



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di psicologia generale**

**Corso di laurea in scienze psicologiche della personalità,  
dello sviluppo e delle relazioni interpersonali**

**Elaborato finale**

**Lateralizzazione cerebrale e abilità numeriche ordinarie nel pulcino di pol-  
lo domestico (*Gallus gallus*)**

**Cerebral lateralization and ordinal numerical abilities in the domestic  
chick (*Gallus gallus*)**

***Relatore***

**Dott.ssa Rosa Rugani**

**Laureando: Matteo Gatti**

***Matricola: 1220725***

Anno accademico 2021/2022



## INDICE

1. Introduzione.....	4
1.1. abilità numeriche nelle specie non umane.....	4
1.2. La competenza Ordinale.....	5
1.3 Associazione tra spazio e numeri.....	6
2. Esperimento.....	8
2.1. Soggetti.....	8
2.2. Condizioni di allevamento.....	8
2.3. Apparato.....	9
2.4. Procedura sperimentale.....	12
2.4.1. Pre-training.....	12
2.4.2. Training.....	13
2.4.3. Re-training.....	13
2.4.4. Test sagittale.....	13
2.4.5. Test fronto-parallelo.....	14
2.5. Risultati.....	14
2.5.1 Percentuali di scelta.....	14
2.5.1.1. Test sagittale.....	14
2.5.1.2 Test fronto-parallelo.....	17
2.5.3. Direzione d'approccio.....	23
3. Discussione dei risultati.....	24
4. Thesis statement.....	25

## 1. Introduzione

### 1.1. abilità numeriche nelle specie non umane

Per molto tempo si è erroneamente pensato che solo gli esseri umani possedessero delle abilità numeriche, ma negli ultimi decenni in molti si sono interessati allo studio della cognizione numerica anche nelle specie non umane.

Il primo ad aver condotto esperimenti su questo tema e ad aver dichiarato la presenza di abilità di tipo numerico anche negli animali è stato Otto Koehler che, in uno dei suoi studi, ha dimostrato come un corvo di nome Jacob riuscisse a distinguere il numero 5 durante lo svolgimento di una serie di compiti diversi (Koehler, 1943).

L'esperimento di Koehler è risultato particolarmente significativo in quanto, grazie ad un forte controllo esercitato sulle condizioni sperimentali, riuscì a testare l'abilità numerica del corvo separatamente da altre abilità quali la capacità di riconoscere un oggetto in base alla sua posizione o alla sua grandezza.

Successivamente altri studi hanno contribuito ad esplorare le abilità numeriche nelle specie non umane, basti pensare al lavoro di Platt e Johnson: questi studiosi riuscirono ad insegnare a dei topi, precedentemente lasciati a digiuno, a premere una leva un determinato numero di volte per poter ottenere del cibo (Platt, Johnson, 1958).

La maggior parte della ricerca in questo ambito è stata condotta in un ambiente controllato, ma alcuni studi hanno dimostrato come, anche allo stato brado, alcuni animali possiedano abilità proto-numeriche: ad esempio, le leonesse decidono di ingaggiare una lotta con un gruppo considerato ostile non prima di aver valutato la numerosità di questo, basandosi sul numero dei ruggiti percepiti, per poi attaccare successivamente soltanto se in numero maggiore rispetto agli avversari con un rapporto di almeno 2:1 (McComb, Packer, Pusey 1994). Un altro esempio è dato dagli studi condotti su quello che è definito foraggiamento ottimale, secondo cui, dopo aver presentato due diverse quantità di cibo ad un animale, esso tenderà a scegliere quella maggiore delle due (McHartur, Pianka, 1966). Si può quindi notare come in certe situazioni le abilità numeriche siano usate in modo spontaneo dagli animali al fine di favorire la sopravvivenza e non soltanto in assenza di altri indizi, in seguito ad addestramento o come ultima risorsa.

In natura, le informazioni di tipo numerico variano continuamente insieme a numerosi altri fattori (come per esempio il colore, la superficie o la densità) che sono detti variabili continue; per poter studiare le capacità numeriche nelle specie non umane è quindi necessario eseguire studi sperimentali

tali in cui tali variabili sono mantenute costantemente sotto controllo, per poter verificare quanto, senza l'influenza di altri parametri, le capacità di analisi numerica influenzino il comportamento. La cognizione numerica non simbolica presenta alla base due principali e distinti sistemi. Il primo è il sistema OFS (Object File System) il cui funzionamento si basa sulla memoria a breve termine; esso è utilizzato per la rappresentazione di piccoli numeri e presenta una capacità di elaborazione di circa 3-4 oggetti che vengono mantenuti e analizzati grazie alla memoria a breve termine (Trick, Pylyshyn 1994).

Il secondo sistema è l'AMS (Analogue Magnitude System), che viene utilizzato per la manipolazione di una qualsiasi numerosità e che funziona in accordo con la legge di Weber, portando ad una diminuzione dell'accuratezza e ad un aumento dei tempi di risposta all'aumentare della numerosità in questione.

## **1.2. La competenza Ordinale**

Le abilità numeriche possono essere suddivise a livello teorico in due sottoinsiemi di abilità: Abilità aritmetiche cardinali e abilità ordinali. La competenza ordinale può essere sostanzialmente definita come la capacità di "riconoscere un elemento target in una serie di elementi identici sulla base della sua posizione ordinale" (Vallortigara et. al. 2010).

È stato dimostrato come un ampio numero di specie siano in grado di portare a termine compiti che prevedono una padronanza della competenza ordinale. I ratti ad esempio sono in grado di selezionare un tunnel considerato corretto all'interno di una serie di 6 tunnel basandosi solamente sulle informazioni relative alla sua posizione ordinale (Davis, Bradford 1986).

Numerosi studi sono stati condotti sui pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*) per indagare la competenza numerica ordinale (Rugani et. al. 2007). Il pulcino veniva addestrato a riconoscere un elemento target (il quarto) all'interno di una serie di 10 elementi equidistanti e disposti sagittalmente rispetto al punto di partenza e l'apprendimento avveniva tramite l'utilizzo di un rinforzo alimentare: nel caso in cui il pulcino avesse beccato l'elemento corretto esso poteva consumare il rinforzo. I pulcini riportavano un successo anche a seguito di una variazione della posizione ordinale dell'elemento corretto e della sua distanza rispetto al punto di partenza del soggetto, eliminando quindi la possibilità che il pulcino riuscisse a completare il compito basandosi sulle informazioni derivate dalla distanza spaziale. In altri casi è stato studiato il comportamento dei pulcini nello stesso compito al variare della disposizione della serie di elementi: la serie veniva ruotata di 90° risultando quindi disposta in modo perpendicolare rispetto al punto di partenza del pulcino; seguito di tale variazione il pulcino dimostrava di poter applicare una generalizzazione dell'informazione appresa du-

rante l'addestramento riuscendo a beccare rispettivamente il quarto elemento a partire da sinistra e il quarto elemento a partire da destra.

Grazie a questo esperimento si è inoltre potuto notare come i soggetti erano tendenti a preferire il quarto elemento del lato sinistro, presentando quindi un *bias* nel preferire l'area di sinistra.

### **1.3 Associazione tra spazio e numeri**

Nel XIX secolo, grazie al lavoro di Galton (1880), si è sviluppata la concezione che esistano dei pattern comuni nella descrizione dei numeri; essi venivano infatti visti come se si trovassero su una linea ordinata da sinistra verso destra, la quale prende il nome di "linea numerica mentale".

Questa concezione è stata poi rafforzata grazie a studi successivi, che hanno fatto emergere come i tempi di risposta in un compito che richiede di eseguire un giudizio di parità risultino inferiori quando le piccole numerosità sono collocate a sinistra e quelle grandi a destra; tale effetto è detto effetto SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes; Dehaene, Bossini e Giraux, 1993) ed è influenzato da fattori quali la cultura di appartenenza, specialmente per quanto concerne le abitudini di scrittura e lettura (Zebian, 2005).

Al giorno d'oggi è risaputo che anche nelle specie non umane sono presenti delle associazioni spazio-numeriche molto simili a quelle osservate negli umani adulti. Molti animali mostrano di possedere un *bias* verso le piccole numerosità a sinistra e le grandi numerosità a destra, anche in assenza di capacità di lettura e scrittura e tra questi ricordiamo i pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*) (Rugani, Regolin, Vallortigara, 2007), le scimmie Rhesus (*Macaca Mulatta*) (Drucker, Brannon, 2014) e le ghiandaie di Clark (*Nucifraga columbiana*) (Rugani, Kelly, Szelest, Regolin, Vallortigara, 2010).

È stato inoltre osservato come i pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*), impegnati in un test fronto-parallelo dello stesso tipo di quelli descritti precedentemente, sembrano preferire lo spazio di sinistra e tendano a beccare il quarto elemento a partire da sinistra più frequentemente rispetto agli altri elementi della serie.

È stato anche condotto uno studio, sempre sui pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*), in cui essi non sono stati sottoposti ad alcun addestramento di tipo numerico (Rugani et al., 2014). Tale esperimento consisteva nel fare sparire due diverse numerosità di oggetti dietro a due pannelli e i risultati hanno mostrato come i pulcini rispondano meglio nei casi in cui la numerosità maggiore viene nascosta dietro al pannello destro.

Il comportamento dei pulcini mostrato durante questi test presenta numerose analogie con l'effetto SNARC riscontrabile in bambini ed adulti umani e ciò è da considerarsi una forte evidenza del fatto che le abilità linguistiche e la cultura di appartenenza non siano ciò da cui dipende l'associazione spazio-numero orientata, ma come questa sia una strategia che risulta comune a più specie fin dai primi giorni di vita.

Quanto riportato in questa tesi fa parte di un progetto di ricerca guidato da Rosa Rugani. Lo studente (Matteo Gatti) ha contribuito ad una parte di tale progetto atta a soddisfare i criteri per il completamento del progetto formativo ai fini della laurea Triennale.

Contributo degli autori: **Rosa Rugani:** concettualizzazione, metodologia, supervisione, amministrazione del progetto, risorse, stesura della bozza originale, revisioni e modifiche; **Yujia Zhang:** conduzione degli esperimenti, raccolta dati, cura dei dati, analisi formale, stesura della bozza originale; **Beatrice Scarsi:** conduzione degli esperimenti, raccolta dati; **Matteo Gatti:** cura dei dati, analisi dei dati offline

## 2. Esperimento

### 2.1. Soggetti

Per questo esperimento sono stati utilizzati pulcini di pollo domestico della specie *Gallus gallus*, in particolare 18 ibridi commerciali Ross308, e 16 Hybro, acquistati da un incubatoio locale.

I soggetti utilizzati erano esclusivamente di sesso maschile. Questa scelta è stata fatta alla luce della procedura utilizzata nelle fasi di addestramento, basata su rinforzi di tipo alimentare, che ha fatto sì che si evidenziasse una maggiore motivazione nei soggetti di sesso maschile (Regolin et. al., 2005)

### 2.2. Condizioni di allevamento

La stabulazione dei pulcini è avvenuta in apposite gabbie d'acciaio (28 x 40 x 32 cm) dotate di un pavimento assorbente di colore bianco, di pareti in lamina d'alluminio e di un'apertura nella parte superiore in modo tale da permettere il passaggio di luce ed aria. Le gabbie erano inoltre dotate di un'ulteriore apertura frontale (serrabile per mezzo di una saracinesca) utile per facilitare la cura quotidiana degli animali. Agli angoli di ciascuna gabbia erano stati posizionati dei vasetti di vetro alti 5 cm e dal diametro di 5 cm in cui venivano forniti acqua e cibo *ad libitum*.

Ai pulcini veniva immerso il becco all'interno del contenitore adibito all'acqua, in modo da insegnargliene la posizione. Per quanto riguarda la localizzazione del cibo non è stato necessario alcun insegnamento, vista l'innata tendenza dei pulcini a beccare piccoli oggetti; è perciò bastato spargere alcuni granelli di becchime sul pavimento delle gabbie, specialmente attorno al contenitore del cibo. Tre volte al giorno veniva somministrate alcune larve da farina (*Tenebrio molitor*), le stesse usate poi come rinforzo durante le successive fasi di *training*.

Lo stabulario, nel primo giorno, presentava una temperatura mantenuta intorno ai 28 - 31 ° C, che nei giorni seguenti avrebbe subito un lieve decremento. La percentuale di umidità era all'incirca del 68%.

L'illuminazione delle gabbie è avvenuta mediante lampade al neon posizionate ad un'altezza di 15 cm e disposte sopra le gabbie stesse.

La durata dell'esperimento è stata di una settimana e ad ogni giorno corrispondevano determinate condizioni di lavoro e nutrizione.



Lunedì e Martedì era prevista una fase di stabulazione che avveniva a coppie, durante la quale venivano somministrate, oltre al beccime e all'acqua, alcune larve da farina (*Tenebrio molitor*).

Nella mattinata di mercoledì (10:00 a.m.) le coppie sono state spaiate e i pulcini messi in gabbia singolarmente, mentre alla sera (8:00 p.m.) è stata rimossa la maggior parte del cibo lasciando solamente quello necessario per la nottata.

Giovedì, nell'arco della giornata, i pulcini sono stati sottoposti ad una fase di *pre-training* e, due ore dopo, ad una di *training*, per poi essere riportati nelle gabbie in cui era stati lasciati cibo e acqua necessari per la nottata.

La procedura sperimentale è iniziata di Giovedì in quanto, prima del quarto giorno dalla nascita, i pulcini non sono motivati alla ricerca di fonti di cibo a causa delle riserve nutrizionali contenute nel sacco vitellino; inoltre, sempre in questo lasso di tempo, risulta difficile modellare il comportamento di beccata.

Venerdì mattina i pulcini affrontavano un ulteriore *training*, mentre nel pomeriggio, dopo le due ore di riposo, venivano effettuati i test, a distanza di un'ora l'uno dall'altro.

Al termine degli esperimenti, i pulcini sono stati riposizionati nelle gabbie a coppie, con cibo e acqua a sufficienza, per poi essere donati a fattorie locali alcune ore dopo.

### **2.3. Apparato**

Ciascuna delle fasi sperimentali è avvenuta in una stanza adiacente allo stabulario che presentava condizioni di illuminazione, umidità e temperatura molto simili a quelle di allevamento (temperatura di circa 25° C; umidità al 70%; illuminazione al neon), mantenute costanti.

L'apparato consisteva in una scatola a base quadrata misurante 106 x 106 x 50 cm, che presentava pareti e pavimentazione in polionda, il tutto di colore verde (**Fig. 1**).

La base era stata interamente ricoperta con uno strato di trucioli di legno dallo spessore di 1 cm circa.

All'interno dell'arena erano fissati tramite velcro 10 piccoli contenitori di plastica rossa di forma circolare, aventi un diametro di 3.2 cm e l'altezza di 0.8 cm.

I contenitori erano stati internamente ricoperti da uno strato di trucioli di legno, fissati per mezzo di colla vinilica.

Nella posizione da rinforzare, veniva nascosto un pezzo di larva da farina (*Tenebrio molitor*) che agiva da rinforzo.

Tutti gli elementi della serie sono poi stati ricoperti da uno strato uniforme di trucioli di legno in modo tale da non renderne visibile il contenuto.

Esternamente all'arena, in adiacenza ad una delle pareti, era stato posizionato un *box* di partenza che misurava 11 x 7 x 25 cm, aperto nella parte superiore e costituito da pareti e basamento in polionda di colore verde.

Il *box* era comunicante con l'arena mediante un'apertura ritagliata nella parete dell'apparato, la quale era stata bloccata tramite l'utilizzo di una lastra (30 x 25 cm) di colore verde.

Uno spago era stato fissato all'estremità superiore della lastra, così da permetterne l'apertura senza causare alcuna distrazione nel soggetto.

Nelle fasi di *pre-training*, *training* e nel *test sagittale* i contenitori erano disposti sagittalmente rispetto al *box* di partenza (**Fig. 1**), mentre nel *test fronto-parallelo* presentavano una disposizione perpendicolare rispetto al *box* di partenza (**Fig. 2**).

Il test consisteva, per ciascun soggetto, in 20 prove consecutive.

Una videocamera era stata posta in posizione tale da inquadrare l'arena nella sua completezza e l'immagine veniva trasferita in tempo reale su un monitor, mediante il quale avveniva l'osservazione (online). Inoltre, grazie alle registrazioni effettuate, è stato possibile effettuare una seconda osservazione a posteriori (offline). Tale metodologia di osservazione è stata adottata in modo tale da ridurre al minimo le possibilità di distrazione dei pulcini durante lo svolgimento delle prove.

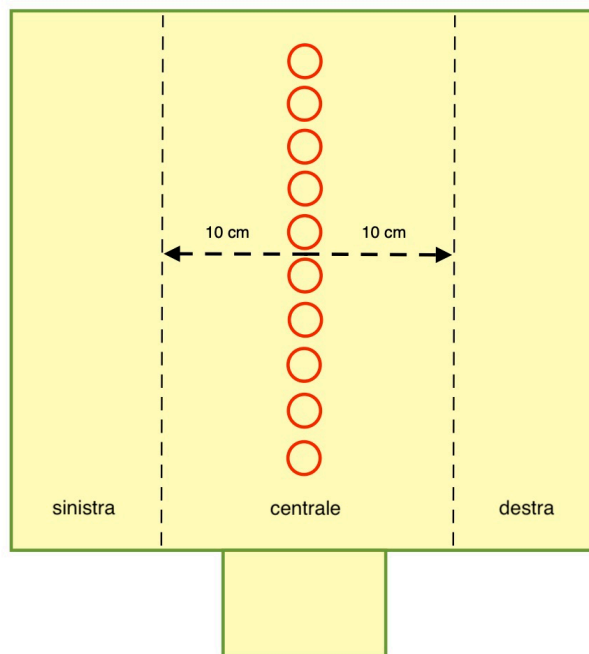
Il mio compito è stato quello di effettuare uno *scoring* (offline) dei punteggi dei pulcini appartenenti al ceppo Ross308, utilizzando le registrazioni effettuate in laboratorio.

Sono state analizzate tre variabili:

- Tempo di risposta: un cronometro veniva avviato al momento dell'apertura del *box* di partenza e interrotto quando il pulcino beccava all'interno o sul bordo di uno dei contenitori; nel caso in cui dopo un minuto non fosse stata effettuata alcuna scelta, la prova era considerata nulla e si passava a quella successiva.
- Scelta: i 10 contenitori erano stati posti in sequenza e veniva registrata solo la prima scelta del pulcino; subito dopo la beccata il pulcino era riposizionato nel *box* di partenza
- Direzione d'approccio: durante ogni prova si teneva conto della traiettoria con cui il pulcino si avvicinava alla serie; nel test sagittale era considerata centrale nel momento in cui il soggetto

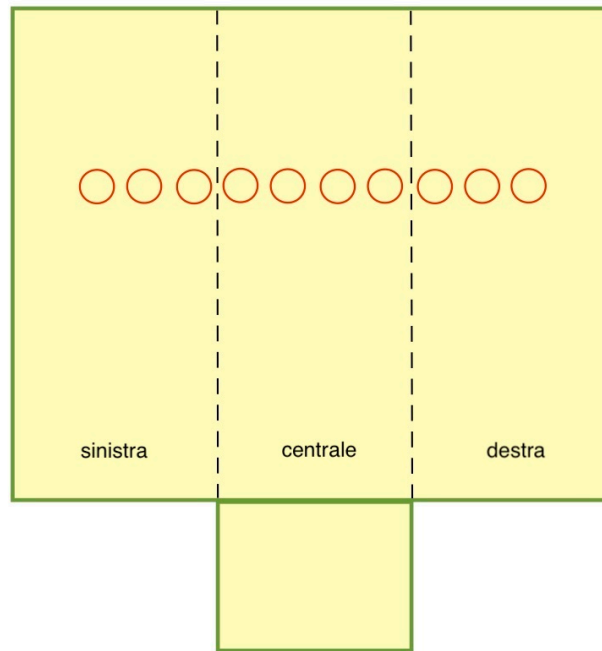
camminava lungo la serie, mentre era considerata rispettivamente destra o sinistra nel caso in cui si allontanasse di almeno 10 cm nel lato corrispondente (**Fig.1**); nel test fronto-parallelo si considerava centrale un approccio che avveniva tra il quarto elemento nel lato destro e il quarto elemento nel lato sinistro (compresi), mentre si considerava destro, se comprendeva i primi tre elementi del lato destro, o sinistro, se comprendeva i primi tre elementi del lato sinistro (**Fig.2**).

Nei casi in cui la larva fosse diventata visibile, ci fosse stato un forte rumore o il pulcino fosse stato distratto da un'interferenza esterna, la prova sarebbe stata considerata nulla e ripetuta subito dopo.



(1)

**Figura 1:** rappresentazione dell'apparato sperimentale utilizzato nei test sagittali. All'interno dell'arena erano presenti 10 elementi uguali e equi-distanziati, posizionati sagittalmente rispetto al punto di partenza



(2)

**Figura 2:** rappresentazione dell'apparato sperimentale usato nei test fronto-paralleli; all'interno dell'arena erano presenti 10 elementi uguali e equi-distanziati, posizionati perpendicolarmente rispetto al punto di partenza

## 2.4. Procedura sperimentale

### 2.4.1. Pre-training

Questa prima fase era prevista per il giovedì mattina, quando i pulcini avevano 4 giorni di vita.

Gli animali venivano posizionati nella *start box* e vi rimanevano per circa 3 secondi, dopodiché gli era permesso di entrare nell'apparato, dove erano lasciati liberi per circa 5 minuti in modo tale da poter familiarizzare con il nuovo ambiente.

In seguito avveniva una procedura di *shaping* messa in atto dallo sperimentatore, il quale induceva il pulcino ad individuare il quarto elemento della serie, in cui era posizionato un rinforzo (larva di *Tenebrio molitor*); una volta che il pulcino aveva individuato e beccato la larva, esso veniva riposizionato nella *start box*.

Inizialmente la larva era posizionata in modo tale da essere completamente visibile ma con il succedersi delle prove lo sperimentatore ne nascondeva una parte sempre maggiore, fino a quando non risultava completamente ricoperta da trucioli di legno. Una volta che il pulcino aveva emesso consecutivamente tre risposte corrette, cercando la larva nel quarto elemento della serie, la fase di *pre-training* era da considerarsi completata.

#### **2.4.2. Training**

Questa fase, consistente in 20 prove consecutive, prevedeva che il pulcino fosse posizionato dallo sperimentatore nella *start-box*, per poi essere lasciato libero di muoversi all'interno dell'apparato e di scegliere uno qualsiasi dei 10 elementi presenti, nonostante solo il quarto presentasse il rinforzo.

All'animale era concesso di beccare un solo contenitore per ogni prova e solamente nel caso in cui la scelta effettuata fosse stata quella corretta avrebbe potuto mangiare la larva.

Nel caso di una risposta sbagliata, il pulcino veniva riposizionato nella *start-box* e si passava immediatamente alla prova successiva. Se l'animale dopo tre minuti non aveva ancora emesso alcuna risposta la prova veniva considerata nulla.

Se almeno 8 delle 20 prove risultavano corrette, il pulcino passava alla fase successiva; nel caso in cui il criterio non fosse stato raggiunto, il pulcino veniva riposizionato nella gabbia e un'ora dopo era nuovamente sottoposto al test.

#### **2.4.3. Re-training**

Questa fase, svoltasi di venerdì, prevedeva una procedura del tutto uguale a quella precedente, con la differenza che il pulcino, per poter passare ai test veri e propri, doveva emettere 3 risposte corrette consecutivamente.

Nel momento in cui veniva raggiunto il criterio di addestramento, il pulcino veniva sottoposto al test sagittale.

#### **2.4.4. Test sagittale**

Attraverso questo primo test si è cercato di valutare il livello di apprendimento.

La disposizione dei contenitori all'interno dell'apparato era la stessa delle fasi sperimentali precedenti (orientati sagittalmente rispetto alla *start box*) e il test prevedeva l'esecuzione di 20 prove consecutive da parte di ogni soggetto.

Onde evitare che il pulcino si orientasse tramite indizi visivi ricavati dall'ambiente circostante, l'apparato veniva ruotato più volte in maniera casuale.

Nel caso in cui il pulcino, passato un minuto, non avesse emesso alcuna risposta, la prova veniva considerata nulla e si passava alla successiva.

Terminata questa fase, lo sperimentatore rimetteva il pulcino all'interno della sua gabbia.

Il test è stato filmato nella sua interezza con una videocamera e le risposte sono state registrate al momento dell'esecuzione per poi essere successivamente analizzate in modalità asincrona tramite le registrazioni.

#### **2.4.5. Test fronto-parallelo**

Questo test è stato effettuato per valutare come i pulcini si orientassero nell'approcciarsi ad una serie di elementi posizionata perpendicolarmente rispetto a loro (da sinistra verso destra o viceversa).

La numerosità della serie era la stessa delle altre fasi, nonostante gli elementi in questo caso fossero stati ruotati di 90° rispetto alla posizione della *start box*, in modo che il pulcino, una volta uscito, li vedesse disposti in modo perpendicolare rispetto al punto di partenza.

Come per il test sagittale, se il pulcino non emetteva una risposta la prova era da considerarsi nulla e si passava alla successiva. Terminato il test, che come il precedente era composto da 20 ripetizioni consecutive della prova, il pulcino veniva riposizionato nella propria gabbia.

Come per la fase precedente, è stata usata una videocamera per registrare il test e le registrazioni sono state utilizzate per analizzare le risposte *off-line*.

### **2.5. Risultati**

I risultati di questo esperimento sono stati comparati con quelli di un esperimento analogo in cui l'unica differenza era costituita dal ceppo dei pulcini sottoposti ai test (Hybro invece che Ross308).

#### **2.5.1 Percentuali di scelta**

##### **2.5.1.1. Test sagittale**

Test	strain	choice	Succesful chicks	Total chicks	Percent
Sagittal	Hybro	4	15	16	93.75000
Sagittal	Ross308	4	8	18	44.44444

Per quanto riguarda il successo riportato nel test sagittale, sono state evidenziate prestazioni migliori da parte dei pulcini appartenenti al ceppo Hybro.

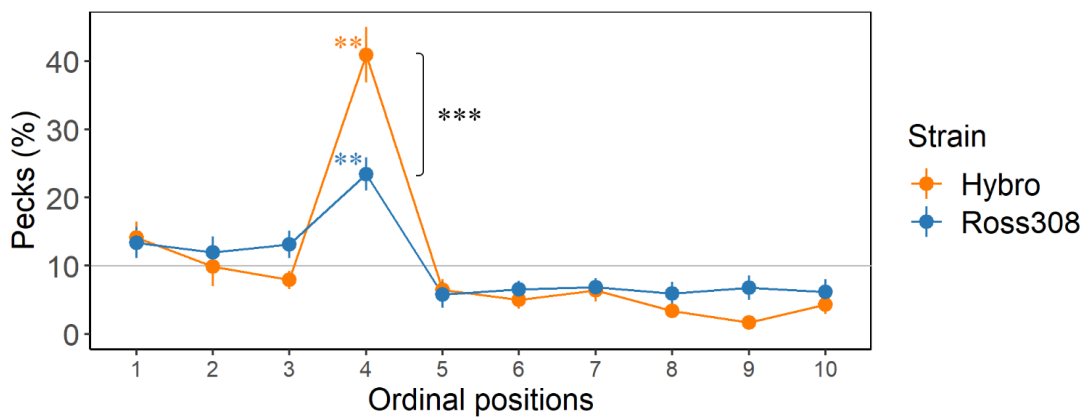
Su un totale di 16 Hybro, 15 (93.75%) hanno avuto successo nel riconoscere il quarto elemento della serie un numero significativo di volte e ciò è stato confermato da un *Bayesian binomial test* (un pulcino mostra una leggera evidenza, quattro mostrano un evidenza moderata, uno mostra una forte evidenza e nove mostrano un'evidenza estrema).

8 su 18 (44.44%) dei pulcini appartenenti al ceppo Ross308 hanno avuto successo nel riconoscere il quarto elemento della serie un numero significativo di volte e ciò è stato confermato da un test binomia Bayesiano (tre pulcini mostrano una leggera evidenza, uno mostra un'evidenza moderata, tre mostrano una forte evidenza e uno mostra un'evidenza estrema).

Un *proportion test* a due campioni (*two samples*) ha dimostrato che i pulcini Hybro hanno una maggiore probabilità di successo rispetto ai pulcini Ross308 (proporzione di successo Hybro = 93.75%, Ross308 = 44.44%,  $\chi^2 = 7.291$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.007$ ,  $h$  di Cohen = 1.177; Bayesian A/B test, BF = 27.674).

Strain	Choice	Test	mean	sd	n	se	V	p	p.adjust	r
Ross308	4	Sagittal	23.44379	10.35561	18	2.440841	150	0.000268	0.002676	961
Hybro	4	Sagittal	40.9303	16.22528	16	4.056321	135	0.00029	0.002899	985

Il quarto elemento della serie è stato scelto in modo statisticamente superiore al da parte dei pulcini di ceppo Ross308 (Media= 23.444; DS= 10.356;  $p < 0.001$ ) e da parte dei pulcini di ceppo Hybro (Media= 40.930; DS= 16.225;  $p < 0.001$ ).



(3)

**Figura 3:** grafico che rappresenta le percentuali di scelta per i dieci elementi del test sagittale; si può notare come il quarto elemento sia stato scelto significativamente sopra il caso da entrambe le razze di pulcini.



Un test t di student a campioni indipendenti ha mostrato che il quarto elemento viene scelto in modo diverso dal caso ( $T=3.789$ ;  $p < 0.001$ ; Cohen's  $d= 1.302$ )

Si è dunque evidenziata una maggiore accuratezza da parte dei pulcini appartenenti al ceppo Hybro nel selezionare l'elemento corretto della serie.

In più, un *Bayesian one-sample test* ha prodotto un'evidenza estrema del fatto che entrambi i pulcini sono in grado di ricordare l'elemento target.

### 2.5.1.2 Test fronto-parallelo

Test	Strain	Choice	Successful chicks	Total chicks	Percentage
FP_bin	Hybro	4L	9	16	56.25000
FF_bin	Hybro	4R	6	16	37.50000
FF_bin	Hybro	4th	11	16	68.75000
FF_bin	Ross308	4L	5	18	27.77778
FF_bin	Ross308	4R	2	18	11.11111
FF_bin	Ross308	4th	5	18	27.77778

Per quanto riguarda il successo riportato nel test fronto-parallelo, sono state evidenziate prestazioni migliori da parte dei pulcini appartenenti al ceppo Hybro.

Undici pulcini di ceppo Hybro su 16 (68.750%) sono riusciti ad identificare il quarto elemento della serie (sia destro che sinistro) in modo significativamente superiore al caso (tre pulcini mostrano una leggera evidenza, due mostrano un evidenza moderata, due mostrano una forte evidenza e quattro mostrano un'evidenza estrema).

Cinque pulcini di ceppo Ross308 su 18 (27.778%) sono riusciti ad identificare il quarto elemento della serie (sia destro che sinistro) in modo significativamente superiore al caso (due pulcini mostrano una leggera evidenza, due mostrano un evidenza moderata e uno mostra un'evidenza estrema).

Un *proportion test* a due campioni (*two samples*) ha dimostrato che i pulcini del ceppo Hybro hanno una maggiore probabilità di successo rispetto ai pulcini Ross308 (proporzione di successo Hybro = 68.75%, Ross308 = 27.78%,  $\chi^2 = 4.182$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.041$ ,  $h$  di Cohen = 0.845 ; BF = 8.487).

Strain	Choice	Test	mean	sd	n	se	V	p	p.adjust	R
Ross308	4L	FP	19.03566	7.429001	18	1.751032	148.5	0.000346	0.000346	941
Hybro	4L	FP	25.23182	14.05592	16	3.513979	117	0.000659	0.006586	0.95
Ross308	4R	FP	13.34528	13.34528	18	2.098289	79.5	0.047484	0.474837	514
Hybro	4R	FP	19.24119	19.24119	16	2.940212	93.5	0.005484	0.054842	781

9 su 16 pulcini del ceppo Hybro (56.25%) hanno scelto il quarto elemento da sinistra in modo significativamente superiore al caso, confermato da un *Bayesian binomial test* (tre pulcini mostrano una leggera evidenza, tre mostrano un'evidenza moderata, tre mostrano una forte evidenza e uno mostra un'evidenza estrema).

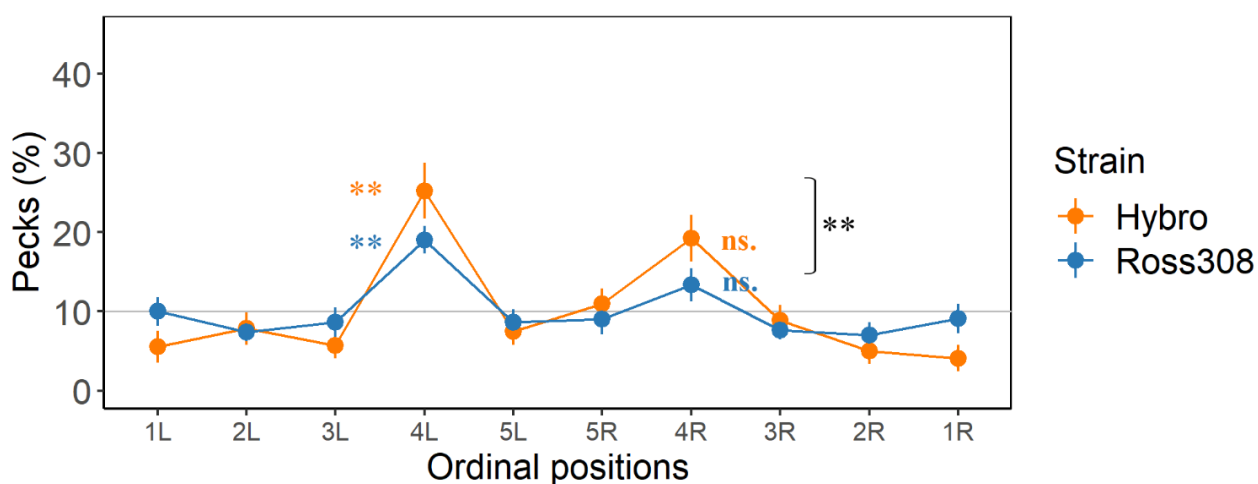
Cinque su 18 pulcini del ceppo Ross308 (27.78%) hanno scelto il quarto elemento da sinistra in modo significativamente superiore al caso, confermato da un *Bayesian binomial test* (due pulcini mostrano una leggera evidenza mentre tre mostrano un'evidenza moderata).

Sei pulcini del ceppo Hybro su 16 (37.50%) hanno scelto il quarto elemento da destra in modo significativamente superiore al caso, confermato da un *Bayesian binomial test* (due pulcini mostrano una leggera evidenza, due mostrano un'evidenza moderata, uno mostra una forte evidenza e un'altro mostra un'evidenza estrema).

2 pulcini del ceppo Ross308 su 18 (11.11%) hanno scelto il quarto elemento da destra in modo significativamente superiore al caso, confermato da un *Bayesian binomial test* (un pulcino mostra una leggera evidenza e un altro un'evidenza estrema)

Il quarto elemento della serie a partire da sinistra è stato scelto con una media di 19.03566 da parte dei pulcini di ceppo Ross208 e di 25.23182 da parte dei pulcini di ceppo Hybro.

Il quarto elemento della serie a partire da destra è stato scelto con una media di 13.34528 da parte dei pulcini di ceppo Ross308 e di 19.24119 da parte dei pulcini di ceppo Hybro.



(4)

**Figura 4:** grafico che rappresenta le percentuali di scelta per i 10 elementi del test fronto-parallelo. Si può notare come sia il quarto elemento da sinistra che destra siano stati scelti significativamente sopra il caso, con una preferenza verso quello di sinistra da parte di entrambe le razze di pulcini.

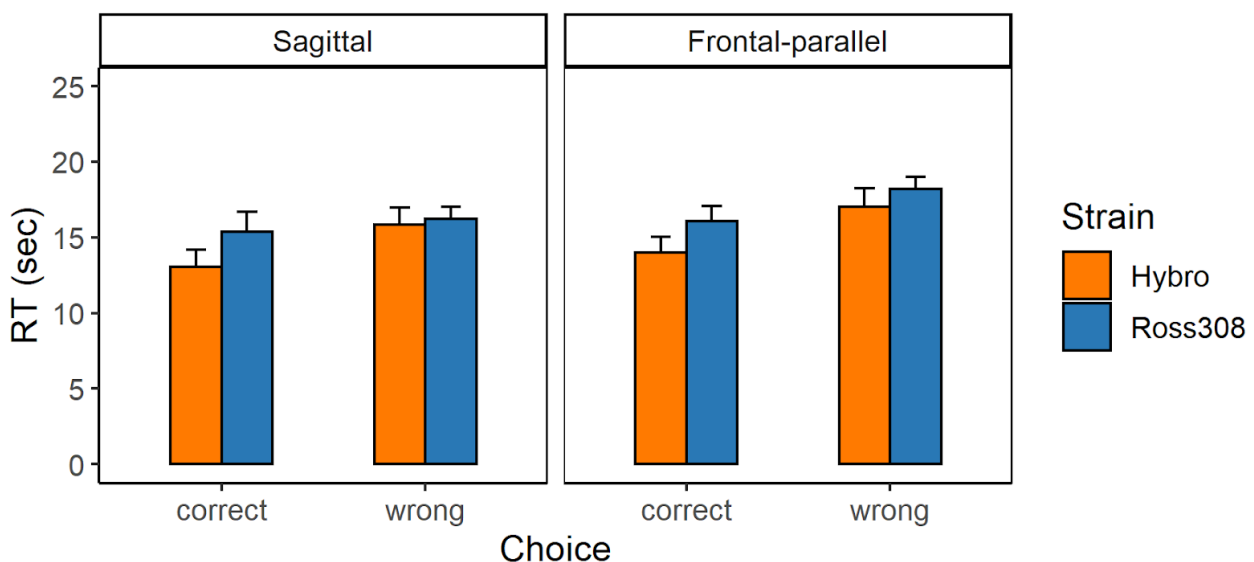
Un test t di student a campioni indipendenti ha mostrato come la scelta del quarto elemento (sia destro che sinistro) avvenga in modo diverso dal caso ( $t= 3.079$ ;  $p= 0.004$ , Cohen's  $d= 1.058$ ).

Si è inoltre evidenziata una maggiore accuratezza da parte dei pulcini di ceppo Hybro nel selezionare l'elemento corretto della serie. Si può anche notare come per entrambe le razze vi sia una maggiore accuratezza nel riconoscere il quarto stimolo a partire da sinistra rispetto a quello a partire da destra.

Entrambi i ceppi di pulcino scelgono 4L in modo superiore al caso, ma non 4R (Hybro 4L: Media = 25.232, DS = 14.055, SE = 3.514, V = 117,  $p_{\text{adjust}} = 0.007$ ,  $r_{\text{rb}} = 0.950$ , BF = 121; Hybro 4R: Media = 19.241, DS = 11.760, SE = 2.940, V = 93.5,  $p_{\text{adjust}} = 0.055$ ,  $r_{\text{rb}} = 0.781$ , BF = 15; Ross308 4L: Media = 19.036, DS = 7.429, SE = 1.751, V = 148.5,  $p_{\text{adjust}} = 0.004$ ,  $r_{\text{rb}} = 0.941$ , BF = 699; Ross308 4R: Media = 13.345, DS = 8.902, SE = 2.098, V = 79.5,  $p_{\text{adjust}} = 0.475$ ,  $r_{\text{rb}} = 0.514$ , BF = 1.305).

Un'ANOVA a misure ripetute con *strain* come variabile *between* e la direzione d'approccio come variabile a misure ripetute ha mostrato un effetto principale per il fattore *strain* ( $F=9.480$ ;  $p=0.004$ ;  $\eta^2=0.073$ ). In più, l'interazione tra il fattore *side* e il fattore *strain* non è risultata significativa.

## 2.5.2 Tempi di risposta

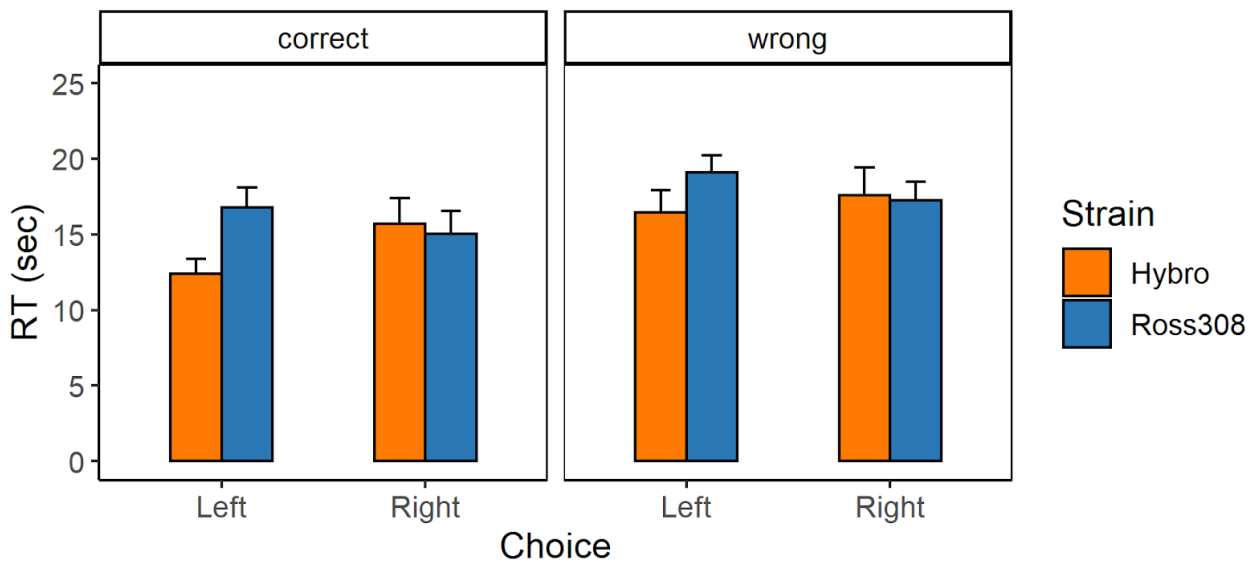


(5)

**Figura 5:** i grafici descrivono i tempi di emissione di una risposta (misurati in secondi) da parte di entrambe le razze di pulcini in entrambi i test.

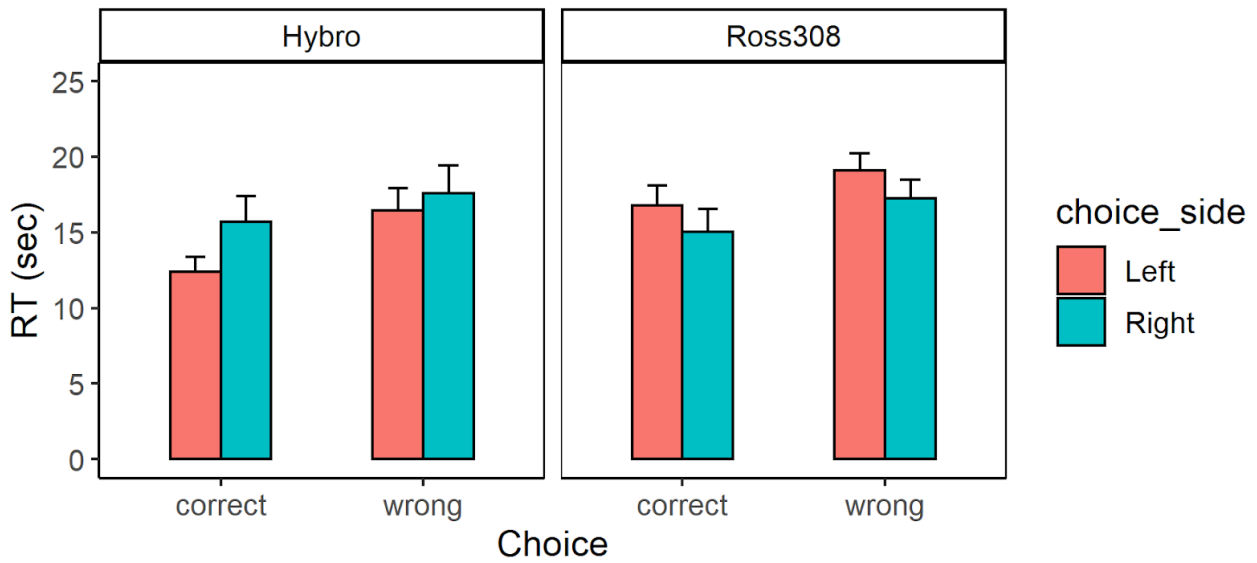
Sia nel test sagittale che nel test fronto-parallelo i pulcini di ceppo Hybro sono risultati più veloci nello scegliere uno dei 10 elementi della serie rispetto ai pulcini di ceppo Ross308.

I pulcini di ceppo Hybro sono risultati mediamente più veloci nello scegliere l'elemento corretto della serie in entrambi i test. Per quanto riguarda l'emissione di risposte errate, la differenza di velocità tra le due razze è risultata minore rispetto a quella evidenziata per l'emissione di una risposta corretta in entrambi i test.



(6)

**Figura 6:** i grafici descrivono i tempi di risposta per la scelta di un elemento sinistro (Left) o destro (Right) della serie nel test fronto-parallelo nei casi in cui esso sia corretto o errato.



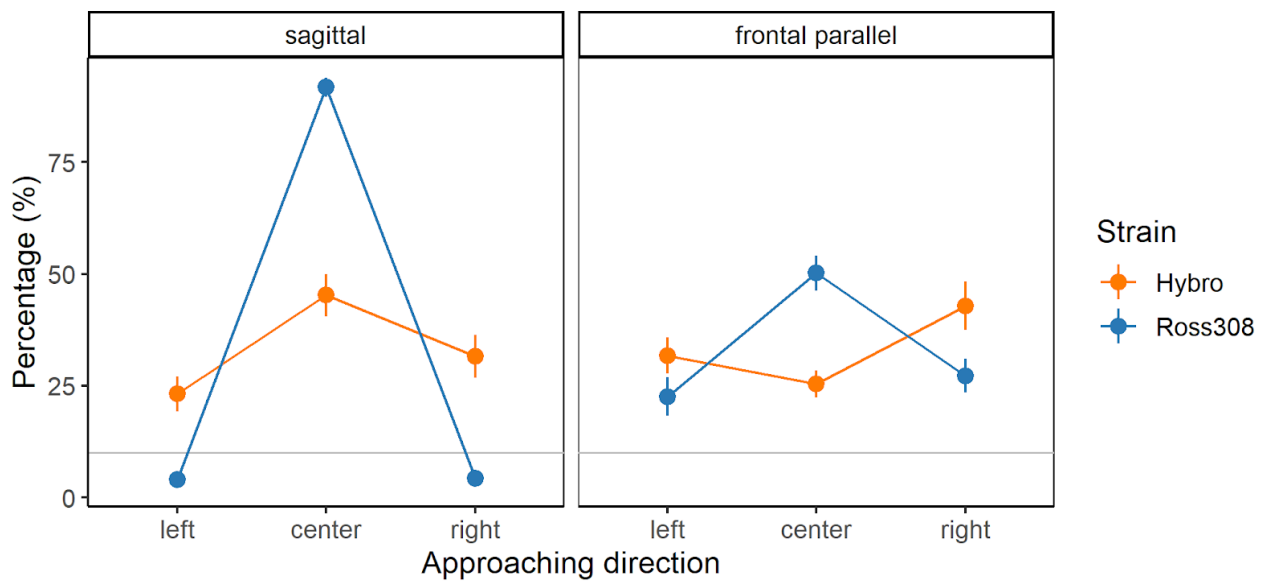
(7)

**Figura 7:** i grafici descrivono i tempi di risposta per la scelta (sia corretta che errata) di un elemento appartenente alla parte sinistra o destra della serie da parte di entrambe le razze di pulcini.

I pulcini appartenenti al ceppo Hybro sono risultati più veloci di quelli di ceppo Ross308 nella scelta di un elemento contenuto nella parte sinistra della serie; nel caso delle risposte corrette la differenza di velocità di emissione è risultata evidente ma tale differenza tende a diminuire nel caso delle risposte sbagliate.

I pulcini appartenenti al ceppo Ross308 sono invece risultati leggermente più veloci di quelli di ceppo Hybro nella scelta di un elemento contenuto nella parte destra della serie, sia per quanto riguarda le risposte corrette che per quelle errate.

### 2.5.3. Direzione d'approccio



(8)

**Figura 8:** i grafici descrivono le direzioni di approccio al compito da parte di entrambe le razze di pulcini in entrambi i test.

Nel test sagittale, i pulcini di ceppo Ross308 hanno ampiamente scelto una direzione d'approccio centrale rispetto a quella destra o sinistra, che sono state scelte poche volte.

Anche i pulcini di ceppo Hybro hanno scelto per lo più una direzione d'approccio centrale ma, a differenza dell'altra razza, la scelta di un approccio da sinistra o da destra è risultata maggiore, con una leggera preferenza per quello da destra rispetto a quello da sinistra.

Nel test Fronto parallelo, i pulcini di ceppo Ross308 hanno preferito un approccio centrale rispetto ad approccio da sinistra o da destra, che sono stati scelti in proporzione minore, anche se è riscontrabile una leggera preferenza per un approccio da destra rispetto che sinistra.

Per quanto riguarda i pulcini di ceppo Hybro, l'approccio da destra è risultato quello scelto nella maggioranza dei casi, mentre l'approccio da sinistra è risultato leggermente più frequente rispetto a quello centrale che è stato scelto il minor numero di volte.

### 3. Discussione dei risultati

I soggetti, dopo una serie di fasi di addestramento, dovevano beccare il quarto elemento di una serie disposta sagittalmente rispetto alla posizione di partenza del pulcino e, successivamente, il quarto elemento (a partire da destra o da sinistra) di una serie ruotata di 90° rispetto alla posizione di partenza del pulcino.

Le variabili che sono state prese in considerazione per realizzare questo studio sono l'elemento scelto, il tempo di risposta e la direzione d'approccio.

I risultati ottenuti nel test sagittale hanno dimostrato come i pulcini siano in grado di imparare a beccare il quarto elemento di una serie composta da elementi identici.

Il quarto elemento della serie è stato beccato un numero di volte significativamente superiore al caso sia nel test sagittale che nel test fronto-parallelo, maggiormente da parte dei pulcini Hybro rispetto che dai Ross308.

Nel test sagittale pulcini Ross308 hanno mostrato di preferire principalmente una direzione di approccio centrale, la quale è stata scelta quasi esclusivamente; anche i pulcini Hybro hanno preferito un'approccio centrale nella maggior parte dei casi ma la percentuale di scelta di un'approccio destro o sinistro è risultata maggiore rispetto a quanto visto con i pulcini Ross308.

I pulcini di ceppo Hybro sono risultati leggermente più veloci nello scegliere l'elemento corretto all'interno della serie rispetto ai pulcini Ross308, i quali non hanno riportato differenza significativa tra il tempo necessario alla scelta di un elemento corretto e quello per uno sbagliato.

Per quanto riguarda il test fronto-parallelo, il quarto elemento a partire da sinistra e il quarto a partire da destra sono stati beccati in modo superiore al caso da entrambi i ceppi di pulcini, anche se si è riscontrata una maggiore accuratezza da parte dei pulcini Hybro. Inoltre, il quarto elemento a partire da sinistra è stato beccato in misura maggiore rispetto al quarto da destra da parte di entrambi i ceppi di pulcino.

I pulcini appartenenti al ceppo Hybro hanno leggermente preferito un approccio alla serie a partire da destra, mentre i pulcini del ceppo Ross308 hanno preferito nella maggior parte dei casi un approccio centrale alla serie.

I tempi di risposta hanno evidenziato come sia i pulcini del ceppo Hybro siano risultati più veloci rispetto a pulcini del ceppo Ross308 nel selezionare il quarto elemento della serie da sinistra; allo stesso tempo i pulcini di ceppo Ross308 sono risultati più veloci nel selezionare il quarto elemento della serie da destra.



Gran parte della letteratura relativa allo studio dell'associazione tra spazio e numeri è basata principalmente su differenze riportate dai soggetti nei tempi necessari per l'emissione di una risposta. In questo studio si sono evidenziate alcune differenze nei tempi di risposta associati alla scelta di un elemento della serie, ma esse non sono risultate abbastanza significative a livello statistico da poter concludere che un effetto simile a quello che l'effetto SNARC è per gli umani sia alla base delle differenze di prestazione riportate dai pulcini.

In soggetti incapaci di parlare, lo studio dell'associazione tra spazio e numeri dovrebbe avvenire mediante la direzione della risposta comportamentale e non basarsi solamente sulle differenze di velocità riportate dai soggetti nell'emissione di una risposta.

#### **4.Thesis statement**

Quanto riportato in questa tesi fa parte di un progetto di ricerca guidato da Rosa Rugani. Lo studente (Matteo Gatti) ha contribuito ad una parte di tale progetto atta a soddisfare i criteri per il completamento del progetto formativo ai fini della laurea Triennale.

Contributo degli autori: **Rosa Rugani:** concettualizzazione, metodologia, supervisione, amministrazione del progetto, risorse, stesura della bozza originale, revisioni e modifiche; **Yujia Zhang:** conduzione degli esperimenti, raccolta dati, cura dei dati, analisi formale, stesura della bozza originale; **Beatrice Scarsi:** conduzione degli esperimenti, raccolta dati;

## BIBLIOGRAFIA

- Davis, H., Bradford SA. (1986). Counting behavior by rats in a simulated natural environment. *Ethology*. **73**, 265 – 280.
- Drucker C.B., Brannon E.M. (2014) Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) map number onto space. *Cognition* *132* (1), 57-67.
- Koehler, O. (1943). 'Za "hl'—Versucheaneinem Kolkraben und Vergleichsversuche an Menschen. *Z. Tierpsychol.* **5**, 575 – 712.
- McArthur, R.H. & Pianka, E.R. (1966). An optimal use of patchy environment. *American Naturalist*, *100*, 603-609.
- McComb, K., Packer, C., Pusey, A. (1994). Roaring and numerical assessment in contests between groups of female lions, (*Panthera leo*). *Anim. Behav.* **47**, 379 – 387.
- Platt, John R; Johnson, David M. (1958). "Localization of position within a homogeneous behavior chain: Effects of error contingencies". *Learning and Motivation*. *2* (4): 386–414
- Regolin, L., Garzotto, B., Rugani, R., Pagni, P., & Vallortigara, G. (2005a). Working memory in the chick: parallel and lateralized mechanisms for encoding of object-and position-specific information. *Behavioural Brain Research*, *157*(1), 1-9.
- Rugani, R., Kelly, D.M., Szelest I., Regolin L.,Vallortigara G. (2010). Is it only humans that count from left to right? *Biology Letters* *6* (3), 290-292.
- Rugani, R., Regolin, L., Vallortigara, G. (2007). Rudimental numerical competence in 5-day-old domestic chicks (*Gallus gallus*): identification of ordinal position. *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.* **33**: 21–31.
- Rugani, R., Vallortigara, G., & Regolin, L. (2014). From small to large: Numerical discrimination by young domestic chicks (*Gallus gallus*). *Journal of Comparative Psychology*, *128*(2), 163–171.
- Trick, L.M., Pylyshyn, Z.W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychol. Rev.* **101**, 80 – 102.
- Vallortigara, G., Chiandetti, C., Sovrano, V.A., Rugani, R., Regolin, L. (2010). Animal cognition. *Wiley. Interdiscip. Rev. Cogn. Sci.* **1**, 882 – 893.
- Zebian, S. (2005). Linkages between number concepts, spatial thinking, and directionality of writing: the SNARC effect and the reverse SNARC effect in English and Arabic mono- literates, biliterates, and illiterate Arabic speakers. *J. Cogn. Cult.* **5**: 165–190.