



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e  
della Socializzazione (DPSS)  
Dipartimento di Psicologia Generale (DPG)**

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

**Elaborato finale**

***Discriminazione di quantità nel  
coleottero *Anthia thoracica****

***Quantity discrimination in the beetle *Anthia  
thoracica****

***Relatrice***  
**Prof.ssa Regolin Lucia**

***Laureando: Del Favero Luca***  
***Matricola: 2021983***

Anno Accademico 2022/2023



# INDICE

<b>ABSTRACT</b>	3
<b>INTRODUZIONE</b>	5
<b>CAPITOLO 1 – Nozioni teoriche</b>	7
1.1 Due approcci metodologici	7
1.2 Sistemi numerici: Verbali e Non verbali	8
1.3 <i>Weber's law</i>	9
1.4 <i>SNARC effect</i>	10
<b>CAPITOLO 2 – Studio sulle abilità numeriche di un invertebrato</b>	11
2.1 Ipotesi e obiettivi	11
2.2 Materiali e metodi	11
2.3 Risultati	13
<b>CONCLUSIONI</b>	17
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	19



## ABSTRACT

La psicologia animale è una disciplina relativamente recente e ancora più recentemente, in particolare dalla fine del XX secolo, ha riacquisito interesse per la ricerca lo studio della cognizione numerica in soggetti non umani, interessando soprattutto vertebrati come mammiferi, uccelli e pesci.

In questo elaborato, che riporta una parte di risultati di una ricerca più vasta, si è cercato di comprendere ed approfondire le abilità numeriche negli invertebrati, indagando la presenza di un sistema numerico non simbolico analogo a quello riscontrato nei vertebrati, focalizzandosi in particolare sulla discriminazione di diverse quantità.

Per la sperimentazione è stata utilizzata una specie di coleottero (*Anthia thoracica*), insetto originario dell’Africa meridionale, in una serie di test di scelta spontanea fra due stimoli alimentari: inizialmente con un rapporto di numerosità tra stimoli di 1:4 (0.25) e successivamente aumentato a 1:3 (0.34). I risultati sembrano confermare la presenza di una capacità di discriminazione nel confronto 1 vs. 3 mentre nell’1 vs. 4 non sembra esserci una preferenza per la numerosità maggiore. Inoltre, in entrambe le sperimentazioni, seppur non molto accentuata, sembra presente una lieve preferenza verso la destra nella scelta dello stimolo alimentare, anche in questo caso maggiore nell’1 vs. 3 rispetto all’1 vs. 4, questo aspetto potrebbe essere ulteriormente approfondito in futuri studi.

Questi risultati sembrano concordare con quelli di numerosi altri studi in letteratura che hanno esplorato le medesime dimensioni tra molte specie animali di vertebrati, suggerendo come questo ambito di ricerca sia plausibilmente estendibile anche al mondo molto meno studiato degli invertebrati.



## INTRODUZIONE

È risaputo come le abilità cognitive riguardanti la cognizione numerica siano capacità ben note e largamente studiate nell'essere umano: dalla più semplice discriminazione di quantità sin da neonati, alla sempre crescente complessità dei sistemi simbolici più astratti, compreso il linguaggio, utilizzati nella matematica, per i quali è richiesta un'adeguata educazione per comprenderne le regole e i meccanismi sottostanti.

L'interesse verso tali abilità in soggetti non umani, tuttavia, non trovò grande sviluppo nel secolo scorso soprattutto per lo scetticismo diffuso nella comunità scientifica in seguito all'episodio del cavallo Hans (*Clever Hans* in inglese) che portò ad un allineamento al pensiero aristotelico, secondo il quale, essendo la comprensione numerica la più alta forma di logica e quest'ultima strettamente legata al linguaggio, tali abilità non potevano che essere prerogativa della mente umana. Qualsiasi creatura che non possedesse l'uso di linguaggio e simboli, quindi compresi gli infanti, era considerata incapace anche della minima comprensione numerica (Rugani & Regolin, 2021). Pochi studi, dopo questo sfortunato episodio, cercarono di dimostrare le abilità numeriche degli animali, come Koehler (1943), zoologo tedesco che cercò di studiarle in diverse specie di uccelli o Mechner (1958) che con i ratti riprese una variazione della procedura usata da Ferster and Skinner (1957) su ratti e piccioni. Solo verso la fine del XX secolo hanno iniziato a prendere piede crescenti evidenze e dimostrazioni della presenza di anche semplici capacità numeriche, come discriminazione di quantità e compiti non simbolici, in diverse specie. Sia chiaro, le abilità che cercarono di dimostrare col cavallo Hans si riferiscono a quelle precedentemente definite simboliche e più astratte che richiedono un'educazione più approfondita per essere padroneggiate, includendo anche delle componenti verbali per un'ottima comprensione, negli studi successivi invece, grazie alla creazione di paradigmi ad hoc ed allo studio dei comportamenti in contesti più ecologici, si è visto come molte specie possiedano competenze numeriche, che rispondono a esigenze evolutive di sopravvivenza, avendo quindi valenza adattiva e non utilizzate solamente come ultima risorsa in assenza di possibilità alternative (Nieder, 2020).

Nei molti studi che si sono sviluppati negli ultimi decenni le numerose specie testate comprendono mammiferi (inclusi infanti molto piccoli, e.g., Xu & Spelke, 2000,

Cantlon & Brannon, 2007, Vonk, 2013), uccelli (e.g., Hunt et al., 2008, Rugani et al., 2013), pesci (e.g., Agrillo et al., 2012) e alcune tra rettili (e.g., Gazzola et al., 2018) e anfibi (e.g., Uller et al., 2003, Stancher et al., 2014). Tutte queste ricerche hanno quindi permesso di ipotizzare, almeno nei vertebrati, come nel contesto di abilità numeriche non simboliche è possibile che sia presente un sistema di codifica numerica condiviso a livello interspecifico e che come riporta Agrillo and Bisazza (2014) “parecchie linee di ricerca indicano come le nostre abilità numeriche simboliche fondino le loro basi su un sistema numerico non simbolico” suggerendo come anche negli infanti, per un buono sviluppo delle prime, sia necessaria una solida comprensione delle seconde.

Ciononostante, nell’espandere la comprensione numerica tra le specie poche sono le ricerche condotte sugli invertebrati, in Bortot et al. (2021) viene proposta un’analisi dei principali studi condotti finora in tale ambito e osserva come tale negligenza “sia dovuta principalmente ai loro cervelli più piccoli e a differenti tratti comportamentali, anatomici e ecologici” e ancora “Tuttavia, diversi studi hanno ormai chiaramente dimostrato come informazioni basate sulla numerosità possono fornire un vantaggio in termini di adattamento anche agli invertebrati” (ibidem).

A livello metodologico, tuttavia, Agrillo and Petrazzini (2012) fanno notare il rischio, specialmente per specie esotiche difficili da reperire o avere a disposizione per prolungati periodi di tempo, di avere dimensioni del campione non sufficienti a livello di validità statistica per poter generalizzare i risultati ottenuti. Inoltre, riguardo alla replicabilità di tali studi, uno dei principi fondanti della scienza, espongono un interessante osservazione riguardo possibili bias delle linee guida delle riviste internazionali dove “solitamente incoraggiano disegni di ricerca originali con nuovi approcci e risultati piuttosto che la replicazione di studi precedenti. [...] Come conseguenza c’è il rischio di arrivare a conclusioni inadeguate riguardo ai meccanismi cognitivi di alcune specie” (ibidem).

Preso tutto ciò in considerazione in questo studio si è voluto contribuire alla crescente letteratura sulla cognizione numerica negli invertebrati testando un insetto (*Anthia thoracica*) e in particolare in questa porzione della ricerca ci si è concentrati su un test di libera scelta fra due quantità diverse nel quale ci si aspetta che, come nelle altre specie, possieda l’abilità di discriminare ed in tal caso di scegliere la maggiore.



# CAPITOLO 1

## Nozioni teoriche

### 1.1 Due approcci metodologici

Nella maggior parte degli studi riguardanti le abilità numeriche degli animali i principali approcci metodologici di cui viene fatto uso sono sostanzialmente due: i test di scelta spontanea (*spontaneous choice tests*) e le procedure di training (*training procedures*). Nel primo caso, solitamente, si dispongono di fronte al soggetto due gruppi di stimoli per lui rilevanti in quantità differenti che possono essere biologici, come cibo (più utilizzato) o stimoli sociali/partner sessuali, ma anche oggetti artificiali o loro caratteristiche particolarmente salienti, una volta posizionato il soggetto gli viene lasciata completa libertà di scelta nell'approcciare gli stimoli; l'assunzione è che se il soggetto è in grado di discriminare le quantità ci si aspetta che andrà spontaneamente verso quella che lo attrae maggiormente. Ad esempio, se lo sperimentatore posiziona due piatti contenenti quantità diverse dello stesso tipo di cibo ci si aspetta che il soggetto vada da quello a quantità maggiore per massimizzarne la possibilità di assunzione. Nel tempo si sono sviluppate molte variazioni a tale procedura per cercare di controllare l'effetto confondente dell'impiego di dimensioni continue (e.g., l'area sottesa dagli stimoli o la loro densità) piuttosto che discrete nella discriminazione, ad ogni modo, per la natura stessa del compito è comunque difficile controllare tutte le possibili variabili non numeriche. Nel secondo caso al soggetto è richiesto il raggiungimento di un criterio di apprendimento, ottenuto tramite l'associazione di uno stimolo neutro ad una regola numerica che, se eseguita correttamente viene rinforzata da una ricompensa, tipicamente alimentare. In questa procedura è necessario un maggiore tempo di abituação al compito e numerosi passaggi per raggiungere il criterio di apprendimento, considerato tale quando si hanno il 70-80% di risposte corrette in 2 test di prova consecutivi. Ad esempio, ad un soggetto viene data una ricompensa quando seleziona su uno schermo il gruppo che, fra due, rappresenta la quantità maggiore di pallini. Per la natura del processo di apprendimento e di come vengono presentati gli stimoli è permesso un maggiore controllo sulle variabili confondenti e sull'influenza di quantità continue (Agrillo & Bisazza, 2014).

In entrambi gli approcci le variabili dipendenti di interesse solitamente riguardano il

primo stimolo scelto e il tempo impiegato alla scelta/vicino gli stimoli.

Come appena descritto i due approcci si differenziano per numerosi aspetti che sottendono diverse implicazioni teoriche e pratiche, ad esempio, mentre il primo presenta maggiore validità ecologica ed è molto probabile assistere all'utilizzo di comportamenti spontanei che involvano abilità numeriche esibite anche in natura, non permette un controllo tale delle variabili che si vogliono studiare, ed eventuali confondenti, raggiungibile con il secondo metodo che di conseguenza permette anche maggiore affidabilità nei confronti interspecifici, altro aspetto è quello motivazionale che andrà tendenzialmente a diminuire all'avanzare delle prove nella scelta spontanea, mentre è sempre tenuto elevato grazie alle ricompense con conseguente possibilità di svolgere più prove con un singolo soggetto. Non è da escludere comunque la possibilità di un approccio integrato che riesca a unire i vantaggi di entrambi i metodi (Agrillo & Bisazza, 2014).

È facile notare come entrambi i metodi presentino pro e contro e come potrebbe sembrare vantaggioso adottarne uno piuttosto che un altro; riguardo a questo Agrillo and Dadda (2007) mostrano l'importanza di considerare ogni aspetto e implicazione nella scelta della procedura in quanto l'uso di metodi diversi per studiare il medesimo costrutto possono portare risultati diversi sullo stesso soggetto.

## 1.2 Sistemi numerici: Verbali e Non verbali

Le abilità numeriche, distinte all'inizio come simboliche e non simboliche, possono essere definite altresì come verbali e non verbali.

Le abilità sottese dal sistema numerico verbale, come indicato dal nome, sono abilità che si acquisiscono solo in seguito allo sviluppo di capacità linguistico-verbali e che quindi possono contare sull'ausilio di processi più astratti e simbolici, quali appunto il linguaggio e simboli matematici, per eseguire compiti più complessi come operazioni e conteggi; in riferimento a questi ultimi Gelman and Gallistel (1978) proposero un modello per definire come lo sviluppo di tali capacità sia governato da cinque principi: *the counting principles*.

Diversamente da quelle appena descritte, le abilità del sistema non verbale sono tali in quanto non necessitano di una base linguistica per essere sfruttate, di conseguenza, come riportato nelle numerose ricerche menzionate nell'introduzione, è stato possibile

dimostrarne largamente la presenza anche in soggetti non umani e umani privi di abilità linguistiche, dove anzi, queste ultime, come riportano Gallistel and Gelman (1992), costituirebbero le fondamenta dei cinque principi e quindi delle abilità verbali stesse. Ad oggi la letteratura scientifica ha potuto individuare come nel processamento di quantità numeriche le abilità non verbali si possano dividere a loro volta in due sistemi distinti: l'*Object File System* (OFS) che è responsabile della rappresentazione mentale di piccole quantità, in particolare minori di quattro, agisce in modo rapido e implicito ma con alta precisione senza bisogno di contare, dove ogni oggetto viene individuato e trattenuto singolarmente nella memoria di lavoro, e l'*Approximate Number System* (ANS) che al contrario permette una rappresentazione approssimativa di quantità superiori ai 4 elementi e che come riporta Agrillo, Piffer, et al. (2012) “Idealmente non presenta limiti numerici nella discriminazione se non quelli imposti dalla legge di Weber riguardo al rapporto numerico tra le quantità da discriminare”.

Mentre nell'uomo la ricerca si è occupata di sondare la presenza di questi due sistemi già negli infanti (e.g., Feigenson et al., 2002, Corre & Carey, 2007) rispetto gli altri animali Stancher et al. (2014) riporta “L'esistenza di un OFS è dibattuto in animali non umani. [...] Inoltre, evidenze in diverse specie suggeriscono come l'AMS possa essere sfruttato anche nella discriminazione di piccole quantità” ipotizzando come l'ANS possa essere sufficiente sia per la discriminazione di piccole che grandi quantità. Alcune evidenze, tuttavia, sembrerebbero non escludere la possibilità di due sistemi separati anche per soggetti non umani (Rugani et al., 2008, Agrillo, Piffer, et al., 2012).

### 1.3 *Weber's law*

Precedentemente si è nominata la legge di Weber e di come governi la discriminazione di quantità sottesa dall'ANS, in base al rapporto numerico delle quantità stesse. Tale legge comprende al suo interno due effetti: il *numerical distance effect* che definisce come valori vicini tra loro sono più difficili da discriminare e più aumenta la distanza tra loro più sarà facile distinguerli e il *numerical size effect* per il quale è più semplice distinguere valori vicini tra loro se sono piccoli piuttosto che alla stessa distanza ma più grandi; da questi presupposti viene definito come secondo la legge di Weber la capacità di discriminazione di due valori non dipende tanto dai valori assoluti che li separano quanto dal rapporto tra i due (il valore limite discriminabile è

definito da una costante ottenuta dalla frazione di Weber) (Nieder, 2020).

Seguendo questa legge è quindi plausibile pensare l'esistenza di un unico ANS in animali non umani in cui incapacità di discriminazione sono ascrivibili ad un rapporto numerico troppo ravvicinato mentre discriminazioni per numerosità minori sono spiegate dal *numerical size effect*.

#### 1.4 *SNARC effect*

L'effetto SNARC ovvero *Spatial Numerical Association of Response Codes* fa riferimento a quel processo secondo cui l'essere umano rappresenterebbe i numeri mentalmente, orientandoli spazialmente lungo una linea numerica mentale che dispone le numerosità minori a sinistra e le maggiori a destra, riscontrando come i soggetti risponderebbero più velocemente al riconoscimento di numeri se quelli più piccoli compaiono a sinistra e quelli più grandi a destra (Dehaene et al., 1993).

Alcuni studi (e.g., Rugani et al., 2020, Giurfa et al., 2022) supporterebbero l'ipotesi secondo cui questo effetto e conseguentemente questa rappresentazione non siano prerogativa umana ma si possano riscontrare anche in altre specie.

## CAPITOLO 2

### Studio sulle abilità numeriche di un invertebrato

#### 2.1 Ipotesi e obiettivi

In questa parte di ricerca ci si è voluti concentrare sullo studio delle capacità di un coleottero appartenente alla famiglia dei carabidi, in particolare alla specie *Anthia thoracica*, di discriminare diverse grandezze numeriche. Lo studio si articola in due esperimenti con diverse quantità e proporzioni da discriminare, 1 contro 4 e 1 contro 3 con lo scopo di verificare la possibile presenza di due sistemi separati per la codifica di quantità oppure se è più plausibile la presenza di un unico ANS sia per grandi che piccole numerosità. Sotto quest'ultima ipotesi ci dovremmo aspettare una maggiore facilità di discriminazione nel confronto 1 vs. 4 in quanto il rapporto tra le quantità (0.25) è minore rispetto 1'1 vs. 3 (0.34).

#### 2.2 Materiali e metodi

##### Soggetti

Per entrambe le sperimentazioni sono stati utilizzati 10 esemplari adulti, 7 femmine e 3 maschi, di *Anthia thoracica*, coleottero originario dei territori africani della Namibia, Tanzania e Sud Africa, presenti al museo Esapolis di Padova. La scelta di tale insetto è stata fatta in seguito a prove su più specie di invertebrati, tra le quali questa si è rivelata essere la più responsiva, probabilmente anche grazie al fatto che essendo un predatore risulta più motivato da stimoli alimentari. Per i due mesi di sperimentazione (giugno-luglio) i soggetti sono stati tenuti in un terrario all'interno della stanza di sperimentazione, a temperatura di 25-28°C e umidità al 50-60%, illuminato da una lampada con un fotoperiodo di 12 ore di luce e 12 ore di buio; venivano cibati 2 volte a settimana con circa 1 larva di tarma della farina (*Tenebrio molitor*) viva a testa e acqua ad libitum, così da poter essere motivate dagli stimoli alimentari durante la sperimentazione.

##### Materiali

L'apparato sperimentale (Fig.5) consiste in una struttura interamente in polionda, composta da un'anticamera rettangolare (7.5 cm x 24 cm) inserita in un'arena

trapezoidale (base minore 8 cm, base maggiore 70 cm, lati 40 cm) lungo il lato minore; l'anticamera è rialzata rispetto l'arena di 5 cm ed è collegata a quest'ultima tramite una rampa (lunghezza 9 cm, pendenza circa 45°). Appena prima della rampa, è posizionata una parete con un'apertura centrale (4 cm x 4 cm) che permette al soggetto di vedere l'arena da un punto sopraelevato e accedervi centralmente, standardizzandone così la posizione per ogni trial, inoltre, la rampa è fatta in modo da impedire la risalita nell'anticamera. Le pareti di tutto l'apparato hanno un'altezza di 15 cm. Il pavimento dell'arena è completamente ricoperto da uno strato di sabbia su cui vengono collocati due contenitori di plastica trasparente (6 cm x 6 cm, alti 1.5 cm), uno a destra e uno a sinistra rispetto l'anticamera, distanti 8 cm dai lati e 10 cm tra loro, dentro i quali vengono posizionati gli stimoli alimentari, anche in questo caso costituiti da larve di *Tenebrio molitor* vive. L'intero apparato è illuminato dall'alto in modo da avere un'illuminazione omogenea evitando zone d'ombra.

#### Procedura

In entrambe le sperimentazioni è stata utilizzata la stessa arena con le medesime procedure.

Inizialmente il soggetto viene preso dal terrario e posizionato sotto un contenitore di plastica trasparente (13 cm x 9.5 cm, alti 6 cm), dopo circa 1 minuto di abituazione il contenitore viene sollevato e il soggetto è libero di esplorare l'apparato sperimentale per altri 10 minuti di abituazione all'arena. Allo scadere del tempo il soggetto viene riposizionato nell'anticamera sotto il contenitore per un ulteriore minuto, dopo il quale parte la sperimentazione. Nuovamente il contenitore viene alzato e il soggetto è libero di muoversi nell'apparato, il trial è considerato valido quando il soggetto appropria in modo interessato (e.g., cercando di catturarlo aprendo e chiudendo le zanne) uno degli stimoli alimentari contenuti nei due contenitori, non dovendolo quindi necessariamente mangiare, altrimenti si considera trial nullo allo scadere di dieci minuti passati nell'arena senza appropria in modo diretto e interessato gli stimoli. A trial concluso si riposiziona il soggetto nell'anticamera, sotto il contenitore, aspettando, per il trial successivo: 1 minuto nel caso il precedente fosse risultato nullo, altrimenti fino a quando il soggetto non ha terminato di mangiare lo stimolo catturato. Si ripete la procedura fino al numero di trial prestabilito. Quando il soggetto non è presente

nell'anticamera questa viene pulita da eventuali pezzi di cibo residui in quanto costituenti una distrazione data dal tentativo di mangiarli ancora.

Ogni soggetto è stato sottoposto a sessioni di test di 20 trial per il confronto 1 vs. 4 e 20 trial per il confronto 1 vs. 3, se dopo una serie di trial i soggetti risultavano poco motivati si dividevano i 20 trial in due sessioni di test da 10 trial ciascuno in giornate differenti, dopo 3 trial nulli consecutivi la sessione di test per quel soggetto veniva interrotta e veniva ritestato nei giorni successivi (in alcuni casi anche sessioni successive non hanno portato al completamento di tutti e 20 i trial, riuscendo comunque ad ottenere una buona quantità di prove).

Per ogni trial sono stati selezionati come stimoli larve della stessa grandezza che venivano posizionate all'interno dei due contenitori nei quali erano libere di muoversi. Vista l'attenzione maggiore dei soggetti sperimentali a prede in movimento rispetto quelle immobili ci si è assicurati che per l'intera durata dei trial ogni larva si muovesse sufficientemente per ridurre eventuali bias dati dal movimento. Ogni dieci trial i contenitori degli stimoli venivano sostituiti per evitare bias di eventuali tracce olfattive, allo stesso modo anche larve presenti per più trial venivano sostituite.

La disposizione nei contenitori dello stimolo target, ovvero quello che presenta la numerosità maggiore di larve, è stata definita con una sequenza semi-random, alternandola tra destra e sinistra, così da evitare effetti di abitudine spaziale (dx, sx, dx, sx, dx, dx, sx, sx, dx, sx, sx, dx, sx, dx, sx, sx, dx, dx, sx, dx; Fellows, 1967, Stancher et al., 2014).

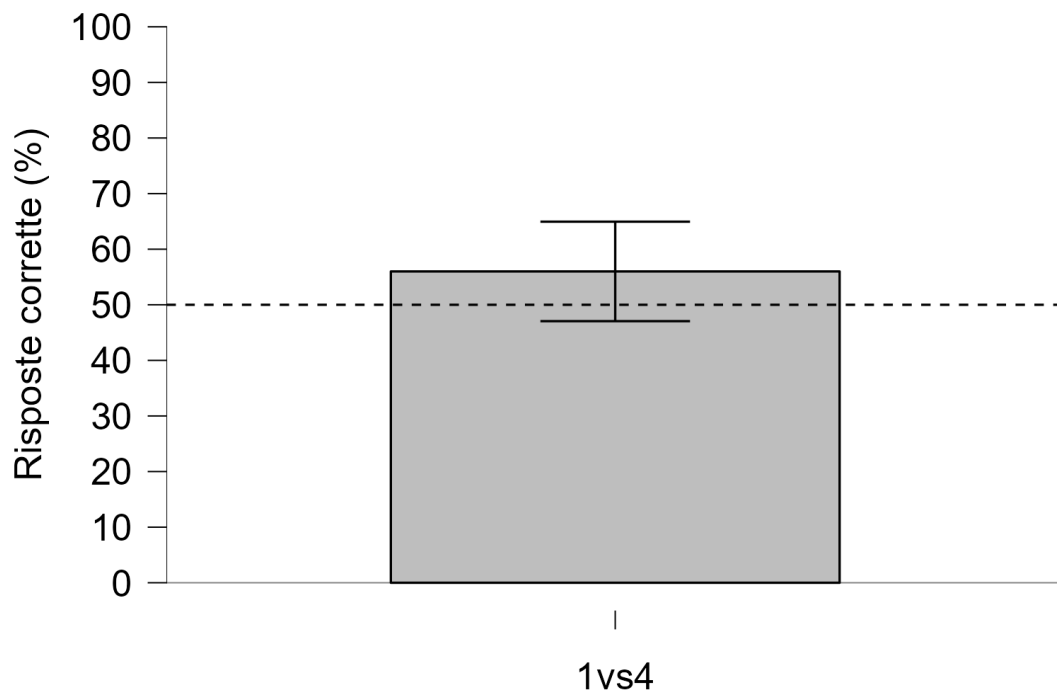
### 2.3 Risultati

Per ogni esperimento è stata utilizzata nell'analisi la percentuale di “risposte corrette” (intese come la scelta dello stimolo 4 e dello stimolo 3) di ogni soggetto nei trial svolti, inoltre, è stata calcolata la percentuale della direzione della scelta, se a destra o sinistra, dove in questo caso quella considerata “risposta corretta” è stata la destra. L'analisi è stata svolta con un *t* test non parametrico ad un campione (test di Wilcoxon dei ranghi con segno) per determinare se l'andamento delle scelte fosse casuale (50%).

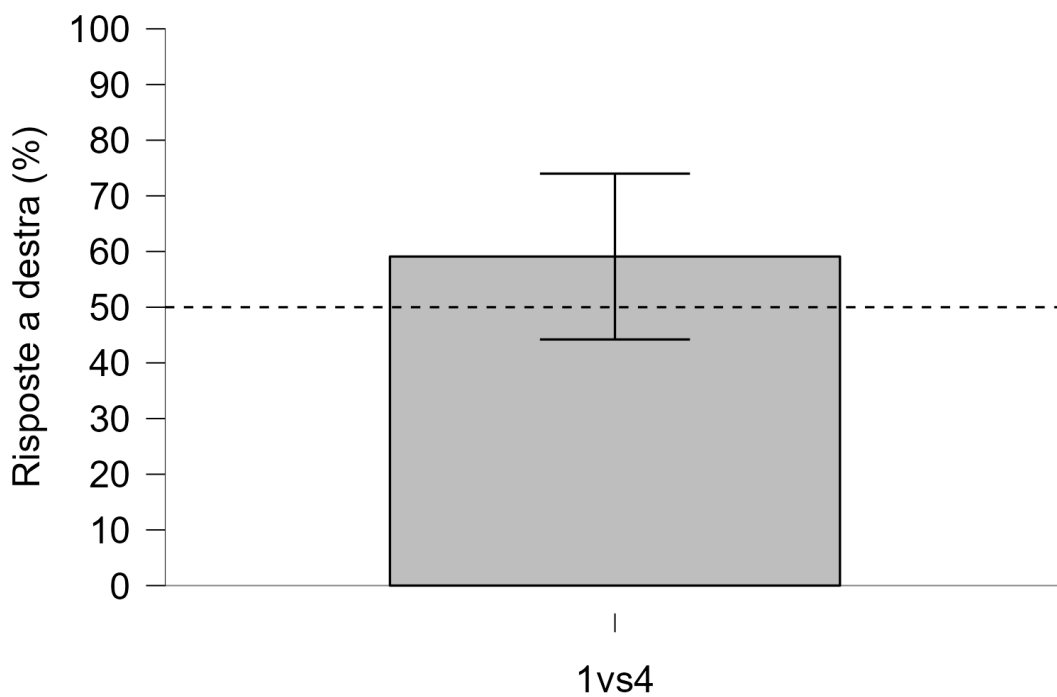
#### Esperimento 1 (1 vs. 4)

Per quanto riguarda il confronto 1 contro 4 i risultati non hanno mostrato una

significativa preferenza per uno dei due stimoli, sia per quanto riguarda la quantità ( $V = 34$ ;  $p = 0.191$ ) (Fig. 1) che la direzione ( $V = 38.5$ ;  $p = 0.284$ ) (Fig. 2).



**Fig. 1** N = 10, Media = 56, SD = 12.508, SE = 3.955

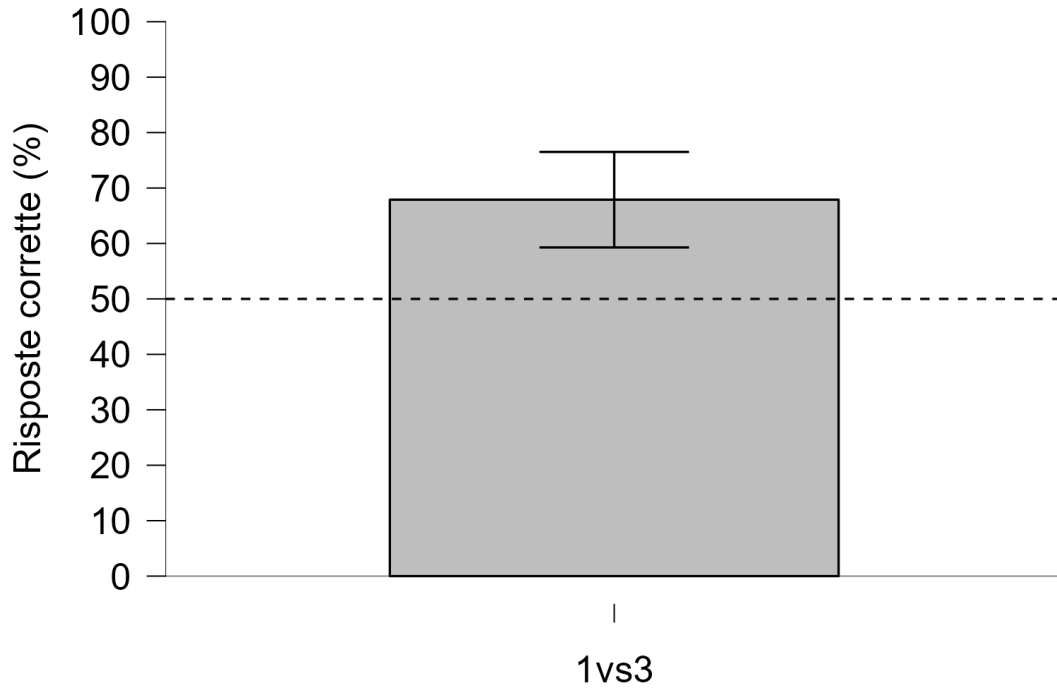


**Fig. 2** N = 10, Media = 59.1, SD = 20.819, SE = 6.584

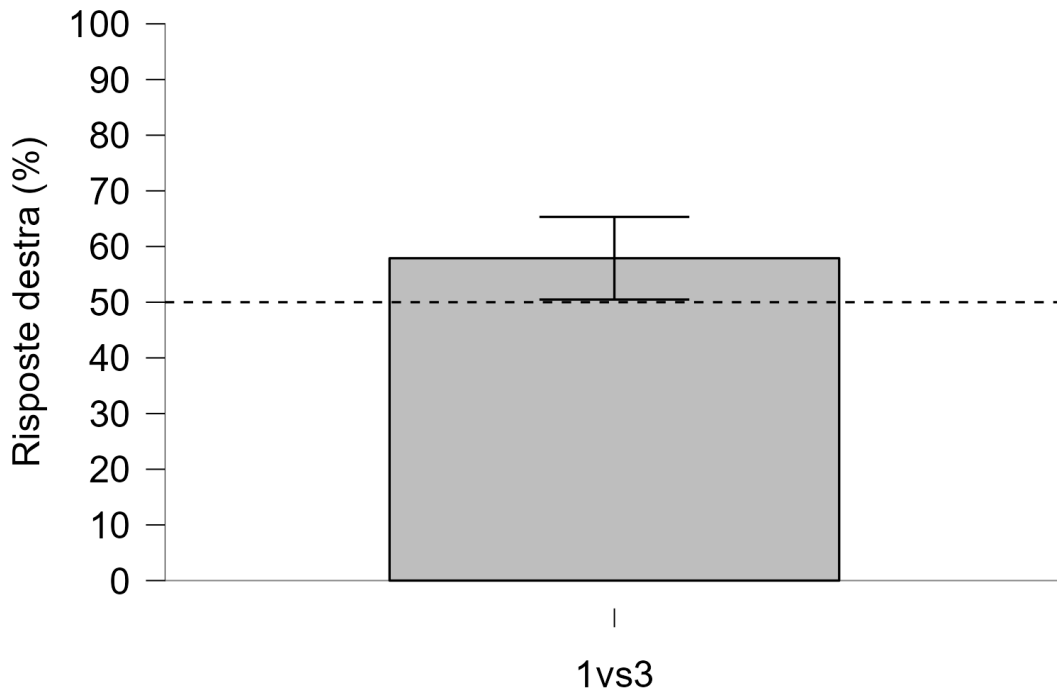


Esperimento 2 ( 1 vs. 3)

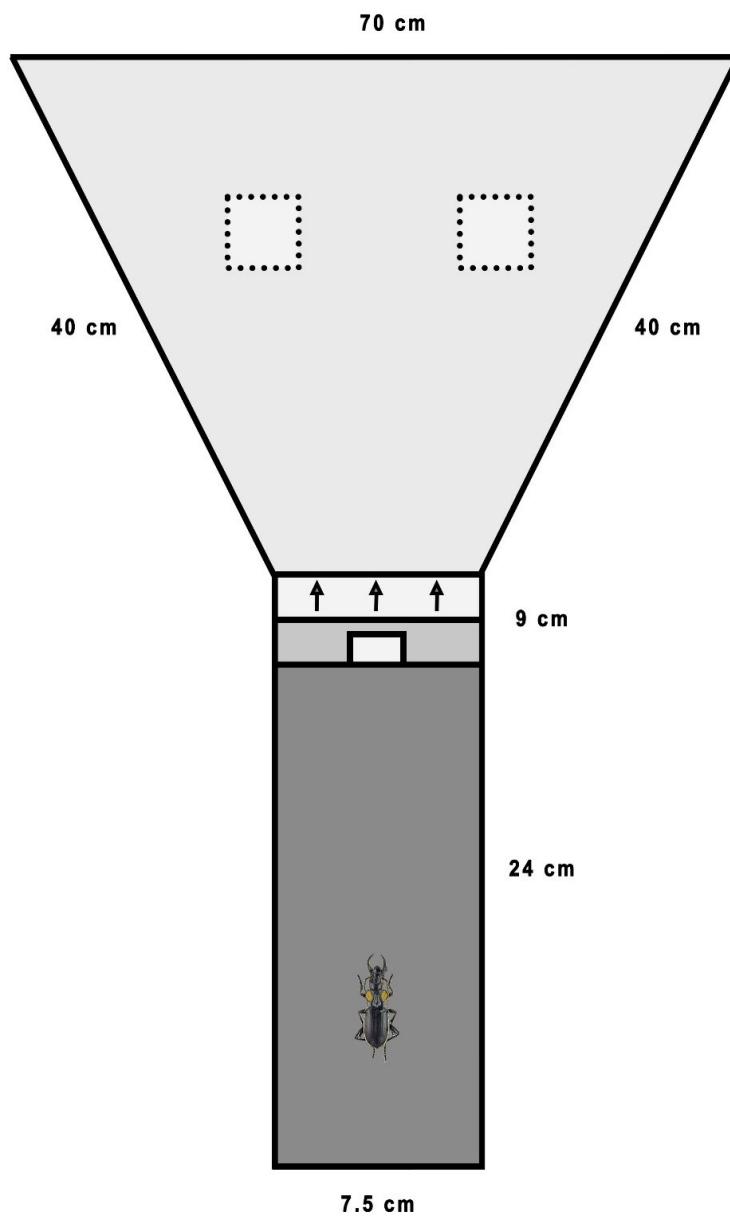
Riguardo il confronto 1 contro 3 i risultati hanno mostrato una significativa preferenza per la quantità maggiore ( $V = 55$ ;  $p = 0.002$ ) (Fig. 3) con una buona, anche se non fortissima, preferenza verso la destra ( $V = 31$ ;  $p = 0.079$ ) (Fig. 4).



**Fig. 3** N = 10, Media = 67.9, SD = 12.041, SE = 3.808



**Fig.4** N = 10, Media = 57.9, SD = 10.376, SE = 3.281



**Fig. 5** Rappresentazione con misure dell'apparato utilizzato

## CONCLUSIONI

Come da ipotesi e successivamente come suggeriscono i dati ottenuti è plausibile affermare che questa specie di invertebrato possieda delle capacità di discriminazione nel confronto 1 vs. 3, tuttavia, dai risultati precedentemente esposti è altresì possibile notare come, contrariamente alle aspettative, non sembra essere in grado di discriminare il confronto 1 vs. 4. In riferimento agli aspetti teorici illustrati inizialmente, i risultati ottenuti portano a pensare come, diversamente dalla presenza di un unico sistema numerico di discriminazione (ANS) ipotizzato precedentemente, sia plausibile la presenza di un ulteriore sistema OFS per la codifica di quantità inferiori a quattro elementi in quanto secondo la legge di Weber ci si aspetterebbe che la discriminazione 1:4 risulti più facile rispetto l'1:3, considerato che presenta un rapporto minore tra le quantità (0.25 contro 0.34), tuttavia, i risultati non sembrano mostrare tale andamento, evidenziando come il quattro risulti essere un valore ambiguo sulla soglia tra i due sistemi.

In relazione ai dati ottenuti riguardo la direzione di scelta, sebbene non mostrino grosse evidenze, è plausibile pensare come ulteriori approfondimenti potrebbero indagare la presenza, anche in questi soggetti, dell'effetto SNARC e quindi di una conseguente rappresentazione numerica mentale di tipo spaziale.

In conclusione, nonostante il numero ristretto di sperimentazioni attuate in questo studio le osservazioni ottenute possono rappresentare l'inizio di una linea di ricerca più approfondita rispetto questa specie di insetti, e non solo. Prendendo inoltre atto delle limitazioni imposte dall'utilizzo di un approccio di scelta spontanea si consiglia, in particolare, l'utilizzo di metodologie che permettano un maggiore controllo delle variabili in gioco, non escludendo comunque un approccio integrato fra le due.



## BIBLIOGRAFIA

- Agrillo, C., & Bisazza, A. (2014). Spontaneous versus trained numerical abilities. A comparison between the two main tools to study numerical competence in non-human animals. *Journal of Neuroscience Methods*, 234, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.04.027>
- Agrillo, C., & Dadda, M. (2007). Discrimination of the larger shoal in the poeciliid fish *Girardinus falcatus*. *Ethology Ecology & Evolution*, 19(2), 145–157. <https://doi.org/10.1080/08927014.2007.9522574>
- Agrillo, C., & Petrazzini, M. E. M. (2012). The importance of replication in Comparative Psychology: The Lesson of Elephant Quantity Judgments. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00181>
- Agrillo, C., Petrazzini, M. E. M., Tagliapietra, C., & Bisazza, A. (2012). Inter-Specific differences in numerical abilities among teleost fish. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00483>
- Agrillo, C., Piffer, L., Bisazza, A., & Butterworth, B. (2012). Evidence for two numerical systems that are similar in humans and guppies. *PLOS ONE*, 7(2), e31923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031923>
- Bortot, M., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2021). A sense of number in invertebrates. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 564, 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.11.039>
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). How much does number matter to a monkey (Macaca mulatta)? *Journal of Experimental Psychology*, 33(1), 32–41. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.33.1.32>
- Corre, M. L., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, 105(2), 395–438. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.10.005>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. D. (2002). The representations underlying infants' choice of more: object files versus analog magnitudes. *Psychological Science*, 13(2), 150–156. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00427>
- Fellows, B. J. (1967). Change stimulus sequences for discrimination tasks. *Psychological Bulletin*, 67(2), 87–92. <https://doi.org/10.1037/h0024098>
- Ferster, C. B., & Skinner, B. F. (1957). Schedules of reinforcement. In *Appleton-Century-Crofts eBooks*. <https://doi.org/10.1037/10627-000>
- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, 44(1–2), 43–74. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(92\)90050-r](https://doi.org/10.1016/0010-0277(92)90050-r)
- Gazzola, A., Vallortigara, G., & Pellitteri-Rosa, D. (2018). Continuous and discrete quantity discrimination in tortoises. *Biology Letters*, 14(12), 20180649. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0649>
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). The child's understanding of number. *Cambridge, ma.: Harvard University*.

- Giurfa, M., Marcout, C., Hilpert, P., Thevenot, C., & Rugani, R. (2022). An insect brain organizes numbers on a left-to-right mental number line. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(44). <https://doi.org/10.1073/pnas.2203584119>
- Hunt, S., Low, J., & Burns, K. C. (2008). Adaptive numerical competency in a food-hoarding songbird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1649), 2373–2379. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0702>
- Koehler, O. (1943). „Zähl“-Versuche an einem Kolkraben und Vergleichsversuche an Menschen. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 5(3), 575–712. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1943.tb00665.x>
- Mechner, F. (1958). PROBABILITY RELATIONS WITHIN RESPONSE SEQUENCES UNDER RATIO REINFORCEMENT<sup>1</sup>. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 1(2), 109–121. <https://doi.org/10.1901/jeab.1958.1-109>
- Nieder, A. (2020). The adaptive value of numerical competence. *Trends in Ecology and Evolution*, 35(7), 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.02.009>
- Rugani, R., Cavazzana, A., Vallortigara, G., & Regolin, L. (2013). One, two, three, four, or is there something more? Numerical discrimination in day-old domestic chicks. *Animal Cognition*, 16(4), 557–564. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0593-8>
- Rugani, R., Regolin, L. (2021). Numerical Abilities in Nonhumans: The Perspective of Comparative Studies. In: Danesi, M. (eds) *Handbook of Cognitive Mathematics*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-44982-7\\_39-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44982-7_39-1)
- Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2008). Discrimination of small numerosities in young chicks. *Journal of Experimental Psychology*, 34(3), 388–399. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.34.3.388>
- Rugani, R., Vallortigara, G., Priftis, K., & Regolin, L. (2020). Numerical magnitude, rather than individual bias, explains spatial numerical association in newborn chicks. *eLife*, 9. <https://doi.org/10.7554/elife.54662>
- Stancher, G., Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2014). Numerical discrimination by frogs (*Bombina orientalis*). *Animal Cognition*, 18(1), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0791-7>
- Uller, C., Jaeger, R. G., Guidry, G., & Martin, C. (2003). Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Animal Cognition*, 6(2), 105–112. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0167-x>
- Vonk, J. (2013). Quantity matching by an orangutan (*Pongo abelii*). *Animal Cognition*, 17(2), 297–306. <https://doi.org/10.1007/s10071-013-0662-7>
- Xu, F., & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74(1), B1–B11. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(99\)00066-9](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(99)00066-9)