



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea in Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche

Elaborato Finale

Studio comparato sulla percezione dei numeri primi in pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*): preferenza innata o risposta alla novità?

Comparative study on the perception of prime numbers in domestic chicks (*Gallus gallus*): innate preference or response to novelty?

Relatrice:

Prof.ssa Lucia Regolin

Correlatrice:

Maria Loconsole, Ph.D.

Laureando:

Giuliano Pizzeghello

Matricola: 1221227

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

Indice

Premessa

Sommario

1. Introduzione

1.1. Groupitizing e raggruppamento percettivo

1.2. Raggruppamento attuato dal soggetto

1.2.1. Possibili prove di raggruppamento attuato dal soggetto in bambini di 4 ed 8 mesi

1.3. Gli esperimenti sul pulcino

1.4. Il nostro esperimento

2. Materiali e metodi

2.1. Soggetti e apparato sperimentale

2.2. Abituazione

2.3. Test

3. Risultati

3.1. Numero di soggetti analizzati e criteri per scartarne la prestazione

3.2. Analisi dei dati: strumenti utilizzati e considerazioni

3.3. Analisi dei dati: variabili ed effetti indagati

4. Discussione

4.1. Discussione dei risultati dell'esperimento sui pulcini

4.2. Struttura dell'esperimento sui bambini e discussione dei risultati

4.3. Considerazioni sulle differenze tra bambini e pulcini

5. Conclusioni

Riferimenti bibliografici

Premessa

Quanto riportato in questo elaborato fa parte di un progetto di ricerca guidato da Maria Loconsole (studio su pulcini e su bambini) e Alessandra Geraci (studio sui bambini). Io, Giuliano Pizzeghello, ho contribuito ad una parte di tale progetto atta a soddisfare i criteri per il completamento del progetto formativo ai fini della laurea Triennale. Nello specifico il mio contributo è consistito:

1. Nella raccolta dei dati in laboratorio: trasferendo i pulcini da una zona all'altra del laboratorio e sottoponendoli alle diverse fasi della procedura sperimentale.
2. Nella cura dei pulcini durante la loro permanenza in laboratorio, anche nei giorni successivi a quello in cui venivano testati (cambio delle gabbie, somministrazione del cibo).
3. Nella codifica (*scoring*) dei filmati al fine di tradurre la prestazione dei pulcini e dei bambini durante la fase di test in valori numerici da poter analizzare. La codifica della prestazione dei pulcini consisteva nel conteggio, tramite apposito software, del numero di secondi spesi nelle due aree direttamente di fronte agli stimoli di test. Nel caso dei bambini, invece, ciò che veniva misurato, tramite apposito software in grado di riprodurre il filmato un *frame* alla volta, era la durata delle singole fissazioni dirette all'uno o all'altro stimolo.
4. Nella creazione del presente elaborato ai fini della discussione dei risultati fin qui ottenuti.

Mentre per quanto riguarda lo studio sui pulcini il mio coinvolgimento è consistito in ciascuna delle precedenti attività, allo studio sui bambini ho contribuito in maniera più limitata, svolgendo solo le attività esposte al terzo e quarto punto.

Sommario

In uno studio di recente pubblicazione (Loconsole *et al.*, 2021), pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*) si sono dimostrati in grado di discriminare tra due numerosità (un numero primo ed uno dispari composto), manifestando una preferenza per il numero primo. A partire da questi risultati, gli autori hanno ipotizzato che il meccanismo alla base di tale capacità discriminativa consista nella suddivisione degli stimoli (insiemi di elementi) in sottogruppi – meccanismo che è stato qui denominato *raggruppamento attuato dal soggetto*. In questa sede si prenderà in esame un esperimento ancora in corso, attuato al fine di indagare più nel dettaglio la preferenza per il numero primo di cui sopra. In particolare, ci si è chiesti se questa consista in una predisposizione innata oppure se, data la struttura del precedente disegno sperimentale, essa dipenda da una risposta alla novità. Vedremo che per il momento i risultati ottenuti non sembrano dare risposte definitive a tale domanda, lasciando spazio a diverse possibili spiegazioni.

Si andrà poi a considerare una ricerca condotta su bambini di 4 ed 8 mesi (Geraci *et al.*, in prep.), la quale rivela come anch'essi siano riusciti in un simile compito di discriminazione, esibendo una preferenza per il numero primo. I bambini, tuttavia, sono stati in grado di discriminare solamente tra un insieme di 7 ed uno di 9 elementi (preferendo il numero 7, come i pulcini), mentre i pulcini erano stati capaci di distinguere anche tra un insieme di 9 ed uno di 11 (preferendo il numero 11). Tale difficoltà da parte dei soggetti è stata attribuita ad una capacità di raggruppamento degli elementi costituenti gli stimoli (raggruppamento attuato dal soggetto) ancora in fase di sviluppo. Si è ipotizzato che l'evoluzione ontogenetica di tale meccanismo, in combinazione con l'acquisizione di abilità aritmetiche più avanti nella vita del bambino, siano ciò che permetterà poi ad esso di attuare strategie più complesse – quali, ad esempio, il *groupitizing* – ai fini dell'enumerazione.

1. Introduzione

Lo studio su pulcini di *Gallus gallus* trattato in questa sede deve la sua esistenza, struttura ed obiettivo ad una serie di esperimenti condotti sui pulcini di pollo domestico ai fini di indagare l'esistenza di un meccanismo percettivo alla base di complesse discriminazioni numeriche (Loconsole *et al.*, 2021). Prima di affrontare la nostra ricerca nel dettaglio, è necessario fare chiarezza circa alcuni dei concetti chiave su cui poggiano questi esperimenti ed in generale questa tipologia di studi.

1.1. *Groupitizing e raggruppamento percettivo*

Per prima cosa, prenderemo in esame il concetto di *groupitizing* e successivamente quello più generale di *raggruppamento percettivo* (*perceptual grouping*). Andremo poi a comprendere la relazione vigente tra i due.

Il *groupitizing* può essere considerato come una strategia percettiva non simbolica utilizzata ai fini dell'enumerazione. Esso consiste nel fenomeno per cui la suddivisione in sottogruppi di un insieme di elementi (solitamente punti o figure) rende più veloce e più accurata la determinazione della sua esatta numerosità. In particolare, tale miglioramento della prestazione è più marcato, in esseri umani adulti, quando i sottogruppi sono composti dallo stesso numero di elementi; viceversa, è meno accentuato, se non del tutto assente, quando i sottogruppi non comprendono sempre lo stesso numero di elementi (Ciccione & Dehaene, 2020).

Nel primo caso parleremo di *suddivisione simmetrica*, mentre nel secondo di *suddivisione asimmetrica o non-simmetrica*. È chiaro che, per poter applicare queste due tipologie di suddivisione-raggruppamento, la numerosità da suddividere deve possedere delle caratteristiche particolari. Ad esempio, il numero 9 (dispari composto) può essere suddiviso in sottogruppi aventi tutti lo stesso numero di elementi (3+3+3), ovvero ad esso si può applicare una suddivisione simmetrica. Così non è per il numero 7, o per il numero 11 (entrambi numeri primi), ai quali è applicabile solamente una suddivisione asimmetrica. Chiameremo allora le numerosità a cui è possibile applicare una suddivisione simmetrica *suddivisibili simmetricamente*, e viceversa quelle in cui tale suddivisione non è possibile *suddivisibili asimmetricamente o non suddivisibili simmetricamente*.

La suddivisione nei vari sottogruppi può avvenire seguendo uno o più principi della Gestalt. Il raggruppamento può essere implementato spazialmente: gli elementi di uno stesso sottogruppo sono molto vicini tra di loro, mentre gli elementi appartenenti a

sottogruppi differenti sono maggiormente distanziati (*principio di prossimità*). Oppure, ancora, il raggruppamento può essere attuato attraverso differenti colorazioni degli elementi: elementi di uno stesso gruppo presentano uno stesso colore, il quale sarà diverso da quello degli elementi di tutti gli altri gruppi (*principio di somiglianza*). Analogamente, il criterio per il raggruppamento potrebbe essere la forma dei vari oggetti, sempre secondo il principio di somiglianza.

Il raggruppamento percettivo, studiato approfonditamente per la prima volta da Max Wertheimer, padre della Gestalt, è quel meccanismo percettivo che permette di unire singoli elementi percepiti in delle unità nelle quali emergono proprietà e caratteristiche nuove, non presenti al livello dei singoli elementi. Anche in questo caso, la costruzione percettiva di tali unità può avvenire secondo i principi della Gestalt.

Un esempio di raggruppamento percettivo per via del principio di prossimità è rappresentato dall'insieme di 16 punti presente in *Figura 1.1*. In questo caso, lo spazio tra le due metà della matrice di punti viene accentuato, mentre tutto il resto viene lasciato invariato. Malgrado nulla sia cambiato al livello dei singoli elementi da noi percepiti, l'unità che essi formano e che noi percepiamo è totalmente diversa una volta avvenuto il distanziamento: nella seconda matrice di punti sono individuabili molto chiaramente due colonne prima totalmente assenti.

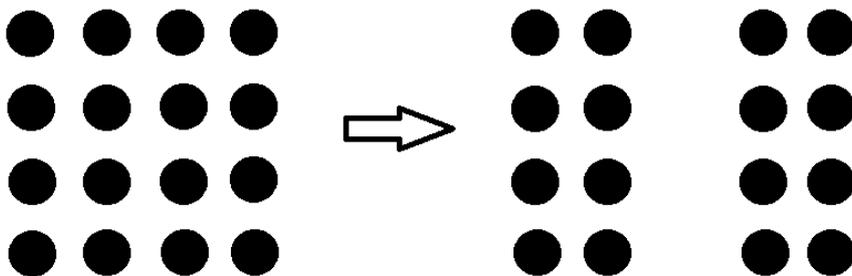


Figura 1.1. Esempio di applicazione del principio di prossimità (o vicinanza): elementi *più vicini* tra di loro vengono percepiti come facenti parte della *stessa unità*.

Formuliamo a questo punto la relazione tra *groupitizing* e raggruppamento percettivo: il *groupitizing* può essere concettualizzato come un'applicazione pratica del meccanismo più generale di raggruppamento percettivo. Torniamo all'esempio appena trattato. Uno sperimentatore può, valendosi del principio di prossimità, attuare dei raggruppamenti così da suddividere delle numerosità. Ciò porterà il soggetto che osserva tali numerosità a percepire, grazie al meccanismo di raggruppamento percettivo, gli

elementi più vicini tra di loro come appartenenti a sottoinsiemi distinti. Tale risultato percettivo, ovvero il riconoscimento da parte del soggetto dei sottogruppi, permette la velocizzazione della performance di enumerazione, ovvero permette l'attuazione del *groupitizing*.

1.2. Raggruppamento attuato dal soggetto

I raggruppamenti fin qui considerati – che sono anche quelli più studiati – hanno una caratteristica importante da menzionare ai fini della nostra discussione: essi sono già presenti nel momento in cui lo stimolo viene mostrato al soggetto; in altre parole sono creati, precedentemente implementati dallo sperimentatore affinché il soggetto ne possa usufruire. Sarebbe, tuttavia, che oltre a questo tipo di raggruppamento - che d'ora in avanti chiameremo *indotto dallo sperimentatore* – ci sia un meccanismo di raggruppamento *attuato dal soggetto*. Esso consisterebbe nella suddivisione mentale (molto probabilmente in memoria di lavoro) in sottogruppi da parte del soggetto dell'insieme da enumerare. Si tratterebbe cioè dell'implementazione attiva della strategia del *groupitizing*, senza cioè che gli elementi siano stati prima raggruppati dallo sperimentatore.

Tale meccanismo emerge da uno studio di Lorenzo Ciccione e Stanislas Dehaene (2020) in cui si sono studiati gli effetti di differenti tipologie di raggruppamento (assente, simmetrico, asimmetrico) sulla prestazione di enumerazione da parte di tre gruppi di studenti. Come già menzionato sopra, gli autori hanno dimostrato che gli insiemi suddivisi in sottogruppi aventi lo stesso numero di elementi (suddivisione simmetrica) vengono enumerati sistematicamente più velocemente e più accuratamente rispetto agli insiemi i cui sottogruppi contengono numerosità differenti di elementi. Tuttavia, di particolare interesse per noi in questa sede è un altro risultato: un insieme suddiviso asimmetricamente (e non suddivisibile altrimenti) non viene enumerato più velocemente o più accuratamente dello stesso insieme quando esso è presentato senza alcun tipo di raggruppamento. L'ipotesi dei ricercatori è che i partecipanti abbiano suddiviso mentalmente in sottogruppi gli insiemi senza raggruppamento indotto dallo sperimentatore. I partecipanti stessi (29 su 36) sembrerebbero confermare l'ipotesi, riportando l'utilizzo di questa strategia. Gli autori sono arrivati ad ipotizzare che un meccanismo di raggruppamento attuato dal soggetto possa portare a prestazioni simili, se non identiche, a quelle che si otterrebbero in presenza di raggruppamenti indotti dagli sperimentatori. Sostengono, tuttavia, che ulteriori ricerche siano necessarie per confermare questa ipotesi.

Il raggruppamento attuato dal soggetto è stato studiato non solo tramite compiti di enumerazione – in cui il partecipante deve determinare con esattezza il numero cardinale rappresentante la numerosità di un insieme –, ma anche attraverso discriminazioni tra insiemi di diversa numerosità. Queste permettono infatti di indagare la presenza di un tale meccanismo in individui (nei casi trattati qui, pulcini di pollo domestico e bambini) che, per motivi di diversa natura, non possiedono la conoscenza di un sistema numerico-simbolico o, più in generale, abilità aritmetiche sufficientemente sviluppate per poter riuscire in compiti il cui obiettivo è l'enumerazione.

1.2.1. Possibili prove di raggruppamento attuato dal soggetto in bambini di 4 ed 8 mesi

In uno studio in preparazione condotto da Geraci *et al.* (Geraci *et al.*, 2022; Loconsole *et al.*, 2022) (studio a cui ho personalmente partecipato in qualità di *scorer*, si faccia riferimento alla sezione § *Premessa*), si è esplorato questo meccanismo di raggruppamento attuato dal soggetto in bambini di 4 ed 8 mesi. Una prima analisi dei dati sembrerebbe fornire alcune evidenze della presenza di tale meccanismo in bambini di questa età, in quanto essi riescono a discriminare tra un insieme di 9 elementi (suddivisibile simmetricamente) ed uno di 7 (non suddivisibile simmetricamente) in assenza di raggruppamento indotto dallo sperimentatore. Tuttavia, bambini della stessa età (4 ed 8 mesi) non sembrano in grado di discriminare tra due insiemi di 9 ed 11 elementi. Si è ipotizzato che ciò evidenzi un possibile limite del meccanismo di raggruppamento mentale (attuato dal soggetto) in bambini di questa età. L'incapacità di distinguere tra le due numerosità potrebbe dipendere, allora, dal fatto che il meccanismo in questione non sia ancora del tutto sviluppato. È possibile, infatti, che se aiutati da raggruppamenti preesistenti (indotti dallo sperimentatore), i soggetti riescano a riconoscere la differenza tra i due insiemi e dunque a discriminarli.

Ci limitiamo, per il momento, solamente a menzionare questi risultati. In sede di introduzione (come, d'altronde, anche nelle sezioni § 2, *Materiali e metodi*, e § 3, *Risultati*) mi occuperò nello specifico dello studio da noi condotto sui pulcini di pollo domestico. Questo perché ho partecipato ad esso in modo diretto, operando sia in laboratorio – interagendo con i soggetti sperimentali –, che fuori, svolgendo lo *scoring* dei video ottenuti. Tuttavia, lo studio sui bambini, a cui ho contribuito – in misura più limitata – codificando i filmati così da poterne estrarre i dati da analizzare, verrà comunque trattato in modo approfondito più avanti (si veda § 4.2.). Esso, infatti, rappresenta un elemento centrale ai fini della successiva discussione.

1.3. Gli esperimenti sul pulcino

Come già sottolineato da Loconsole *et al.* (2021), diverse specie di uccello dimostrano di possedere abilità numeriche e di poter accedere a strategie percettive del tutto analoghe a quelle dell'uomo, cosicchè è possibile supporre delle similarità tra i meccanismi sottostanti (Nieder, 2018; Scarf *et al.*, 2011; Kobylkov *et al.*, 2022). Nel nostro esperimento e in quelli precedenti ad esso è stata utilizzata la specie *Gallus gallus* (pollo domestico), ed in particolare pulcini appena nati. Il vantaggio nell'utilizzo di questa specie di uccello sta nel fatto che i pulcini di pollo domestico sono una prole nata – nascono completamente sviluppati e già in grado di interagire con l'ambiente – ed è dunque possibile studiare grazie a loro certe abilità cognitive – numeriche e non – in individui appena nati. Inoltre, in altri studi, i pulcini di pollo domestico si sono dimostrati sensibili ai principi della Gestalt, a raggruppamento indotto dallo sperimentatore e a informazioni riguardanti la simmetria (Vallortigara, 2012; Rugani *et al.*, 2017; Forsman & Herrström, 2004; Clara *et al.*, 2007).

È stato ipotizzato che anche i pulcini di pollo domestico possiedano un meccanismo di raggruppamento attuato dal soggetto, ovvero siano in grado di attuare mentalmente suddivisioni in sottogruppi di insiemi di elementi. In particolare, gli esperimenti di Loconsole *et al.* (2021) sono stati svolti proprio per indagare:

- in primo luogo, l'esistenza di questo meccanismo in pulcini appena nati di pollo domestico;
- in secondo luogo, il suo utilizzo per compiere discriminazioni tra numerosità suddivisibili simmetricamente e numerosità suddivisibili asimmetricamente.

In questa serie di esperimenti i pulcini, subito dopo la schiusa, erano sottoposti ad una procedura di abituação. L'abituação consisteva in un periodo di un'ora durante il quale il pulcino era posizionato all'interno di un'arena triangolare. Una delle tre pareti dell'arena era costituita da uno schermo sul quale comparivano gli stimoli di abituação. Tali stimoli consistevano in insiemi di elementi (le caratteristiche di questi elementi, come d'altronde le caratteristiche di tutto questo processo, sono descritte in modo dettagliato nella sezione § 2, *Materiali e metodi*). Le numerosità degli stimoli di abituação erano tutte pari, ovvero gli insiemi erano composti da un numero pari di elementi e dunque suddivisibile simmetricamente (esempio: $6 = 3+3$ o $2+2+2$). Dopo un'intera ora di abituação ed un'ulteriore ora di pausa, ogni pulcino veniva posto per 5 minuti di fronte ad una coppia di stimoli (fase di test). Questa volta però, uno

rappresentava una numerosità non suddivisibile simmetricamente (7 per alcuni pulcini, 11 per altri), l'altro una numerosità dispari composta (9).

Dai risultati è emersa una preferenza nei confronti delle numerosità suddivisibili asimmetricamente, ovvero nei confronti di numeri primi (sia 7 che 11). La manifestazione di una preferenza, indipendentemente dalla sua direzione, sembrerebbe dar prova dell'esistenza del meccanismo ipotizzato di raggruppamento attuato dal soggetto. Si può pensare che se il pulcino preferisce uno stimolo rispetto ad un altro, allora ciò significa che esso è in grado di discriminare, anche se solo a livello percettivo, tra le due numerosità. La domanda che sorge, tuttavia, è la seguente: perché i pulcini preferiscono questo tipo di numerosità (7 o 11) a quella dispari (9), divisibile simmetricamente? Gli autori, di fatto, tentano di fornire un'interpretazione del fenomeno. Ma per poter comprendere tale interpretazione risulta necessario esplicitare il ragionamento sottostante alla procedura sperimentale poco fa descritta.

Gli stimoli pari a cui il pulcino viene abituato assomigliano in misura maggiore allo stimolo dispari composto della fase di test piuttosto che a quello primo, in quanto entrambi (pari e dispari composto) sono suddivisibili simmetricamente, ovvero in sottogruppi contenenti tutti lo stesso numero di elementi. Ciò significa che la numerosità non-simmetrica (7 o 11) risulta per il pulcino uno stimolo con una caratteristica del tutto nuova (secondo il criterio di suddivisibilità simmetrica o asimmetrica).

È stato dimostrato che i pulcini appena nati tendono, durante le prime fasi di imprinting, ad esplorare preferenzialmente uno stimolo rappresentante una leggera novità rispetto allo stimolo di abituação. Una possibile interpretazione di tale fenomeno è stata data da Jackson e Bateson (1974). Questi autori hanno sostenuto che la tendenza ad esplorare lo stimolo che rappresenta una leggera novità è ecologicamente vantaggiosa per il pulcino poiché questo meccanismo lo motiverebbe ad esplorare la chioccia da tutte le possibili differenti angolazioni, favorendo così il processo di imprinting.

Altri studi hanno apportato alcune evidenze di una preferenza in pulcini appena nati di pollo domestico per pattern asimmetrici (Forsman & Herrström, 2004; Clara *et al.*, 2007). Non è ancora stato trovato un accordo circa l'interpretazione di tale preferenza. Tra le diverse possibili spiegazioni menzioniamo qui l'ipotesi che la preferenza per gli stimoli asimmetrici dipenda da un evitamento attivo dello stimolo simmetrico, in quanto quest'ultimo potrebbe segnalare in natura il fatto che un determinato insetto sia velenoso (Forsman & Herrström, 2004). Un'ipotesi alternativa è quella che un pulcino appena nato, con un sistema senso-motorio non ancora del tutto sviluppato, potrebbe essere

avvantaggiato dalla tendenza a beccare prede che presentino pattern asimmetrici, in quanto questi indicherebbero una *fitness* ridotta e dunque una predazione facilitata. Il fatto che la preferenza per pattern asimmetrici sparisca poi con la crescita, mutando in una preferenza per stimoli simmetrici, è stato conseguentemente attribuito al miglioramento del sistema senso-motorio, il quale renderebbe obsoleta questa strategia. Clara *et al.* (2007) hanno, inoltre, dimostrato che la preferenza per la simmetria (nel caso di questo studio si tratta di simmetria/asimmetria di tipo strutturale) in pulcini di *Gallus gallus* è dipendente dall'esperienza. Le autrici e l'autore avanzano l'ipotesi che tale transizione – dalla preferenza per l'asimmetria in pulcini *naive* alla preferenza per la simmetria – dipenda dal fatto che l'esperienza di alimentazione attiva (*active feeding*) insegna ai pulcini che oggetti (stimoli) simmetrici sono più facili da beccare.

È utile pensare a questi due fattori – preferenza per la novità e preferenza per pattern asimmetrici – come a due forze di attrazione. Negli esperimenti fin qui trattati (Loconsole *et al.*, 2021), tali forze agivano nella stessa direzione. Il numero primo fungeva:

- *in primis*, da pattern asimmetrico per il quale, in via teorica, i pulcini nutrivano una preferenza;
- in secondo luogo, da novità: il suo non essere suddivisibile simmetricamente li avrebbe dovuti attirare dato che fino a quel momento erano stati esposti a stimoli suddivisibili simmetricamente.

Tornando, dunque, all'interpretazione fornita dagli autori, essi avanzano l'ipotesi che alla base della preferenza osservata possa esserci una combinazione di entrambi questi fattori.

1.4. Il nostro esperimento

Lo scopo del nostro esperimento è quello di chiarire ulteriormente la natura di questa preferenza per la numerosità asimmetrica e dunque di dare una risposta più definitiva alla domanda posta sopra. La questione viene a tal fine rielaborata ed articolata nel seguente modo:

1. La preferenza per la numerosità asimmetricamente suddivisibile (il numero primo) è dovuta all'effetto novità o, indipendentemente da questo, è una preferenza innata nel pulcino?

2. Se si dovesse trattare di una preferenza innata, potrebbe risultare evidente anche quando lo stimolo preferito è confrontato con uno stimolo più interessante perché nuovo?

Nella sua struttura e nelle sue dinamiche, il nostro esperimento è del tutto identico a quello di Loconsole *et al.* (2021), tranne che per un aspetto cruciale. Gli stimoli di test sono sempre coppie composte da un numero primo (7 o 11) e da un numero dispari composto (9). Tuttavia, in questo caso, gli stimoli di abituação sono numeri primi, ovvero non suddivisibili simmetricamente. Questo cambiamento permette di riconfigurare la direzione delle due forze in gioco – la supposta preferenza innata per il numero primo e l'effetto novità. Come già menzionato, negli esperimenti precedenti esse agivano nella stessa direzione. Qui, essendo il pulcino abituato con numerosità asimmetriche (numeri primi), esso percepirà come nuovo lo stimolo dispari composto (9) e dunque sarà spinto in questa direzione dall'effetto novità; il 7 e l'11 lo dovrebbero, invece, attirare in direzione opposta a causa di questa (ipotetica) preferenza innata per i numeri primi.

2. Materiali e metodi

2.1. Soggetti e apparato sperimentale

Durante il periodo in cui ho personalmente preso parte all'esperienza, abbiamo testato un totale di 39 pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*). Ogni settimana giungevano al laboratorio (*Comparative Cognition Lab*, Dipartimento di Psicologia Generale, Università degli Studi di Padova) uova fertilizzate provenienti da un'azienda agricola locale (Incubatorio La Pellegrina, San Pietro in Gu, PD, Italia). Sempre all'interno del laboratorio, le uova venivano incubate ad una temperatura di 37.5°C ad un livello di umidità del 55-66% in un'incubatrice FIEM MG70/100 (45cm x 58cm x 43cm).

L'apparato sperimentale consisteva in un'arena formata da un pavimento triangolare (58cm base x 71cm altezza maggiore), due pareti laterali di plastica bianca (24cm altezza), ed un monitor (Acer B7 Series, 27", 60 Hz) – in luogo della terza parete –, sul quale apparivano gli stimoli. Alle spalle dell'arena, poco dietro al vertice opposto allo schermo, era posizionata una videocamera (Sony HDR-CX240E) atta alla registrazione dei 6 minuti dedicati al test. Il lavoro di *scoring* sarebbe stato poi svolto a partire da questi filmati.

a)



b)



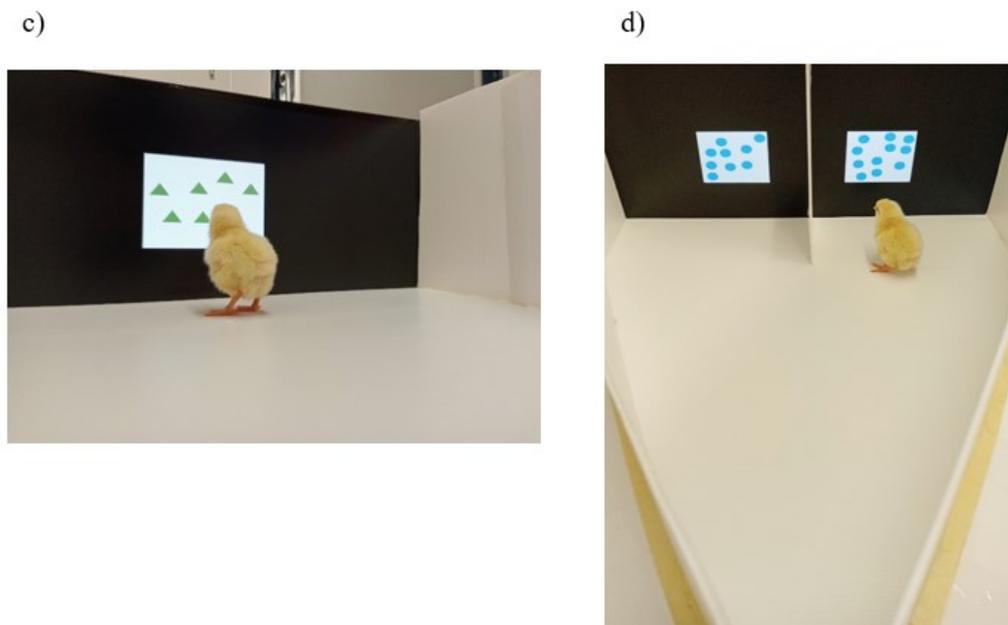


Figura 2.1. (a) e (b) Pulcino durante la fase di pausa; (c) Pulcino durante la fase di abituazione; (d) Pulcino durante la fase di test.

2.2. Abituazione

Ogni pulcino è stato sottoposto ad una procedura sperimentale della durata complessiva di circa due ore (*Figura 2.2.*). La prima fase di questo processo era l'abituazione. Il pulcino appena nato – il cui uovo si era schiuso il giorno stesso – veniva preso dall'incubatrice e trasportato nella stanza adiacente, in cui si trovava l'apparato sperimentale. Qui era gentilmente posizionato all'interno dell'arena, in prossimità del vertice opposto al monitor, assicurandosi di orientarne il corpo verso lo schermo.

Durante l'abituazione, il pulcino – libero di muoversi all'interno dell'apparato – veniva esposto per un'ora ad una sequenza di stimoli (*Figura 2.3.*). Essi consistevano in gruppi di elementi il cui numero totale corrispondeva ad un numero primo. Colore e forma erano uguali per tutti gli elementi di uno stesso stimolo. I possibili colori che gli elementi potevano assumere erano: rosso, blu, giallo o verde; la forma, invece, poteva essere triangolare, rettangolare o circolare. La combinazione di queste due variabili (colore e forma), insieme alla specifica numerosità dello stimolo (sempre un numero primo), veniva determinata in modo randomico per ognuno degli stimoli.

Le numerosità possibili erano: 3, 5, 7 o 11. I filmati di abituazione a nostra disposizione erano due: uno comprendente solo stimoli composti da 3, 5, e 7 elementi, l'altro da 3, 5 e 11 elementi. Il filmato utilizzato di volta in volta era in accordo con la condizione sperimentale futura del pulcino (il primo per la condizione 9vs11, il secondo

per la condizione 7vs9). È chiaro che la condizione sperimentale a cui sarebbe stato sottoposto il soggetto doveva essere decisa prima della fase di abituação, dato che essa avrebbe determinato a quale sequenza di stimoli esporlo.

Gli elementi costituenti lo stimolo erano racchiusi all'interno di un quadrato bianco (336 px) posizionato al centro dello schermo. All'interno di quest'area, la posizione dei vari elementi (ognuno occupante un'area totale di 36 px) veniva determinata in modo pseudo-casuale, cosicché non ci fosse la possibilità che gli elementi si sovrapponevano tra di loro.

Ogni stimolo rimaneva sullo schermo per dieci secondi (10 s) e veniva seguito immediatamente dallo stimolo successivo. Di conseguenza, il pulcino era esposto ad un totale di 360 stimoli.

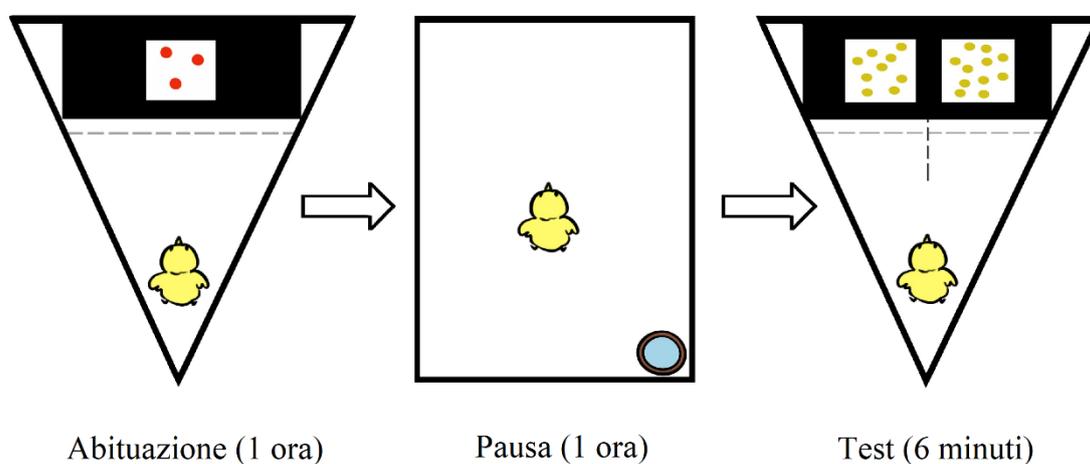


Figura 2.2. Procedura sperimentale. Ogni pulcino è stato sottoposto ad una procedura sperimentale della durata complessiva di circa due ore. La prima fase di questo processo era l'abituazione (1h). Una volta terminata l'abituazione, il pulcino veniva fatto riposare in un'apposita gabbia per un'ulteriore ora (1h). Successivamente, esso veniva sottoposto ad una fase di test della durata di 6 minuti.

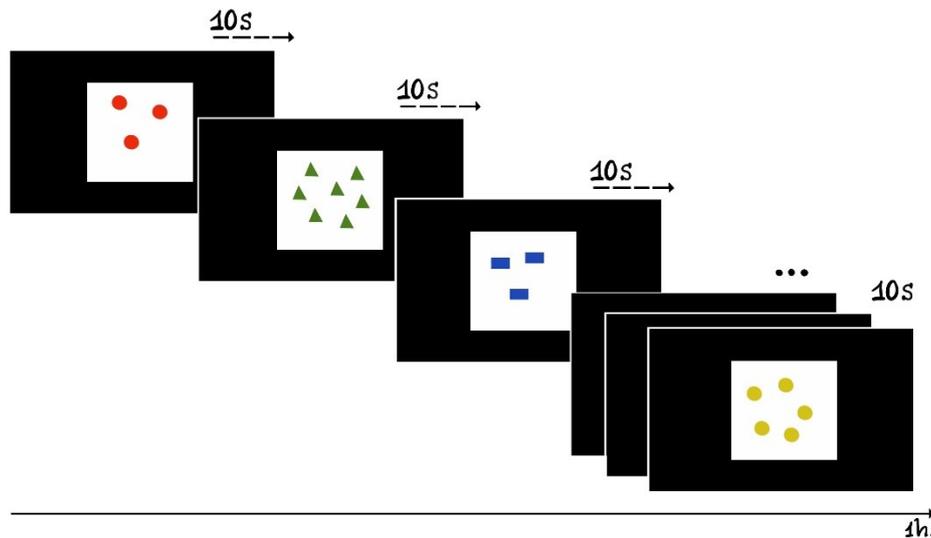


Figura 2.3. Esempio di una sequenza di stimoli presentata durante la fase di abitudine. Nello specifico, questa sequenza verrebbe mostrata ad un soggetto appartenente alla condizione sperimentale 9vs11, in quanto in essa compaiono anche stimoli composti da 7 elementi.

2.3. Test

Una volta terminata l'abitudine, il pulcino veniva fatto riposare in un'apposita gabbia per un'ulteriore ora. Successivamente, esso veniva sottoposto ad una fase di test della durata di 6 minuti. Durante il test, il soggetto era riposto nuovamente all'interno della stessa arena in cui aveva trascorso il periodo di abitudine. Per la procedura di test, tuttavia, lo schermo era stato diviso in due metà grazie ad una partizione verticale di plastica bianca (5cm la base x 30cm d'altezza).

Su queste due porzioni di monitor venivano proiettati stimoli che in quanto a forma e colore rispettavano le stesse regole espresse nel paragrafo precedente. I due stimoli di ogni coppia erano identici per forma e colore dei loro elementi, ma diversi per numerosità: uno stimolo rappresentava la numerosità dispari composta, suddivisibile in modo simmetrico; l'altro il numero primo, non suddivisibile simmetricamente. Le coppie di stimoli venivano a susseguirsi ogni dieci secondi (10 s), senza intervalli, per un totale di 36 coppie durante i sei minuti di test (Figura 2.3.). Ogni nuova coppia presentava elementi di forma e colore differenti da quella precedente, ma stesse due tipologie di numerosità e soprattutto nella stessa posizione (relegate nella medesima porzione di monitor).

In tutto, le condizioni sperimentali erano due: l'esposizione alla coppia 7vs9 oppure 9vs11. Ogni soggetto veniva sottoposto solamente ad una delle due condizioni.

Come anticipato sopra, né lo stimolo dispari né quello primo erano già stati visti dal pulcino: infatti, all'interno delle sequenze di abituazione non apparivano mai gruppi di 7 elementi nel caso in cui il soggetto sarebbe stato esposto poi al numero 7, o di 11 elementi nel caso in cui sarebbe stato esposto al numero 11. L'obiettivo era quello di abituare i pulcini ai numeri primi *in generale*, senza condizionarli a scegliere una *specifica* numerosità prima a causa di una precedente esposizione ad essa.

Al soggetto si chiedeva di discriminare tra le due numerosità, attuando tale discriminazione tramite il suo avvicinamento ad uno dei due stimoli. Lo *scoring* consisteva nella registrazione del tempo passato all'interno di ognuna delle due aree direttamente di fronte ad essi.

Infine, risulta necessario notare che entro la medesima condizione sperimentale (7vs9 o 9vs11), metà delle volte le posizioni venivano invertite: metà dei pulcini assegnati alla condizione 7vs9 sarebbe stata effettivamente sottoposta a questo ordine sullo schermo, l'altra metà all'ordine inverso (9vs7); così anche per la condizione 9vs11 (per metà dei pulcini 11vs9). Questo meccanismo è stato attuato in modo tale da evitare qualsiasi tipo di *bias* legato all'eventuale presenza di una idiosincratia preferenza del pulcino per uno dei due lati, indipendentemente dallo stimolo proiettato in quella porzione di schermo.

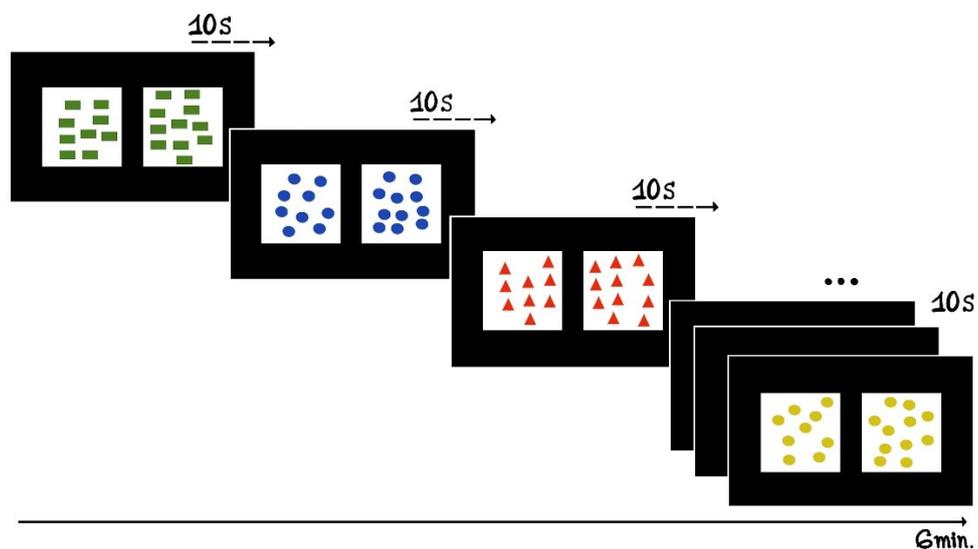


Figura 2.3. Esempio di una sequenza di stimoli presentata durante la fase di test. Nello specifico, questi stimoli appartengono alla condizione sperimentale 9vs11.

3. Risultati

3.1. Numero di soggetti analizzati e criteri per scartarne la prestazione

Dei 39 pulcini testati durante la mia permanenza in laboratorio 18 erano femmine e 21 maschi. 10 soggetti (5 maschi e 5 femmine) su 39 sono stati scartati per non aver mai effettuato una scelta durante la fase di test. Alcuni di essi esploravano l'arena, rimanendo tuttavia sempre all'interno dell'area centrale. Altri ancora non si spostavano – o lo facevano di poco – dal punto iniziale in cui lo sperimentatore li poneva. A ciò erano spesso associati uno stato di estrema agitazione o, al contrario, di ipoattivazione e ridotta attività motoria da parte del pulcino.

Si era già stabilito prima dell'inizio della ricerca che tali comportamenti sarebbero stati da considerare come non interpretabili. Essi non erano spiegabili nemmeno in quanto indicatori di una mancata discriminazione. Per considerarli tali, il pulcino avrebbe dovuto avvicinarsi agli stimoli in uguale misura, scegliere cioè uno stimolo (e poi anche l'altro), senza tuttavia manifestare preferenza alcuna. Nel caso dei comportamenti di cui sopra, però, i pulcini non effettuavano *in primis* una scelta. Ciò ha portato a non includere questi soggetti nell'analisi dei dati.

3.2. Analisi dei dati: strumenti utilizzati e considerazioni

Le prestazioni dei 29 pulcini sono state analizzate con il software statistico R (4.1.0), mediante un modello lineare generalizzato in cui i soggetti sono stati inseriti come effetto random.

Tuttavia, 29 pulcini non vengono considerati una numerosità campionaria sufficiente per produrre delle statistiche affidabili, in quanto l'iniziale stima era di 80 soggetti (40 per ciascuna condizione sperimentale). È allora di fondamentale importanza interpretare con cautela le conclusioni che parrebbero emergere dall'analisi dei dati fino ad ora ottenuti. Per tale motivo, nuovi dati continuano ad essere raccolti.

3.3. Analisi dei dati: variabili ed effetti indagati

Per una prima parte di analisi dei dati sono state prese in considerazione le seguenti variabili:

- Variabile dipendente: tempo speso dal pulcino all'interno di ciascuna delle due zone poste di fronte agli stimoli;
- Variabili indipendenti:
 - Tipo di confronto (o tipo di condizione): 7vs9 o 9vs11;

- Stimolo: primo o non primo;
- Interazione tra queste due variabili.

Successivamente, sono stati indagati gli effetti di queste variabili. Il valore della significatività del p -value è stato settato a 0.05. Non si è riscontrato alcun effetto del tipo di confronto ($\chi^2 = 3.712$, $p = 0.054$), dello stimolo ($\chi^2 = 2.925$, $p = 0.087$) o dell'interazione tra le due variabili ($\chi^2 = 0.9$, $p = 0.343$).

A questo punto, sono stati esplorati ulteriori effetti, in particolare l'effetto dovuto al minuto di test. Per fare ciò sono state prese in esame le variabili indipendenti:

- Stimolo: primo o non primo;
- Minuto di test: da 1 a 6;
- Interazione tra le due.

L'analisi sembra mostrare un effetto del minuto statisticamente significativo ($\chi^2 = 23.461$, $p < 0.001$). Anche in questo caso non si è trovato un effetto dello stimolo ($\chi^2 = 3.245$, $p = 0.072$), né dell'interazione tra stimolo e minuto ($\chi^2 = 5.267$, $p = 0.382$) (quest'ultimo effetto è, tuttavia, in parte evidente se osservato graficamente; si veda *Figura 3.1.*).

Ancora, si è analizzato se la latenza al primo approccio dipendesse dal tipo di stimolo scelto (primo o non primo). I risultati non sembrano indicare alcuna dipendenza della latenza dallo stimolo ($F = 0.788$, $p = 0.383$).

Infine, è stata indagata una preferenza tra i due stimoli in base alla prima scelta effettuata dal pulcino. Risulta che 18 pulcini su 29 preferiscono lo stimolo non primo. Tuttavia, questa differenza non è statisticamente significativa (test binomiale P (non primo) = 0.621, $p = 0.265$).

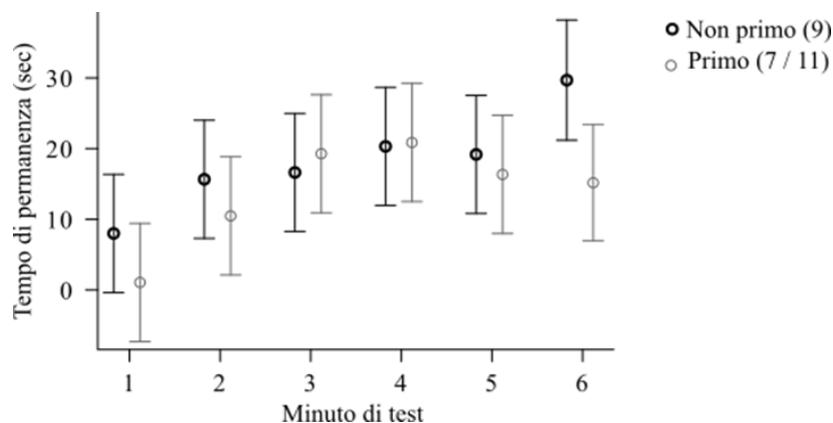


Figura 3.1. Interazione tra stimolo e minuto. Il grafico mostra una preferenza – anche se non statisticamente significativa – per il numero non primo, soprattutto durante l'ultimo minuto di test.

4. Discussione

4.1. Discussione dei risultati dell'esperimento sui pulcini

Lo scopo di questo studio era quello di esplorare la natura della preferenza per i numeri primi esibita dai pulcini di pollo domestico nello studio di Loconsole *et al.* (2021). Nello specifico, si è cercato di indagare se questa preferenza fosse innata nel pulcino ed in grado di manifestarsi anche se posta in opposizione all'effetto novità.

Dall'analisi dei dati fin qui raccolti non emerge una preferenza per nessuna delle due tipologie di numerosità. L'assenza di un effetto dello stimolo, di un effetto della condizione sperimentale e di un effetto della loro interazione indica che la prestazione dei 29 soggetti presi in considerazione non viene influenzata né da uno in particolare degli stimoli presentati (numero primo o numero non primo), né dal tipo di confronto (7vs9 o 9vs11) e neppure dalla combinazione di queste due variabili.

L'unica variabile che sembra avere un certo effetto sulla prestazione dei pulcini è il minuto di test: l'effetto del minuto, infatti, si è dimostrato essere statisticamente significativo. Con il trascorrere del tempo, ovvero all'aumentare del tempo speso all'interno dell'arena, aumenta anche la probabilità che il pulcino attui una scelta, si avvicini cioè ad uno dei due stimoli. È chiaro che l'effetto del minuto, considerato indipendentemente da altre variabili, non tiene conto della direzione di questa scelta.

Per ovviare a questo, è utile considerare l'effetto dell'interazione tra il minuto e lo stimolo. È sempre possibile che una preferenza di stimolo si manifesti se considerata in combinazione con un'altra variabile, in questo caso il tempo speso dal pulcino nell'arena. Un effetto simile sembra emergere – ed è parzialmente evidente se osservato graficamente –, anche se non supera ancora la soglia della significatività statistica. Si nota, infatti, una leggera preferenza per il numero non primo (9), soprattutto durante l'ultimo minuto di test. È possibile che l'analisi dei dati restanti – la cui raccolta è ancora in corso – chiarisca questo punto, appiattendolo la differenza riscontrata e dunque facendo scomparire quello che finora è ancora un effetto appena accennato, oppure evidenziandola ulteriormente, rendendolo un effetto statisticamente significativo.

Stando ai risultati a noi disponibili e alle considerazioni fatte nelle sezioni precedenti, si è in grado di avanzare una serie di potenziali interpretazioni. È possibile che l'assenza di una preferenza possa essere la conseguenza dell'interazione tra quelle che sopra sono state descritte come forze d'attrazione, ovvero la supposta preferenza innata per il pattern asimmetrico (numero primo) e l'effetto novità. Si era già discusso estensivamente circa queste due tendenze e le loro (ipotetiche) funzioni ecologiche.

Entrambe parrebbero influenzare cospicuamente il comportamento del pulcino durante le sue prime ore di vita. In questo studio esse agiscono in opposizione l'una all'altra (si faccia riferimento a § 1.4.). Ciò potrebbe manifestarsi nell'assenza apparente di una preferenza per l'uno o l'altro stimolo, ovvero nella situazione descritta dai risultati fin qui ottenuti. Sembrerebbe possibile concludere che l'assenza di una preferenza al livello della prestazione di gruppo vada a confermare l'esistenza di una preferenza innata per il numero primo in grado di entrare in conflitto con l'effetto novità.

È importante, tuttavia, tenere a mente che nel considerare l'emergere di una preferenza a partire dai dati analizzati, si fa riferimento all'insieme, alla totalità delle prestazioni dei pulcini esaminati. Dire che dai risultati non emerge alcuna preferenza non significa, per forza di cose, che il singolo pulcino durante la fase di test non ne abbia manifestata una: potenzialmente ogni pulcino potrebbe aver attuato una scelta preferenziale per l'uno o l'altro tipo di stimolo. Malgrado ciò, la prestazione dell'intero gruppo potrebbe comunque risultare casuale. Di conseguenza, sarebbe rilevante andare ad analizzare più nel dettaglio il comportamento dei singoli pulcini. Se le due predisposizioni – o strategie – fossero valide in egual misura, il singolo pulcino sarebbe in grado di passare dall'una all'altra, effettuando scelte da cui non emergerebbe una specifica direzione preferenziale. È ugualmente possibile però che particolari sottogruppi di soggetti preferiscano sistematicamente l'una strategia piuttosto che l'altra. La prestazione del gruppo potrebbe esibire, anche in questo caso, un andamento casuale, ma la realtà sottostante sarebbe alquanto differente. Se così fosse, cosa porterebbe i pulcini appartenenti a questi sottogruppi a manifestare l'una o l'altra preferenza? Un'analisi di questo tipo andrebbe a definire maggiormente le risposte alle domande alla base di questo studio e allo stesso tempo aprire ulteriori interrogativi.

Se, invece, ulteriori dati dovessero portare ad un cambiamento del quadro fin qui delineatosi facendo emergere una preferenza (al livello della prestazione di gruppo), potrebbe essere necessario rivedere quanto detto poco sopra. Una preferenza per il numero primo porterebbe comunque ad accreditare l'ipotesi che essa sia innata nel pulcino e in base all'entità della sua manifestazione in opposizione all'effetto novità sarebbe possibile determinare la potenza di questo effetto. Al contrario, l'idea che una preferenza per il numero non primo – se dovesse emergere – indichi l'assenza di una preferenza innata per quello primo dovrebbe essere contemplata con cautela: infatti, una preferenza per il numero primo potrebbe comunque esistere, anche se mascherata dall'effetto novità. L'effetto dell'interazione tra stimolo e minuto sopra menzionato, il

quale sembra indicare una preferenza per il numero dispari non primo negli ultimi minuti della fase di test, sembrerebbe preludere esattamente a questa seconda casistica. Rimane infatti aperta la possibilità che la futura raccolta di dati e la loro analisi possano amplificare tale effetto rendendolo statisticamente significativo.

4.2. *Struttura dell'esperimento sui bambini e discussione dei risultati*

Vedremo ora di ampliare e spiegare alcuni aspetti dello studio menzionato in sede di introduzione (Geraci *et al.*, in prep) sulla capacità di bambini di 4 ed 8 mesi di discriminare tra due numerosità (un numero primo ed uno dispari composto) sulla base dello stesso meccanismo di raggruppamento attuato dal soggetto ipotizzato per i pulcini (Geraci *et al.*, 2022; Loconsole *et al.*, 2022).

La struttura di questo esperimento è del tutto simile a quella degli esperimenti condotti da Loconsole *et al.* (2021) (si veda § 1 – 2). A differenza dei pulcini appena nati, i quali sono in grado di muoversi ed esplorare autonomamente il proprio ambiente (l'arena), bambini di 4 ed 8 mesi non sono capaci di fare altrettanto. Di conseguenza, nello studio in questione, ciascun bambino veniva sostenuto dalle sperimentatrici, le quali stavano sedute di fronte ad uno schermo. I bambini poggiavano sulle gambe delle ricercatrici, seduti o in posizione eretta – ma sempre sostenuta –, con il corpo ed il volto diretto verso il monitor. Su questo schermo venivano proiettati degli stimoli, identici in quanto forma, colore e razionale per la loro costruzione a quelli descritti per il nostro esperimento (si veda § 2). Proprio come i pulcini negli esperimenti di Loconsole *et al.* (2021), i bambini sono stati familiarizzati con stimoli pari. La familiarizzazione consisteva nell'osservazione da parte del bambino di quattro sequenze di undici stimoli ciascuna. Gli stimoli si susseguivano ogni 5 secondi senza interruzioni. Le sequenze erano separate tra di loro da un intervallo di 6 secondi in cui sullo schermo non veniva temporaneamente proiettato alcunché. La fase di test avveniva, a distanza di qualche secondo, subito dopo quella di familiarizzazione e consisteva nella presentazione di una coppia di stimoli (9vs11 o 7vs9). Il test era in realtà composto da due momenti, entrambi della durata di 20 secondi, e separati da 2 secondi in cui sullo schermo non appariva alcuno stimolo. Se durante i primi 20 secondi al bambino appartenente alla condizione sperimentale 7vs9 veniva presentato il 9 sulla metà destra dello schermo ed il 7 sulla sinistra, durante la seconda parte del test le due numerosità venivano invertite, con il 7 nella metà di destra ed il 9 in quella di sinistra. La procedura era analoga per la condizione 9vs11. Come sottolineato quando si è parlato dell'esperimento sui pulcini, questo procedimento ha la funzione di annullare ogni eventuale *bias* che il bambino potrebbe

avere per l'uno o per l'altro lato del monitor. Lo *scoring* consisteva nel conteggio del tempo speso dal bambino a guardare i due stimoli durante la fase di test (test di preferenza visiva; Geraci, Simion, Surian, 2022).

Già in precedenza avevamo anticipato che dai risultati di questo studio emerge una preferenza per il numero 7. Ciò porta a concludere che bambini di 4 ed 8 mesi si dimostrano capaci di discriminare tra una numerosità composta da 7 elementi ed una da 9. Questo primo risultato sembrerebbe dar prova della presenza dello stesso meccanismo di raggruppamento interno (attuato dal soggetto) ipotizzato per i pulcini. La scoperta che un meccanismo di questo tipo sia all'opera già all'età di 4 ed 8 mesi fornisce la possibilità di tracciare con maggiore precisione lo sviluppo ontogenetico della cognizione numerica umana in generale e della capacità di determinare con esattezza la numerosità di un insieme di elementi (enumerare), in particolare per via di *groupitizing*. Per poter operare un'enumerazione esatta sembra essere necessario possedere un sistema di simboli numerici che si possano assegnare con rapporto 1:1 ad ogni elemento dell'insieme, così da permettere la determinazione del valore cardinale rappresentate la numerosità totale. Tuttavia, è stato dimostrato che questo non è l'unico modo attraverso il quale gli esseri umani compiono operazioni di tal genere. Tramite un meccanismo denominato *subitizing* (dal latino "*subitus*", ovvero "immediato") è possibile individuare immediatamente, senza previa riflessione, quanti elementi compongono un determinato insieme. Perché ciò sia possibile, essi non possono essere più di tre– si parla infatti di "*subitizing range*". La strategia di *groupitizing* menzionata in precedenza sembra essere in grado di migliorare la prestazione di enumerazione anche perché, quando i sottogruppi risultanti sono composti da uno, due o massimo tre elementi, la loro numerosità può essere facilmente e più velocemente determinata per via di *subitizing* (Ciccione & Dehaene, 2020). Malgrado il meccanismo di *subitizing* (e di *groupitizing*) permetta una velocizzazione dell'enumerazione grazie a questa peculiarità del nostro sistema percettivo, i compiti in questione sono, per l'appunto, compiti il cui obiettivo è pur sempre la determinazione del numero cardinale che rappresenta la numerosità dell'insieme. Non sorprende allora che in letteratura si trovino diverse prove a favore del fatto che negli esseri umani la capacità di enumerare insiemi di elementi per via di *groupitizing* risulta essere correlata alle abilità matematiche del soggetto e che bambini dell'asilo non fanno uso di strategie di grouping ai fini dell'enumerazione, fenomeno che sembra comparire invece in bambini delle elementari (Ciccione & Dehaene, 2020; Starkey & McCandliss, 2014). I risultati dello studio di Geraci *et al.* (in prep.) indicano che, se questa è la situazione per l'enumerazione,

le cose potrebbero essere diverse nel caso di confronti tra numerosità in cui non venga richiesto di contare gli elementi né di possedere abilità aritmetiche di alcun tipo. Il suo studio, infatti, sembrerebbe portare alla conclusione che la capacità di suddividere in sottogruppi insiemi di elementi sia già presente nell'uomo all'età di 4 (ed 8) mesi. Si può pensare che tale capacità – a questa età riscontrabile solamente attraverso una preferenza – andrà poi a combinarsi durante la crescita ed in particolare attraverso un'istruzione formale con ulteriori abilità aritmetiche. Tra queste, vi è quasi certamente l'acquisizione di un sistema simbolico-numerico che permetta la determinazione e, ad un livello ancora precedente, la comprensione del concetto di cardinalità di un insieme di elementi. In questo modo diverrebbe allora possibile l'attuazione di strategie quali il *groupitizing* – oltre al normale conteggio – ai fini dell'enumerazione.

Soggetti della stessa età (4 ed 8 mesi) non sono tuttavia in grado di compiere una discriminazione tra 9 ed 11 elementi. Una possibile spiegazione di ciò potrebbe essere che la capacità di raggruppare internamente (presumibilmente in memoria di lavoro) le numerosità in questione non sia ancora sufficientemente sviluppata a questa età da permettere loro di carpire la differenza tra le due numerosità. Questa ipotesi implica una distinzione tra la capacità di discriminazione in quanto tale – e dunque di elaborazione, anche se solo a livello percettivo, della differenza tra le due numerosità –, e la capacità di raggruppare autonomamente ed internamente gli elementi in sottogruppi. In questo caso, i bambini potrebbero essere in grado di attuare la discriminazione se venissero aiutati in qualche modo, ad esempio attraverso dei raggruppamenti indotti dallo sperimentatore. Per testare questa ipotesi si è reso necessario un secondo esperimento (condotto da Geraci *et al.*, ed ancora in corso) in cui gli elementi degli stimoli appartenenti al confronto 9vs11 sono stati raggruppati dagli sperimentatori prima della presentazione ai bambini, così da poter fornire loro un supporto esterno nel processo discriminativo. Il rationale di questa procedura è analogo a quello che sottostà al terzo esperimento di Loconsole *et al.* (2021), in cui il confronto 13vs15, dimostratosi troppo complesso per la capacità dei pulcini di compiere autonomamente i raggruppamenti, è stato riproposto a soggetti appena nati con le numerosità già raggruppate secondo colore (similarità). Questo studio sta attualmente venendo condotto e ci si aspetta che i risultati possano chiarire tali questioni.

L'esperimento svolto con i bambini (Geraci *et al.*, in prep.) condivide molte similarità con il primo della serie di tre esperimenti sui pulcini (Loconsole *et al.*, 2021). In particolare, i bambini, come i pulcini, sono stati familiarizzati con numeri pari. La preferenza per il numero 7 sembrerebbe, quindi, potenzialmente attribuibile all'effetto

novità: è stata infatti osservata nei bambini una tendenza a preferire stimoli nuovi rispetto a stimoli di familiarizzazione (Roder *et al.*, 2000). Tuttavia, anche in questo caso, non è escludibile una preferenza per stimoli asimmetrici. Ne segue allora che entrambi questi fattori potrebbero essere in gioco nella preferenza mostrata dai bambini per il numero 7. Verrebbero a delinearci, dunque, le stesse domande poste in precedenza rispetto allo studio sui pulcini (Loconsole *et al.*, 2021) (si veda § 1.4.). Per rispondere a tali domande, ci chiediamo se non sia opportuno condurre uno studio dalle caratteristiche analoghe al nostro, in cui cioè bambini di 4 ed 8 mesi siano posti di fronte ai confronti 7vs9 e 9vs11 previa familiarizzazione con numeri primi.

4.3. Considerazioni sulle differenze tra bambini e pulcini

Risulta necessario, a tal proposito, esporre alcune osservazioni che palesano la reale complessità del tentativo di tracciare un paragone tra le due situazioni. La natura e, più nello specifico, le ragioni d'essere di queste preferenze (per la novità e per il pattern asimmetrico) non sono le stesse, con tutta probabilità, nel pulcino e nel bambino. Questo perché le pressioni ambientali a cui sono sottoposte le due specie sono molto diverse.

Si consideri la preferenza per la novità. Precedentemente si è visto che entrambe le specie manifestano questo tipo di preferenza (Jackson & Bateson, 1974; Roder *et al.*, 2000). Tuttavia, mentre nel pulcino la tendenza ad esplorare preferenzialmente lo stimolo nuovo rispetto a quello di abitudine è già presente durante le prime ore dopo la schiusa, nel bambino si è dimostrato che fino all'ottava settimana di vita lo stimolo familiare continuava ad essere quello preferito (Watherford & Cohen, 1973). Jackson e Bateson (1974) hanno ipotizzato che tale tendenza nel pulcino potesse essere ecologicamente vantaggiosa in quanto facilitante l'imprinting: i pulcini sarebbero spinti ad esplorare da sempre nuove angolazioni la propria madre al fine di crearsene una rappresentazione via via più accurata. È chiaro che una spiegazione analoga nel bambino risulta problematica per vari motivi: nell'uomo non avviene imprinting, o per lo meno la relazione di attaccamento tra madre e figlio è molto più complessa e diversa sotto moltissimi aspetti rispetto a quanto avviene nel pollo domestico; il bambino è inetto per molto tempo (anche all'ottava settimana) e dunque la preferenza per la novità non sarebbe così facilmente correlabile con la sua capacità di esplorare attivamente il proprio genitore da angolazioni differenti.

Si consideri la preferenza per l'asimmetria. Abbiamo già menzionato le possibili spiegazioni della preferenza per l'asimmetria nei pulcini appena nati (si veda § 1.3.). Nell'uomo, specie in cui i bambini rimangono inetti da un punto di vista motorio per

molto tempo dopo la nascita, la preferenza per l'asimmetria potrebbe servire ad altri scopi. Sembrerebbe infatti che un particolare tipo di asimmetria (asimmetria *up-down*, in cui la porzione superiore di una figura contiene più elementi rispetto alla porzione inferiore) venga preferita dai bambini (Simion *et al.*, 2002). Questa preferenza è stata collegata alla tendenza dei bambini a preferire fin da tenerissima età stimoli che assomiglino a dei volti (Turati *et al.*, 2002). È palese il vantaggio ecologico che questo tipo di predisposizione apporterebbe al bambino. Tuttavia, non è chiaro come la preferenza per questa particolare tipologia di asimmetria possa essere estesa alla preferenza per il pattern asimmetrico (numero primo) da noi considerato e se le due cose siano in primo luogo tra loro connesse. Se la preferenza per il numero primo dovesse rivelarsi una tendenza – o addirittura una predisposizione – capace di influenzare la prestazione del bambino (ad esempio all'interno del contesto sperimentale proposto nel paragrafo precedente), la questione sul suo significato ecologico e sul suo legame con la preferenza per l'asimmetria *up-down* potrebbe e dovrebbe essere indagata più approfonditamente.

A queste considerazioni è necessario aggiungere un'ulteriore nota di rilievo: a differenza dei pulcini testati negli studi fin qui menzionati, i bambini sottoposti ai medesimi confronti numerici non erano appena nati. All'età di 4 ed 8 mesi si suppone che essi possano avere appreso già alcune tendenze, o per lo meno siano stati influenzati in misura assai maggiore rispetto a pulcini vecchi di qualche ora da esperienze vissute. Non è ovvio allora se sia corretto – o persino plausibile – considerare una preferenza per il numero primo 7 (ovvero, in ultima analisi, per un pattern asimmetrico) come una preferenza innata.

5. Conclusioni

Lo scopo dello studio sui pulcini di pollo domestico qui trattato era quello di indagare la preferenza per i numeri primi emersa dal precedente studio di Loconsole *et al.* (2021). I risultati, per quanto ancora parziali, non mostrano effetti significativi (fatta eccezione per l'effetto del tempo). Ciò potrebbe dipendere dal fatto che le due predisposizioni prese in esame – la preferenza per la novità e quella per il pattern asimmetrico – siano in conflitto tra di loro e capaci di interferire l'una con l'altra in modo tale da impedire l'emergere di una scelta preferenziale per l'uno o l'altro tipo di stimolo al livello della prestazione del gruppo (totalità dei pulcini). Tuttavia, una preferenza appena accennata per il numero non primo sembrerebbe emergere, ma solamente durante gli ultimi minuti della fase di test. Se l'ulteriore raccolta ed analisi dei dati dovessero rendere questo effetto statisticamente significativo, l'interpretazione dei risultati dovrebbe essere aggiornata. La preferenza per il numero non primo indicherebbe una scelta guidata principalmente dall'effetto novità. Malgrado ciò, anche in questo caso non sarebbe corretto escludere totalmente l'esistenza di una preferenza innata per il numero primo, la quale potrebbe venire oscurata da una tendenza più intensa verso la novità. Ci si aspetta che lo studio della potenza dei rispettivi effetti possa elucidare questi dubbi.

Lo studio sui bambini di 4 ed 8 mesi condotto da Geraci *et al.* (in prep.) ha apportato prove interessanti a favore dell'ipotesi che anche bambini di questa età siano in grado di attuare mentalmente dei raggruppamenti al fine di discriminare tra una numerosità suddivisibile simmetricamente ed una asimmetricamente. (quello che fin dall'inizio abbiamo chiamato *raggruppamento attuato dal soggetto*). Tale discriminazione è stata possibile però solo tra insiemi di 7 e 9 elementi, ma non di 9 ed 11. In particolare, anche i bambini come i pulcini nello studio di Loconsole *et al.* (2021) hanno manifestato tale discriminazione attraverso una preferenza per il numero primo, il 7. Una possibile spiegazione dell'incapacità dei bambini di distinguere tra il 9 e l'11 è che tale confronto risulti essere troppo complesso per un meccanismo di raggruppamento attuato dal soggetto non ancora del tutto sviluppato. È in corso, al fine di testare questa ipotesi, uno studio in cui a bambini di 4 ed 8 mesi il confronto 9vs11 viene proposto avendo già subito dei raggruppamenti da parte degli sperimentatori. Si suppone che ciò possa fornire un aiuto ai soggetti e che dunque essi possano riuscire nella discriminazione tra i due stimoli. A partire dai dati ottenuti da Geraci *et al.* (in prep.) ci siamo spinti ad elaborare alcune considerazioni ed ipotesi circa lo sviluppo di questa capacità durante il tempo. In particolare, si è ipotizzato che la strategia di *groupitizing* sia il risultato della

combinazione di questo meccanismo – già presente all'età di 4 mesi – ed abilità aritmetiche acquisite tramite istruzione formale. I risultati dello studio di Geraci *et al.* (in prep.) aprono interrogativi simili a quelli esposti per lo studio di Loconsole *et al.* (2021): qual è la natura della preferenza per il numero primo riscontrata in questi bambini? Si tratta di una preferenza innata? Abbiamo allora proposto uno studio che in quanto a scopo e struttura sia del tutto analogo a quello che abbiamo condotto per dare una risposta a queste stesse domande nel pulcino. Una ricerca simile avrebbe certo ragione d'esistere, ma a tal fine risulta necessario analizzare con cura le differenze tra il modello umano – ed in particolare il bambino – e quello del pulcino.

Riferimenti bibliografici

Ciccione, L., & Dehaene, S. (2020). Grouping Mechanisms in Numerosity Perception. *Open Mind*, 4, 102–118. https://doi.org/10.1162/opmi_a_00037

Clara, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2007). Preference for symmetry is experience dependent in newborn chicks (*Gallus gallus*). *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(1), 12–20.

Forsman, A., & Herrström, J. (2004). Asymmetry in size, shape, and color impairs the protective value of conspicuous color patterns. *Behavioral Ecology*, 15(1), 141–147. <https://doi.org/10.1093/beheco/arg092>

Geraci, A., Loconsole, M., Regolin, L. Four-month-old infants rely on symmetry/asymmetry in perceptual grouping to discriminate sets of elements. International Congress on Infant Studies (ICIS). Ottawa, 7th – 10th July 2022.

Geraci, A., Simion, F., & Surian, L. (2022). Infants' intention-based evaluations of distributive actions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 220, 105429. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2022.105429>

Jackson, P. S., & Bateson, P. P. G. (1974). Imprinting and exploration of slight novelty in chicks. *Nature*, 251(5476), 609–610. <https://doi.org/10.1038/251609a0>

Kobylkov, D., Mayer, U., Zanon, M., & Vallortigara, G. (2022). Number neurons in the nidopallium of young domestic chicks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(32), e2201039119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2201039119>

Loconsole, M., De Agrò, M., & Regolin, L. (2021). Young chicks rely on symmetry/asymmetry in perceptual grouping to discriminate sets of elements. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1957), 20211570. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1570>

Loconsole, M., Geraci, A. & Regolin, L. Inherent perceptual cues triggers preference for asymmetrical patterns in infants and domestic chicks. in Visual Properties Driving Visual Preference (VPDVP) Workshop. Padova, 25 May 2022

Nieder, A. (2018). Evolution of cognitive and neural solutions enabling numerosity judgements: Lessons from primates and corvids. *Philosophical Transactions*

of the Royal Society B: Biological Sciences, 373(1740), 20160514.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0514>

Roder, B. J., Bushnell, E. W., & Sasseville, A. M. (2000). Infants' Preferences for Familiarity and Novelty During the Course of Visual Processing. *Infancy*, 1(4), 491–507. https://doi.org/10.1207/S15327078IN0104_9

Rugani, R., Loconsole, M., & Regolin, L. (2017). A strategy to improve arithmetical performance in four-day-old domestic chicks (*Gallus gallus*). *Scientific Reports*, 7(1), 13900. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13677-6>

Scarf, D., Hayne, H., & Colombo, M. (2011). Pigeons on Par with Primates in Numerical Competence. *Science*, 334(6063), 1664–1664. <https://doi.org/10.1126/science.1213357>

Simion, F., Valenza, E., Macchi Cassia, V., Turati, C., & Umiltà, C. (2002). Newborns' preference for up–down asymmetrical configurations. *Developmental Science*, 5(4), 427–434. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00237>

Starkey, G. S., & McCandliss, B. D. (2014). The emergence of “groupitizing” in children's numerical cognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 126, 120–137. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.03.006>

Turati, C., Simion, F., Milani, I., & Umiltà, C. (2002). Newborns' preference for faces: What is crucial? *Developmental Psychology*, 38(6), 875–882. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.38.6.875>

Vallortigara, G. (2012). The cognitive chicken: visual and spatial cognition in a non-mammalian brain. In *The Oxford handbook of comparative cognition*, pp. 48–66. Oxford, UK: Oxford University Press.

Wetherford, M. J., & Cohen, L. B. (1973). Developmental Changes in Infant Visual Preferences for Novelty and Familiarity. *Child Development*, 44(3), 416–424. <https://doi.org/10.2307/1127994>