



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione Neuropsicologica

Tesi di Laurea Magistrale

**La discriminazione di quantità nel cane domestico (*Canis familiaris*):
il ruolo delle esperienze precedenti in un compito di scelta spontanea**

**Quantity discrimination in the domestic dog (*Canis familiaris*): the role of previous
experiences in a spontaneous choice task**

Relatrice

Prof.ssa Lucia Regolin

Correlatrice

Dott.ssa Maria Loconsole

Laureanda: Federica Andriolo

Matricola: 2016719

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

ABSTRACT	1
CAPITOLO 1	3
INTRODUZIONE	3
1.1 Le abilità numeriche negli animali	3
1.2 La discriminazione di quantità negli animali	5
1.2.1 Principali metodologie di indagine.....	8
1.2.1.1 Osservazione delle scelte spontanee.....	8
1.2.1.2 Procedure di addestramento.....	9
1.3 La discriminazione di quantità nei cani.....	10
1.3.1 Discriminazione di quantità e domesticazione: confronto tra cani e lupi.....	15
1.3.2 Fattori che possono influenzare la prestazione e implicazioni metodologiche ..	16
1.3.2.1 Motivazione e rinforzo	17
1.3.2.2 Apprendimento ed esperienza	21
1.3.2.3 Abilità olfattive.....	23
1.3.2.4 Abilità sociali.....	24
1.4 Obiettivi della ricerca	26
CAPITOLO 2	29
ESPERIMENTO 1. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ DOPO L'ESPERIENZA DIRETTA DI UN PRE-TEST	29
2.1 Materiali e metodi.....	29
2.1.1 Soggetti.....	29
2.1.2 Materiali.....	30
2.1.3 Procedura.....	33
2.2 Risultati.....	36

2.3 Discussione.....	38
CAPITOLO 3	45
ESPERIMENTO 2. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ DOPO L'ESPERIENZA INDIRETTA DI UN PRE-TEST.....	45
3.1 Materiali e metodi.....	45
3.1.1 Soggetti.....	45
3.1.2 Materiali.....	46
3.1.3 Procedura.....	46
3.2 Risultati.....	47
3.3 Discussione.....	49
CONCLUSIONI.....	53
BIBLIOGRAFIA	55

ABSTRACT

La capacità di discriminare spontaneamente due quantità diverse di cibo è stata documentata in numerose specie animali, tra cui i cani domestici. Tuttavia, la metodologia utilizzata nello studio di questa abilità può influenzare i risultati ottenuti. Uno studio recente ha evidenziato come la prestazione dei cani in un test di scelta spontanea a prove ripetute sia accurata solamente a partire dalla prova successiva alla prima, suggerendo che sia importante esperire la procedura sperimentale per poter affrontare il test con successo. La presente ricerca ha quindi indagato il ruolo dell'esperienza precedente sulla performance dei cani domestici tramite due esperimenti in cui il test di discriminazione (confronto 2vs4) veniva preceduto da una prova di familiarizzazione. L'ipotesi sperimentale prevede che, se i cani apprendono il funzionamento del test nella prova di familiarizzazione, dovrebbero scegliere accuratamente la quantità maggiore nella prima prova del compito. Nel primo esperimento, la prova di familiarizzazione consisteva nella scelta tra due quantità di cibo uguali (confronto 3vs3) e veniva svolta dal cane; nel secondo esperimento, la stessa prova veniva svolta da un dimostratore umano mentre il cane lo osservava. Dai risultati di entrambi gli esperimenti non è emersa un'influenza significativa della prova di familiarizzazione sull'accuratezza nella prima prova del test, suggerendo che l'esperienza non sia stata sufficiente affinché i cani comprendessero il funzionamento del compito. Tuttavia, l'insuccesso della discriminazione nella prima prova potrebbe essere più semplicemente attribuito alla generale scarsa performance rilevata al test. Nella presente ricerca, quindi, non è possibile chiarire il ruolo dell'esperienza precedente sulla performance. Ciò nonostante, dall'osservazione qualitativa delle prestazioni è possibile trarre alcune considerazioni sui fattori che possono influenzare il comportamento dei cani in compiti simili.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Le abilità numeriche negli animali

Uno dei primi esempi di interesse per le abilità numeriche negli animali è rappresentato dal famoso caso del cavallo “Clever Hans” che, secondo il proprietario, era capace di compiere operazioni matematiche e di fornire le risposte esatte battendo lo zoccolo per un numero di volte uguale al risultato dell’operazione. Analizzando il caso, Pfungst (1911) scoprì che il cavallo, in realtà, non era capace di contare ma rispondeva correttamente perché era molto abile nel decifrare i movimenti e le microespressioni facciali che l’esaminatore produceva involontariamente quando Hans si avvicinava alla risposta corretta. A causa di questo insuccesso, lo studio delle abilità numeriche negli animali è stato trascurato per molti anni. Le prime prove convincenti di competenze numeriche in diversi mammiferi e uccelli sono state fornite qualche decennio dopo da Koehler, che ha implementato nelle proprie procedure sperimentali il rigore metodologico carente nel caso di Hans. Ad esempio, Koehler e i suoi collaboratori hanno addestrato con successo dei piccioni (*Columba livia*) a scegliere, tra due gruppi di granelli, quello corrispondente a una data numerosità, e taccole (*Corvus monedula*) a individuare tra due configurazioni di stimoli di diversa numerosità l’alternativa che conteneva un numero di elementi uguale a quello di un campione di riferimento (Koehler, 1941, 1943). Durante i suoi esperimenti, Koehler evitava qualsiasi contatto diretto con gli animali testati per escludere la possibilità di influenzare il loro comportamento. Negli anni successivi, l’interesse dei ricercatori si è concentrato prevalentemente sui primati e sulle specie di laboratorio come ratti e piccioni, le cui abilità numeriche sono state studiate tramite procedure di addestramento; in seguito, le indagini sulla cognizione numerica negli animali si sono ampliate allo studio di queste abilità in contesti più ecologici, includendo allo stesso tempo un numero sempre maggiore di specie. Ad oggi gli animali più studiati in questo campo sono i mammiferi, seguiti dagli uccelli; nell’ultimo decennio anche gli studi sui pesci hanno visto un rapido aumento, mentre anfibi e rettili rimangono meno indagati (Agrillo & Bisazza, 2018) (Fig. 1).

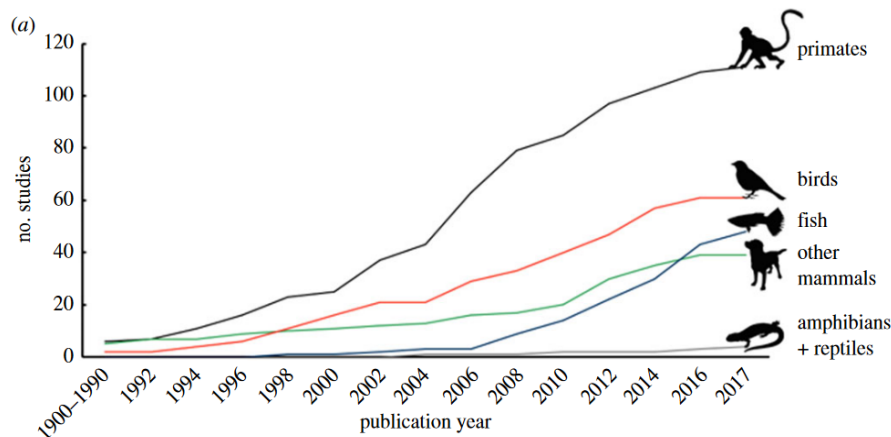


Figura 1. Il grafico mostra il numero di pubblicazioni sulle abilità numeriche negli animali dal 1900 al 2017 (Agrillo & Bisazza, 2018). Si può vedere come gli studi condotti sui primati siano i più numerosi in assoluto, seguiti da quelli sugli uccelli. Il numero di studi sugli altri mammiferi e sugli uccelli segue un andamento piuttosto lineare, mentre gli studi sui pesci sono aumentati rapidamente dalla metà degli anni 2000, arrivando quasi al livello di quelli sugli uccelli.

La ricerca sulla cognizione numerica negli animali ha l'obiettivo di indagare quali siano le specifiche abilità numeriche possedute dagli animali e i meccanismi cognitivi sottostanti che le supportano, studiando come queste si manifestano in condizioni semi-naturali o di laboratorio secondo un'ottica comparata, che prevede il confronto con le abilità numeriche possedute dall'uomo e che evidenzia i punti in comune tra le diverse specie. In particolare, è stato dimostrato che rudimentali abilità numeriche sono presenti poco dopo la nascita sia nell'uomo (Xu & Spelke, 2000) sia negli animali (Vallortigara et al., 2010; Piffer et al., 2013; Miletto Petrazzini et al., 2020), le quali sembrano supportate da un sistema cerebrale dedicato alla rappresentazione delle numerosità. Specifici neuroni, attivi mentre i soggetti erano impegnati in un compito numerico, sono stati individuati nel solco intraparietale (IPS) della corteccia cerebrale dei macachi (*Macaca mulatta*) (Nieder & Miller, 2004) e in strutture cerebrali analoghe nei corvi (*Corvus corone*) (Ditz & Nieder, 2016). Inoltre, anche nell'uomo l'IPS sembra avere un ruolo centrale nella rappresentazione delle numerosità (Nieder, 2005). Secondo diversi autori (Dehaene, 2001; Feigenson et al., 2004; Cantlon et al., 2009), anche a livello filogenetico esiste una continuità nelle abilità numeriche, che si sarebbero evolute in modo simile tra le specie in risposta alle stesse pressioni selettive o a partire da un

antenato comune perché fondamentali per la sopravvivenza e la riproduzione (Nieder, 2020). Le abilità numeriche, quindi, non sono una prerogativa umana ma sembrano essere universali (Dehaene et al., 1998).

1.2 La discriminazione di quantità negli animali

La più elementare delle abilità numeriche studiate negli animali, tanto da essere considerata una capacità proto-numerica, è la capacità di discriminare due quantità diverse (Vallortigara et al., 2010). Tale abilità consente di formulare dei giudizi di disuguaglianza tra due o più gruppi di elementi, per stabilire quali tra questi sia il più numeroso senza la necessità di conoscere esattamente il loro valore assoluto (Davis & Pérusse, 1988). Questi giudizi vengono chiamati “giudizi di numerosità relativa”, dove il termine “relativa” fa riferimento al fatto che la discriminazione avviene in relazione a una seconda quantità (Beran & Parrish, 2016). La maggior parte degli studi condotti sugli animali ha indagato la capacità di discriminare diversi gruppi di stimoli naturali e rilevanti, come cibo o conspecifici, o di stimoli artificiali e neutri, come figure presentate su un monitor. Ad esempio, i macachi (*Macaca mulatta*) distinguono gruppi composti da 1 a 4 figure geometriche (Cantlon & Brannon, 2007), gli scimpanzé (*Pan troglodytes*) sanno selezionare l'alternativa con un numero maggiore di pallini nei confronti numerici di valori compresi tra 1 e 8 (Tomonaga, 2008) e gli elefanti (*Loxodonta africana*) sono capaci di scegliere la quantità maggiore di pezzi di cibo tra due alternative diverse (Perdue et al., 2012). I corvi (*Corvus macrorhynchos*) preferiscono scegliere una configurazione di pallini più numerosa e non-familiare rispetto alla configurazione meno numerosa ma familiare (Bogale et al., 2011), le gambusie (*Gambusia holbrooki*) hanno dimostrato di saper discriminare configurazioni di stimoli nel confronto 2vs3 (Agrillo et al., 2009), i pesci angelo sono capaci di scegliere il gruppo di conspecifici più numeroso (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011) e le terme della farina (*Tenebrio molitor*) preferiscono la quantità maggiore di odore di feromoni femminili, indice del numero di possibili partner per l'accoppiamento (Carazo et al., 2009).

Uno degli interrogativi principali riguardo la discriminazione di quantità è se gli animali siano capaci di contare. Secondo Davis e Pérusse (1988), il conteggio si configura come un processo che permette di discriminare due insiemi in base alla loro cardinalità, termine

che si riferisce alla conoscenza del numero esatto di elementi di entrambi gli insiemi. La maggior parte delle ricerche sulla discriminazione di quantità, tuttavia, non permette di stabilire con certezza se gli animali possiedano questa capacità e molti ricercatori concordano sul fatto che gli animali non contano così come il contare viene inteso nell'uomo (Agrillo & Beran, 2013; Beran et al., 2015). Come proposto da Davis e Perusse (1988), l'utilizzo del termine "contare" dovrebbe essere ristretto alle evidenze che confermano la presenza di 5 principi formalizzati da Gelman e Gallistel (1978): principio di corrispondenza 1:1, dell'ordine stabile, di cardinalità, di astrazione e di irrilevanza dell'ordine. In tutti gli altri casi, sarebbe preferibile parlare più in generale di "competenza numerica". Questa revisione terminologica si trova in accordo con il canone di Morgan, che sottolinea la necessità di adottare le spiegazioni più parsimoniose alla base di un comportamento (Morgan, 1903).

Uno dei meccanismi che possono spiegare la discriminazione di quantità negli animali è l'utilizzo di indizi non-numerici. La numerosità, infatti, varia insieme a una serie di proprietà fisiche degli stimoli, chiamate "proprietà continue", come la superficie, la densità, lo spazio occupato, il volume, la lunghezza del contorno, la luminanza e la quantità di movimento (Beran et al., 2008; Agrillo et al., 2009; Krusche et al., 2010; Agrillo & Bisazza, 2014). Affinché sia possibile stabilire quali informazioni vengono privilegiate dagli animali nei compiti di discriminazione, gli esperimenti devono impiegare metodologie mirate al controllo delle proprietà continue (Agrillo & Bisazza, 2014). Nei casi in cui queste non siano state controllate adeguatamente, è più prudente parlare di "discriminazione di quantità" e non di "discriminazione numerica", sostituendo l'espressione "giudizi di numerosità relativa" con l'espressione "giudizi di quantità relativa" (Beran & Parrish, 2016), in linea con il canone di Morgan. Alcuni autori (Davis & Memmott, 1982; Davis & Pérusse, 1988) hanno proposto che gli animali utilizzino i numeri solamente come "ultima risorsa", quando non sia possibile fare affidamento alle proprietà continue. Tuttavia, Cantlon e Brannon (2007) hanno dimostrato che in un compito di discriminazione i macachi prediligono l'utilizzo delle informazioni numeriche anche quando potrebbero affidarsi a indizi come forma, colore e superficie occupata dagli stimoli. Secondo Beran e Parrish (2016), l'utilizzo delle informazioni numeriche dipende dal contesto. Ad esempio, durante il foraggiamento sembra che gli animali preferiscano utilizzare indizi non-numerici come il volume totale di cibo (Beran et al., 2008) e la

quantità di movimento delle prede (Krusche et al., 2010). Inoltre, poiché in natura numerosità e proprietà continue sono correlate nella maggior parte dei casi, è possibile che gli animali utilizzino contemporaneamente entrambe queste fonti di informazione.

La maggior parte degli studi sulla discriminazione di quantità ha riscontrato un effetto comune alle performance di molti animali, chiamato “effetto del rapporto”, secondo cui la difficoltà della discriminazione aumenta all’aumentare del rapporto numerico tra due quantità (Beran & Parrish, 2016). Ad esempio, questo effetto prevede che la discriminazione sia più facile nel confronto 4vs10 (rapporto di 0.4) rispetto a 4vs5 (rapporto di 0.8). L’effetto del rapporto è un’espressione della legge psicofisica di Weber, che afferma che la differenza di intensità necessaria per discriminare due stimoli è direttamente proporzionale alla loro intensità, ed è considerato un segno evidente di un sistema per la rappresentazione numerica non-simbolica comune all’uomo e alle altre specie animali, denominato *Approximate Number System* (ANS) (Beran & Parrish, 2016). Questo sistema rappresenta le numerosità secondo un formato analogico e approssimativo che permette di stimare la cardinalità di un insieme senza contare (Revkin et al., 2008; Cutini et al., 2014). In linea con la legge di Weber, l’accuratezza della discriminazione è migliore all’aumentare della distanza tra due numerosità e, a parità di distanza, la discriminazione è più accurata se i valori numerici sono piccoli (Beran & Parrish, 2016). Le caratteristiche dell’ANS acquisiscono un significato adattivo se analizzate in termini di vantaggi derivati dalla capacità di discriminazione di quantità. Ad esempio, in natura per gli animali è più vantaggioso distinguere due quantità di cibo che differiscono notevolmente rispetto a due quantità simili; inoltre, il guadagno diminuisce all’aumentare delle due quantità (Nieder, 2020).

Secondo alcuni autori (Feigenson et al., 2004; Hauser & Spelke, 2004; Hyde, 2011) esiste un secondo sistema deputato esclusivamente alla rappresentazione dei piccoli numeri, chiamato *Object File System* (OFS). Le rappresentazioni numeriche dell’OFS sono precise e indipendenti dal rapporto numerico, ma limitate a un numero di 3 o 4 elementi (Hauser & Spelke, 2004). L’OFS sembra essere un sistema evoluto originariamente per individuare e tenere traccia degli oggetti nello spazio, rappresentandoli in modo discreto nella memoria di lavoro, la cui capacità limitata sarebbe responsabile del limite massimo di 4 elementi che l’OFS può rappresentare (Trick & Pylyshyn, 1994). Tuttavia, le evidenze di un sistema per i piccoli numeri negli animali sono ridotte rispetto all’ampio

numero di studi che hanno riportato risultati in accordo con l'esistenza di un unico sistema approssimativo per le numerosità (Beran & Parrish, 2016; Nieder, 2020).

1.2.1 Principali metodologie di indagine

Le metodologie impiegate nello studio della discriminazione di quantità negli animali differiscono a seconda del tipo di paradigma sperimentale, degli stimoli utilizzati e delle modalità sensoriali coinvolte. Questi fattori metodologici possono influenzare la performance degli animali, portando a esiti diversi anche nella stessa specie (Agrillo & Bisazza, 2014). Per quanto riguarda il tipo di procedura sperimentale, gli studi vengono comunemente divisi in due categorie principali: test di scelta spontanea e procedure di addestramento. Si tratta di due metodologie complementari, ognuna necessaria per integrare le conoscenze sulla discriminazione di quantità nelle diverse specie animali e indagarne due aspetti centrali, rispettivamente la rilevanza ecologica e le massime potenzialità dal punto di vista cognitivo (Nieder, 2020). Oltre all'obiettivo sperimentale, la scelta di una o dell'altra metodologia è legata anche ad alcune considerazioni di carattere pratico. Gli studi che indagano le scelte spontanee richiedono un campione numeroso, necessario per generalizzare i risultati a livello della popolazione, mentre negli esperimenti che prevedono un addestramento sono sufficienti pochi soggetti per affermare che la capacità di discriminazione di quantità è presente in una determinata specie (Agrillo & Bisazza, 2014). Tuttavia, le procedure di addestramento richiedono più tempo rispetto ai test di scelta spontanea, che risultano molto più brevi. Infine, nelle procedure di addestramento gli animali possono essere testati in parecchie prove mantenendo lo stato motivazionale inalterato, mentre nei test di scelta spontanea dopo alcune prove la motivazione tende a diminuire (Agrillo & Bisazza, 2014).

1.2.1.1 Osservazione delle scelte spontanee

Nei test di scelta spontanea agli animali vengono presentati due gruppi di stimoli di diversa numerosità, spesso stimoli naturali e biologicamente rilevanti per la specie studiata come cibo o conspecifici. I test di scelta spontanea sono basati sul presupposto che per gli animali sia più vantaggioso scegliere l'alternativa più numerosa: la quantità maggiore di cibo permette di massimizzare l'apporto di risorse energetiche (Krebs et al., 1974), mentre il gruppo più numeroso di conspecifici garantisce maggiore protezione dai

predatori (Hager & Helfman, 1991). Questi test permettono di osservare il comportamento spontaneo degli animali in condizioni seminaturali che riproducono una situazione che potrebbero fronteggiare in natura, per cui hanno maggiore validità ecologica rispetto ai test che prevedono un addestramento (Agrillo & Bisazza, 2014). La validità ecologica fa riferimento a quanto i risultati riportati da uno studio sono validi e generalizzabili in un contesto naturale ed esterno alla ricerca.

Tipicamente le due quantità vengono presentate simultaneamente e sono visibili agli animali al momento della scelta. Ad esempio, Gómez-Laplaza e Gerlai (2011) ponevano i pesci angelo in un acquario da cui potevano osservare due gruppi diversi di conspecifici e avvicinarsi spontaneamente al gruppo preferito. Nelle teste della farina, la discriminazione di quantità è stata indagata tramite modalità olfattiva, sottoponendo esemplari maschili alla scelta fra due fonti di odore di feromoni femminili (Carazo et al., 2009).

Un'altra versione dei test di scelta spontanea prevede che gli stimoli vengano presentati in modo sequenziale così che le due quantità non siano visibili al momento della scelta. Ciò richiede che gli animali prestino attenzione alla procedura e siano capaci di rappresentare e confrontare mentalmente le due numerosità per poter scegliere accuratamente. Poiché gli animali non possono avere accesso diretto alle proprietà continue degli stimoli come il volume o la superficie totale, questa metodologia viene utilizzata soprattutto per migliorare il controllo delle variabili continue (Agrillo & Bisazza, 2014). Ad esempio, nello studio di Hauser et al. (2000) lo sperimentatore nascondeva i pezzi di cibo in due contenitori opachi uno alla volta, in modo che i macachi dovessero tenere a mente il numero di pezzi di cibo presentati di volta in volta. Le performance degli animali hanno suggerito che i macachi fossero capaci di tenere traccia in memoria fino a 4 elementi. Lo stesso tipo di procedura è stato impiegato con degli scimpanzé utilizzando la modalità uditiva (Beran, 2012). In questo caso, gli scimpanzé potevano solamente sentire il rumore prodotto dai pezzi di cibo che venivano fatti cadere uno alla volta in due contenitori opachi dallo sperimentatore.

1.2.1.2 Procedure di addestramento

Nelle procedure di addestramento gli animali apprendono un'azione basata su una regola, come scegliere la numerosità maggiore tra due alternative, venendo rinforzati con del cibo

oppure ottenendo un rinforzo sociale. Questi studi sono basati sul presupposto che se gli animali selezionano l'alternativa corretta tra due numerosità, allora sono capaci di discriminarle. Spesso gli animali vengono sottoposti a un addestramento fino a quando imparano una determinata regola e successivamente vengono testati con stimoli o quantità nuove per verificare la capacità di astrarre la regola. Gli stimoli utilizzati sono neutri e artificiali, come configurazioni di figure geometriche disegnate oppure presentate su un monitor. Ciò permette un controllo metodologico più rigoroso e una più accurata manipolazione delle variabili continue. Questi esperimenti non hanno molta rilevanza dal punto di vista ecologico in quanto basati su situazioni controllate che gli animali difficilmente incontrerebbero in natura (Agrillo & Bisazza, 2014). Inoltre, poiché le abilità osservate non sono spontanee ma vengono allenate, rischiano di essere un artefatto di laboratorio più che rispecchiare le reali competenze degli animali, rendendo più difficile trasferire i risultati ottenuti in contesti naturali (Agrillo & Bisazza, 2014).

Nello studio di Tomonaga (2008), due scimpanzé sono stati addestrati a scegliere la maggiore tra due configurazioni di pallini rossi di diversa numerosità presentati su un monitor: dopo aver appreso la regola, i soggetti hanno dimostrato di saperla generalizzare oltre gli esempi sperimentati durante l'addestramento. Agrillo e colleghi (2009) hanno addestrato le gambusie a discriminare tra 2 e 3 elementi tramite rinforzo sociale: quando sceglievano la numerosità corretta, i soggetti potevano ricongiungersi con il proprio gruppo sociale.

1.3 La discriminazione di quantità nei cani

Secondo Byrne (1995), possedere una competenza numerica è vantaggioso soprattutto per le specie animali con una struttura sociale complessa. La vita di gruppo prevede diverse circostanze in cui saper valutare in modo più o meno approssimativo il numero dei propri conspecifici può essere importante per l'adattamento e la sopravvivenza, come la caccia e la difesa del territorio (Nieder, 2020): nelle specie che cacciano in branco, come i lupi (*Canis lupus*), è importante che il gruppo abbia un numero ottimale di componenti affinché la caccia abbia un esito positivo (MacNulty et al., 2014) e nella difesa del territorio le leonesse (*Panthera leo*) decidono di attaccare un altro branco solo quando sono in numero maggiore rispetto agli avversari (McComb et al., 1994). Secondo

McComb et al. (1994), una delle pressioni evolutive che ha favorito l'emergere delle abilità numeriche nelle specie sociali deriva dal vantaggio procurato dall'evitamento dei costi di un conflitto contro un gruppo più numeroso. Anche i lupi (*Canis lupus*) e i loro discendenti, i cani domestici (*Canis familiaris*), sono animali con un'organizzazione sociale, in cui la territorialità riveste un ruolo determinante nei conflitti tra branchi (Harrington & Mech, 1979). Per questo motivo, conoscere il numero di alleati e di rivali può rivelarsi fondamentale per decidere di attaccare un altro branco e per determinare il successo delle strategie comportamentali individuali. Questa ipotesi è stata testata da Bonanni et al. (2011) osservando le interazioni tra alcuni branchi di cani domestici che vivevano liberamente. Come previsto, la probabilità che i cani attaccassero i rivali dipendeva dal numero di componenti di entrambi i gruppi: quando il rapporto tra il numero di membri dei due branchi era piccolo i cani tendevano ad attaccare il branco rivale, mentre all'aumentare del rapporto aumentava la probabilità di una ritirata. I cani, quindi, erano capaci di valutare le dimensioni del proprio branco e di quello avversario e di usare queste informazioni in modo da evitare lo scontro in situazioni di inferiorità numerica. La capacità dei cani di discriminare i due gruppi rispondeva alla legge di Weber, suggerendo l'esistenza di un sistema approssimativo per la rappresentazione numerica come l'ANS. Tuttavia, lo studio non ha chiarito se i cani valutassero effettivamente il numero di componenti dei branchi oppure utilizzassero variabili continue come lo spazio totale occupato dal branco nemico o la densità di rivali.

Uno dei test più utilizzati nella ricerca sull'abilità di discriminazione di quantità nei cani è il paradigma di scelta spontanea tra due quantità diverse di cibo (Fig. 2). Solitamente il test è composto da più prove in cui le abilità vengono valutate ripetutamente e attraverso confronti numerici diversi. Poiché i cani sono considerati animali opportunisti, i ricercatori si aspettano che dimostrino una preferenza per la quantità maggiore di cibo disponibile (Banerjee & Bhadra, 2019), che spesso coincide con l'opzione più numerosa. Uno dei primi studi che ha utilizzato questo tipo di test nei cani è stato condotto da Ward e Smuts (2006). Lo sperimentatore presentava simultaneamente al cane due piatti con due quantità diverse di pezzetti di wurstel, successivamente il cane poteva mangiare il contenuto del piatto scelto, mentre l'altro piatto veniva rimosso. Ad ogni cane sono stati sottoposti i confronti numerici 1vs2, 1vs3, 1vs4, 2vs3, 2vs4, 2vs5, 3vs4, 3vs5. Dai risultati è emerso che i cani erano capaci di scegliere la quantità maggiore in tutti i confronti

numerici esclusi quelli che differivano di una sola unità. Inoltre, in accordo alla legge di Weber e similmente a quanto riportato nella maggior parte delle altre specie animali, le performance dei cani erano migliori quando i rapporti numerici tra le due quantità erano piccoli, come nel caso 1vs4, rispetto a quando i rapporti erano più alti, come nel caso 3vs5.

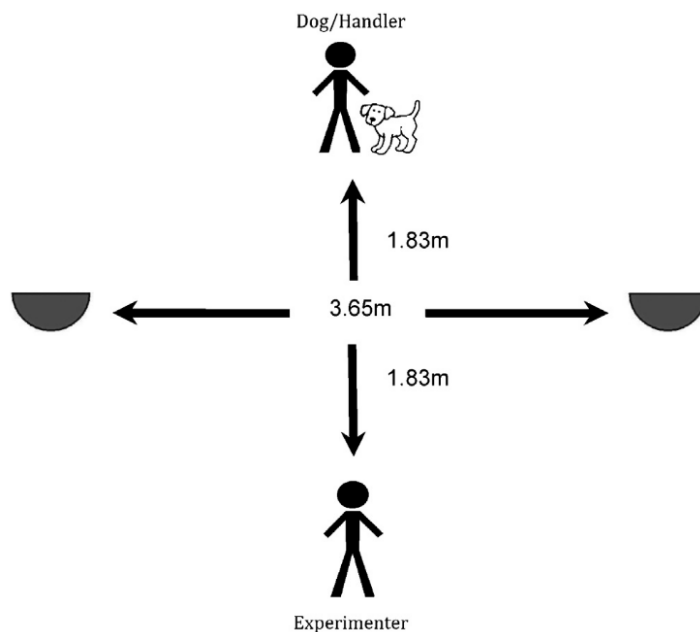


Figura 2. Esempio di paradigma di scelta spontanea, tratto da Macpherson e Roberts (2013). Il cane si trova in posizione frontale rispetto allo sperimentatore e centrale rispetto alle due alternative con il cibo, tenuto dal proprietario o da un secondo sperimentatore. I due contenitori con il cibo sono equidistanti tra di loro e rispetto al cane.

I risultati ottenuti sono in contrasto con quanto riportato precedentemente da West e Young (2002). A differenza dell'esperimento di Ward e Smuts (2006), West e Young (2002) hanno utilizzato un paradigma di violazione dell'aspettativa, che sfrutta la reazione di sorpresa che segue un evento inaspettato, come il risultato impossibile di un'operazione aritmetica. La reazione di sorpresa viene misurata registrando i tempi di fissazione, per il principio secondo cui un evento inatteso viene osservato più a lungo rispetto a un evento atteso. Ai cani venivano mostrate tre diverse operazioni: la prima ($1+1=2$) portava ad un risultato atteso; la seconda ($1+1=1$) portava ad un risultato inatteso; la terza ($1+1=3$) portava ad un altro risultato inatteso e serviva da controllo. Infatti, se il cane mostra una reazione di sorpresa all'evento inatteso $1+1=1$, ciò non implica direttamente che sappia calcolare il risultato preciso di un'operazione, in quanto potrebbe semplicemente aspettarsi che l'addizione di due unità porti ad un risultato maggiore di 1,

ma non necessariamente a 2. I ricercatori hanno riportato che in entrambe le prove con risultato inatteso i tempi di fissazione erano maggiori rispetto alla prova con risultato atteso, suggerendo che i cani fossero capaci di compiere l'operazione di addizione in modo preciso. Questi risultati sembrano implicare che i cani sono capaci di distinguere 1 da 2 e 2 da 3. Tuttavia, data la diversa metodologia utilizzata da West e Young (2002) e Ward e Smuts (2006), i risultati ottenuti non sono comparabili. Probabilmente la diversa richiesta sperimentale influenza la performance dei soggetti al test, impedendo di trarre conclusioni sulle effettive abilità di discriminazione degli animali. Utilizzando una procedura simile a quella di Ward e Smuts (2006), Baker et al. (2012) hanno ottenuto risultati analoghi, riportando che la capacità dei cani di discriminare tra diverse quantità di cibo dipende dal loro rapporto. L'accuratezza nella scelta della quantità maggiore era migliore nei confronti numerici come 1vs3 e 1vs4 e diminuiva nei confronti in cui il rapporto era più grande come 3vs4. Al contrario dei risultati ottenuti da Ward e Smuts (2006), in questo studio è stata dimostrata la capacità di discriminare le due quantità anche quando differivano di una sola unità nei confronti 1vs2, 2vs3 e 3vs4.

Miletto Petrazzini e Wynne (2016) hanno indagato quali informazioni fossero più rilevanti per i cani nel paradigma di scelta spontanea tra due quantità di cibo presentando diversi confronti numerici in tre condizioni sperimentali diverse. Nella condizione congruente l'alternativa più numerosa corrispondeva alla quantità totale di cibo maggiore, nella condizione incongruente l'alternativa più numerosa era costituita dalla quantità di cibo minore, mentre nella condizione di controllo la quantità era uguale in entrambe le alternative. I cani preferivano scegliere l'alternativa più numerosa quando coincideva con la quantità maggiore, al contrario sceglievano il numero minore di pezzi di cibo quando questi coincidevano con l'importo totale maggiore. Quando la quantità totale veniva eguagliata per entrambe le opzioni, i cani non hanno dimostrato nessuna preferenza. Gli autori quindi hanno concluso che la quantità totale di cibo, e non la numerosità, sia l'indizio più rilevante per i cani nella discriminazione tra due alternative diverse. Se utilizzare la quantità totale è più vantaggioso per massimizzare l'importo di cibo, la mancata preferenza per una delle due alternative nella condizione di controllo può essere interpretata come mancanza di motivazione nella scelta di due opzioni in cui l'ammontare totale di cibo era lo stesso (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016).

Una versione modificata del paradigma di scelta spontanea prevede la presentazione sequenziale degli stimoli. Impiegando questa variante del test, Macpherson e Roberts (2013a) hanno osservato che le performance dei cani si discostavano da quelle osservate negli studi precedenti (Ward & Smuts, 2006; Baker et al., 2012): i soggetti sapevano discriminare le due quantità di cibo solamente nel confronto 1vs0, mentre fallivano in tutti gli altri confronti, anche in quelli considerati più facili come 1vs4. Inoltre, dai risultati non è stato rilevato nessun effetto del rapporto numerico sulle performance dei cani. Anche Range et al. (2014) hanno testato la discriminazione di quantità nei cani tramite presentazione sequenziale degli stimoli, riportando che questa capacità fosse limitata a confronti numerici con un rapporto massimo di 0.5. I risultati ottenuti sembrano indicare una minore capacità di discriminare le quantità presentate in modo sequenziale rispetto a quando vengono presentate simultaneamente (Ward & Smuts, 2006; Baker et al., 2012; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016), suggerendo che la differenza sia dovuta al tipo di metodologia impiegata e che la capacità dei cani di rappresentare le quantità mentalmente sia limitata. Inoltre, è stato suggerito che rappresentare mentalmente due quantità per discriminarle è un compito difficile per i cani quando non è possibile utilizzare indizi non numerici (Macpherson & Roberts, 2013a; Range et al., 2014).

Lo studio di Macpherson e Roberts (2013a) prevedeva un secondo esperimento in cui è stato testato un singolo cane, tramite procedura di addestramento, nella discriminazione di due configurazioni di stimoli neutri presenti simultaneamente. In questo caso il cane ha dimostrato di saper discriminare gli stimoli sia nei confronti numerici allenati sia in alcuni confronti nuovi e più difficili come 2vs4, 3vs4, 4vs8, 6vs8 e 6vs9 e l'accuratezza della discriminazione era coerente con la legge di Weber. Inoltre, poiché le proprietà continue degli stimoli sono state controllate, i risultati sembrano indicare che il cane testato fosse capace di utilizzare le informazioni numeriche per discriminare le configurazioni di stimoli, in contrasto con quanto riportato da Miletto Petrazzini e Wynne (2016). La rilevanza delle informazioni numeriche potrebbe quindi dipendere dal contesto (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016). Come suggerito da Agrillo e Bisazza (2014), è possibile che anche nei cani le abilità manifestate in seguito a un addestramento siano migliori di quelle osservate tramite scelte spontanee.

In generale, gli studi sulla discriminazione di quantità nei cani sembrano concordare con quelli condotti nelle altre specie, suggerendo che questa capacità dipende dal rapporto

numerico come previsto dalla legge di Weber, e supportando l'esistenza di un sistema unico, l'ANS, per la rappresentazione delle grandezze (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016). La capacità di discriminare due diverse quantità di cibo sembra essere presente anche nei cuccioli di due mesi, seppur limitata a confronti numerici semplici (Miletto Petrazzini et al., 2020). Inoltre, durante un compito in cui i cani osservavano passivamente configurazioni di pallini di diversa numerosità, è stata rilevata tramite risonanza magnetica funzionale l'attivazione della corteccia temporo-parietale, la quale dipendeva dal rapporto tra le quantità (Aulet et al., 2019). Questo studio sembra confermare l'esistenza dell'ANS nei cani anche a livello neurale e suggerisce che le aree cerebrali deputate alla rappresentazione delle numerosità siano le stesse nei cani e nei primati (Aulet et al., 2019; Nieder & Miller, 2004).

1.3.1 Discriminazione di quantità e domesticazione: confronto tra cani e lupi

Nonostante esistano altre specie animali che sono state soggette a domesticazione, i cani rappresentano un modello unico: nessun'altra specie, infatti, è stata selezionata e incrociata allo stesso modo per adattarsi alle diverse richieste dell'uomo, come la caccia, la guardia e la conduzione (Macpherson & Roberts, 2013b). Secondo Frank (1980), il processo di domesticazione avvenuto nei cani ha influito sulle loro abilità cognitive. Il cambiamento dell'ambiente di vita, unito all'intervento dell'uomo, potrebbero aver agito attenuando le pressioni evolutive che favoriscono la complessità cognitiva, determinando la perdita di alcune capacità che nei lupi sarebbero rimaste intatte, come la comprensione delle relazioni causali e la capacità di risoluzione dei problemi, riconducibili al dominio della cognizione fisica, tra cui è compresa anche la cognizione numerica (Frank, 1980). I cani domestici non hanno bisogno di cacciare per procurarsi il cibo, né di contendersi il territorio con altri branchi, per cui è possibile che, in ottica evuzionistica, mantenere l'abilità di discriminare accuratamente quantità diverse fosse poco rilevante, in cambio di una maggiore capacità di adattarsi alle richieste dell'uomo. D'altra parte, la domesticazione avrebbe favorito l'emergere nei cani di alcuni tratti come la docilità e la plasticità comportamentale (Frank, 1980). Di conseguenza, i cani dovrebbero avere prestazioni migliori in compiti di addestramento rispetto ai lupi, viceversa i lupi sarebbero superiori ai cani in compiti che riguardano la cognizione fisica (Frank, 1980).

Per indagare se la domesticazione abbia influito sulla capacità di discriminazione di quantità nei cani, alcuni ricercatori hanno comparato le performance dei cani a quelle dei lupi. I risultati ottenuti sembrano confermare le previsioni di Frank (1980), suggerendo che nello studio delle abilità cognitive dei cani il ruolo della domesticazione non andrebbe sottovalutato, soprattutto in vista di confronti interspecifici. Range et al. (2014) e Miletto Petrazzini e Wynne (2017) concordano nel riportare un'inferiore capacità di discriminare diverse quantità di cibo nei cani rispetto ai lupi quando testati tramite osservazione delle scelte spontanee, le quali suggeriscono che la rilevanza di questa capacità per la sopravvivenza ha un valore differente per le due specie. In particolare, l'accuratezza della discriminazione nei lupi non sembra influenzata dal rapporto numerico tra le quantità (Range et al., 2014; Miletto Petrazzini & Wynne, 2017). Al contrario, quando indagate tramite procedure di addestramento, le performance dei cani erano migliori rispetto a quelle dei lupi (Rivas-Blanco et al., 2020). In questo caso, è possibile che le abilità riscontrate dipendessero in parte dall'addestramento precedente; di conseguenza, la minore attitudine dei lupi a compiti di addestramento (Frank, 1980) potrebbe essere una delle cause delle differenze rilevate da Rivas-Blanco e colleghi (2020) nella discriminazione di quantità tra cani e lupi.

1.3.2 Fattori che possono influenzare la prestazione e implicazioni metodologiche

Come riportato precedentemente, il tipo di metodologia utilizzata per indagare la discriminazione di quantità negli animali non ha un ruolo trascurabile sugli esiti degli studi sperimentali. È possibile, infatti, che alcune delle differenze rilevate confrontando i risultati di esperimenti diversi siano dovute all'impiego di metodologie differenti. Ciò sottolinea l'importanza di valutare attentamente il tipo di procedura da utilizzare nello studio della discriminazione di quantità in base agli obiettivi sperimentali e di non sottovalutare la rilevanza dei fattori metodologici nei confronti interspecifici e intraspecifici. Nei cani, la maggior parte degli studi è stata condotta utilizzando il paradigma di scelta spontanea tra due diverse quantità di cibo; tuttavia, alcune differenze nelle performance emergono anche comparando i risultati ottenuti tramite lo stesso paradigma sperimentale, ad esempio variando la modalità di presentazione degli stimoli (Macpherson & Roberts, 2013a; Range et al., 2014) e controllando le variabili non-numeriche (Ward & Smuts, 2006; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016). Diventa quindi

fondamentale analizzare il ruolo di alcuni fattori legati alla metodologia utilizzata che possono incidere sui risultati, anche all'interno dello stesso paradigma sperimentale. Inoltre, anche le caratteristiche specie-specifiche dei cani possono rappresentare dei fattori confondenti, per cui sono necessari accorgimenti metodologici che controllino il loro effetto sulla performance.

1.3.2.1 Motivazione e rinforzo

La motivazione può essere definita come un processo psicologico che controlla i comportamenti finalizzati, ovvero diretti a un obiettivo. Secondo Hull (1943), la motivazione è legata al soddisfacimento dei bisogni dell'organismo, come la fame o la sete. I bisogni generano delle pulsioni che attivano il comportamento e spingono l'individuo ad agire per ridurre lo stato di bisogno (Hull, 1943). Ad esempio, un individuo sarà motivato a mangiare in risposta alla pulsione originata dallo stato di fame. Oltre al rapporto tra pulsioni, bisogni e loro soddisfacimento, la motivazione è legata anche al concetto di "ricompensa". Le ricompense sono stimoli che vengono definiti tali non in base alle loro caratteristiche fisiche ma alle reazioni comportamentali che provocano (Schultz, 2015). Nello specifico, le ricompense causano delle risposte attentive di orientamento ed elicitano due tipi di comportamenti: il comportamento di approccio, chiamato anche appetitivo o preparatorio, e quello consumatorio (Schultz, 2015). Una delle ricompense primarie, fondamentali per la sopravvivenza, è il cibo: in questo caso, il comportamento appetitivo riguarda la ricerca del cibo e le azioni messe in atto per ottenerlo, mentre il comportamento consumatorio fa riferimento alla sua assunzione vera e propria. La capacità delle ricompense di attivare il comportamento dipende dal loro "valore incentivante", che è soggettivo e legato allo stato motivazionale del soggetto (Dickinson et al., 1995; Schultz, 2015). Ad esempio, lo stato di fame determina un aumento del valore incentivante del cibo, al contrario lo stato di sazietà lo riduce (Schultz, 2015). Il comportamento motivato, quindi, non dipende direttamente dalla ricompensa ma dal valore che il soggetto gli attribuisce, a sua volta modulato dal suo stato motivazionale interno (Dickinson et al., 1995). Nei cani è stato documentato che il valore del cibo utilizzato come ricompensa in un compito dipende dalla sua qualità, in particolare sono più motivati quando la qualità del cibo è migliore (Riemer et al., 2018). Inoltre, sembra che il valore incentivante di un particolare tipo di cibo decresca nel tempo, a causa

dell'abituazione, determinando una diminuzione del comportamento appetitivo e consumatorio nei suoi confronti (Bremhorst et al., 2018). Il livello di motivazione può essere inferito attraverso misure oggettive del comportamento appetitivo e consumatorio. Nel test di scelta spontanea tra due quantità di cibo, la probabilità di scegliere in misura maggiore una tra le due quantità presentate può essere utilizzata come indice del valore incentivante della ricompensa, e dunque come indice della motivazione del soggetto (Schultz, 2015).

A seconda della metodologia utilizzata nello studio della discriminazione di quantità, la motivazione può avere un ruolo più o meno rilevante sulle performance degli animali (Agrillo & Bisazza, 2014). In particolare, i risultati ottenuti nei test di scelta spontanea sembrano essere maggiormente influenzati dal livello di motivazione degli animali rispetto alle procedure di addestramento. Infatti, i cani potrebbero essere poco motivati a scegliere una tra le due quantità di cibo perché ne ricevono anche scegliendo quella minore. Inoltre, i cani possono imparare che riceveranno del cibo in ogni caso e prestare meno attenzione nelle prove successive del test (Agrillo & Bisazza, 2014). Di conseguenza, l'insuccesso nella discriminazione tra quantità diverse può essere interpretato non come limite cognitivo ma come mancanza di motivazione; ciò potrebbe verificarsi soprattutto quando le due quantità di cibo sono simili, in quanto il vantaggio dato dalla quantità maggiore diminuisce (Agrillo & Bisazza, 2014). Al contrario, nelle procedure di addestramento gli animali ricevono del cibo soltanto quando effettuano la scelta corretta: poiché l'alternativa sbagliata non viene mai rinforzata, gli animali dovrebbero essere più motivati a scegliere quella corretta, spesso rappresentata dalla quantità maggiore. Inoltre, la ricompensa è sempre uguale indipendentemente dal valore degli stimoli. In questo modo, la motivazione relativa alla scelta della quantità corretta rimane stabile, facendo sì che le performance degli animali riflettano le loro effettive abilità cognitive indipendentemente dal grado di motivazione (Agrillo & Bisazza, 2014). Secondo Agrillo e Bisazza (2014), il diverso livello di motivazione può giustificare la differenza tra i risultati ottenuti tramite test di scelta spontanea e procedure di addestramento negli studi sulla discriminazione di quantità. Quando i cani vengono addestrati a discriminare due quantità diverse, infatti, le performance sono più accurate rispetto a quanto riportato nei test di scelta spontanea (Macpherson & Roberts, 2013a; Rivas-Blanco et al., 2020): ad esempio, in un test di scelta spontanea i cani falliscono nel

confronto 3vs4 (Ward & Smuts, 2006) mentre, quando testati tramite procedure di addestramento, non manifestano difficoltà nella discriminazione dello stesso confronto (Rivas-Blanco et al., 2020).

Uno dei problemi intrinseci ai test di scelta spontanea è dovuto al fatto che gli stimoli da discriminare coincidono con la ricompensa ottenuta (Agrillo & Bisazza, 2014). Questo rappresenta un fattore confondente che impedisce di stabilire se le performance osservate al test riflettono le reali abilità cognitive degli animali o dipendono da fattori motivazionali. Per chiarire la questione, Macpherson e Roberts (2013a) hanno incluso nel loro esperimento una condizione in cui come stimoli non venivano utilizzati pezzetti di cibo ma tappi di bottiglie di plastica e i cani venivano premiati con la stessa quantità di cibo solo quando sceglievano il contenitore con il numero maggiore di tappi. In questo modo, i cani avrebbero dovuto essere più motivati nella scelta della quantità maggiore perché soltanto in quel caso ottenevano del cibo. Tuttavia, dai risultati è emerso che le performance dei cani in questa condizione non differivano rispetto a quando gli stimoli erano costituiti da cibo: in entrambe le condizioni i cani fallivano in tutti i confronti, escluso 1vs0, indicando che la mancata discriminazione non fosse attribuibile alla sovrapposizione tra stimoli e ricompense.

Un altro fattore che può influenzare la discriminazione di quantità nel paradigma di scelta spontanea tra due quantità di cibo e spiegare la minore accuratezza della prestazione in questo tipo di test riguarda il ruolo di rinforzo positivo dato dal ricevere il cibo anche quando i cani preferiscono la quantità minore. Quando le ricompense aumentano la frequenza del comportamento e contribuiscono al suo mantenimento vengono definite “rinforzi positivi” (Schultz, 2015). Solitamente l’addestramento dei cani avviene sfruttando questo meccanismo, tramite cui imparano a emettere un comportamento desiderato ricevendo una ricompensa gradita come del cibo. Per esempio, un cane può imparare un’azione, come sedersi o dare la zampa, venendo rinforzato con del cibo ogni volta che compie l’azione voluta: in questo modo il cane impara ad associare l’azione al cibo e sarà motivato a ripeterla per ottenere la ricompensa. Nello studio di Macpherson e Roberts (2013a), tutti i soggetti testati avevano avuto esperienze pregresse di addestramento e, poiché durante l’addestramento i cani imparano che riceveranno una ricompensa solamente quando emettono il comportamento desiderato, è possibile che il fatto di ricevere cibo anche scegliendo la quantità minore li abbia confusi su quale fosse

la scelta giusta da effettuare al test. Coerentemente con questa ipotesi, nello studio di Macpherson e Roberts (2013a) la performance dei cani era accurata solo nel confronto 1vs0, ovvero l'unico caso in cui scegliere l'alternativa sbagliata non procurava alcuna ricompensa. Tuttavia, anche quando il compito di scelta spontanea era preceduto da una fase di addestramento in cui i cani imparavano a scegliere la quantità maggiore, le performance non erano molto accurate (Range et al., 2014).

Contrariamente all'ipotesi secondo cui ricevere del cibo a prescindere dalla quantità scelta riduce la motivazione dei cani durante lo svolgimento del test, è stata recentemente riportata da Normando et al. (2022) la possibilità che la quantità di cibo ottenuto abbia un ruolo rilevante sulla motivazione. Confrontando le performance generali dei cani con quelle relative alla prima prova del test, gli autori hanno evidenziato come i soggetti che nella prima prova avevano manifestato una preferenza spontanea per la quantità minore, nella prova successiva sceglievano quella maggiore. Ciò non avveniva se nella prima prova i cani avevano scelto la quantità maggiore, indicando la capacità di ri-orientare la propria scelta in base all'esperienza precedente (Normando et al., 2022). È possibile che aver scelto e mangiato la quantità minore nella prima prova abbia motivato i cani a prestare più attenzione nella prova successiva, favorendo l'inversione della preferenza. Questi risultati sembrano suggerire che i cani siano sensibili alla quantità della ricompensa ricevuta, la quale agirebbe sulla loro motivazione e di conseguenza influenzerebbe i risultati al test. Tuttavia, altri studi sembrano condurre a conclusioni opposte. Miletto Petrazzini et al. (2020) hanno riportato che la preferenza nel test di scelta spontanea rimane stabile nei cuccioli e quindi che la scelta di una o dell'altra quantità di cibo non varia in modo significativo tra le prove. Fernand et al. (2018) hanno testato la capacità dei cani di invertire la propria scelta quando la quantità della ricompensa cambiava. Dopo aver attestato che i cani preferivano scegliere la quantità maggiore di cibo quando coincideva con la ricompensa, ovvero quando potevano mangiare la quantità scelta, i ricercatori hanno indagato se la preferenza per la quantità maggiore rimaneva stabile anche quando i cani venivano ricompensati con una quantità minore di cibo. I risultati hanno dimostrato che i cani continuavano a scegliere la quantità maggiore anche nelle prove successive nonostante ottenessero una ricompensa minore. Ciò sembra indicare che i cani non sono sensibili alla quantità della ricompensa ricevuta. Inoltre, da studi precedenti è emerso che, mentre la qualità del rinforzo sembra influenzare la

performance, la quantità del rinforzo non ha lo stesso effetto (Riemer et al., 2018; Banerjee & Bhadra, 2019).

Infine, la motivazione dei cani durante il test può essere influenzata dal livello di sazietà (Schultz, 2015). È stato infatti riportato che il livello di sazietà influenza le decisioni relative alla quantità di cibo da preferire durante il foraggiamento (Yang & Chiao, 2016). Anche il cibo può perdere il proprio valore incentivante con il passare delle prove a causa della sazietà (Schultz, 2015; Bremhorst et al., 2018). Di conseguenza, è possibile che durante un compito di scelta spontanea tra due quantità diverse di cibo i cani siano più motivati nelle prime prove del test e che, all'aumentare del numero di prove, la loro motivazione si riduca causando una diminuzione delle prestazioni. Solitamente, per ovviare a questo inconveniente, i cani vengono sottoposti a un periodo variabile di digiuno precedente il test (Ward & Smuts, 2006; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016; Miletto Petrazzini et al., 2020; Normando et al., 2022). Inoltre, il problema della sazietà andrebbe considerato nella decisione del numero di prove da includere nei test di scelta spontanea tra due quantità di cibo.

1.3.2.2 Apprendimento ed esperienza

Un fattore strettamente legato al concetto di rinforzo è l'apprendimento. Nelle procedure di addestramento relative alla discriminazione di quantità, l'ottenimento di un rinforzo permette agli animali di apprendere quale sia la numerosità corretta da selezionare (cfr. § 1.2.1.2). In questo caso, quindi, è possibile affermare che le performance degli animali dipendono almeno in parte dall'apprendimento. Anche nel test di scelta tra due quantità di cibo, nonostante gli animali esprimano preferenze spontanee, l'apprendimento può avere un ruolo rilevante. È possibile, infatti, che durante le prove del test i soggetti imparino a scegliere una particolare opzione associata a un certo rinforzo (Banerjee & Bhadra, 2019). Normando et al. (2022) hanno riportato che la performance dei cani al test è sensibile alla quantità del rinforzo e all'esperienza precedente. I cani che sceglievano la quantità minore nella prima prova del test invertivano la loro preferenza nella prova successiva, scegliendo la quantità maggiore. Ciò sembra indicare che, dopo aver avuto l'esperienza di mangiare la quantità minore di cibo, i cani abbiano imparato a scegliere la quantità maggiore nella prova successiva perché associata alla maggiore ricompensa ottenuta. È quindi possibile che il rinforzo agisca indirizzando il cane verso la quantità

maggiore e che il cane impari quale sia l'alternativa più conveniente in seguito all'esito della scelta precedente. Di conseguenza, gli autori hanno suggerito che le scelte osservate nel test quando ai soggetti viene presentato ripetutamente lo stesso confronto non possono essere definite propriamente "spontanee", ovvero indipendenti dall'apprendimento e dall'esperienza precedente (Normando et al., 2022). Anche secondo quanto riportato da Rivas-Blanco et al. (2020) la performance in un compito di discriminazione di quantità può essere influenzata dall'esito della scelta precedente. I ricercatori hanno somministrato ai cani prove in cui dovevano discriminare due insiemi di figure neutre e ricevevano una ricompensa quando sceglievano l'opzione corretta, alternandole ad altre prove che non erano mai associate a nessuna ricompensa. Osservando le performance dei soggetti è emerso che le prestazioni successive a una prova non ricompensata erano peggiori rispetto a quelle precedute da prove ricompensate. In questo caso è possibile che l'esperienza di non ottenere una ricompensa abbia diminuito l'attenzione e la motivazione del cane nella prova successiva. Da entrambi gli studi, inoltre, pare che una sola esperienza sia sufficiente affinché i cani imparino dall'esito delle proprie scelte e modifichino il loro comportamento di conseguenza (Rivas-Blanco et al., 2020; Normando et al., 2022).

Secondo Banerjee & Bhadra (2019), il possibile effetto dell'apprendimento dall'esperienza precedente in un compito di discriminazione di quantità con prove ripetute può essere evitato utilizzando un test costituito da un'unica prova. Attraverso questa metodologia, gli autori hanno verificato la capacità di un gruppo cani randagi di discriminare tra 1 e 4 pezzetti di cibo in un unico confronto, suggerendo che la preferenza per la quantità maggiore di cibo viene espressa già nella prima prova del test. Inoltre, i cani ricevevano la stessa ricompensa indipendentemente dalla scelta effettuata, per cui si può escludere che i risultati siano stati influenzati dal ruolo di rinforzo positivo del cibo (Banerjee & Bhadra, 2019). Utilizzare un'unica prova per testare la discriminazione di quantità nei cani potrebbe, quindi, eliminare l'effetto dell'apprendimento. Tuttavia, poiché Normando e colleghi (2020) hanno riportato che la preferenza per una quantità di cibo può cambiare tra la prima e la seconda prova del test, valutare soltanto la scelta effettuata dai soggetti nella prima prova può minare la validità dei risultati.

Normando et al. (2022) hanno ipotizzato che il fallimento nella discriminazione nella prima prova del test dipenda dall'assenza di familiarità dei cani con la procedura sperimentale, soprattutto in merito all'impossibilità di mangiare entrambe le quantità

presentate. In seguito allo svolgimento della prima prova, i cani apprenderebbero che la quantità di cibo non scelta viene sottratta e di conseguenza presterebbero maggiore attenzione alla prova successiva, migliorando la propria performance. Da ciò deriva che l'esperienza e la familiarità con la procedura sperimentale siano fondamentali per la validità del test. Soprattutto, l'importanza di esperire la procedura appare maggiormente rilevante per la validità del test nel caso sia composto da un'unica prova. A questo riguardo, alcuni studi prevedono lo svolgimento di prove precedenti al test vero e proprio finalizzate alla familiarizzazione dei soggetti con l'apparato e la procedura sperimentale e al controllo delle eventuali preferenze per uno dei due lati in cui venivano presentate le quantità. Ward e Smuts (2006) hanno presentato ai cani il confronto 1vs0 in quattro prove consecutive in cui le posizioni delle alternative venivano controbilanciate per ogni lato, assicurandosi che i soggetti scegliessero la quantità 1 in tutte le prove prima di iniziare il test. La stessa procedura è stata adottata anche in alcuni studi successivi (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016, 2017; Miletto Petrazzini et al., 2020). Lööke et al. (2020) hanno inserito una prova di familiarizzazione in cui al cane veniva presentato un unico piatto, contenente lo stesso cibo utilizzato durante il test, posizionato centralmente rispetto al cane. In questo modo l'animale poteva sperimentare la possibilità di mangiare dal piatto presentato dallo sperimentatore, evitando che la posizione del piatto potesse indirizzarlo verso l'uno o l'altro lato in cui successivamente sarebbero state poste le due quantità da discriminare (Lööke et al., 2020). In seguito, i cani sono stati sottoposti a una versione del test di scelta spontanea tra due diverse quantità di cibo costituita da una sola prova, dimostrando di saper scegliere la quantità maggiore nel confronto 8vs12. Questo studio, oltre a fornire un'evidenza della capacità dei cani di discriminare spontaneamente grandi numerosità, sembra avvalorare l'idea che inserire una prova di familiarizzazione precedente al compito che permetta al cane di esperire la procedura sperimentale conduca a risultati validi nella prima prova del test.

1.3.2.3 Abilità olfattive

La maggior parte della ricerca sulla cognizione canina viene condotta utilizzando stimoli visivi, tuttavia è importante considerare che il senso dominante nei cani è rappresentato dall'olfatto (Macpherson & Roberts, 2013b). Poiché la quantità di odore varia insieme all'ammontare, è possibile che i cani utilizzino gli indizi olfattivi per discriminare due

diverse quantità di cibo. Le evidenze in merito sono contrastanti. Diversi studi hanno indagato questa possibilità concludendo che i cani non sono capaci di discriminare due quantità di cibo esclusivamente tramite olfatto (Ward & Smuts, 2006; Baker et al., 2012; Horowitz et al., 2013; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016); inoltre, la presenza dello sperimentatore sembra inibire l'utilizzo delle informazioni olfattive (Horowitz et al., 2013). Al contrario, Banerjee e Bhadra (2019) hanno riportato che la scelta tra due diverse quantità di cibo dipende in misura maggiore dalle informazioni olfattive rispetto a quelle visive e Jackson et al. (2021) hanno documentato la capacità dei cani di distinguere due quantità di cibo tramite olfatto in diversi confronti numerici. Per escludere l'eventualità che le abilità olfattive dei cani rappresentino un fattore confondente nel test di scelta spontanea tra due quantità di cibo, alcuni studi hanno controbilanciato la quantità di odore proveniente da ciascuna delle due alternative (Macpherson & Roberts, 2013a; Miletto Petrazzini et al., 2020). Per farlo, sono stati utilizzati contenitori provvisti di doppio fondo in cui nascondere pezzetti di cibo aggiuntivi, così che la quantità di odore totale fosse la stessa per entrambe le alternative. In questo modo è possibile controllare il ruolo delle informazioni olfattive per evitare che possano costituire un indizio affidabile.

1.3.2.4 Abilità sociali

Numerosi studi hanno confermato che i cani possiedono la capacità di comprendere diversi indizi sociali e comunicativi umani e di adattare il loro comportamento di conseguenza. Ad esempio, i cani sono capaci di utilizzare la direzione del dito, della testa e dello sguardo dello sperimentatore (Miklósi et al., 1998; Hare et al., 2002) e la sua espressione emotiva (Buttelmann & Tomasello, 2013) per localizzare il contenitore corretto in cui è stato nascosto del cibo. Inoltre, la capacità di seguire lo sguardo umano sembra facilitata dall'utilizzo da parte dello sperimentatore di indizi ostensivi, che esprimono l'intento comunicativo del segnale (Duranton et al., 2017).

I cani sembrano molto abili nel prestare attenzione anche alle azioni dell'uomo e alle informazioni veicolate da specifiche parti del corpo come gli occhi (Call et al., 2003). Pongrácz et al. (2001) hanno riportato che la performance dei cani in un compito nuovo è migliore dopo averlo visto eseguire da un dimostratore umano. Inoltre, quando posti di fronte a un compito irrisolvibile, i cani tendono a fissare ripetutamente il loro proprietario, suggerendo l'intenzione di stabilire un'interazione comunicativa (Miklósi et al., 2003).

Secondo diversi autori, i cani avrebbero sviluppato particolari competenze socio-comunicative in risposta a specifiche pressioni selettive durante il processo di domesticazione (Agnetta et al., 2000; Hare et al., 2002; Miklósi et al., 2003; Buttelmann & Tomasello, 2013). È probabile che la capacità di comprendere i segnali sociali e comunicativi umani sia emersa in questa specie perché vantaggiosa dal punto di vista evolutivo per predire il comportamento dell'uomo (Hare et al., 2002).

L'effetto degli indizi sociali sul comportamento dei cani è tale da contrastare le loro preferenze spontanee e condurli a scelte controproducenti. Dopo aver dimostrato di preferire la quantità maggiore di cibo tra due diverse alternative, i cani cambiavano la propria preferenza se osservavano il loro proprietario scegliere la quantità minore di cibo (Prato-Previde et al., 2008; Horowitz et al., 2013). Lo stesso effetto è presente indipendentemente dal fatto che i cani abbiano visto compiere la scelta dal proprio proprietario o da uno sperimentatore non familiare (Marshall-Pescini et al., 2011). Ciò sembra indicare che i cani siano propensi ad affidarsi alle informazioni fornite dagli umani a prescindere dal tipo di relazione che intercorre tra di loro.

Considerando le evidenze riportate, è possibile che nello studio della discriminazione di quantità gli indizi sociali e comunicativi emessi dal proprietario o dallo sperimentatore possano reindirizzare la scelta spontanea dei cani, impedendo così di stabilire con chiarezza se la performance rispecchi effettivamente le loro abilità cognitive. Ciò è presumibile soprattutto alla luce del fatto che il ruolo delle informazioni sociali sembra prevalere rispetto a quello delle informazioni visive dei soggetti testati. Inoltre, se proprietario e sperimentatore sono a conoscenza dell'obiettivo sperimentale possono emettere indizi sociali involontari che segnalano ai cani la risposta corretta, come previsto dall'“effetto Clever Hans” (cfr. § 1.1). Di conseguenza, nello studio della discriminazione di quantità tramite test di scelta spontanea tra due quantità di cibo è importante controllare attentamente il comportamento del proprietario e dello sperimentatore nei confronti del cane testato e delle quantità presentate. Una delle precauzioni più comuni prevede che lo sperimentatore indossi degli occhiali con lenti scure per evitare che i cani possano seguire la direzione del suo sguardo (Ward & Smuts, 2006; Range et al., 2014; Lööke et al., 2020; Normando et al., 2022) o che, più in generale, presti attenzione a non incrociare lo sguardo del cane e a non guardare i piatti con il cibo che vengono presentati all'animale (Horowitz et al., 2013; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016; Banerjee & Bhadra, 2019; Miletto

Petrazzini et al., 2020). Ai proprietari viene solitamente richiesto di non guardare né il cane né le due quantità di cibo presentate (Ward & Smuts, 2006), non interagire con il cane (Horowitz et al., 2013; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016; Miletto Petrazzini et al., 2020), non indirizzarlo verso uno dei due lati (Macpherson & Roberts, 2013a; Lööke et al., 2020) e non esprimere approvazione o disapprovazione per la scelta effettuata dall'animale (Normando et al., 2022).

1.4 Obiettivi della ricerca

La presente ricerca si propone di indagare il ruolo dell'esperienza precedente sulla prestazione nella discriminazione di quantità dei cani domestici in un compito di scelta spontanea. Lo studio di Normando et al. (2022) ha posto l'attenzione sul fatto che la preferenza spontanea per la quantità maggiore in questo tipo di test può non essere espressa nella prima prova del compito. Confrontando i propri risultati con quanto riportato da Lööke et al. (2020), gli autori hanno ipotizzato che l'insuccesso nella prima prova può essere attribuito alla mancanza di familiarità ed esperienza con la procedura sperimentale. In particolare, è possibile che i cani si aspettino di poter mangiare entrambe le quantità presentate e che, di conseguenza, siano inizialmente poco motivati a prestare attenzione al test per scegliere la quantità maggiore di cibo. Solamente dopo aver sperimentato l'impossibilità di mangiare entrambe le quantità nella prima prova, i cani sarebbero motivati a scegliere accuratamente la quantità maggiore perché maggiormente gratificante. Ciò sembra suggerire che la prima prova del compito sia necessaria affinché i cani sperimentino la procedura e comprendano il funzionamento del test (Normando et al., 2022).

Nel primo esperimento di questo lavoro, questa ipotesi è stata testata sottoponendo a un gruppo di cani domestici di proprietà un compito di scelta spontanea tra due diverse quantità di cibo, costituito da 6 prove, preceduto da una prima prova di familiarizzazione (pre-test) in cui ai soggetti venivano presentate due quantità uguali di cibo. La prova di familiarizzazione differiva dalle successive esclusivamente nel numero di pezzi di cibo tra cui gli animali potevano scegliere: nella prova di familiarizzazione ai cani veniva proposto il confronto 3vs3, mentre nelle prove di test il confronto presentato era 2vs4. Se l'esperienza di poter mangiare solamente la quantità scelta è necessaria perché i cani siano

motivati a prestare attenzione al test, ci si aspetta che comprendano il funzionamento del test nella prova di familiarizzazione e che esprimano la preferenza per la quantità maggiore di cibo a partire dalla prova successiva. I cani sembrano capaci di modificare il proprio comportamento dopo una sola esperienza (Rivas-Blanco et al., 2020; Normando et al., 2022), per cui l'esperimento qui condotto prevedeva un'unica prova di familiarizzazione. Poiché indagare la massima potenzialità della discriminazione di quantità nei cani non è lo scopo primario della ricerca, nelle prove successive del test è stato impiegato il confronto 2vs4, che in precedenza hanno dimostrato di saper discriminare con successo (Ward & Smuts, 2006; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016; Normando et al., 2022). Utilizzare un confronto numerico che i cani sono capaci di discriminare è fondamentale per poter confermare il ruolo della prova di familiarizzazione sulla performance successiva, senza subire l'influenza della difficoltà della discriminazione numerica.

Nel secondo esperimento è stata indagata l'importanza che i cani facciano esperienza della procedura sperimentale in prima persona. Un nuovo gruppo di cani è stato sottoposto allo stesso compito del primo esperimento, con la sola differenza che la prova di familiarizzazione veniva svolta da un dimostratore umano. Come discusso sopra, le informazioni fornite dall'uomo sono molto rilevanti per i cani: in particolare, prestano attenzione allo svolgimento di un compito di scelta spontanea tra due quantità di cibo da parte dell'uomo (Prato-Previde et al., 2008; Marshall-Pescini et al., 2011) e le loro performance in un compito sconosciuto sono migliori in presenza di un dimostratore umano (Pongrácz et al., 2001). Sulla base di queste evidenze, è possibile ipotizzare che i cani siano capaci di apprendere il funzionamento della procedura sperimentale dopo aver osservato un dimostratore svolgere la prima prova di familiarizzazione. In questo secondo esperimento, quindi, i cani dovrebbero scegliere accuratamente la quantità di cibo maggiore a partire dalla prima prova svolta in prima persona.

CAPITOLO 2
ESPERIMENTO 1. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ DOPO
L'ESPERIENZA DIRETTA DI UN PRE-TEST

2.1 Materiali e metodi

2.1.1 Soggetti

Sono stati testati 22 cani di proprietà, di cui 1 è stato escluso dal campione analizzato perché non ha completato il test e 1 è stato escluso a causa di un errore durante la procedura. Il campione era quindi composto da 20 cani, 10 femmine (età media: 68,8 mesi) e 10 maschi (età media: 89,9 mesi). L'età media totale era di 79,35 mesi, corrispondenti a 6,61 anni. Delle 10 femmine, 8 erano sterilizzate e 3 erano di razza. Dei 10 maschi, 3 erano castrati e 6 erano di razza. La tabella sottostante (Fig. 3) riporta queste informazioni in dettaglio per ogni cane. Cani di età inferiore a 1 anno e cani troppo anziani non potevano partecipare al test: il confronto numerico impiegato, infatti, potrebbe essere troppo difficile per i cuccioli (Miletto Petrazzini et al., 2020), mentre cani anziani possono avere difficoltà legate all'età come problemi di vista o dolore alla deambulazione che possono compromettere la loro performance. Tutti i cani testati erano adulti e sani, senza alcuna problematica di salute che avrebbe potuto interferire con lo svolgimento del test. Inoltre, 4 cani avevano ricevuto un addestramento di base ma nessuno aveva mai preso parte a un esperimento simile, per cui la procedura era nuova a tutti i soggetti.

Nome	Sesso	Età (mesi)	Stato riproduttivo	Razza
Bad	M	72	intero	Pastore Australiano
Blu	F	12	sterilizzata	Meticcio
Bombo	M	142	castrato	Meticcio
Chuck	M	48	intero	Pastore Australiano
Dolly	F	108	sterilizzata	Barboncino
Gianfri	M	96	intero	Meticcio
Grace	F	48	sterilizzata	Pastore Tedesco

Jackson	M	96	intero	Maltese
Keisy	F	13	sterilizzata	Meticcio
Lea	F	14	intera	Meticcio
Leo	M	108	intero	Meticcio
Lilly	F	149	sterilizzata	Meticcio
Lola	F	132	sterilizzata	Meticcio
Olivia	F	20	intera	Weimaraner
Rambo	M	79	castrato	Maltese
Sami	M	84	intero	Husky Siberiano
Shpirti	F	96	sterilizzata	Meticcio
Spritz	M	102	castrato	Meticcio
Terry	F	96	sterilizzata	Meticcio
Yukon	M	72	intero	Husky Siberiano

Figura 3. La tabella riporta le informazioni base di ogni cane appartenente al campione.

2.1.2 Materiali

Per lo svolgimento del test sono stati utilizzati i seguenti materiali:

- 2 piatti di plastica di tipo usa e getta (diametro: 22 cm) (Fig. 4a) in cui venivano posizionati i pezzetti di cibo. Tra un test e l'altro i piatti venivano sostituiti oppure disinfettati con alcool per eliminare le informazioni olfattive del cane testato precedentemente.
- 2 coperchi per coprire i pezzetti di cibo nei piatti (Fig. 4b). Ogni coperchio è stato realizzato incollando il fondo di due vaschette di alluminio (dimensioni: 10 x 14 x 5 cm), in modo che fossero sovrapposte. La vaschetta inferiore serviva a coprire il cibo nei piatti, mentre la vaschetta superiore serviva a contenere ulteriori pezzetti di cibo necessari per controbilanciare la quantità di odore totale percepito dal cane. Per nascondere alla vista del cane questi pezzetti di cibo, la vaschetta superiore veniva chiusa utilizzando l'apposito

coperchio rettangolare di alluminio, al quale erano stati praticati dei fori che lasciavano passare l'odore del cibo.

- cibo: sono stati utilizzati wurstel di pollo, suddivisi in 16 pezzetti uguali (Fig. 4c). Per ottenere i pezzetti ogni wurstel veniva prima tagliato a metà in senso orizzontale, successivamente le due metà venivano allineate e tagliate a metà in senso verticale. Le 4 parti ottenute venivano allineate e tagliate a loro volta a metà, ottenendo un totale di 16 pezzetti di wurstel. In questo modo si è cercato di far sì che i 16 pezzetti avessero una dimensione il più possibile uguale.

I wurstel di pollo sono stati scelti come cibo da utilizzare per il test considerando la facilità nel dividerli in parti uguali e l'alto gradimento da parte dei cani; oltretutto l'appetibilità del cibo utilizzato dovrebbe favorire la motivazione dei cani durante il test. In ogni caso, lo sperimentatore si è sempre assicurato che i wurstel fossero graditi ai cani da testare sia informandosi dal proprietario sia offrendone un pezzetto al cane prima del test. In un caso di allergia alimentare, i wurstel di pollo sono stati sostituiti con wurstel vegetariani.

- vaschetta di plastica ermetica per contenere i pezzetti di cibo prima di posizionarli nei piatti (Fig. 4d). La vaschetta veniva richiusa prima di ogni prova per evitare che il cane fosse influenzato dall'odore del cibo al suo interno ed era nascosta alla vista del cane.

- metro avvolgibile per misurare le distanze esatte tra le posizioni dei piattini e la posizione di partenza del cane (Fig. 4e).

- scotch di carta per segnare le posizioni dei piattini e la posizione di partenza del cane (Fig. 4e).

- occhiali da sole e mascherina chirurgica indossati dallo sperimentatore per evitare di influenzare il comportamento del cane con il proprio sguardo e il proprio volto e limitare il possibile utilizzo di indizi non verbali da parte del cane (Fig. 4f). Questo accorgimento è stato preso alla luce del fatto che i cani sono sensibili ai segnali sociali e ostensivi umani e li utilizzano per trovare del cibo nascosto in un test di scelta spontanea

(Hare et al., 2002). La performance dei cani, inoltre, varia a seconda che l'uomo utilizzi o meno segnali ostensivi (Duranton et al., 2017).

- foglio dati per annotare le informazioni base del cane da testare (nome, sesso, stato riproduttivo) e inserire i dati relativi alla sua performance durante il test (Fig. 4g).
- treppiede per posizionare lo smartphone con cui veniva registrata l'intera durata del test (Fig. 4h). Il treppiede veniva posizionato abbastanza lontano dal cane per evitare che disturbasse lo svolgimento del test e in modo da inquadrare sia la postazione del cane sia la postazione dello sperimentatore con i piatti.

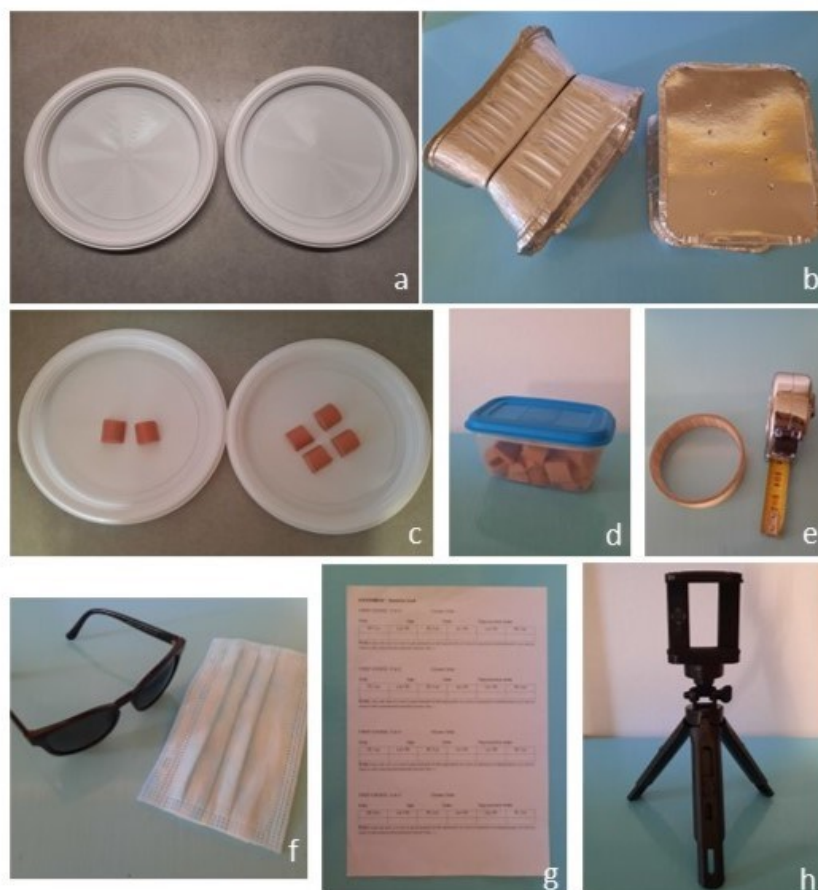


Figura 4. Piattini (a). Coperchi (b). Pezzetti di wurstel presentati durante le prove (c). Vaschetta con pezzetti di wurstel (d). Metro e scotch di carta (e). Occhiali da sole e mascherina (f). Foglio dati (g). Treppiede per smartphone (h).

2.1.3 Procedura

Prima del test

Ogni proprietario è stato contattato di persona o telefonicamente dallo sperimentatore, che illustrava brevemente come si sarebbe svolto il test. In particolare lo sperimentatore evitava di spiegare qual era l'obiettivo ultimo del test e si limitava a descrivere la procedura per evitare che il proprietario potesse influenzare, anche inconsapevolmente, la performance del cane. Infatti, essere a conoscenza dell'obiettivo di una procedura sperimentale può alterare i risultati ottenuti e di conseguenza diminuire la loro validità (Pfungst, 1911).

Lo sperimentatore si informava riguardo l'età e il temperamento del cane per verificare che potesse partecipare al test. In seguito fissava insieme al proprietario il giorno e l'orario di incontro, scegliendo un momento tranquillo della giornata in cui il proprietario avesse del tempo da dedicare al test e senza interferenze esterne. Inoltre l'orario dell'incontro era lontano dai pasti del cane, per fare in modo che fosse sufficientemente motivato a mangiare durante il test. Quando ciò non era possibile, lo sperimentatore chiedeva al proprietario di tenere il cane a digiuno nelle 2 ore precedenti al test. Infine, lo sperimentatore si accertava che il proprietario fosse d'accordo con la somministrazione del cibo utilizzato e che acconsentisse alla videoregistrazione del test.

Il test doveva avere luogo in una situazione il più naturale possibile per il cane perciò si svolgeva in casa, all'interno o all'esterno a seconda della preferenza e delle abitudini del cane. Durante la parte iniziale dell'incontro lo sperimentatore familiarizzava con il cane affinché questo si abituasse alla sua presenza e fosse a proprio agio. Lo sperimentatore offriva al cane un pezzetto di wurstel per verificare che lo gradisse e per attirare la sua attenzione. In seguito veniva scelto un luogo della casa in cui poter svolgere il test senza distrazioni e ostacoli. Lo sperimentatore spiegava al proprietario la procedura del test e si assicurava la sua collaborazione durante il test. Nello specifico era importante che il proprietario si comportasse in modo neutrale nei confronti del cane ed evitasse sia di incoraggiarlo prima di ogni prova, sia di lodarlo o rimproverarlo al termine. Ogni cane doveva essere testato singolarmente, per cui nel caso in cui i proprietari avessero più di un cane da testare, questi venivano portati in un'altra stanza in modo da non interferire con lo svolgimento del test. Questo serviva anche a far sì che i cani da testare successivamente non avessero alcuna esperienza del test. Lo sperimentatore si assicurava

che la separazione non creasse disagio al cane da testare e che i cani separati nell'altra stanza non emettessero richiami di alcun tipo, che avrebbero potuto distrarre l'animale. Dopo essersi assicurato che il proprietario avesse compreso le indicazioni fornite, lo sperimentatore preparava il setting sperimentale (Fig. 5). I piatti venivano posti in modo tale che i loro centri avessero una distanza di 60 cm, mentre la posizione del cane veniva fissata a 1 m in linea retta rispetto al punto medio della distanza tra i piattini. Lo sperimentatore poi poneva il treppiede in modo da inquadrare bene le 3 posizioni.

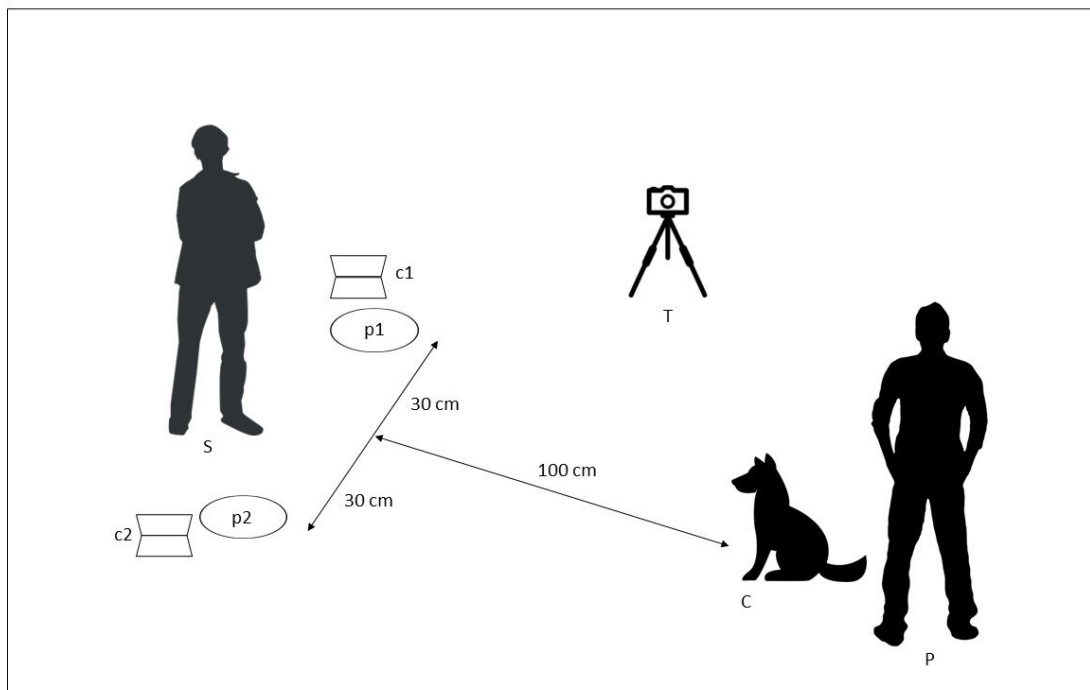


Figura 5. Setting sperimentale. Lo schema mostra la posizione dello sperimentatore (S), dei due piatti (p1 e p2), dei due coperchi appoggiati lateralmente ai piatti (c1 e c2), del cane (C), del proprietario (P) e del treppiede (T).

Procedura del test

Al proprietario veniva chiesto di portare il cane nella posizione prefissata e di tenerlo fino a quando avrebbe ricevuto il comando di lasciarlo da parte dello sperimentatore. In particolare il proprietario doveva posizionarsi dietro il cane e indossare degli occhiali da sole, per ridurre al minimo la possibilità che il cane osservasse il suo volto e soprattutto il suo sguardo durante il test. Al proprietario veniva inoltre richiesto di non fissare né lo

sperimentatore né i piatti con il cibo ma di tenere lo sguardo fisso davanti a sé. Il proprietario, a seconda della preferenza e del temperamento del cane, poteva tenerlo fermo in posizione sia trattenendolo piano con le mani sia con il guinzaglio. In questo caso il guinzaglio non doveva essere in tensione, ma tenuto lasco in modo da non influire sulla scelta del cane e il proprietario doveva fare attenzione a non direzionare il cane al momento della scelta tra i 2 piatti.

A questo punto lo sperimentatore indossava occhiali da sole e mascherina e si posizionava centralmente rispetto alle posizioni dei 2 piatti. Qui preparava i 2 piatti per la prima prova, che prevedeva la scelta tra due quantità uguali di cibo (3 pezzi a destra e 3 pezzi a sinistra). La preparazione di ogni prova avveniva voltando le spalle al cane, in modo che non potesse vedere cosa faceva lo sperimentatore. Dopo aver coperto i 2 piatti lo sperimentatore si voltava, li posizionava alla distanza prefissata e toglieva i coperchi, che poggiava a lato dei piatti con un angolo di 45° verso di sé. Mantenendo lo sguardo dritto ed evitando di fissare il cane, lo sperimentatore si assicurava che l'animale osservasse i piatti per qualche secondo. Se l'attenzione del cane era rivolta altrove, lo sperimentatore lo chiamava per nome e si accertava che il cane prestasse attenzione ai piatti. A questo punto lo sperimentatore dava il comando di lasciare il cane al proprietario dicendo "ok" e il cane era lasciato libero di dirigersi verso uno dei due piatti per mangiarne il contenuto. Nel momento in cui il cane sceglieva un piatto, ovvero appena iniziava a mangiare i pezzettini di cibo, lo sperimentatore copriva l'altro piatto e lo nascondeva dietro di sé. In questo modo il cane sperimentava di poter mangiare solamente il contenuto del piatto scelto. Quando il cane finiva di mangiare, il proprietario lo prendeva e lo riportava alla posizione di partenza. Né lo sperimentatore né il proprietario rinforzavano il cane in alcun modo.

Lo sperimentatore si voltava nuovamente e preparava i piatti con le nuove quantità di cibo. Diversamente dalla prima prova, in tutte le prove seguenti al cane veniva fatto scegliere tra 2 e 4 pezzetti di cibo. Ogni prova si ripeteva secondo la stessa procedura. Per fare in modo che il cane scegliesse utilizzando le informazioni visive, è stato necessario eguagliare la quantità di odore totale di cibo percepita dal cane. Nel coperchio del piatto contenente 2 pezzetti di cibo lo sperimentatore nascondeva altri 2 pezzetti di cibo, mentre l'altro coperchio rimaneva vuoto. In questo modo da entrambi i lati il cane avrebbe percepito l'odore corrispondente alla stessa quantità di cibo.

Il test era composto da un totale di 7 prove. Nella prima prova la quantità di cibo presentata al cane era la stessa in entrambi i piatti (3 pezzetti); nelle successive 6 il confronto era tra 2 e 4 pezzetti di cibo. In queste 6 prove, i due piatti venivano alternati in modo che le due quantità si trovassero a destra e a sinistra lo stesso numero di volte. La modalità di presentazione delle 2 quantità era randomizzata, ad eccezione della seconda prova: in questo caso la quantità maggiore doveva trovarsi al lato opposto rispetto al lato scelto dal cane nella prima prova. Ad esempio, se nella prima prova il cane sceglieva il piatto a sinistra, nella seconda prova il piatto con la quantità maggiore doveva essere presentato a destra. Questo serviva a non rinforzare il primo lato scelto dal cane. Un esempio della sequenza di presentazione delle 2 quantità di cibo è riportato nella tabella seguente (Fig. 6).

N° prova	Quantità maggiore (4)	Quantità minore (2)
1	sinistra	destra
2	destra	sinistra
3	sinistra	destra
4	destra	sinistra
5	sinistra	destra
6	destra	sinistra

Figura 6. Esempio di presentazione dei due piatti. Destra e sinistra fanno riferimento al punto di vista del cane.

2.2 Risultati

I dati raccolti sono stati analizzati utilizzando un modello lineare generalizzato con una struttura binomiale. Infatti, la variabile dipendente (scelta del piatto con la quantità maggiore o minore di cibo) è stata codificata come dicotomica (0 = scelta della quantità minore; 1 = scelta della quantità maggiore). Nel modello sono state incluse, come variabili indipendenti, il sesso del cane (maschio o femmina), la posizione del piatto con la quantità maggiore (destra o sinistra) e l'interazione tra queste due variabili. I soggetti sono stati inclusi nel modello come effetto randomico.

Innanzitutto, è stata analizzata la performance generale dei cani nelle prove del test (confronto 2vs4) per indagare se fosse presente una preferenza tra le due quantità di cibo presentate. Complessivamente, i cani non hanno mostrato nessuna preferenza significativa per la quantità maggiore di cibo ($P(\text{quantità maggiore}) = 52.4\%$, $ES = 4.64\%$, $z = 0.526$, $p = 0.599$) (Fig. 7). Inoltre, non è stato rilevato nessun effetto delle variabili di interesse sulla variabile dipendente. Tuttavia, per quanto riguarda la relazione tra posizione del piatto con la quantità maggiore e scelta effettuata dal cane, è interessante notare che la performance dei cani sembra essere migliore quando la quantità maggiore viene fornita sul lato destro ($P(\text{quantità maggiore}) = 60.7\%$, $ES = 6.28\%$, $z = 1.647$, $p = 0.1$) rispetto a quando viene fornita sul lato sinistro ($P(\text{quantità maggiore}) = 44.1\%$, $ES = 6.49\%$, $z = -0.902$, $p = 0.367$), nonostante non vi sia una significatività statistica (Fig. 7). Infine, è stata analizzata la performance dei cani nella prima prova del test di discriminazione (confronto 2vs4) inserendo come nuova variabile di interesse la scelta effettuata dal cane nel pre-test (destra o sinistra), per valutare se la performance fosse influenzata dalla prova di familiarizzazione che precedeva il test. Non è stato rilevato nessun effetto della prima scelta effettuata dal cane nel pre-test (confronto 3vs3) sulla prima scelta al test di discriminazione (confronto 2vs4) ($P(\text{ridirigere scelta}) = 36.6\%$, $ES = 1.13$, $z = -1.130$, $p = 0.258$).

A livello qualitativo, appare rilevante riportare che 7 cani su 20 hanno mantenuto la preferenza per lo stesso lato (destra o sinistra) in tutte le 6 prove del test, indipendentemente dalla quantità presentata. In particolare, 2 cani hanno scelto il lato destro e 5 cani hanno scelto il lato sinistro in tutti i confronti 2vs4. La preferenza mantenuta da questi soggetti per tutte le prove del test è coerente con la scelta effettuata nel pre-test, ovvero il lato scelto nel pre-test e il lato mantenuto in tutte le prove coincidevano per tutti i 7 cani.

I dati raccolti per questo esperimento fanno parte di una raccolta dati più grande, che prevede un campione più numeroso di quanto analizzato in questa sede, per cui i risultati ottenuti vanno interpretati con cautela, in quanto non necessariamente riflettono i risultati che derivano da un'analisi compiuta sul campione completo.

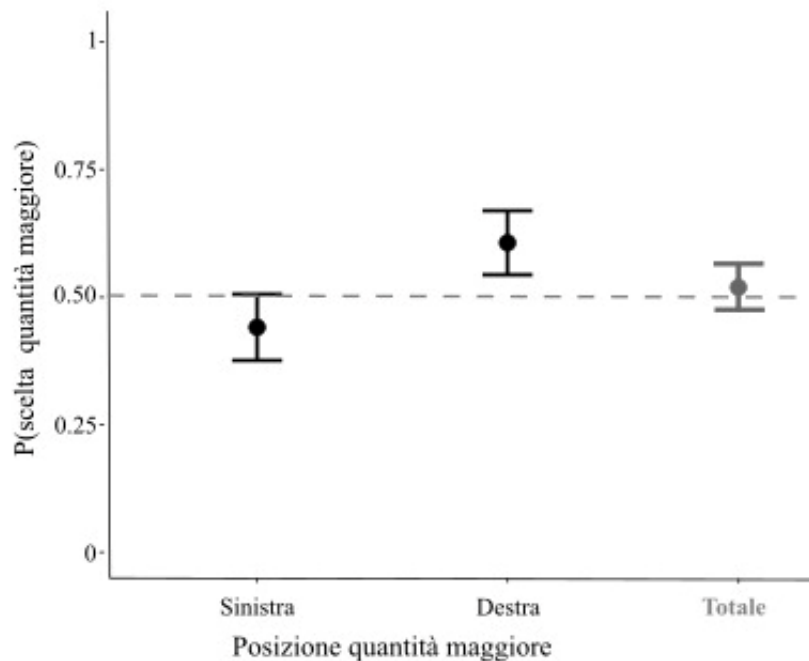


Figura 7. Il grafico riporta la performance dei cani al test di discriminazione 2vs4. In particolare, viene mostrata la probabilità di scegliere la quantità maggiore quando questa si trova sul lato sinistro (Sinistra), sul lato destro (Destra) e a livello generale (Totale). È possibile osservare come complessivamente la probabilità di scegliere la quantità maggiore si attesti al livello del caso (0.50). Inoltre, si può osservare che la performance dei soggetti è migliore quando la quantità maggiore viene presentata sul lato destro rispetto a quando viene presentata sul lato sinistro.

2.3 Discussione

Dai risultati di questo esperimento è emerso che i cani non sembrano manifestare una preferenza spontanea per la quantità maggiore di cibo nel confronto 2vs4, contrariamente all'aspettativa secondo cui, di fronte a una scelta tra due quantità diverse, gli animali dovrebbero massimizzare l'importo di cibo (Krebs et al., 1974). Una spiegazione dei risultati ottenuti può essere ricondotta all'incapacità dei cani di discriminare le due quantità nel confronto 2vs4. Come indicato dalla legge di Weber e in linea con il funzionamento dell'ANS, la difficoltà nella discriminazione di due quantità diverse aumenta all'aumentare del loro rapporto numerico. In questo esperimento il confronto impiegato, che prevede un rapporto di 0.5, potrebbe essere troppo difficile per i cani, dunque la scarsa prestazione al test potrebbe essere attribuita a un limite cognitivo. Ciò

sembra essere in accordo l'ipotesi di Frank (1980), secondo cui il processo di domesticazione avvenuto nei cani avrebbe modificato le loro abilità cognitive rendendole più funzionali al nuovo ambiente di vita. In particolare, in un contesto in cui i cani non hanno bisogno di procurarsi il cibo da sé, la capacità di scegliere la quantità maggiore di cibo tra due alternative diventa meno rilevante per la sopravvivenza rispetto a quanto accade in natura. Di conseguenza, la domesticazione potrebbe aver comportato una riduzione nell'accuratezza della discriminazione di quantità nei cani domestici. Tuttavia, i risultati ottenuti si trovano in contrasto con quanto riportato da diversi studi sulla discriminazione di quantità condotti sui cani, in cui le performance dei soggetti erano accurate sia nel confronto 2vs4 (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016, 2017; Normando et al., 2022) sia in confronti più difficili come 3vs5 (Ward & Smuts, 2006). Inoltre, i cani sembrano capaci di scegliere la quantità maggiore nel confronto 2vs4 anche in un paradigma di scelta spontanea con presentazione sequenziale degli stimoli (Range et al., 2014). Confrontando i risultati ottenuti nel nostro esperimento con quelli riportati da Ward & Smuts (2006) e Normando et al. (2022), è possibile che la mancanza di una preferenza statisticamente significativa per la quantità maggiore di cibo nel nostro esperimento sia dovuta alla ridotta numerosità del campione. È possibile, quindi, che un'analisi condotta sul campione completo riveli dei risultati diversi da quanto ottenuto in questa sede e coerenti con il resto della letteratura. Inoltre, considerando che nei cani la capacità di discriminare due quantità diverse potrebbe essere più debole a causa della domesticazione, la capacità di discriminare il confronto 2vs4 potrebbe emergere solamente analizzando un campione molto ampio, che permetta di ottenere risultati più attendibili.

Un'altra spiegazione della scarsa performance riscontrata nel presente esperimento può essere attribuita a fattori motivazionali. Come sottolineato da Agrillo & Bisazza (2014), nei test di scelta spontanea la motivazione riveste un ruolo importante nell'influenzare il comportamento degli animali e l'assenza di una preferenza per la quantità maggiore non è dovuta necessariamente all'incapacità di discriminare le due quantità. Nel confronto 2vs4, è possibile che per i cani la differenza tra le due opzioni non fosse abbastanza saliente da motivarli a preferire la quantità maggiore rispetto a quella minore. Inoltre, la possibilità di mangiare del cibo a prescindere dall'opzione selezionata potrebbe aver fatto sì che per i cani scegliere l'una o l'altra quantità fosse ininfluente. Ciò sembra essere

supportato dall'osservazione qualitativa della performance dei soggetti testati. I cani, infatti, non hanno mostrato né un calo di interesse durante il test né alcun segno di frustrazione per il fallimento quando sceglievano la quantità minore, indicando che il suo valore incentivante fosse sufficiente a motivare il comportamento appetitivo. Inoltre, se i cani sperimentano la possibilità di ottenere una quantità di cibo sufficientemente incentivante a prescindere dal lato scelto, potrebbero prestare meno attenzione nelle prove del test per ottimizzare la quantità di risorse cognitive utilizzate. Lo stile di vita dei cani testati può supportare ulteriormente l'ipotesi che la performance nel confronto 2vs4 sia stata influenzata da fattori motivazionali. I cani testati sono cani di proprietà, che vivono in un ambiente stabile in cui hanno la certezza di ricevere del cibo in modo regolare, per cui è possibile che non abbiano una forte motivazione a massimizzare la quantità di cibo assunta. Secondo questa ipotesi, quindi, nel nostro esperimento la scarsa performance rilevata nella discriminazione del confronto 2vs4 potrebbe essere ricondotta non a un limite cognitivo ma alla ridotta motivazione nella scelta della quantità maggiore di cibo, per cui i cani, pur essendo capaci di discriminare le due quantità, avrebbero scelto indifferentemente una delle due opzioni. Come riportato da Horowitz et al. (2013), è possibile che i cani comprendano quale sia la quantità maggiore ma che non scelgano necessariamente di conseguenza.

Inoltre, un ulteriore fattore che può aver influenzato la performance nel presente esperimento consiste nel ruolo di rinforzo positivo del cibo utilizzato. Considerando che entrambe le risposte venivano premiate e che la performance dei cani non sembra essere sensibile alla quantità del rinforzo ricevuto (Fernand et al., 2018; Riemer et al., 2018), i soggetti potrebbero non aver compreso quale fosse l'opzione corretta, rispondendo in modo casuale. Infine, anche la novità della situazione, unita alla presenza di uno sperimentatore sconosciuto, possono aver contribuito alla scarsa prestazione dei cani nel test di discriminazione.

Nonostante i cani non abbiano manifestato la capacità di discriminare le due quantità di cibo nel confronto 2vs4, dai risultati sembra emergere una tendenza, pur non significativa, a scegliere la quantità maggiore in modo più accurato quando questa si trova sul lato destro rispetto a quando si trova sul lato sinistro. Ciò sembra suggerire che la performance dei cani sia influenzata dall'associazione tra le numerosità e la loro posizione spaziale. Questo fenomeno può essere ricondotto all'esistenza della cosiddetta "linea numerica

mentale”, tramite cui l’uomo e gli altri animali sembrano rappresentare le numerosità in ordine crescente da sinistra a destra (Vallortigara, 2018; Loconsole et al., 2023). Di conseguenza, se le piccole numerosità sono associate al lato sinistro e le grandi numerosità al lato destro, è possibile che i cani abbiano risposto meglio al test quando la quantità maggiore si trovava a destra perché la sua posizione era congruente con la rappresentazione spaziale sulla linea numerica mentale. Risultati simili sono stati riscontrati nei pulcini di pollo domestico, che sono più bravi a discriminare 5vs10 e 6vs9 quando la quantità maggiore si trova a destra rispetto a sinistra (Rugani et al., 2014). Inoltre, questo fenomeno sembra facilitare la discriminazione di quantità in un compito cognitivamente difficile (Loconsole et al., 2023). L’associazione tra numerosità e posizione spaziale potrebbe quindi costituire una strategia efficace che supporta la performance degli animali nei compiti di discriminazione di quantità (Loconsole et al., 2023). Nel nostro esperimento è possibile che i cani, non riuscendo a discriminare accuratamente le due quantità, abbiano cercato di massimizzare la probabilità di mangiare la quantità maggiore di cibo sfruttando questa strategia. Un’ulteriore spiegazione di questo effetto vede come responsabile della migliore accuratezza della performance nel lato destro l’attivazione dell’emisfero cerebrale sinistro, legata alla valenza positiva della quantità maggiore di cibo, che potrebbe determinare un aumento dell’attenzione nell’emisfero controlaterale (Vallortigara, 2018) e quindi una performance migliore nel lato destro rispetto a quello sinistro.

È interessante notare che dall’osservazione delle performance dei cani testati sembra che parte del campione abbia impiegato un’altra strategia per affrontare il compito. Alcuni soggetti, infatti, hanno scelto lo stesso lato in tutte le prove del test a prescindere dalla quantità di cibo presente sul piatto. Si può affermare che questi cani hanno mostrato una preferenza per uno specifico lato, destro o sinistro, più che una preferenza per una delle due quantità di cibo. È noto in letteratura che questo comportamento si manifesta quando gli animali non comprendono la situazione e non sanno quale risposta emettere (Ventricelli et al., 2013). Ad esempio, i pulcini di pollo domestico sembrano adottare questa strategia per far fronte all’incertezza in compiti complessi (Loconsole et al., 2021). Il vantaggio che deriva dal prediligere sempre lo stesso lato nei compiti di scelta tra due alternative è dovuto alla probabilità di rispondere correttamente nella metà delle prove (Ventricelli et al., 2013). Nel nostro esperimento, mantenere la preferenza per lo stesso

lato consente ai cani di avere accesso alla quantità maggiore di cibo nella metà delle prove, un esito tutto sommato favorevole se confrontato con il rischio di sbagliare in tutte le prove. È possibile, quindi, che trovandosi di fronte a una situazione nuova e probabilmente difficile dal punto di vista cognitivo, alcuni cani abbiano preferito affidarsi a una strategia sicura ed efficace per risolvere il compito piuttosto che investire molte risorse cognitive per rispondere e rischiare una perdita maggiore del 50%. In alternativa, i cani potrebbero aver utilizzato questa strategia non perché incapaci di discriminare correttamente le due quantità, ma perché indifferenti alle due opzioni. Ciò è possibile soprattutto considerando che la differenza tra le due quantità non è notevole e che per i cani il vantaggio derivante dalla scelta della quantità maggiore di cibo potrebbe essere trascurabile. Tuttavia, solitamente in questo caso la performance dovrebbe stabilizzarsi sullo stesso lato con il passare delle prove (Ventricelli et al., 2013), mentre nel nostro esperimento la lateralizzazione si è manifestata dall'inizio del test.

La strategia adottata da questi soggetti può essere spiegata anche in termini adattivi. Come suggerito da Beran et al. (2008), nelle situazioni di foraggiamento gli animali non sempre valutano accuratamente tutti gli aspetti dei problemi che incontrano, ma possono affidarsi a delle euristiche, ovvero delle “scorciatoie” cognitive, che permettono di ottenere un risultato positivo in modo rapido e poco dispendioso. È possibile, infatti, che in natura gli animali si trovino in situazioni potenzialmente pericolose in cui è necessario compiere una scelta tra due fonti di cibo in modo veloce: in questo caso per gli animali è vantaggioso emettere una risposta sicura e affidabile, mentre sprecare risorse cognitive e tempo per massimizzare l'importo di cibo potrebbe rivelarsi controproducente. Nelle situazioni di incertezza, quindi, utilizzare un'euristica che permette di rispondere in modo automatico, come scegliere sempre lo stesso lato nel caso del presente esperimento, può rivelarsi una strategia valida e adattiva dal punto di vista evolutivo.

La performance dei cani che hanno scelto lo stesso lato in tutte le prove potrebbe dipendere da ulteriori fattori come apprendimento e rinforzo. Poiché questi soggetti hanno mantenuto lo stesso lato a partire dal pre-test, è possibile che la preferenza per quello specifico lato sia stata rinforzata dal cibo ottenuto nel pre-test. I cani, quindi, potrebbero aver appreso a scegliere quel lato dopo aver associato la propria scelta a un evento positivo come mangiare il cibo sul piattino; di conseguenza, avrebbero mantenuto la stessa preferenza per tutte le altre prove perché sempre associata a una ricompensa.

Infine, è possibile che i cani abbiano basato la propria scelta non sulla quantità di cibo ma sull'azione coinvolta. Se, ad esempio, nel pre-test i cani hanno avuto l'esperienza di poter mangiare dal piatto di sinistra, mentre il piatto di destra veniva rimosso, potrebbero aver associato il lato sinistro alla possibilità di ottenere del cibo e il lato destro alla sua sottrazione. Di conseguenza, potrebbero aver mantenuto la preferenza per il lato sinistro in base all'esperienza precedente, preferendo scegliere il lato in cui avrebbero trovato sicuramente del cibo, nonostante questo non fosse sempre associato alla quantità maggiore.

Per quanto riguarda l'effetto della prova di familiarizzazione sulla performance, i risultati non hanno confermato l'ipotesi di partenza. Dopo il pre-test, infatti, i cani non hanno scelto accuratamente la quantità maggiore di cibo nel primo confronto 2vs4. Ciò sembra indicare che l'esperienza della procedura del compito sperimentata nel pre-test non sia stata sufficiente affinché i cani comprendessero il funzionamento del test e scegliessero la quantità maggiore nella prima prova. Confrontando i risultati ottenuti con quanto riportato precedentemente da Normando et al. (2022), si può ipotizzare che il mancato apprendimento della procedura dipenda dalle quantità di cibo coinvolte nel pre-test. Nel nostro esperimento, il pre-test prevedeva il confronto tra due quantità di cibo uguali (3vs3), mentre nell'esperimento di Normando et al. (2022) ai cani sono state presentate due quantità diverse in tutte le prove del test (1vs8 o 2vs4). In questo caso gli autori avevano ipotizzato che l'apprendimento fosse dipeso dall'esito della scelta precedente, in particolare dall'esperienza del fallimento dovuto alla scelta della quantità minore nella prima prova. Nel nostro esperimento, i cani non hanno sperimentato lo stesso tipo di fallimento perché le quantità presentate nel pre-test erano identiche, dunque a prescindere dalla quantità scelta l'esito era lo stesso. La scelta nel pre-test, quindi, potrebbe non essere stata cruciale affinché i cani apprendessero la procedura sperimentale e fossero motivati a scegliere la quantità maggiore di cibo nel primo confronto 2vs4. Dai risultati ottenuti sembra quindi emergere che, contrariamente alla nostra ipotesi, l'apprendimento della procedura sperimentale nel pre-test non dipenda esclusivamente dall'esperienza del funzionamento del test in sé, ma anche dalle quantità di cibo presentate ai cani.

Tuttavia, è necessario specificare che le considerazioni riportate sopra in merito all'effetto del pre-test sulla performance si basano sull'assunto che i cani siano capaci di discriminare le due quantità di cibo. Nel nostro esperimento, invece, i risultati ottenuti a

questo riguardo potrebbero essere influenzati dalla scarsa performance generale rilevata nel test di discriminazione. La mancanza di una preferenza per la quantità maggiore nel primo confronto 2vs4 potrebbe non essere legata all'inefficacia del pre-test ma alla difficoltà del confronto numerico proposto. Se i cani non sono capaci di discriminare le due quantità, diventa impossibile cercare di valutare l'effetto del pre-test sulla loro prestazione. Dal presente esperimento, quindi, non si possono trarre conclusioni certe sull'utilità della prova di familiarizzazione e sui meccanismi alla base del suo effetto sulla performance.

CAPITOLO 3
ESPERIMENTO 2. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ DOPO
L'ESPERIENZA INDIRETTA DI UN PRE-TEST

3.1 Materiali e metodi

3.1.1 Soggetti

Sono stati testati 11 cani di proprietà, di cui 1 è stato escluso dal campione analizzato perché non ha completato il test. Il campione era quindi composto da 10 cani, di cui 6 femmine (età media: 80,83 mesi) e 4 maschi (età media: 72 mesi). L'età media totale era di 76,41 mesi, corrispondenti a 6,37 anni. Delle 6 femmine, 5 erano sterilizzate e 2 erano di razza. Dei 4 maschi, 2 erano castrati e 2 erano di razza. La tabella sottostante (Fig. 8) riporta queste informazioni in dettaglio per ogni cane. I cani sono stati selezionati secondo gli stessi criteri dell'esperimento 1. Tutti i cani testati, quindi, erano cani adulti e sani. Inoltre, 3 cani avevano ricevuto un addestramento di base ma nessuno aveva mai preso parte a un esperimento simile, per cui la procedura era nuova a tutti i soggetti.

Nome	Sesso	Età (mesi)	Stato riproduttivo	Razza
Argo	M	132	castrato	Meticcio
Azzurra	F	29	sterilizzata	Meticcio
Bill	M	108	castrato	Meticcio
Freya	F	84	sterilizzata	Meticcio
Jenna	F	72	intera	Setter Irlandese
Kira	F	120	sterilizzata	Maltese
Lucy	F	84	sterilizzata	Meticcio
Penny	F	96	sterilizzata	Meticcio
Simba	M	24	intero	Shiba Inu
Skippy	M	24	intero	Chihuahua

Figura 8. La tabella riporta le informazioni base di ogni cane appartenente al campione.

3.1.2 Materiali

I materiali utilizzati sono gli stessi dell'esperimento 1 (cfr. § 2.1.2).

3.1.3 Procedura

Prima del test

La preparazione al test nel secondo esperimento era analoga a quella del primo esperimento (cfr. § 2.1.3). Sia lo sperimentatore sia il dimostratore familiarizzavano con il cane prima di passare al test, assicurandosi che il cane fosse a proprio agio con entrambi.

Procedura del test

La procedura del secondo esperimento era analoga a quella del primo esperimento (cfr. § 2.1.3), con l'eccezione che la prima prova non veniva svolta dal cane ma dal dimostratore. Le prove seguenti venivano svolte dal cane in maniera analoga a quanto accadeva nell'esperimento 1. Anche le quantità di pezzetti di cibo presentate al cane erano uguali tra i due esperimenti: 3 vs 3 nella prima prova, 2 vs 4 nelle 6 prove successive.

All'inizio del test il dimostratore si posizionava al punto di partenza a 1 m dai 2 piatti, ovvero nella posizione che sarebbe dovuta essere occupata dal cane. Al proprietario veniva chiesto di posizionarsi lateralmente rispetto alla scena, vicino al dimostratore, e di tenere il cane con sé in modo che osservasse sia il dimostratore sia i piatti (Fig. 9). Il dimostratore sceglieva uno dei due piatti prendendo in mano i 3 pezzetti di cibo e si spostava per non interferire con le prove successive. A questo punto, il proprietario portava il cane nella posizione di partenza per svolgere le 6 prove rimanenti. La modalità di presentazione dei 2 piatti era randomizzata, ad eccezione della seconda prova: in questo caso la quantità maggiore doveva trovarsi al lato opposto rispetto al lato scelto dal dimostratore nella prima prova. Un esempio della sequenza di presentazione delle 2 quantità di cibo è riportato nella tabella seguente (Fig. 10).

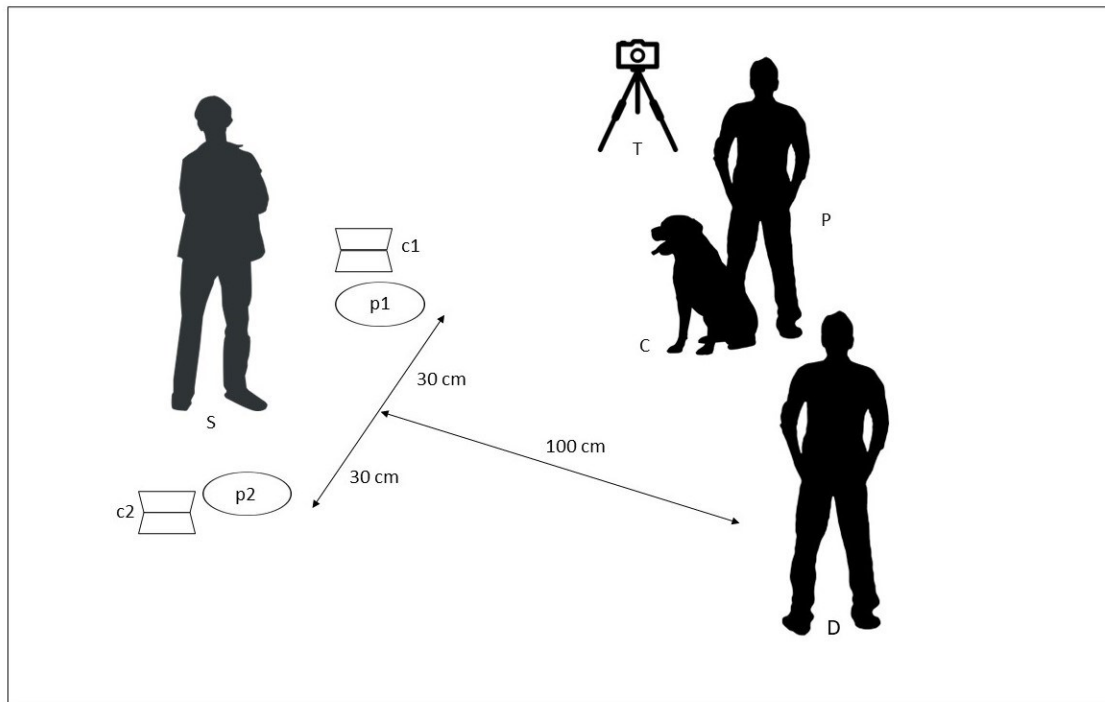


Figura 9. Setting sperimentale. In particolare la figura mette in evidenza la posizione del dimostratore (D), del cane (C) e del proprietario (P) durante la prima prova del test.

N° prova	Quantità maggiore (4)	Quantità minore (2)
1	destra	sinistra
2	sinistra	destra
3	destra	sinistra
4	sinistra	destra
5	destra	sinistra
6	sinistra	destra

Figura 10. Esempio di presentazione dei due piatti. Destra e sinistra fanno riferimento al punto di vista del cane.

3.2 Risultati

I dati raccolti sono stati analizzati utilizzando un modello lineare generalizzato con una struttura binomiale. Infatti, la variabile dipendente (scelta del piatto con la quantità

maggiore o minore di cibo) è stata codificata come dicotomica (0 = scelta della quantità minore; 1 = scelta della quantità maggiore). Nel modello sono state incluse, come variabili indipendenti, la posizione del piatto con la quantità maggiore (destra o sinistra), il lato scelto dal dimostratore nel pre-test (destra o sinistra) e l'interazione tra queste due variabili. I soggetti sono stati inclusi nel modello come effetto randomico.

Analizzando la performance generale dei cani nel test di discriminazione, non è emersa nessuna preferenza significativa per la quantità maggiore ($P(\text{quantità maggiore}) = 43.9\%$, $ES = 7.22\%$, $z = -0.836$, $p = 0.403$). Inoltre, non è stato riscontrato nessun effetto delle variabili di interesse sulla variabile dipendente.

Per quanto riguarda la prima scelta effettuata dai cani nel test di discriminazione, è stata inserita come nuova variabile di interesse la scelta effettuata dal dimostratore nel pre-test (destra o sinistra). La performance dei cani nella prima prova del test (confronto 2vs4) non è risultata essere influenzata dalla scelta compiuta dal dimostratore (Fig. 11). Tuttavia si può notare che, sebbene non vi sia un effetto a livello statistico, i cani sembrano avere una maggiore probabilità di scegliere la quantità maggiore nella prima prova dopo la dimostrazione quando questa si trova sul lato destro ($P(\text{quantità maggiore}) = 60\%$, $ES = 21.9\%$, $z = 0.44$, $p = 0.657$) rispetto a quando si trova sul lato sinistro ($P(\text{quantità maggiore}) = 40\%$, $ES = 21.9\%$, $z = 0.44$, $p = 0.657$) (Fig.11).

Anche in questo caso, come osservato nell'esperimento 1, è rilevante riportare che 7 cani su 10 hanno mantenuto la preferenza per lo stesso lato (destro o sinistro) in tutte le 6 prove del test indipendentemente dalla quantità presentata. In particolare, 4 cani hanno scelto il lato destro e 3 cani hanno scelto il lato sinistro in tutti i confronti 2vs4. Tra i 4 cani che hanno mantenuto la preferenza per il lato destro, 3 di loro lo hanno fatto coerentemente con la scelta del dimostratore, ovvero dopo aver osservato il dimostratore preferire il lato destro, mentre 1 soggetto ha mantenuto la preferenza per il lato destro dopo aver osservato il dimostratore preferire il lato sinistro. Tra i 3 cani che hanno sempre scelto il lato sinistro, 2 di loro lo hanno fatto in accordo con la scelta effettuata dal dimostratore (lato sinistro), mentre 1 soggetto ha mantenuto la preferenza per il lato sinistro dopo aver osservato il dimostratore scegliere il lato destro.

Come specificato per quanto riguarda l'esperimento 1, anche qui va precisato che il campione analizzato è ridotto rispetto a quanto previsto dalla raccolta dati originaria, per cui è necessario interpretare i risultati ottenuti con cautela.

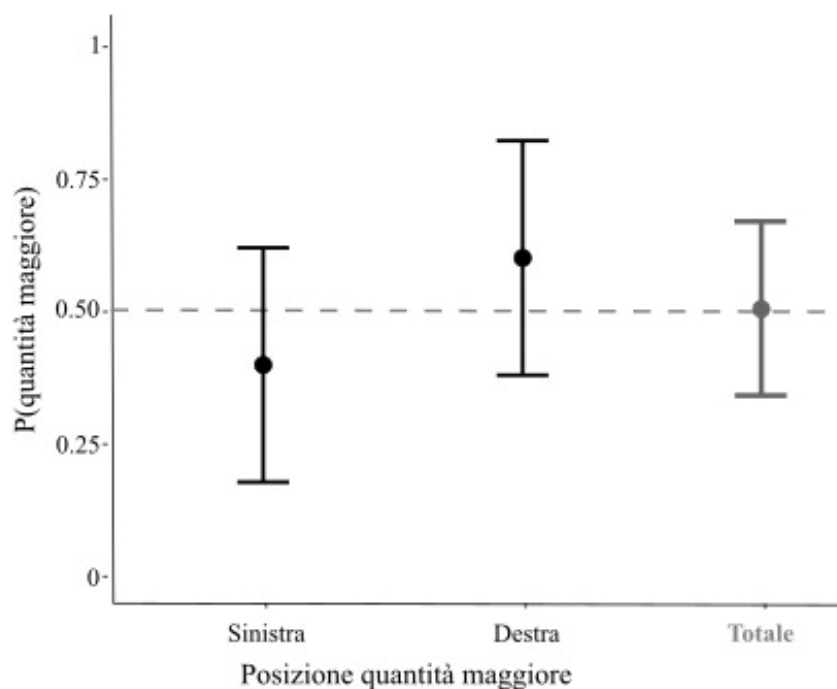


Figura 11. Il grafico riporta la probabilità che i cani scelgano la quantità maggiore nella prima prova 2vs4, quando questa si trova sul lato sinistro (Sinistra), sul lato destro (Destra) e a livello generale (Totale). Si può osservare come la probabilità che i cani compiano la stessa scelta del dimostratore si attesta al livello del caso (0.50) e quindi che la loro performance non è influenzata dal dimostratore. Similmente a quanto riportato nell’esperimento 1, è possibile osservare come la performance dei cani sembri migliore quando la quantità maggiore si trova sul lato destro rispetto a quando si trova sul lato sinistro.

3.3 Discussione

Come nell’esperimento 1, anche in questo caso la performance generale dei cani si è rivelata poco accurata. I soggetti, infatti, non hanno scelto in modo significativo la quantità maggiore di cibo nel confronto 2vs4. Questi risultati possono essere attribuiti a un limite cognitivo, ovvero all’incapacità di discriminare le due quantità, a una mancanza di motivazione oppure al ruolo confondente del rinforzo, come discusso sopra (cfr. § 2.3). Inoltre, la presenza di un dimostratore estraneo, oltre a quella dello sperimentatore, potrebbe aver distratto i cani dal compito e contribuito alla scarsa prestazione. Se il livello di agitazione dato dalla situazione non familiare è troppo alto potrebbe interferire con il corretto svolgimento del compito e condurre a risultati poco validi. Va considerato,

inoltre, che in questo esperimento il campione era dimezzato rispetto a quello dell'esperimento 1, dunque i risultati ottenuti necessitano di interpretazioni più caute. Data la ridotta numerosità, è possibile che in questo caso le reali capacità cognitive dei cani siano più difficili da rilevare.

Analizzando la performance complessiva, si può osservare che il numero di cani che hanno preferito lo stesso lato in tutte le prove del test prevale all'interno del campione ed è maggiore, in proporzione, rispetto all'esperimento 1. Nel presente esperimento, quindi, sembra che i cani abbiano preferito affrontare la difficoltà e l'incertezza legate al compito utilizzando una strategia sicura che consentiva di ottenere la quantità maggiore di cibo nella metà delle prove. È interessante notare che la maggior parte di questi soggetti, corrispondente alla metà del campione totale, ha espresso la propria preferenza in accordo con il lato scelto dal dimostratore, mostrando quindi una tendenza a imitarlo. Ciò sembra in linea con i risultati riportati da Marshall-Pescini et al. (2011), secondo cui i cani sono inclini ad affidarsi alle informazioni fornite dall'uomo, indipendentemente dal suo grado di familiarità. Inoltre, poiché dopo la scelta del dimostratore lo sperimentatore poneva la quantità maggiore di cibo nel lato opposto, si può supporre che i cani che hanno mantenuto il lato scelto dal dimostratore abbiano preferito basarsi sulla sua azione piuttosto che mangiare la quantità maggiore di cibo. Questa ipotesi trova riscontro in alcuni studi precedenti dove è stato osservato che le informazioni fornite dall'uomo possono contrastare le preferenze spontanee dei cani e indurli a compiere scelte svantaggiose (Prato-Previde et al., 2008; Horowitz et al., 2013).

Secondo l'ipotesi di partenza di questo esperimento, i cani avrebbero dovuto apprendere il funzionamento del test osservando il dimostratore svolgere la prova di familiarizzazione (confronto 3vs3) e, dopo aver compreso che era possibile ottenere solamente il contenuto del piattino scelto, avrebbero dovuto scegliere la quantità di cibo più vantaggiosa, ovvero quella maggiore, nella prima prova del compito (confronto 2vs4). I risultati non hanno confermato la nostra ipotesi: la performance dei cani nella prima prova, infatti, non è stata influenzata dalla scelta del dimostratore. Ciò significa che complessivamente i cani non hanno né imitato la scelta del dimostratore né preferito la quantità nel lato opposto, ovvero la quantità maggiore. Come riportato sopra, tuttavia, è interessante notare che metà del campione ha preferito il lato scelto dal dimostratore e mantenuto questa preferenza per tutta la durata del test. Considerando che per i cani le informazioni fornite dall'uomo sono

molto rilevanti, è possibile che questi soggetti abbiano interpretato la dimostrazione come una situazione di apprendimento in cui il dimostratore indicava il lato corretto da scegliere. Dopo aver scelto la quantità di cibo nel lato scelto dal dimostratore, i cani potrebbero aver mantenuto questa preferenza anche nelle prove successive perché rinforzati dal cibo stesso. Come nel primo esperimento, anche in questo caso non è stato riscontrato un calo nella motivazione dei soggetti, dunque si può presumere che anche la quantità minore di cibo fosse sufficiente a motivare il comportamento appetitivo dei cani. Contrariamente alla nostra ipotesi, sembra che i cani non comprendano il funzionamento del test tramite la mera osservazione dello svolgimento della prova di familiarizzazione da parte del dimostratore. Questi risultati si trovano in contrasto con quelli riportati da Pongrácz et al. (2001), secondo cui i cani sono più bravi a svolgere un compito nuovo dopo aver osservato un dimostratore umano che lo esegue. Il mancato apprendimento potrebbe essere dovuto al fatto che l'esperienza del fallimento dato dall'impossibilità di ottenere entrambe le quantità non è saliente per i cani, in quanto non viene vissuta direttamente. Osservare un umano che dimostra il funzionamento della procedura sperimentale, senza nessun coinvolgimento in prima persona, quindi, non sembra comportare una maggiore accuratezza nella prima prova del test di discriminazione. Tuttavia, dato l'esiguo numero di cani testati, è difficile trarre conclusioni certe in merito all'effetto della dimostrazione sulla performance.

Sebbene dai risultati non sia emersa nessuna influenza significativa della dimostrazione sull'accuratezza della prestazione, confrontando la probabilità di scegliere la quantità maggiore nella prima prova separatamente per il lato destro e quello sinistro, i cani sembrano scegliere più accuratamente la quantità maggiore quando questa si trova a destra rispetto a quando si trova a sinistra. Ciò significa che quando il dimostratore sceglie la quantità a sinistra i cani tendono a scegliere correttamente la quantità maggiore a destra nella prima prova. Occorre precisare, tuttavia, che si tratta di un'osservazione qualitativa in quanto la differenza tra le performance nei due lati non è significativa. Ciò potrebbe comunque indicare che, in questo specifico caso, la dimostrazione è utile ai cani per comprendere la procedura sperimentale e preferire subito la quantità maggiore.

Inoltre, la performance potrebbe essere facilitata dall'associazione tra quantità e posizione spaziale, che permette di individuare più facilmente la quantità maggiore quando si trova a destra. Come discusso per l'esperimento 1 (cfr. § 2.3), questa strategia può supportare

la discriminazione di quantità e rivelarsi utile in generale per risolvere compiti cognitivi complessi. Tuttavia, rispetto all'esperimento 1, qui l'utilizzo di questa strategia non è stato riscontrato nelle prove successive: a livello generale, infatti, la prestazione dei cani non sembra migliore a destra.

È possibile che l'effetto della dimostrazione nel pre-test si manifesti solamente quando supportato dall'associazione tra la quantità maggiore e la sua posizione nella prova successiva, e quindi che i cani siano facilitati nel rispondere correttamente a causa dell'interazione tra questi due fattori. Considerata singolarmente, invece, la dimostrazione non sembra sufficientemente efficace affinché i cani preferiscano la quantità maggiore nella prima prova.

Anche in questo caso, a causa della ridotta numerosità del campione, i risultati appena discussi permettono solamente di avanzare ipotesi e supposizioni, che necessitano di una conferma su un campione più ampio.

Infine è importante precisare che, come visto nell'esperimento 1 (cfr. § 2.3), anche qui le considerazioni effettuate riguardo l'effetto della dimostrazione sulla performance sono influenzate dalla difficoltà che i cani hanno manifestato nella discriminazione del confronto 2vs4. A causa della scarsa performance, non è possibile stabilire se la mancata preferenza per la quantità maggiore nella prima prova dipenda dalla difficoltà del confronto numerico proposto o dall'inefficacia della dimostrazione della procedura. Infatti, è possibile che i cani siano capaci di comprendere il funzionamento del test tramite la sola osservazione del dimostratore, ma che di fronte a una scelta tra due quantità che non riescono a discriminare siano impossibilitati a dimostrare l'avvenuto apprendimento. Questa ipotesi potrebbe essere supportata dalla tendenza dei cani a scegliere la quantità maggiore a destra nella prima prova. È possibile che i cani riescano a far fronte alla difficoltà del confronto numerico e quindi a dimostrare di aver appreso il funzionamento del test solo quando la performance è facilitata dall'associazione tra quantità maggiore e lato destro.

CONCLUSIONI

L'obiettivo della ricerca era quello di indagare il ruolo dell'esperienza precedente sulla performance di discriminazione di quantità dei cani domestici in un compito di scelta spontanea. Sulla base dei risultati riportati da Lööke et al. (2020) e Normando et al. (2022), è stato ipotizzato che per i cani sia fondamentale conoscere il funzionamento della procedura sperimentale per poter scegliere accuratamente la quantità maggiore nella prima prova del test. Di conseguenza, in entrambi gli esperimenti i cani avrebbero dovuto mostrare una performance migliore nella prima prova grazie alla prova di familiarizzazione.

I risultati ottenuti non hanno supportato l'ipotesi di partenza. I cani non hanno scelto la quantità maggiore di cibo nella prima prova del test né dopo aver svolto il pre-test in prima persona né dopo aver osservato il dimostratore. Per quanto riguarda l'esperimento 1, si può supporre che i cani non abbiano appreso il completo funzionamento del compito a causa della differenza tra il confronto numerico presentato nel pre-test e quello presentato nelle prove del test. È possibile che, in accordo con quanto riportato da Normando et al. (2022), la prima esperienza della procedura sperimentale debba coinvolgere il confronto tra due quantità diverse affinché i cani siano motivati a orientare la propria scelta verso la quantità maggiore nella prova successiva. Nel caso dell'esperimento 2, i cani potrebbero non aver appreso il funzionamento della procedura sperimentale perché non l'hanno sperimentata in prima persona e, contrariamente alle aspettative, potrebbero non essere capaci di utilizzare le informazioni rilevanti fornite dall'uomo nella dimostrazione. Da entrambi gli esperimenti sembra quindi emergere che i cani devono essere sufficientemente motivati e coinvolti per imparare dall'esperienza e svolgere il test con successo.

Tuttavia, poiché complessivamente in entrambi gli esperimenti i cani non hanno discriminato accuratamente le due quantità di cibo, l'insuccesso nella prima prova del test potrebbe dipendere dal confronto numerico impiegato e non dalle caratteristiche della prova di familiarizzazione. A causa della scarsa performance generale, quindi, nel presente lavoro non è possibile stabilire con certezza l'effetto dell'esperienza precedente sulla discriminazione di quantità. Questo problema potrebbe essere risolto impiegando un

confronto numerico più facile o più motivante, in modo che la performance nella prima prova non sia influenzata dalla performance generale.

Nonostante l'obiettivo principale della ricerca non fosse quello di indagare la capacità di discriminazione di quantità nei cani, dall'osservazione qualitativa della performance sembra che i cani utilizzino due strategie distinte per affrontare il compito cercando di massimizzare le opportunità di successo. L'impiego di queste due strategie sembra trovare consenso in letteratura (Loconsole et al., 2021, 2023) e potrebbe essere approfondito ulteriormente in studi futuri. Inoltre, il presente lavoro evidenzia come la performance dei cani domestici in un compito di discriminazione di quantità non dipende esclusivamente da fattori cognitivi, ma può coinvolgere ulteriori fattori come motivazione, apprendimento e rinforzo.

Infine occorre sottolineare che, per entrambi gli esperimenti di questa ricerca, la ridotta numerosità del campione non consente di discutere i risultati ottenuti con fermezza, perciò le conclusioni qui riportate hanno il valore di supposizioni. Per giungere a conclusioni più certe è necessario analizzare un campione più numeroso, come previsto dalla raccolta dati originaria in cui si inserisce questo lavoro. Tuttavia, quanto riportato in questa sede può essere utile per fornire delle indicazioni preliminari su ciò che potrebbe emergere dall'analisi del campione completo.

BIBLIOGRAFIA

- Agnetta, B., Hare, B., & Tomasello, M. (2000). Cues to food location that domestic dogs (*Canis familiaris*) of different ages do and do not use. *Animal Cognition*, 3(2), 107–112. <https://doi.org/10.1007/s100710000070>
- Agrillo, C., & Beran, M. (2013). Number without language: Comparative psychology and the evolution of numerical cognition. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00295>
- 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., & Bisazza, A. (2018). Understanding the origin of number sense: A review of fish studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1740), 20160511. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0511>
- Agrillo, C., Dadda, M., Serena, G., & Bisazza, A. (2009). Use of Number by Fish. *PLOS ONE*, 4(3), e4786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004786>
- Aulet, L. S., Chiu, V. C., Prichard, A., Spivak, M., Lourenco, S. F., & Berns, G. S. (2019). Canine sense of quantity: Evidence for numerical ratio-dependent activation in parietotemporal cortex. *Biology Letters*, 15(12), 20190666. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0666>
- Baker, J., Morath, J., Rodzon, K., & Jordan, K. (2012). A Shared System of Representation Governing Quantity Discrimination in Canids. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2012.00387>

- Banerjee, A., & Bhadra, A. (2019). The More the Merrier: Dogs can Assess Quantities in Food-Choice Tasks. *Current Science*, *117*(6), 1095.
<https://doi.org/10.18520/cs/v117/i6/1095-1100>
- Beran, M. J. (2012). Quantity Judgments of Auditory and Visual Stimuli by Chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Experimental Psychology. Animal Behavior Processes*, *38*(1), 23–29. <https://doi.org/10.1037/a0024965>
- Beran, M. J., Evans, T. A., & Harris, E. H. (2008). Perception of food amounts by chimpanzees based on the number, size, contour length and visibility of items. *Animal Behaviour*, *75*(5), 1793–1802.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.10.035>
- Beran, M. J., & Parrish, A. E. (2016). Chapter 8 - Going for More: Discrete and Continuous Quantity Judgments by Nonhuman Animals. In A. Henik (A c. Di), *Continuous Issues in Numerical Cognition* (pp. 175–192). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801637-4.00008-1>
- Beran, M. J., Parrish, A. E., & Evans, T. A. (2015). Numerical Cognition and Quantitative Abilities in Nonhuman Primates. In *Mathematical Cognition and Learning* (Vol. 1, pp. 91–119). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420133-0.00004-1>
- Bogale, B. A., Kamata, N., Mioko, K., & Sugita, S. (2011). Quantity discrimination in jungle crows, *Corvus macrorhynchos*. *Animal Behaviour*, *82*(4), 635–641.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.05.025>
- Bonanni, R., Natoli, E., Cafazzo, S., & Valsecchi, P. (2011). Free-ranging dogs assess the quantity of opponents in intergroup conflicts. *Animal Cognition*, *14*(1), 103–115. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0348-3>

- Bremhorst, A., Büttler, S., Würbel, H., & Riemer, S. (2018). Incentive motivation in pet dogs – preference for constant vs varied food rewards. *Scientific Reports*, 8(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28079-5>
- Buttelmann, D., & Tomasello, M. (2013). Can domestic dogs (*Canis familiaris*) use referential emotional expressions to locate hidden food? *Animal Cognition*, 16(1), 137–145. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0560-4>
- Byrne, R. (1995). *The Thinking Ape: Evolutionary Origins of Intelligence*. Oxford University Press.
- Call, J., Bräuer, J., Kaminski, J., & Tomasello, M. (2003). Domestic dogs (*Canis familiaris*) are sensitive to the attentional state of humans. *Journal of Comparative Psychology*, 117, 257–263. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.117.3.257>
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). How much does number matter to a monkey (*Macaca mulatta*)? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 33(1), 32–41. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.33.1.32>
- Cantlon, J. F., Platt, M. L., & Brannon, E. M. (2009). Beyond the number domain. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.007>
- Carazo, P., Font, E., Forteza-Behrendt, E., & Desfilis, E. (2009). Quantity discrimination in *Tenebrio molitor*: Evidence of numerosity discrimination in an invertebrate? *Animal Cognition*, 12(3), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s10071-008-0207-7>
- Cutini, S., Scatturin, P., Basso Moro, S., & Zorzi, M. (2014). Are the neural correlates of subitizing and estimation dissociable? An fNIRS investigation. *NeuroImage*,

- 85, 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.08.027>
- Davis, H., & Memmott, J. (1982). Counting behavior in animals: A critical evaluation. *Psychological Bulletin*, *92*, 547–571. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.92.3.547>
- Davis, H., & Pérusse, R. (1988). Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences*, *11*(4), 561–579. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00053437>
- Dehaene, S. (2001). Précis of The Number Sense. *Mind & Language*, *16*(1), 16–36. <https://doi.org/10.1111/1468-0017.00154>
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, *21*(8), 355–361. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01263-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01263-6)
- Dickinson, A., Balleine, B., Watt, A., Gonzalez, F., & Boakes, R. A. (1995). Motivational control after extended instrumental training. *Animal Learning & Behavior*, *23*(2), 197–206. <https://doi.org/10.3758/BF03199935>
- Ditz, H. M., & Nieder, A. (2016). Sensory and Working Memory Representations of Small and Large Numerosities in the Crow Endbrain. *Journal of Neuroscience*, *36*(47), 12044–12052. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1521-16.2016>
- Durantón, C., Range, F., & Virányi, Z. (2017). Do pet dogs (*Canis familiaris*) follow ostensive and non-ostensive human gaze to distant space and to objects? *Royal Society Open Science*, *4*(7), 170349. <https://doi.org/10.1098/rsos.170349>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(7), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Fernand, J. K., Amanieh, H., Cox, D. J., & Dorey, N. R. (2018). Any reward will do:

- Effects of a reverse-reward contingency on size preference with pet dogs (*Canis lupus familiaris*). *Learning & Behavior*, 46(4), 472–478.
<https://doi.org/10.3758/s13420-018-0343-0>
- Frank, H. (1980). Evolution of Canine Information Processing under Conditions of Natural and Artificial Selection. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 53(4), 389–399. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1980.tb01059.x>
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The Child's Understanding of Number*. Harvard University Press.
- Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2011). Can angelfish (*Pterophyllum scalare*) count? Discrimination between different shoal sizes follows Weber's law. *Animal Cognition*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0337-6>
- Hager, M. C., & Helfman, G. S. (1991). Safety in numbers: Shoal size choice by minnows under predatory threat. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 29(4), 271–276. <https://doi.org/10.1007/BF00163984>
- Hare, B., Brown, M., Williamson, C., & Tomasello, M. (2002). The Domestication of Social Cognition in Dogs. *Science*, 298(5598), 1634–1636.
<https://doi.org/10.1126/science.1072702>
- Harrington, F. H., & Mech, L. D. (1979). Wolf Howling and Its Role in Territory Maintenance. *Behaviour*, 68(3–4), 207–249.
<https://doi.org/10.1163/156853979X00322>
- Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 267(1445), 829–833. Scopus.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1078>

- Hauser, M. D., & Spelke, E. (2004). Evolutionary and developmental foundations of human knowledge: A case study of mathematics. *In M. Gazzaniga (Ed.), The cognitive neurosciences*, 853–864.
- Horowitz, A., Hecht, J., & Dedrick, A. (2013). Smelling more or less: Investigating the olfactory experience of the domestic dog. *Learning and Motivation*, 44(4), 207–217. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2013.02.002>
- Hull, C. L. (1943). *Principles of behavior: An introduction to behavior theory* (pp. x, 422). Appleton-Century.
- Hyde, D. (2011). Two Systems of Non-Symbolic Numerical Cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2011.00150>
- Jackson, S. M., Martin, G. K., & Roberts, W. A. (2021). The olfactory capability of dogs to discriminate between different quantities of food. *Learning & Behavior*, 49(3), 321–329. <https://doi.org/10.3758/s13420-021-00463-8>
- Koehler, O. (1941). Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Vögeln. *Naturwissenschaften*, 29(14), 201–218. <https://doi.org/10.1007/BF01481755>
- 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>
- Krebs, J. R., Ryan, J. C., & Charnov, E. L. (1974). Hunting by expectation or optimal foraging? A study of patch use by chickadees. *Animal Behaviour*, 22, 953-IN3. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(74\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0003-3472(74)90018-9)
- Krusche, P., Uller, C., & Dicke, U. (2010). Quantity discrimination in salamanders. *Journal of Experimental Biology*, 213(11), 1822–1828.

<https://doi.org/10.1242/jeb.039297>

Loconsole, M., Perovic, S., & Regolin, L. (2021). A leftward bias negatively correlated with performance is selectively displayed by domestic chicks during rule reversal (not acquisition). *Laterality*, 26(1–2), 1–18.

<https://doi.org/10.1080/1357650X.2020.1797077>

Loconsole, M., Regolin, L., & Rugani, R. (2023). Asymmetric number–space association leads to more efficient processing of congruent information in domestic chicks. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 17, 1115662.

<https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1115662>

Lööke, M., Marinelli, L., Eatherington, C. J., Agrillo, C., & Mongillo, P. (2020). Do Domestic Dogs (*Canis lupus familiaris*) Perceive Numerosity Illusions? *Animals*, 10(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/ani10122304>

MacNulty, D. R., Tallian, A., Stahler, D. R., & Smith, D. W. (2014). Influence of Group Size on the Success of Wolves Hunting Bison. *PLOS ONE*, 9(11), e112884.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112884>

Macpherson, K., & Roberts, W. A. (2013a). Can dogs count? *Learning and Motivation*, 44(4), 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2013.04.002>

Macpherson, K., & Roberts, W. A. (2013b). Exploring the canine mind: Studies of dog cognition. *Learning and Motivation*, 44(4), 205–206.

<https://doi.org/10.1016/j.lmot.2013.04.006>

Marshall-Pescini, S., Prato-Previde, E., & Valsecchi, P. (2011). Are dogs (*Canis familiaris*) misled more by their owners than by strangers in a food choice task? *Anim Cogn*, 6.

McComb, K., Packer, C., & Pusey, A. (1994). Roaring and numerical assessment in

- contests between groups of female lions, *Panthera leo*. *Animal Behaviour*, 47(2), 379–387. <https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1052>
- Miklósi, Á., Kubinyi, E., Topál, J., Gácsi, M., Virányi, Z., & Csányi, V. (2003). A Simple Reason for a Big Difference: Wolves Do Not Look Back at Humans, but Dogs Do. *Current Biology*, 13(9), 763–766. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00263-X](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00263-X)
- Miklósi, Á., Polgárdi, R., Topál, J., & Csányi, V. (1998). Use of experimenter-given cues in dogs. *Animal Cognition*, 1(2), 113–121. <https://doi.org/10.1007/s100710050016>
- Miletto Petrazzini, M. E., Mantese, F., & Prato-Previde, E. (2020). Food quantity discrimination in puppies (*Canis lupus familiaris*). *Animal Cognition*, 23(4), 703–710. <https://doi.org/10.1007/s10071-020-01378-z>
- Miletto Petrazzini, M. E., & Wynne, C. D. L. (2016). What counts for dogs (*Canis lupus familiaris*) in a quantity discrimination task? *Behavioural Processes*, 122, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.11.013>
- Miletto Petrazzini, M. E., & Wynne, C. D. L. (2017). Quantity discrimination in canids: Dogs (*Canis familiaris*) and wolves (*Canis lupus*) compared. *Behavioural Processes*, 144, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.09.003>
- Morgan, C. L. (1903). *An introduction to comparative psychology, New ed., rev* (pp. xiv, 386). Walter Scott Publishing Co. <https://doi.org/10.1037/13701-000>
- Nieder, A. (2005). Counting on neurons: The neurobiology of numerical competence. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1038/nrn1626>
- Nieder, A. (2020). The Adaptive Value of Numerical Competence. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(7), 605–617. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.02.009>

- Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(19), 7457–7462. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402239101>
- Normando, S., Loconsole, M., Regolin, L., Marliani, G., Mattioli, M., Pietschmann, E., & Accorsi, P. A. (2022). How spontaneous is spontaneous quantity discrimination in companion dogs? *Applied Animal Behaviour Science*, *246*, 105534. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105534>
- Perdue, B. M., Talbot, C. F., Stone, A. M., & Beran, M. J. (2012). Putting the elephant back in the herd: Elephant relative quantity judgments match those of other species. *Animal Cognition*, *15*(5), 955–961. <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0521-y>
- Pfungst, O. (1911). *Clever Hans (The Horse of Mr. Von Osten) / A contribution to experimental animal and human psychology*. 211.
- Piffer, L., Petrazzini, M. E. M., & Agrillo, C. (2013). Large Number Discrimination in Newborn Fish. *PLOS ONE*, *8*(4), e62466. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062466>
- Pongrácz, P., Miklósi, Á., Kubinyi, E., Gurobi, K., Topál, J., & Csányi, V. (2001). Social learning in dogs: The effect of a human demonstrator on the performance of dogs in a detour task. *Animal Behaviour*, *62*(6), 1109–1117. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1866>
- Prato-Previde, E., Marshall-Pescini, S., & Valsecchi, P. (2008). Is your choice my choice? The owners' effect on pet dogs' (*Canis lupus familiaris*) performance in a food choice task. *Anim Cogn*, *8*.
- Range, F., Jenikejew, J., Schröder, I., & Virányi, Z. (2014). Difference in quantity

- discrimination in dogs and wolves. *Frontiers in Psychology*, 5, 1299.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01299>
- Revkin, S. K., Piazza, M., Izard, V., Cohen, L., & Dehaene, S. (2008). Does Subitizing Reflect Numerical Estimation? *Psychological Science*, 19(6), 607–614.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02130.x>
- Riemer, S., Ellis, S. L. H., Thompson, H., & Burman, O. H. P. (2018). Reinforcer effectiveness in dogs—The influence of quantity and quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 206, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.05.016>
- Rivas-Blanco, D., Pohl, I.-M., Dale, R., Heberlein, M. T. E., & Range, F. (2020). Wolves and Dogs May Rely on Non-numerical Cues in Quantity Discrimination Tasks When Given the Choice. *Frontiers in Psychology*, 11.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.573317>
- Rugani, R., Vallortigara, G., & Regolin, L. (2014). From small to large: Numerical discrimination by young domestic chicks (*Gallus gallus*). *Journal of Comparative Psychology*, 128, 163–171. <https://doi.org/10.1037/a0034513>
- Schultz, W. (2015). Neuronal Reward and Decision Signals: From Theories to Data. *Physiological Reviews*, 95(3), 853–951.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00023.2014>
- Tomonaga, M. (2008). Relative numerosity discrimination by chimpanzees (*Pan troglodytes*): Evidence for approximate numerical representations. *Animal Cognition*, 11(1), 43–57. <https://doi.org/10.1007/s10071-007-0089-0>
- Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101, 80–102. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.1.80>

- Vallortigara, G. (2018). Comparative cognition of number and space: The case of geometry and of the mental number line. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1740), 20170120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0120>
- Vallortigara, G., Regolin, L., Chiandetti, C., & Rugani, R. (2010). Rudiments of mind: Insights through the chick model on number and space cognition in animals. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 5, 78–99. <https://doi.org/10.3819/ccbr.2010.50004>
- Ventricelli, M., Focaroli, V., De Petrillo, F., Macchitella, L., Paglieri, F., & Addessi, E. (2013). How capuchin monkeys (*Cebus apella*) behaviorally cope with increasing delay in a self-control task. *Behavioural Processes*, 100, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.09.001>
- Ward, C., & Smuts, B. B. (2006). Quantity-based judgments in the domestic dog (*Canis lupus familiaris*). *Animal Cognition*, 10(1), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s10071-006-0042-7>
- West, R. E., & Young, R. J. (2002). Do domestic dogs show any evidence of being able to count? *Animal Cognition*, 5(3), 183–186. <https://doi.org/10.1007/s10071-002-0140-0>
- 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)
- Yang, T.-I., & Chiao, C.-C. (2016). Number sense and state-dependent valuation in cuttlefish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1837), 20161379. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1379>