hanno una performance media di 0.513 ± 0.5 (media \pm SD) ed è normalmente distribuita ($W=0.97053$, $p\text{-value}=0.9163$), tuttavia non risultano essere statisticamente significativi (t-test a campione unico, $t_{11} = 1.0168$, $p\text{-value}=0.331$).

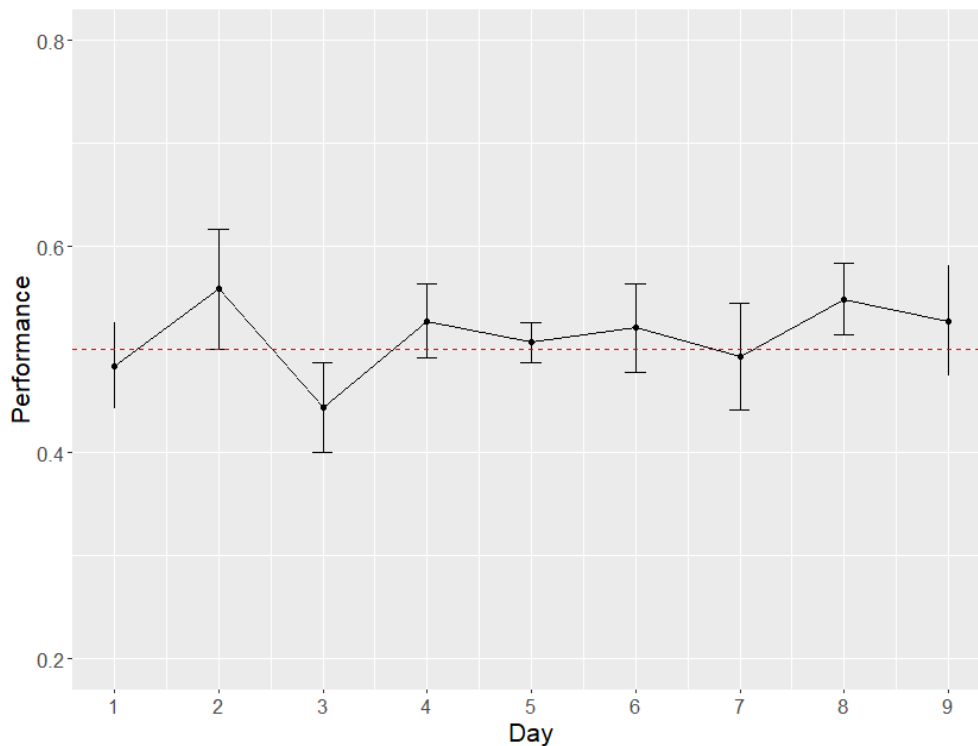


Grafico 1 Andamento in media di tutti i soggetti durante le giornate di training; asse x = giorno di training, asse y = proporzione di scelte corrette

Andando a considerare le ultime 4 giornate (Grafico 2), in media le performance dei soggetti è di 0.523 ± 0.5 (media \pm SD). Risulta essere normalmente distribuita ($W=0.90059$, $p\text{-value}=0.1614$), ma non statisticamente significativi (t-test a campione unico, $t_{11} = 87774$, $p\text{-value}=0.399$).

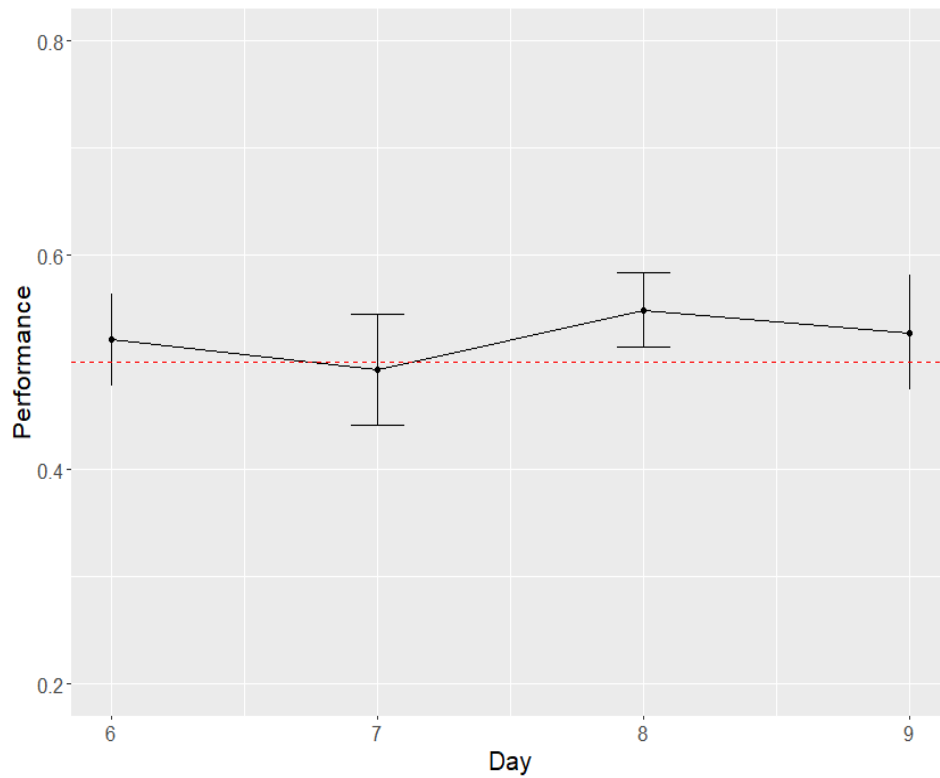


Grafico 2 Andamento in media di tutti i soggetti durante le ultime 4 giornate di training

Considerando la performance di gruppo esclusivamente per i due confronti difficili (2vs3 e 3vs4) (Grafico 3), si osserva che i soggetti non hanno una performance statisticamente significativa in entrambi i confronti ($p > 0.586$).

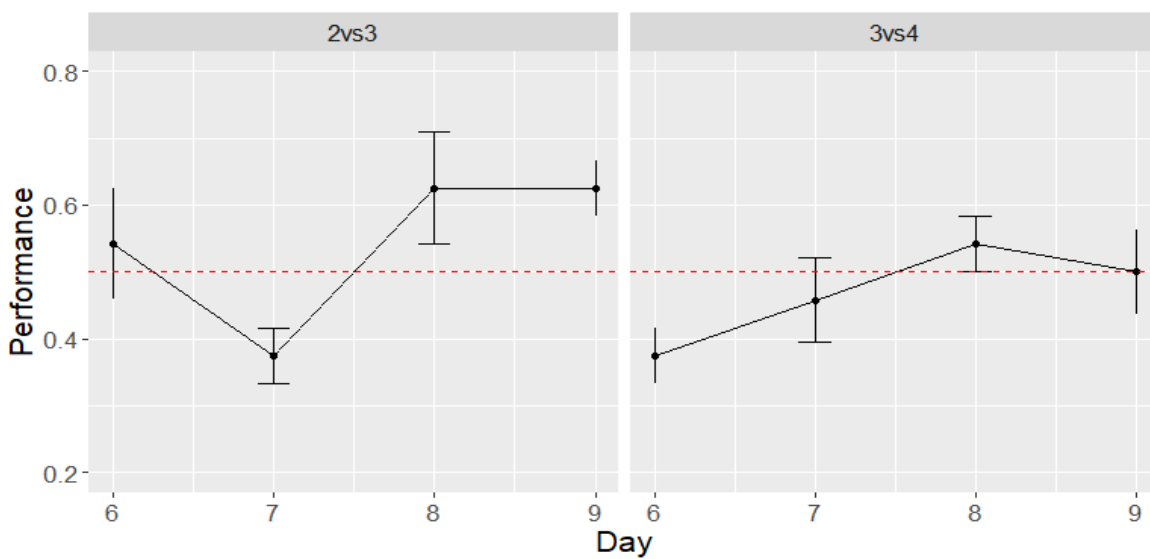


Grafico 3 Andamento in media di tutti i soggetti durante le ultime 4 giornate di training considerando i confronti 2vs3 e 3vs4

5.2. Risultati: livello individuale

Per quanto riguarda la performance complessiva delle ultime quattro giornate a livello individuale, si osserva che solo un soggetto sceglie lo stimolo corretto in modo statisticamente significativo (Tabella 1).

Soggetto	Media \pm SD	Risposte corrette/Totale prove	P value
F1	0.54 \pm 0.50	26/48	0.666
F10	0.40 \pm 0.49	19/48	0.193
F11	0.62 \pm 0.49	30/48	0.111
F3	0.58 \pm 0.50	28/48	0.312
F4	0.56 \pm 0.50	27/48	0.471
F6	0.54 \pm 0.50	26/48	0.666
F7	0.67 \pm 0.48	32/48	0.029*
F8	0.40 \pm 0.49	19/48	0.193
F9	0.54 \pm 0.50	26/48	0.666
S2	0.40 \pm 0.49	19/48	0.193
S5	0.54 \pm 0.50	26/48	0.666
S8	0.48 \pm 0.50	23/48	0.886

Tabella 1 Performance complessiva delle ultime 4 giornate a livello individuale

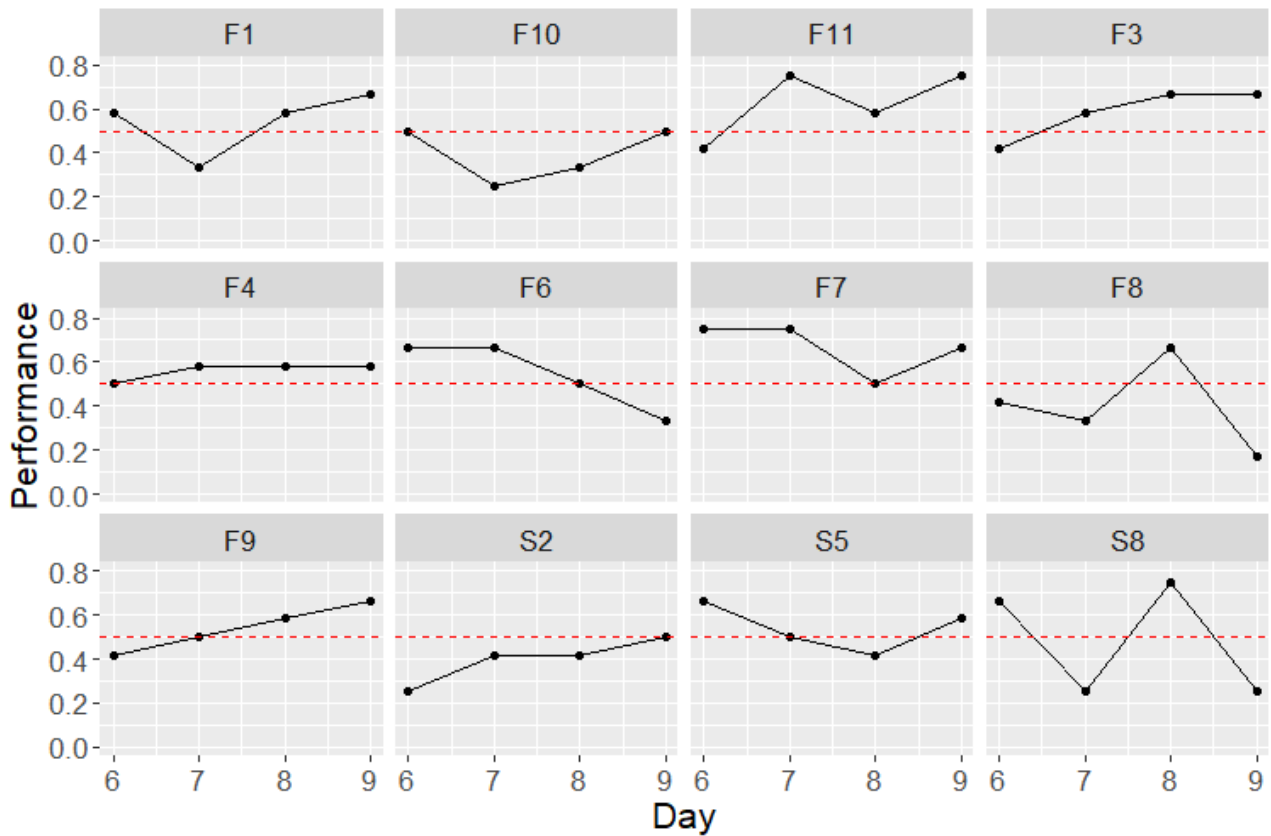


Grafico 4 Andamento degli ultimi 4 giorni

L'analisi a misure ripetute fatta utilizzando i dati degli ultimi 4 giorni, non ha evidenziato effetti significativi della variabile giornata di training ($\chi^2_{1} = 0.3149$, $p = 0.575$), né della tipologia di confronto ($\chi^2_{5} = 1.7705$, $p = 0.8799$), né della forma utilizzata per la rappresentazione numerica ($\chi^2_{8} = 3.4995$, $p = 0.899$) (Grafico 5), né dell'interazione tra confronto numerico e forma utilizzata ($\chi^2_{31} = 22.2286$, $p = 0.876$), né dell'area dello stimolo probe ($\chi^2_{2} = 0.4704$, $p = 0.79$) né della posizione frontale o posteriore ($\chi^2_{1} = 0.6119$, $p = 0.434$). Il parametro che sembra spiegare la variabilità della performance è la posizione sinistra o destra dello stimolo che raffigura la numerosità rappresentata dal probe ($\chi^2_{1} = 19.1474$, $p < 0.01$).

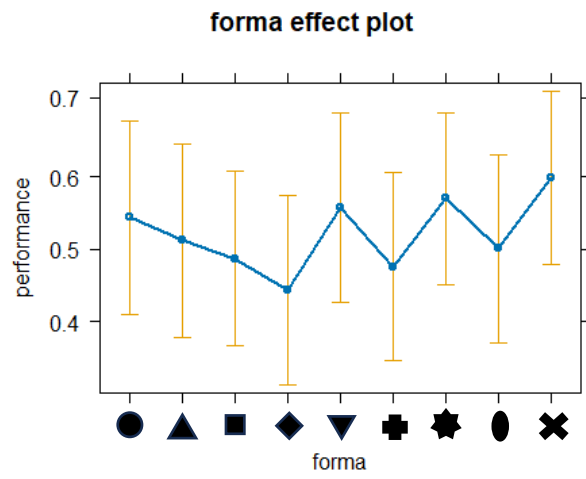
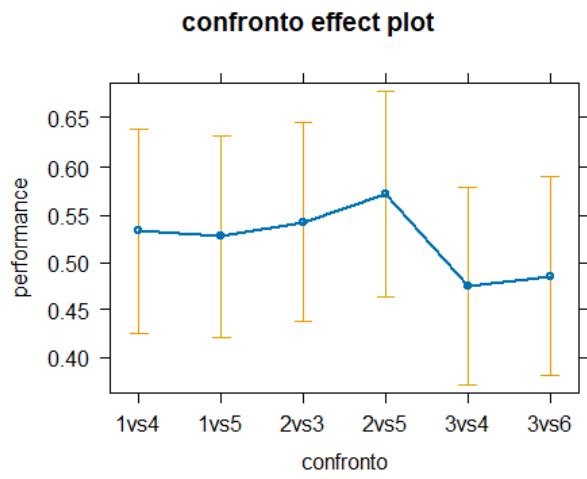


Grafico 5 Performance media dei soggetti nei differenti confronti numerici; b) performance media dei soggetti nelle ultime 4 giornate nelle forme

6. DISCUSSIONE

Studi precedenti hanno dimostrato che i pesci riescono a discriminare tra due quantità quando vengono sottoposti a un test di preferenza spontanea, sia quando la scelta consiste in un rinforzo sociale oppure alimentare (Agrillo, 2017).

Nel presente studio, invece, il cibo è stato somministrato solo come rinforzo in vista dell'apprendimento di un compito. In particolare, si è fatto ricorso alla procedura del condizionamento classico e operante. La fase di addestramento in questo esperimento ha dimostrato la capacità di associare, in un primo momento, uno stimolo a una risposta, e in un secondo momento, lo stimolo target o probe con lo stimolo adeguato in ordine da ricevere il rinforzo in cibo.

Gli stimoli sono stati presentati secondo i criteri del paradigma MTS simultaneo.

L'indagine aveva come fine quello di dimostrare le capacità di discriminazione numerica in *P. reticulata*. I dati raccolti non sono statisticamente significativi né per quanto riguarda i risultati raccolti dalle analisi a livello di gruppo, né per quelle a livello individuale. Nessun soggetto, tranne uno, ha raggiunto i criteri di apprendimento nel compito di discriminazione numerica. Nonostante i rimanenti undici soggetti abbiano dati che sono attribuibili al caso, dai grafici si possono notare delle leggere differenze nelle performance. Più in dettaglio, i soggetti F3 e F9 mostrano un piccolo, ma costante miglioramento durante gli ultimi 4 giorni di *training*.

Un ulteriore dato interessante si trova osservando il grafico che mostra la performance media dei soggetti nei differenti confronti numerici; sembra che la performance per i confronti numerici 3vs4 e 3vs6 sia leggermente inferiore rispetto alla media degli altri confronti.

In contrasto con i risultati qui presentati, uno studio sulle capacità numeriche in *guppies* (Bisazza, 2014) ha visto 5 su 8 dei soggetti sperimentali discriminare confronti fino a 4vs5. A differenza dell'esperimento condotto in questa sede, la durata dell'addestramento è stata molto più lunga.

L'estensione dell'addestramento potrebbe portare a performance migliori con un progressivo miglioramento, come, in parte, ci suggeriscono anche i nostri risultati. A conferma con i risultati raccolti in quest'indagine, i confronti numerici con numerosità più piccola hanno ottenuto risultati migliori (Bisazza, 2014).

Oltre alla durata dell'addestramento, un limite allo studio corrente si può riscontrare nel metodo di somministrazione del premio. Il cibo rilasciato in seguito a una risposta corretta si disperde nell'acqua e alcuni dei residui possono rimanere. Questo aspetto, chiaramente, può compromettere i risultati perché i soggetti non riescono ad apprendere l'associazione desiderata.

Le abilità numeriche e discriminatorie sono facoltà in possesso anche da animali ritenuti cognitivamente inferiori; queste risultano fare parte di un sistema di facoltà cognitive innate comuni a tutte le specie non umane (Feingenson, 2004). Di conseguenza, la capacità di discriminare quantità diverse è una funzione adattiva, utile per il foraggiamento, discriminare gruppi delle specie, evitare i predatori. Nel complesso, essere in possesso di facoltà cognitive numeriche aiuta a distinguere gli stimoli e selezionare quelli che portano un vantaggio per sé stessi e la propria specie.

Le abilità numeriche degli esseri umani adulti sono evidenti; sono, però, interessanti gli studi sulle capacità dei neonati di poter discriminare tra due quantità (Gao, 2000). Questo suggerisce che esistono degli schemi innati, predisposti alla discriminazione di quantità diverse; non solo gli umani posseggono abilità cognitive complesse, ma anche altre specie in possesso di un cervello di dimensione molto più ridotte.

La letteratura ci fornisce alcuni esempi delle abilità discriminatorie numeriche nei pesci, ma sono piuttosto recenti. Questo studio, sull'onda dei precedenti, vuole dimostrare la possibilità di condurre le prossime ricerche impiegando risorse e materiali meno dispendiosi, ma con una probabilità di successo maggiori. In prospettiva di un futuro non troppo lontano, lo studio delle facoltà cognitive negli animali, come i pesci, potrebbe aggiungere valore alle neuroscienze e aiutare le diagnosi e le cure neuropsicologiche.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Bibliografia

- Agrillo, P. B. (2017). Numerical abilities in fish. A methodological review. *Behavioural Processes* , 161-171.
- Bisazza, A. L.-X. (2014). Extensive training extends numerical abilities in guppies. *Animal cognition*.
- Brown, C. L. (2011). *Fish Cognition and Behavior*. Wiley-Blackwell.
- Bshary, G. M. (2014). Social cognition in fishes. *ScienceDirect*, 465-471.
- Crystal. (2012). Prospective cognition in rats. *Learn Motiv.*, 181-191.
- Darwin, C. (1844). *L'origine delle specie*.
- De Waele, H. a. (2022, Novembre/dicembre). Jumping out of trouble: evidence for a cognitive map in guppies (*Poecilia reticulata*). *Behavioral Ecology*, p. 1161-1169.
- Emery, C. (2004). Comparing the Complex Cognition of Birds and Primates. In K. Rogers, *Comparative Vertebrate Cognition of Birds and Primates*. Boston.
- Feingenson, D. S. (2004). Core systems of numbers. *Trends in cognitive Science*.
- Gao, L. H. (2000, Semptember). What Do Infants Know about Continuous Quantity? *Journal of Experimental Child psychology*, p. 20-29.
- Howard, A.-W. G. (2019). Numerical cognition in honeybees enables addition and subtraction. *Science Advances*.
- Lucon-Xiccato, P. A. (2015). Guppies discriminate between two quantities of food items but prioritize item size over total amount. *Animal Behaviour*, 183-191.
- Magurran. (2005). *Evolutionary Ecology: The Trinidadian Guppy*. Oxford University Press.
- Manassa, M. (2012). Social learning and acquired recognition of a predator by a marine fish. *Animal Cognition*, 559-565.

- Piantadosi, C. (2017). True Numerical Cognition in the wild. *Psychology science* , 462-469.
- Piffer, A. H. (2012). Small and large number discrimination in guppies. *Animal Cognition*, 215-221.
- Shahjan, B. A. (2013). Breeding biology of guppy fish, *Poecilia reticulata* (Peters, 1859) in the laboratory . *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science*, 259-267.
- Shettleworth, S. (2009). Cognizione: teorie della mente negli animali e negli esseri umani. *Natura*, 459,506.
- Stancher. (2013). Intelligenze animali e pregiudizio umano. La sfida dello studio comparato della cognizione animale.