



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Medicina Animale, Produzioni e Salute
Dipartimento di Biomedicina Comparate e
Alimentazione

Corso di laurea a ciclo unico in Medicina Veterinaria

Fattori rilevanti nella discriminazione di quantità nel cane maschio

Relatrice
Prof. ssa Simona Rosaria Carla Normando
Correlatrici
Dott. ssa Maria Loconsole
Prof.ssa Lucia Regolin

Laureanda
Elisa Vallini
Matricola n.
1143111

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO:

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE.....	9
2. DISCRIMINAZIONE SPONTANEA DI QUANTITA' ...	11
2.1 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' IN NATURA	11
2.2 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' NEGLI INVERTEBRATI.....	15
2.3 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' NEI VERTEBRATI	19
3. IL RUOLO DELL'ADDESTRAMENTO NELLA DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA'	25
4. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' NEI CANIDI.....	35
5. STUDIO	45
5.1 OBIETTIVI.....	45
5.2 MATERIALI E METODI	46
5.3 ANALISI DEI DATI	61
5.4 RISULTATI	62
6. DISCUSSIONE.....	65
7. CONCLUSIONE.....	69

8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	71
RINGRAZIAMENTI.....	79

RIASSUNTO

La capacità degli animali di discriminare le quantità è stata oggetto di molti studi e un numero sempre maggiore di evidenze scientifiche ci conferma che gli animali sono in possesso di tale capacità.

In questo lavoro abbiamo sottoposto 42 cani (*Canis familiaris*) maschi ad uno tra due test di scelta dicotomica tra quantità diverse di cibo.

La prova consiste nella scelta libera tra due piatti con quantità diverse di cibo appetibile (1 vs 8 per circa metà dei soggetti, 2 vs 4 per l'altra metà) per sei volte nella stessa sessione, ogni soggetto ha preso parte a tre sessioni nel corso di alcuni giorni.

I soggetti che hanno preso parte ai test non sono stati sottoposti ad alcun tipo di addestramento sulla discriminazione di quantità.

L'obiettivo della prova era quello di valutare quali fattori influenzano la capacità dei cani di discriminare le quantità. Abbiamo considerato come variabili il tipo di test (1 vs 8 o 2 vs 4), lo stato riproduttivo e il blocco di scelta (la sessione di test a cui il cane stava partecipando)

Dall'analisi dei dati ottenuti risulta che i soggetti sono in grado di portare a termine entrambi i tipi di prova, con maggior successo nella prova più semplice (1 vs 8).

Nonostante entrambi i gruppi abbiano dimostrato di distinguere le quantità, i maschi interi hanno ottenuto risultati significativamente migliori rispetto ai maschi castrati, tale differenza è secondo noi da imputare a minore attenzione o motivazione piuttosto che ad una minor capacità cognitiva dei cani castrati.

Non sono state rilevate differenze significative confrontando i risultati delle tre sessioni, né dall'interazione tra le variabili considerate (tipo di prova, stato riproduttivo e blocco di scelta).

ABSTRACT

Animals' ability to discriminate quantities has been the subject of many studies and a growing number of scientific evidence confirms that animals do indeed possess this ability.

In the present study we subjected 42 male dogs (*Canis familiaris*) to a dichotomous test where they had to choose between two different quantities of food.

The test consisted of a free choice between two dishes with different quantities of palatable food (1 vs 8 for about half of the dogs, 2 vs 4 for the other half) for six times in each session. Each subject performed three sessions in the span of a few days.

The subjects had no previous training in quantity discrimination tasks.

The aim of the study was to inquire which factors influence dogs' ability to discriminate between different quantities. We considered as variables the type of comparison used (1 vs 8 or 2 vs 4), the reproductive status and the session of tests the dog was taking.

The data analysis suggests that dogs can discriminate between the quantities given in both tests, they however get better results in the easier comparison (1 vs 8).

While both groups demonstrated to be able to discriminate quantities, dogs that were not neutered got significantly better results compared to the neutered ones. However, we believe that this difference is to be attributed to lower motivation or attention rather than lower cognitive abilities of neutered dogs.

No significant difference has been found when comparing the results from the three test sessions or the interactions of the considered variables (type of comparison, reproductive state, session).

1. INTRODUZIONE

Un numero sempre maggiore di evidenze scientifiche supporta l'esistenza di capacità numeriche, più o meno sofisticate, in diverse specie animali (e.g. api (Howard et al., 2020), lumache (Bisazza & Gatto, 2021), rane (Stancher et al., 2015), corvi (Bogale et al., 2014), scimmie reso (Hauser et al., 2000)). La discriminazione di quantità può essere considerata la più semplice forma di competenza numerica (Pisa & Agrillo, 2009) e consiste nella capacità degli animali di individuare il meno numeroso e il più numeroso tra due insiemi.

Spesso vengono individuati due possibili modelli utilizzati dagli animali per la discriminazione di quantità (Garland et al., 2012):

L'*object file system* (OFS) (Agrillo Christian, 2008; Howard et al., 2020) tiene conto di ogni oggetto singolarmente e permette di risolvere compiti molto precisi, ma limitati a piccole quantità, generalmente fino a tre o quattro elementi.

L'*analog magnitude system* (AMS) (Agrillo et al., 2012; J. Baker et al., 2012; Howard et al., 2020) è il sistema utilizzato per confrontare quantità più elevate. Non permette stime esatte e non ha un limite di processamento come OFS, ma la sua accuratezza dipende dal rapporto tra le due quantità, secondo la legge di Weber-Fechner.

La capacità di un animale di distinguere due quantità diverse non ci dà, tuttavia, la certezza che tale discriminazione sia stata fatta utilizzando informazioni sulla numerosità dei due insiemi confrontati.

Esistono innumerevoli variabili non numeriche che variano insieme alla numerosità e che possono essere sfruttate dagli animali per portare a termine una prova di discriminazione (Agrillo & Bisazza, 2014; Beran et al., 2008), come l'area, il volume o lo spazio occupato (Bisazza & Gatto, 2021; Lucon-Xiccato et al., 2015).

La capacità di discriminare due quantità diverse sembra essere molto utile in diverse situazioni naturali, dalla scelta di un branco più numeroso di conspecifici per fuggire da un'imminente minaccia (Agrillo et al., 2006, 2007; Hager & Helfman, 1991), alla scelta del numero maggiore di opportunità riproduttive (Carazo et al., 2009), alla possibilità di raggiungere la quantità maggiore di cibo (Hauser et al., 2000).

Questa tesi sperimentale descrive lo studio effettuato per indagare alcuni aspetti di tale competenza nel cane (*Canis familiaris*), oltre a fornire un inquadramento generale della ricerca scientifica già disponibile in merito alla capacità di discriminazione di quantità negli animali.

Il seguente elaborato è suddiviso in quattro parti:

Nella prima parte vengono indagate le competenze numeriche che diverse specie di animali manifestano spontaneamente, in natura ed in cattività.

La seconda parte si concentra su studi di discriminazione di quantità in cui è presente una fase addestramento precedente allo svolgimento del test.

La terza parte si concentra sulla capacità di discriminazione dimostrate dai membri della famiglia dei canidi e i vari metodi utilizzati nella raccolta dei dati in questi animali.

L'ultima parte di questa tesi si concentra sulla procedura sperimentale, i materiali utilizzati, i soggetti sottoposti al test, l'analisi dei dati ottenuti, i risultati e le conseguenti conclusioni.

2. DISCRIMINAZIONE SPONTANEA DI QUANTITÀ

2.1 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ IN NATURA

La discriminazione di quantità ricopre un ruolo centrale in molti contesti naturali che gli animali si trovano ad affrontare quotidianamente.

Mentre la maggior parte degli studi portati a termine negli animali prendono in considerazione soggetti in cattività e spesso lunghi periodi di addestramento, è interessante andare ad indagare se e quando gli animali selvatici dimostrano la capacità spontanea di discriminare quantità in natura.

Negli animali che vivono in gruppo e in cui i gruppi frequentemente entrano in conflitto gli uni con gli altri, la discriminazione di quantità si rende fondamentale per valutare il numero di combattenti a disposizione degli avversari prima di ingaggiare in un combattimento perché spesso i conflitti terminano a vantaggio del gruppo più numeroso (Benson-Amram et al., 2018).

È stato osservato il comportamento di circa 200 leonesse (*Panthera leo*) nel parco nazionale del Serengeti in Tanzania successivamente alla presentazione di nastri contenenti le registrazioni dei ruggiti di gruppi di una o tre leonesse sconosciute (McComb et al., 2004).

Dai dati ottenuti risulta che le leonesse si avvicinino più frequentemente quando vengono utilizzate le registrazioni di una sola leonessa e che quando si avvicinano dopo aver ascoltato la registrazione di gruppi con tre leonesse lo facciano con maggior cautela. La probabilità che le leonesse si avvicinino dipende anche dal numero di membri a difesa del gruppo, dal rapporto tra i numeri dei due gruppi e della presenza di cuccioli (McComb et al., 2004).

Gli stessi risultati sono stati ottenuti presentando un esperimento simile ai membri di alcuni clan di iena maculata (*Crocuta crocuta*) della riserva nazionale Masai Mara in Kenya.

Le iene che si trovano sole al momento della riproduzione della registrazione raramente si avvicinano agli altoparlanti, ma mostrano livelli di allerta maggiori all'aumentare del numero di richiami uditi.

Le iene in gruppi più numerosi si avvicinano più spesso agli altoparlanti, soprattutto quando il gruppo è composto da tre o più individui (Benson-Amram et al., 2011).

La discriminazione di quantità può essere utile anche in altre situazioni naturali, oltre che per la valutazione delle proprie possibilità in un potenziale scontro, come, per esempio, la raccolta di cibo.

In un esperimento che coinvolge oltre 200 scimmie (*Macaca mulatta*) allo stato semibrado nell'isola di Cayo Santiago, è stata testata la capacità di questi animali di scegliere tra due quantità diverse di cibo poste in due scatole (Hauser et al., 2000).

Le scimmie sono state in grado di scegliere la quantità maggiore di cibo nei confronti 2 vs 1, 3 vs 2, 4 vs 3, 5 vs 3, mentre negli altri confronti (5 vs 4, 6 vs 5, 6 vs 4, 8 vs 4 e 8 vs 3) non hanno mostrato preferenza per la quantità maggiore, anche quando una delle due scelte era il doppio dell'altra (fig. 2.1).

La performance dei soggetti è peggiorata significativamente nei confronti tra quantità maggiori di quattro unità, questo suggerisce che il sistema utilizzato spontaneamente dalle scimmie in questo tipo di prova non è coerente con l'analog magnitude. Se così fosse, il successo ad una discriminazione dovrebbe essere legato al rapporto tra le quantità, con simili risultati per il confronto 2 vs 3 e 4 vs 6, in questa prova, però, le scimmie hanno scelto completamente a caso nel secondo confronto.

Sembra quindi che, nonostante in altri studi le scimmie abbiano dimostrato di essere in grado di distinguere quantità maggiori a tre (Brannon & Terrace, 1998), questa capacità non venga sfruttata nelle circostanze del presente studio. Il sistema sfruttato dalle scimmie in questa circostanza è più coerente con il sistema object file.

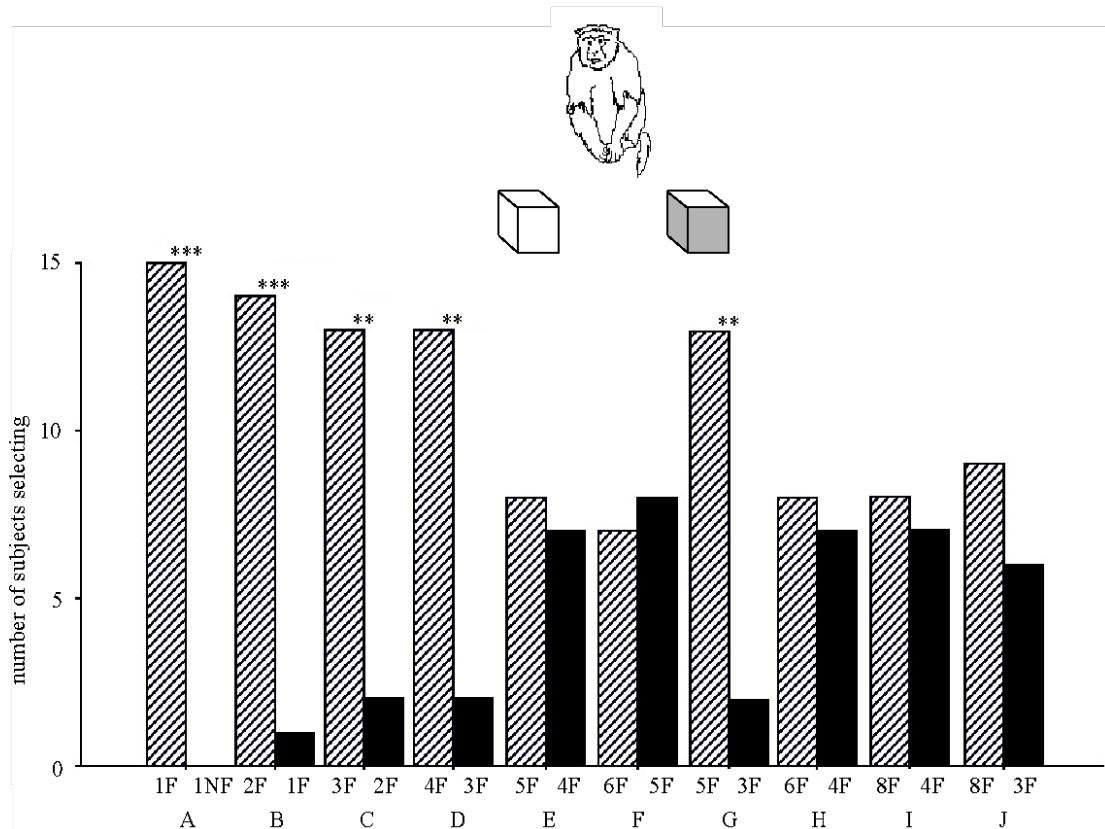


Figura 2.1 sono stati testate 15 soggetti per ogni confronto. L'asse delle y indica il numero di soggetti che ha scelto la quantità maggiore (barra striata) o quella minore (barra nera). (Hauser et al., 2000)

- A: un pezzo di cibo vs una pietra
- B: due pezzi di cibo vs un pezzo di cibo
- C: tre pezzi di cibo vs due pezzi di cibo
- D: quattro pezzi di cibo vs tre pezzi di cibo
- E: cinque pezzi di cibo vs quattro pezzi di cibo
- F: sei pezzi di cibo vs cinque pezzi di cibo
- G: cinque pezzi di cibo vs tre pezzi di cibo
- H: sei pezzi di cibo vs quattro pezzi di cibo
- I: otto pezzi di cibo vs quattro pezzi di cibo
- J: otto pezzi di cibo vs tre pezzi di cibo

Un altro animale di cui è stata indagata la capacità di discriminare le quantità spontaneamente è la petroica bruna dell'Isola del Nord (*Petroica longipes*), una specie di uccelli insettivori endemica della Nuova Zelanda. Questa specie è solita nascondere cibo in diversi ricoveri, ricordando poi precisamente la loro posizione per andare a recuperare le risorse nascoste (Alexander et al., 2005). Considerate le capacità cognitive dimostrate da questo uccello è interessante indagare se gli individui di questa specie siano in grado di dimostrare spontaneamente l'abilità di discriminare le quantità. Questo quesito è stato esplorato da uno studio del 2012 condotto in Nuova Zelanda su un totale di 36 soggetti, suddivisi in tre sottogruppi e testati su tre diversi esperimenti. Tutti i soggetti che hanno preso parte agli esperimenti sono selvatici e non hanno partecipato ad alcuna fase di addestramento (Garland et al., 2012).

Nelle tre prove portate a termine i soggetti sono stati testati sulla scelta dicotomica tra due quantità diverse di tarme della farina (larve di *Tenebrio molitor*) nascoste in due scatole. Ad ogni soggetto sono state presentate un totale di dieci scelte con quantità e rapporti diversi.

Delle trenta scelte, i cui numeri e i rapporti sono riportati in tabella 2.1, sottoposte agli uccelli durante i tre esperimenti solo in una gli animali hanno scelto preferenzialmente la quantità minore (esperimento 3: 48 vs 62) e solo in quattro hanno scelto in maniera uguale la quantità maggiore e quella minore (esperimento 2: 8 vs 16 e 14 vs 16, esperimento 3: 28 vs 32 e 56 vs 64). In tutte le altre i soggetti hanno scelto in maniera preferenziale la quantità maggiore.

La petroica bruna ha dimostrato di essere in grado di distinguere la quantità maggiore sia quando viene presentata oggetto per oggetto sia quando le prede vengono presentate simultaneamente. Questa capacità è dimostrata anche su quantità elevate di oggetti ad un rapporto di 0,5 (64 vs 32), ma non ad un rapporto di 0,75 (48 vs 64) (Garland et al., 2012)

Ratio	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	Small	Large	Small	Large	Small	Large
0.125	1 versus 8	2 versus 16	1 versus 8	2 versus 16	4 versus 32	8 versus 64
	75 %	67 %	92 %	75 %	83 %	83 %
0.250	1 versus 4	2 versus 8	1 versus 4	2 versus 8	8 versus 32	16 versus 64
	100 %	92 %	83 %	75 %	58 %	75 %
0.500	4 versus 8	8 versus 16	4 versus 8	8 versus 16	16 versus 32	32 versus 64
	83 %	67 %	75 %	50 %	75 %	67 %
0.750	3 versus 4	6 versus 8	3 versus 4	6 versus 8	24 versus 32	48 versus 64
	75 %	75 %	75 %	75 %	58 %	33 %
0.875	7 versus 8	14 versus 16	7 versus 8	14 versus 16	28 versus 32	56 versus 64
	67 %	58 %	67 %	50 %	50 %	50 %

Tabella 2.1: sono riportati i rapporti, il numero di larve e la percentuale di successo (Garland et al., 2012)

2.2 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' NEGLI INVERTEBRATI

La maggior parte degli studi sulle capacità numeriche degli animali sono concentrati sulle abilità dei vertebrati e solo recentemente sono stati portati avanti diversi lavori su animali invertebrati.

Le situazioni naturali che potrebbero rappresentare una spinta evolutiva verso lo sviluppo di tali capacità, tuttavia, sono simili sia nei vertebrati che negli invertebrati. Tra queste troviamo la ricerca di cibo (Garland et al., 2012; Howard et al., 2020), la ricerca di un gruppo numeroso di conspecifici per ragioni di protezione (Agrillo et al., 2007; Hager & Helfman, 1991), la ricerca di opportunità riproduttive migliori (Carazo et al., 2009) o la ricerca di rifugi idonei (Bisazza & Gatto, 2021; Gatto & Carlesso, 2019).

Alla luce di questo, non è sorprendente che alcune capacità numeriche, prima tra tutte la discriminazione di quantità siano state descritte anche negli invertebrati.

In uno studio di Carazo et al. del 2009 viene indagata la capacità di maschi adulti di *Tenebrio molitor* di scegliere tra due substrati che portano l'odore di numeri differenti di femmine in rapporti diversi (1 vs 4, 1 vs 3, 2 vs 4 e 1 vs 2). Questa specie è caratterizzata da una forte poliginandria, ha quindi senso che ci sia un vantaggio biologico nella scelta del gruppo di femmine più numeroso.

Dai risultati ottenuti sembra che questi coleotteri riescano effettivamente a distinguere il gruppo più numeroso nella prova 1 vs 4 e in quella 1 vs 3, ma non nelle due prove dove il rapporto è 1:2 (Carazo et al., 2009).

Uno studio più recente (Bisazza & Gatto, 2021) ha indagato, attraverso serie di esperimenti, le capacità di discriminare quantità nella lumaca *Theba pisana*, valutando la frequenza della scelta del gruppo maggiore di barre (che simulano steli d'erba su cui le lumache vanno normalmente a rifugiarsi) (fig. 2.2).

Questi molluschi gasteropodi mostrano una netta preferenza per il gruppo maggiore di steli, anche quando il rapporto è molto elevato (fino a 0,8), questo livello di discriminazione viene raggiunto solo da alcuni primati e da poche altre specie di vertebrati (DeLong et al., 2017; Tomonaga, 2008).

Lo studio non è però in grado di dire se questa grande capacità discriminativa sia frutto dell'utilizzo di informazioni numeriche o di altre variabili non numeriche che variano insieme alla numerosità, in particolare l'area superficiale.

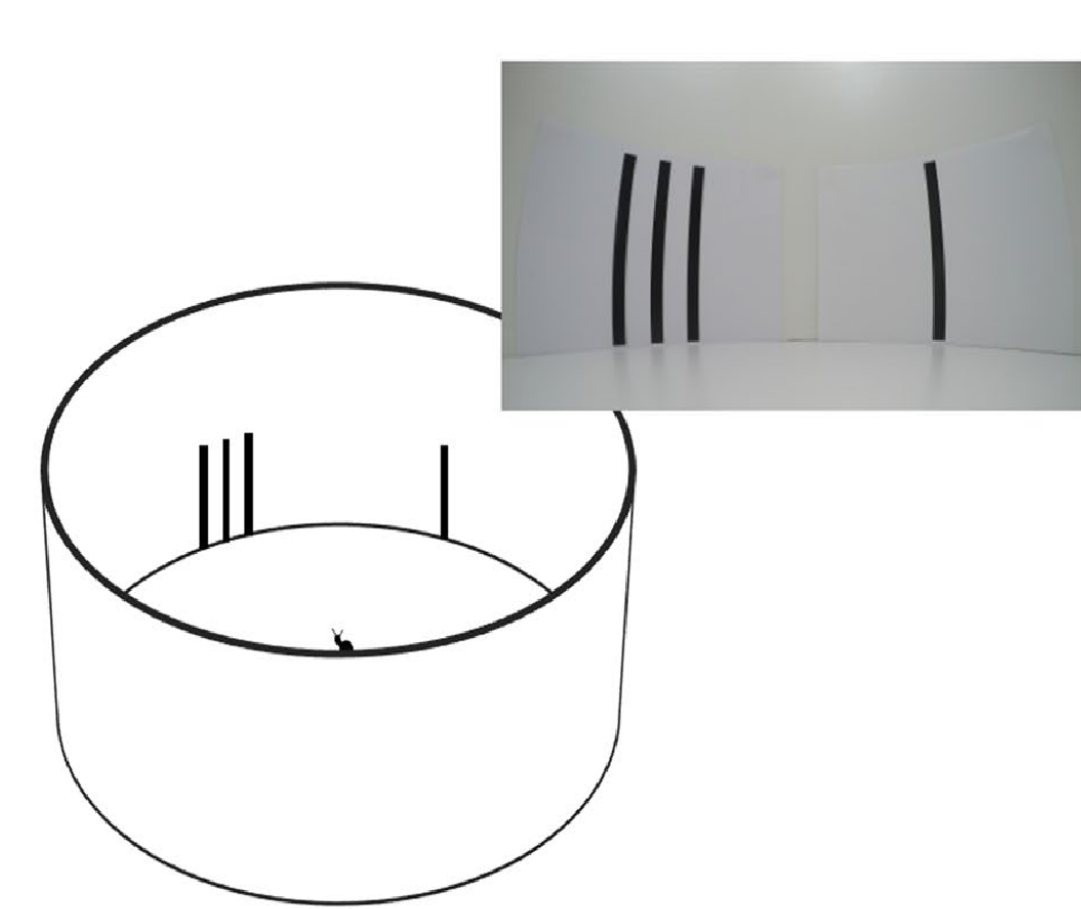


Figura 2.2: rappresentazione dell'arena circolare utilizzata per investigare la discriminazione di quantità di *Theba pisana* in laboratorio (Bisazza & Gatto, 2021)

Un'altra ricerca (Gatto & Carlesso, 2019) indaga la stessa capacità nel grillo (*Acheta domesticus*), dimostrando la capacità di questo insetto di discriminare quantità nella ricerca di rifugi sicuri in vari test di scelta dicotomica (1 vs 4, 1 vs 3, 2 vs 4 e 2 vs 3), ma non in altri (3 vs 4).

Tuttavia, quando l'area superficiale cumulativa e il *convex hull* (spazio totale occupato dagli oggetti del gruppo) sono stati eguagliati in un esperimento successivo, i grilli si sono dimostrati incapaci di scegliere il gruppo di ripari numericamente maggiore. Questo aspetto suggerisce che i grilli abbiano

utilizzato variabili non numeriche per portare a termine il primo esperimento (Gatto & Carlesso, 2019).

Uno degli invertebrati più interessanti per quanto riguarda le abilità numeriche è sicuramente l'ape (*Apis mellifera*). Dopo una fase di addestramento, a questo insetto è stata riconosciuta la capacità, sebbene rudimentale, di contare i punti di riferimento lungo il suo percorso alla ricerca di cibo (Chittka & Geiger, 1995). Questi risultati sono stati confermati dagli esperimenti condotti durante un secondo studio (Dacke & Srinivasan, 2008) che riconosce alle api la capacità di tenere conto di un numero massimo di quattro punti di riferimento durante la loro ricerca di cibo.

Nonostante le spiccate capacità numeriche dimostrate dalle api, solo recentemente è stata indagata la loro capacità di discriminazione spontanea di quantità (Howard et al., 2020).

Il numero di fiori in una determinata area ha un'importante correlazione con il numero di insetti impollinatori che visitano quell'area (Caraballo-Ortiz et al., 2011).

Un recente esperimento ha utilizzato 520 api per indagare la loro preferenza spontanea per la quantità maggiore di fiori artificiali, precedentemente associati ad una fonte di cibo. La capacità di scegliere la quantità maggiore potrebbe essere utile per massimizzare l'efficienza dell'insetto nel raccogliere cibo (Howard et al., 2020).

Sono state effettuate due prove diverse e un esperimento di controllo. Nella prima prova i fiori avevano sempre le stesse dimensioni, nella seconda prova la superficie totale era la stessa per entrambe le scelte.

Dai dati raccolti, risulta che le api sono capaci di distinguere la quantità maggiore di fiori artificiali solo quando questa è a confronto con un solo fiore (confronti 1 vs 12, 1 vs 4 in entrambi i tipi di prova e nel confronto 1 vs 3 solo quando i fiori sono tutti delle stesse dimensioni) e quando il rapporto tra la quantità maggiore e minore di fiori è minore o uguale a 0,33

2.3 DISCRIMINAZIONE DI QUANTITA' NEI VERTEBRATI

La maggior parte degli studi sulle capacità cognitive degli animali si sono concentrati sui vertebrati.

Gruppi diversi di vertebrati, dai pesci (Agrillo et al., 2006, 2007; Hager & Helfman, 1991) agli uccelli (Garland et al., 2012), dai rettili (Szabo et al., 2021) ai mammiferi (Pisa & Agrillo, 2009; Vonk & Beran, 2012; Ward & Smuts, 2006), hanno dimostrato di essere in possesso di capacità numeriche più o meno raffinate.

Nei pesci la discriminazione di quantità viene spesso indagata attraverso la scelta del banco di conspecifici più grande sotto una minaccia di varia natura (Agrillo et al., 2007; Hager & Helfman, 1991). La scelta di un banco di conspecifici di maggiori dimensioni porta ai singoli soggetti sia rischi che benefici. L'ipotesi di questi studi si basa sul fatto che il successo dei predatori si abbassi con l'aumento della dimensione del banco di pesci (Cushing & Jones, 1968; Landeau & Terborgh, 1986), fino ad una certa numerosità.

Nello studio di Agrillo et al. del 2007 sono stati utilizzati degli esemplari femmina gravidi di gambusia orientale (*Gambusia holbrooky*), sotto minaccia da parte di un maschio, per osservare la loro capacità di scegliere il banco più numeroso di pesci.

I maschi di gambusia sono molto attivi nei loro tentativi di accoppiamento con una femmina, questo comportamento può attrarre predatori e distogliere la femmina dalla ricerca di cibo (Pilastro et al., 2003; Pocklington & Dill, 1995). Da questo esperimento ci si aspetta dunque che la femmina cerchi di unirsi ad un gruppo più numeroso in modo di diluire il numero di tentativi di accoppiamento da parte del maschio (Agrillo et al., 2006; Pilastro et al., 2003).

Alla prima parte dello studio hanno preso parte 44 femmine gravide divise in gruppi a cui sono state sottoposte scelte tra gruppi diversi con rapporto di 0,5 (2 vs 4, 4 vs 8, 8 vs 16) e di 0,67 (8 vs 12).

Nella seconda parte dello studio sono state utilizzate 40 femmine gravide, divise in gruppi da 10, ognuno dei quali ha preso parte ad una scelta tra due gruppi di conspecifici con differenza di un solo individuo (2 vs 3, 3 vs 4, 4 vs 5, 5 vs 6).

Sono stati confrontati i risultati ottenuti prima e dopo l'introduzione del maschio. Nel primo esperimento i soggetti hanno passato più tempo vicino al gruppo maggiore di conspecifici nei confronti tra 2 e 4 e tra 4 e 8 dopo l'introduzione del maschio rispetto alla situazione di partenza.

Nel secondo esperimento i soggetti hanno scelto il gruppo maggiore nei confronti tra 2 e 3 soggetti e tra 3 e 4 soggetti.

Questi risultati suggeriscono che questi pesci siano in grado di distinguere un'ampia serie di numerosità.

I risultati ottenuti sono compatibili con l'ipotesi che gli animali rappresentino le numerosità attraverso due distinti sistemi (Feigenson et al., 2002).

Non sono molte le informazioni che abbiamo sulla discriminazione di quantità negli anfibi e nei rettili, ma alcuni studi mostrano che anche queste classi di vertebrati sono in possesso di tale abilità.

Nel 2003 sono stati completati una serie di esperimenti sulla salamandra dal dorso rosso (*Plethodon cinereus*), questo rappresenta il primo studio di questo genere portato a termine su una specie di anfibi (Uller et al., 2003).

I dati dimostrano la capacità delle salamandre di scegliere efficacemente la quantità maggiore di moscerini della frutta (*Drosophila virilis*) tra 1 e 2 e tra 2 e 3, ma non tra 3 e 4 o tra 4 e 6. Questa rudimentale capacità di discriminazione è spontanea, in quanto gli animali non hanno seguito alcun tipo di addestramento.

Un esperimento simile è stato ripetuto su 12 esemplari di scinco di Strokes (*Egernia stokesii*), catturati in natura e sottoposti a due diversi esperimenti. Il primo esperimento indaga la capacità di queste lucertole di scegliere il piatto con il numero maggiore di pezzi di cibo, mentre il secondo indaga la loro capacità di scegliere il piatto con il pezzo più grande di cibo.

Le lucertole sono state in grado di scegliere la quantità numericamente maggiore nei confronti 1 vs 4, 1 vs 3, 2 vs 4 e 3 vs 4, ma non nei confronti 1 vs 2 e 2 vs 3. Inoltre, le lucertole non sono state capaci di distinguere tra i pezzi di cibo di dimensioni maggiori in nessuno dei confronti.

Questo risultato è in contrasto con quello trovato in altri studi, dove gli animali scelgono la quantità maggiore preferenzialmente sfruttando variabili quantitative non numeriche come la quantità totale di cibo (Petrazzini & Wynne, 2016) o l'area superficiale cumulativa (Gatto & Carlesso, 2019; Lucon-Xiccato et al., 2015).

Per quanto questi esperimenti non siano sufficienti per dire con certezza che lo scinco di Strokes utilizzi esclusivamente variabili numeriche nella sua discriminazione di quantità, possiamo dire che il peso, il volume o l'area totale occupata dal cibo non vengono utilizzati esclusivamente per esprimere questa capacità (Szabo et al., 2021).

I corvi, viste le loro superiori capacità cognitive (Emery & Clayton, 2004), sono candidati ideali per lo studio delle capacità numeriche spontanee.

Nel 2014 è stato pubblicato uno studio sui corvi beccogrosso (*Corvus macrorhynchos*) che ha dimostrato che questi uccelli sono in grado di distinguere efficacemente quantità di cibo. In particolare, i corvi hanno scelto la quantità maggiore in tutti confronti con rapporto di 0,5 (1 vs 2, 2 vs 4 e 4 vs 8), in due su tre dei confronti con rapporto di 0,67 (2 vs 3, 4 vs 6, ma non nel confronto 8 vs 12) e in uno solo dei confronti con rapporto di 0,75 (3 vs 4, ma non nei confronti 6 vs 8 e 12 vs 16).

I corvi hanno selezionato la quantità maggiore in tutti i confronti tra piccoli numeri (minori o uguali a quattro) e in tutti i confronti in cui almeno una delle due scelte era minore o uguale a quattro.

Questi risultati suggeriscono che i corvi utilizzino un sistema *object file* nel discriminare quantità, anche quando una delle due quantità supera le quattro unità (Bogale et al., 2014).

Il gruppo di vertebrati su cui si concentrano il maggior numero di studi sulla discriminazione spontanea di quantità è sicuramente la classe dei mammiferi.

È presente molta letteratura che copre diverse specie di mammiferi, dagli animali di laboratorio (Cox & Tamara Montrose, 2016) ai primati (Call, s.d.; Stevens et al., 2007). Tutti gli studi indagati in questo capitolo si concentrano sulle capacità dimostrate da mammiferi che non hanno preso parte ad alcuna forma di addestramento sulla discriminazione di quantità. Nel 2016 è stato pubblicato uno studio sui ratti (*Rattus norvegicus*) focalizzato sulla discriminazione spontanea di quantità (Cox & Tamara Montrose, 2016).

In primo luogo, appare che i ratti sono in grado di discriminare tra due diverse quantità anche senza essere sottoposti ad addestramento. In particolare, i 12 soggetti che hanno preso parte all'esperimento hanno portato a termine con successo le scelte 1 vs 2, 2 vs 3, 3 vs 5, 3 vs 8, 4 vs 6 e 4 vs 8, ma non 3 vs 4, 4 vs 5 e 5 vs 6.

L'abilità dei ratti di differenziare due quantità diminuisce all'aumentare del rapporto, coerentemente con la legge di Weber.

Gli autori hanno concluso che tale abilità derivi dall'utilizzo di un meccanismo coerente con il sistema *analog magnitude* già descritto in altre specie di vertebrati (Addessi et al., 2008; Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011).

Questo stesso sistema viene utilizzato anche nella discriminazione spontanea di quantità dalle proscimmie.

In uno studio del 2012 che ha coinvolto 113 prosimie di specie diverse ospitate al Duke Lemur Center, i soggetti sono stati sottoposti ad una sola delle 6 condizioni testate (ad eccezione di 7 soggetti che hanno partecipato a due condizioni) per un totale di 120 test (20 per tipo di confronto riportato in tab. 2.2) (Jones & Brannon, 2012)

Rapporto	Quantità	Grandezza
1:3	1 vs 3	piccolo vs piccolo
	2 vs 6	piccolo vs grande
	4 vs 12	grande vs grande
1:2	1 vs 2	piccolo vs piccolo
	3 vs 6	piccolo vs grande
	6 vs 12	grande vs grande

Tabella 2.2: sono riportate le quantità dei 6 confronti sottoposti ai soggetti. Metà delle prove sono confronti tra quantità con rapporto di 0,33 e l'altra metà di 0,5.

Per ogni rapporto una prova mette a confronto due quantità piccole (minore o uguale a quattro), una prova mette a confronto una quantità piccola con una grande e una prova mette a confronto due quantità grandi.

(Jones & Brannon, 2012)

Le prosimie hanno scelto la quantità maggiore in 82 su 120 test, risultato significativamente maggiore rispetto al caso. Analizzando i singoli confronti, i soggetti hanno scelto la quantità maggiore solo nelle prove dove il rapporto era di 0,33.

I risultati ottenuti confermano che le proscimmie utilizzano un sistema di *analog magnitude*, invece che un sistema *object file*, per rappresentare e comparare spontaneamente diverse quantità (Jones & Brannon, 2012).

3. IL RUOLO DELL'ADDESTRAMENTO NELLA DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ

Gli studi analizzati finora si sono concentrati sulla capacità spontanea di discriminazione di quantità. Per quanto questo aspetto sia molto importante per capire il ruolo ecologico che la discriminazione di quantità gioca nella vita degli animali, questo metodo pone una serie di limiti importanti quando cerchiamo di indagare le reali abilità cognitive in possesso di una determinata specie.

Nella tabella 3.1 sono riportate le differenze principali tra test di discriminazione di quantità spontanea e con addestramento.

Spontaneous choice tests		Training procedures
Major confounds		
Number vs. continuous quantities	Despite the fact that several procedures are available to prevent the use of continuous quantities, the control of these variables is always difficult with biologically-relevant stimuli.	The use of artificial inanimate stimuli permits a fine-grained manipulation of stimuli, increasing the possibility to dissociate between numerical abilities and continuous quantity discrimination.
Use of sensory modalities other than that investigated	Since the stimulus to discriminate coincides with the reward (e.g. pieces of food), it is necessary to exclude that other sensory modalities (e.g., olfactory cues) provide non-numerical cues.	Reward is not represented by the possibility of obtaining the stimuli and thus this problem normally does not apply.
Motivation	Motivation may play a key role. Null results can be due to ceiling effects in food choice or may reflect different individual preferences when social stimuli are presented.	Animals are constantly motivated by rewarding the correct choice, regardless of the numerosity of the items and the type of stimuli.
Theoretical issues		
Ecological validity	If animals show a spontaneous ability to discriminate between quantities of biologically-relevant stimuli in the laboratory, they are likely to also make use of this capacity in nature when facing similar problems.	Feral animals are often required to associate new, arbitrary stimuli to a specific response but learning an association between the numerosity of arbitrary stimuli and a reward, as in typical laboratory experiments, is probably much rarer in nature.
Natural repertoire of numerical abilities?	As animals exhibit a spontaneous behavior, the neuro-cognitive systems recruited in these tests are likely to be same involved in similar tasks under natural conditions.	Extensive training might lead to extraordinary numerical abilities through the recruitment of neuro-cognitive systems that are not normally involved in numerical cognition, an event that is very unlikely to occur under natural conditions.
Inter-specific studies	As biologically relevant stimuli differ across species, different results might be partially due to the use of different stimuli.	The use of the same stimuli even with distantly related species may permit a fine inter-specific comparison.
Practical issues		
Sample size	A large sample size is usually collected to assess whether animals can solve the task at the population level.	A reduced sample size is enough. If a few individuals can achieve the task then it is assumed that the species is equipped of neuro-cognitive systems potentially able to learn that numerical rule.
Between vs. within subject design	As motivation/accuracy tends to decrease with an increase in the number of trials, between-subjects design should be preferred.	Within-subjects design is usually preferred as animals can normally undergo thousands of trials.
Time consumed per subject	A subject is usually tested in a relatively short amount of time.	Each subject may require a long amount of time (e.g., months) before reaching the learning criterion.

Tabella 3.1: riassunto dei principali pro e contro nei test di scelta spontanea e nei test dopo addestramento nella discriminazione di quantità (Agrillo & Bisazza, 2014).

Un animale potrebbe non manifestare un'efficace discriminazione di quantità spontanea, ma, senza uno studio che preveda una fase di addestramento, diventa difficile capire se questa mancanza derivi da un'inadeguata capacità cognitiva piuttosto che da scarsa motivazione.

Una scimmia potrebbe, per esempio, non dimostrare la capacità di discriminare 20 da 30 mele. Questo potrebbe avvenire perché il rapporto numerico presentato supera la sua acuità numerica, oppure perché la scimmia non ha alcuna motivazione a scegliere il gruppo maggiore perché entrambe le quantità sono più che sufficienti per saziarla (Agrillo & Bisazza, 2014).

Anche la difficoltà dimostrata da molte specie nel discriminare quantità all'aumentare del loro rapporto numerico (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011; Jones & Brannon, 2012), potrebbe essere dovuta al fatto che il beneficio di scegliere la quantità maggiore diminuisce con il diminuire della distanza numerica tra le due quantità (Agrillo & Bisazza, 2014).

L'aggiunta di una fase addestramento antecedente ai test sulla discriminazione di quantità permette anche di indagare la capacità degli animali di scegliere la quantità minore, permettendoci di capire se tale capacità sia basata su meccanismi cognitivi simili a quelli utilizzati per distinguere la quantità maggiore (Agrillo & Bisazza, 2014). Questo aspetto è stato, in parte, indagato negli orsi (Vonk & Beran, 2012). In uno dei primi studi di discriminazione di quantità che coinvolge questa specie, tre orsi neri (*Ursus americanus*) sono stati addestrati per scegliere una quantità di oggetti rappresentati su uno schermo touch screen (fig. 3.1). Due soggetti sono stati addestrati per scegliere la quantità minore, mentre il terzo è stato addestrato per scegliere quella maggiore.

Durante la procedura di addestramento i soggetti sono stati sottoposti a numerose scelte tra quantità differenti di punti, a mano a mano che i soggetti hanno dimostrato di essere in grado di selezionare ripetutamente la quantità corretta, sono stati sottoposti alla scelta successiva (prima

1 vs 3, poi 2 vs 6, poi confronti randomizzati tra quantità diverse comprese tra 1 e 10).

Una volta raggiunta una percentuale di accuratezza dell'80% su 4 sessioni consecutive da 20 scelte ciascuna, i soggetti hanno potuto cominciare il test ufficiale.

Il primo test è stato fatto utilizzando due insiemi di punti immobili, di dimensioni uguali e in quantità diverse comprese tra 1 e 10.

I tre soggetti hanno ricevuto da una a tre sessioni con cento scelte, due o tre volte alla settimana per sei mesi.

Il secondo test effettuato è equivalente al primo, l'unica differenza consiste nel fatto che i punti sullo schermo si muovono secondo una traiettoria random all'interno del loro insieme.

Con i punti sullo schermo statici tutti e tre i soggetti hanno scelto lo stimolo corretto, anche quando la superficie totale tra le due scelte è stata eguagliata.

Gli orsi addestrati per scegliere la quantità minore hanno dimostrato maggiore difficoltà a portare a termine le loro prove rispetto a quello addestrato per scegliere la quantità maggiore, così come la discriminazione di quantità tra stimoli in movimento è risultata più impegnativa di quella con stimoli statici.

Con i punti in movimento, la performance degli orsi, in generale, è stata maggiormente influenzata dall'area totale e dal rapporto tra le due quantità (Vonk & Beran, 2012).

L'utilizzo di una fase di addestramento permette anche di confrontare più facilmente le capacità di specie diverse. Nelle prove spontanee è necessario utilizzare stimoli diversi per adattarsi alla specie che viene presa in esame, vengono quindi utilizzati moscerini in movimento per le salamandre (Uller et al., 2003), gruppi di conspecifici per diverse specie di pesci (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011; Pilastro et al., 2003), fiori artificiali per le api

(Howard et al., 2020) e tracce registrate di ruggiti per i leoni o altri animali territoriali (Benson-Amram et al., 2011; McComb et al., 2004).

Questa grande varietà di stimoli può interferire con il confronto tra i risultati ottenuti. Implementando una fase di addestramento è possibile appianare tali differenze, utilizzando un unico tipo di stimolo per specie diverse (Agrillo & Bisazza, 2014).

Si possono utilizzare stimoli di natura acustica, come in uno studio sui ratti (Fernandes & Church, 1982) in cui sono state utilizzate due sequenze composte da 2 o 4 suoni. I 10 soggetti sono stati addestrati per spingere la leva di destra dopo aver sentito la sequenza con 2 suoni e la leva di sinistra dopo la sequenza con 4 suoni. Per evitare che la scelta venisse appresa sfruttando il tempo totale della sequenza sono state create due sequenze da 2 suoni con durata rispettivamente minore e uguale rispetto alla sequenza da 4 suoni.

Dopo 30 giorni di addestramento i soggetti sono stati testati utilizzando, oltre alle sequenze dell'addestramento, anche nuove sequenze con intervalli diversi tra i suoni. I ratti si sono rivelati capaci di discriminare il numero dei suoni anche quando le variabili non numeriche sono state controllate.

Un gruppo di oggetti disegnati su uno schermo o su un foglio (fig. 3.1) è un tipo di stimolo frequentemente utilizzato per indagare la discriminazione di quantità (DeLong et al., 2017; Tomonaga, 2008; Vonk & Beran, 2012; Zorina & Smirnova, 1996).

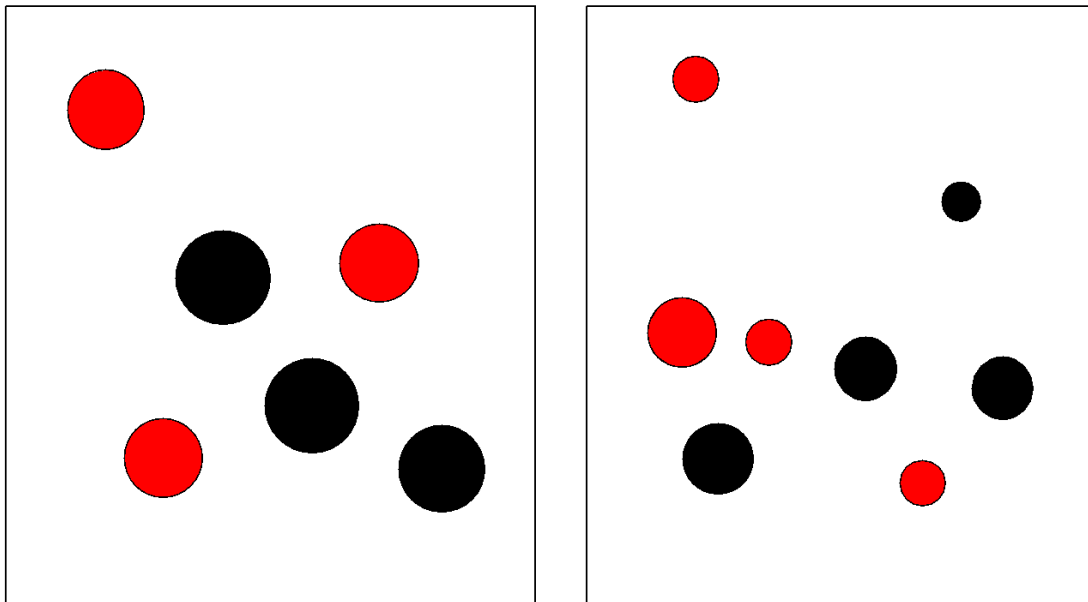


Figura 3.1: rappresentazione degli stimoli utilizzati per indagare la discriminazione di quantità negli orsi neri (Vonk & Beran, 2012). Sono due schermi su cui sono disegnate quantità diverse di oggetti. Lo stesso tipo stimolo viene impiegato in altri esperimenti.

Questo tipo di stimolo viene utilizzato in uno studio di DeLong et. al del 2017 che ha coinvolto 4 pesci rossi (*Carasius auratus*). Nella prima parte di questo studio i soggetti sono stati sottoposti ad una fase di addestramento divisa in due parti. Nella prima parte (fig. 3.2 B) i pesci sono stati addestrati a scegliere un gruppo di puntini neri su sfondo bianco, con una sola opzione disponibile. I pesci hanno ricevuto un rinforzo positivo (cibo offerto con una siringa fig. 3.2 A) dopo aver toccato lo schermo. Nella seconda fase (fig. 3.2 C) sono state presentate sullo schermo due quantità di puntini neri con rapporto di 0,5 tra i due gruppi. I pesci sono stati premiati ogni volta che hanno scelto la numerosità maggiore (soggetto 1 e soggetto 3) o quella minore (soggetto 2 e soggetto 4).

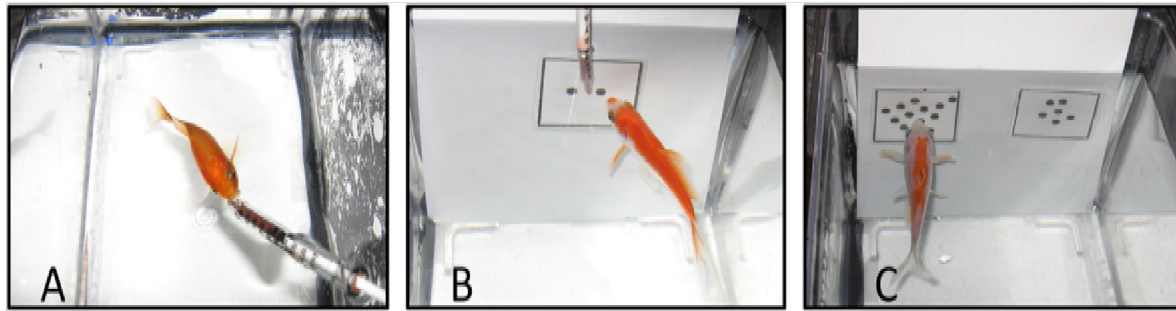


Figura 3.2: foto del processo di addestramento (DeLong et al., 2017)

A: pesce rosso riceve cibo con una siringa

B: prima parte dell'addestramento

C: seconda parte dell'addestramento

Dopo la fase di addestramento, è iniziata la fase dei test. Ai pesci che hanno superato l'addestramento sono state sottoposte 24 sessioni con 6 prove ognuna. Le sessioni sono state divise in tre gruppi da 8, con rapporti rispettivamente di 0,33, di 0,5 (come durante l'addestramento) e di 0,67. Dopo il primo blocco di test ne è stato fatto un altro uguale al primo.

Dai dati ottenuti risulta che, in entrambi i gruppi di test, i pesci rossi sono stati capaci di scegliere la quantità corretta con accuratezza superiore al 90%, questo valore è mantenuto per tutti e tre i rapporti presentati.

In questo esperimento la performance dei soggetti non è stata influenzata dal rapporto tra le due quantità. Questo risultato è inaspettato, in quanto il rapporto tra le due quantità rappresenta spesso il principale indicatore di successo di una determinata discriminazione, come spesso accade anche nelle prove spontanee (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011; Jones & Brannon, 2012; Rugani et al., 2013).

È possibile che i rapporti utilizzati non siano sufficientemente elevati da rilevare la dipendenza.

Questi risultati suggeriscono che i pesci rossi sottoposti ad un lungo periodo di addestramento siano in grado di esprimere livelli di accuratezza

comparabili a quelli di uccelli e mammiferi in una prova sulla discriminazione di quantità (DeLong et al., 2017; Yaman et al., 2012).

Utilizzando una fase di addestramento è possibile raggiungere risultati ben superiori rispetto a quelli ottenuti con la discriminazione spontanea (Bisazza et al., 2014).

Uno studio portato a termine allo zoo di Atlanta ha permesso di osservare le abilità di discriminazione di quantità di 11 gorilla (*Gorilla gorilla*) prima e dopo la fase di addestramento.

Gli animali venivano invitati a scegliere tra due vassoi contenenti quantità diverse di cibo (chicchi d'uva o cereali), dopo la scelta i gorilla potevano mangiare il cibo del vassoio selezionato, mentre l'altro veniva rimosso.

Nella prima fase dell'esperimento gli animali hanno portato a termine circa 20 scelte al giorno per 5 giorni, ma solo quattro soggetti hanno scelto preferenzialmente la quantità maggiore, i restanti sette soggetti hanno scelto casualmente (Anderson et al., 2005).

Nel secondo esperimento, le scelte venivano presentate nello stesso modo, ma in questo caso i soggetti venivano premiati solo quando sceglievano il vassoio corretto (quantità maggiore), altrimenti entrambi i vassoi venivano ritirati.

Ogni giorno gli animali erano testati per 10 minuti e il test si concludeva quando l'accuratezza a due sessioni consecutive superava l'80%.

In questo caso, tutti i soggetti hanno dimostrato la capacità di discriminare la quantità maggiore.

Considerate le performance prima e dopo l'addestramento, è probabile che i gorilla, come dimostrato in altre specie di primati (Call, 2000; Hauser et al., 2000; Jones & Brannon, 2012), siano spontaneamente in possesso della capacità di discriminare le quantità, ma che i soggetti in questo studio abbiano espresso la loro capacità solo dopo la fase di addestramento. Secondo gli autori, questa differenza potrebbe essere imputabile alla scarsa

familiarità degli animali con le situazioni sperimentali, i gorilla infatti avevano preso parte in precedenza ad alcuni esperimenti, ma non erano così abituati come potevano esserlo, per esempio, gli orangotanghi (Call, 2000). Un'altra possibile spiegazione è che i gorilla non fossero sufficientemente motivati a causa del tipo di esperimento proposto, gli animali portavano a termine circa 20 scelte al giorno, una successiva all'altra, con ripetute occasioni per ottenere cibo (Anderson et al., 2005)

4. DISCRIMINAZIONE DI QUANTITÀ NEI CANIDI

La discriminazione di quantità, come descritto in precedenza, porta un gran numero di vantaggi, questo è particolarmente vero per le specie sociali, come il lupo (*Canis lupus*) e il cane (*Canis familiaris*).

Come accade per altri animali sociali e territoriali come Iene e Leoni (Benson-Amram et al., 2011; McComb et al., 2004), anche i cani randagi regolano il loro comportamento in base al numero di componenti di un possibile gruppo rivale (Bonanni et al., 2011). Tra il maggio del 2007 e il settembre del 2008 sono stati osservati 392 conflitti tra diversi gruppi di cani randagi localizzati a Roma. I dati raccolti durante queste osservazioni sono coerenti con l'ipotesi che i cani siano in grado di valutare il numero di componenti in un altro gruppo e di comportarsi diversamente in base al rapporto tra il numero dei due branchi. In particolare, i cani dei gruppi studiati si avvicinano in modo aggressivo quando il rapporto tra il branco avversario e il proprio è più basso, mentre si ritirano più frequentemente al crescere di questo rapporto. È stato osservato, in alcune occasioni, un gruppo meno numeroso ingaggiare in un conflitto con un gruppo più numeroso. Una possibile spiegazione potrebbe essere legata ad un errore di valutazione del rapporto numerico tra i due branchi, soprattutto perché questa possibilità è stata osservata più frequentemente quando entrambi i branchi sono composti da più di quattro individui.

Questo studio offre la prima prova che i cani randagi utilizzano la discriminazione di quantità per gestire i conflitti tra gruppi, anche se non è interamente chiaro che tipo di sistema venga sfruttato per rappresentare le quantità (Bonanni et al., 2011).

Le capacità numeriche dei canidi, tuttavia, vengono generalmente indagate attraverso esperimenti di scelta dicotomica spontanea tra due quantità differenti di cibo (Miletto Petrazzini et al., 2020; Ward & Smuts, 2007).

Questo metodo è utilizzato, per esempio, nel primo studio che indaga la discriminazione di quantità nel coyote (*Canis latrans*). I 16 esemplari che hanno partecipato allo studio vivono all'USDA National Wildlife Research Center di Millville nello Utah.

Due ricercatori hanno offerto agli animali una scelta tra due quantità di cibo formato in sfere di dimensioni costanti all'interno dello stesso confronto. Gli otto confronti proposti sono i seguenti: 1 vs 4, 1 vs 3, 2 vs 5, 1 vs 2, 2 vs 4, 3 vs 5, 2 vs 3, 3 vs 4.

Questi confronti vengono presentati da un ricercatore che pone le sfere di cibo in due pile ad un metro di distanza l'una dall'altra. Dopo che il cibo è stato posizionato, gli animali sono liberi di scegliere una delle due quantità, l'altra viene ritirata.

Per valutare un possibile effetto di apprendimento tra la prima e l'ultima sessione, metà degli animali è stata testata prima sulle prove con rapporti piccoli e quindi potenzialmente più semplici e poi sulle prove con rapporti più elevati e quindi potenzialmente più complicate. L'altra metà degli animali ha avuto le prove più difficili prima e quelle più facili dopo.

I risultati di questo studio confermano la capacità dei coyote di discriminare quantità, a patto che il rapporto tra le due quantità proposte sia inferiore o uguale a 1:2. La figura 4.1 mostra in un grafico la proporzione di individui in grado di scegliere la quantità maggiore al variare del rapporto. Non è stato rilevato alcun effetto legato all'apprendimento, gli animali che hanno cominciato con i confronti più difficili hanno portato a termine la prova con la stessa accuratezza degli animali che hanno cominciato con i confronti più semplici. (J. M. Baker et al., 2011).

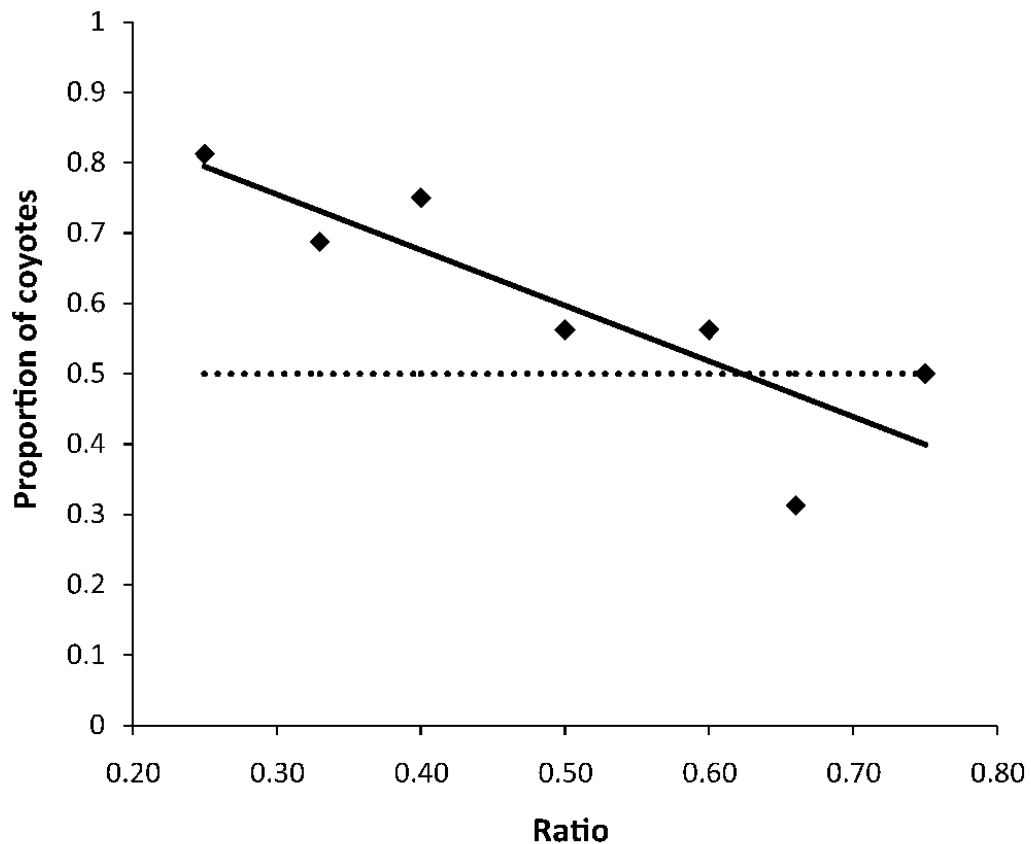


Figura 4.1: proporzione di coyote (riportata sull'asse delle ordinate) che scelgono la quantità maggiore in funzione del rapporto tra le due quantità (riportato sull'asse delle ascisse). La scelta casuale è rappresentata dalla linea tratteggiata ed è fissata a 0,5 (J. M. Baker et al., 2011).

Gli stessi rapporti utilizzati in questo studio sono stati utilizzati anche in un esperimento simile portato a termine su 29 cani (Ward & Smuts, 2007), con gli obiettivi di confrontare le capacità discriminative dei cani rispetto a quelle di altre specie e di individuare se il meccanismo di rappresentazione delle quantità utilizzato da questi animali è conforme alla legge di Weber.

Ai cani sono stati proposti gli otto confronti attraverso una scelta dicotomica tra due piatti con quantità differenti di pezzi di wurstel, i piatti

sono stati posti a terra, distanziati 1,2 metri tra loro e 1 metro di fronte al cane, che viene trattenuto dal proprietario.

Nella prima parte dell'esperimento i piatti vengono presentati all'animale coperti, sono poi scoperti e lasciati così per il resto della prova. Al momento della scelta gli animali possono quindi vedere entrambe le quantità. Come nello studio sui coyote (J. M. Baker et al., 2011), anche in questo caso è stata valutata la possibilità che ci fosse un effetto dell'apprendimento sulla performance dei soggetti testando metà del gruppo prima sui rapporti bassi e poi su quelli più elevati e l'altra metà del gruppo prima sui rapporti elevati e poi su quelli più bassi.

Nella seconda parte dell'esperimento, due dei soggetti precedentemente testati sono stati sottoposti alla stessa prova, ma in questo caso i piatti vengono scoperti e poi ricoperti come mostrato in figura 4.2, per capire se mantenere le quantità visibili per tutta la durata del test fosse un requisito necessario per la loro discriminazione.

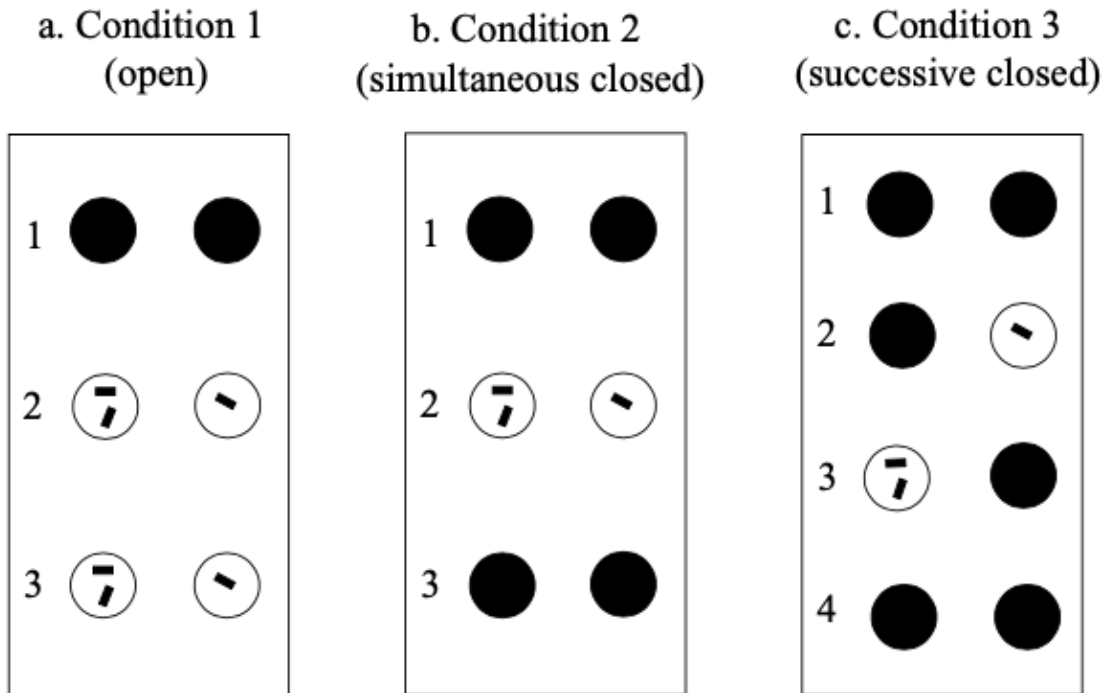


Figura 4.2: tre condizioni testate nel secondo esperimento.

Condizione 1: replica del primo esperimento

Condizione 2: i piatti vengono scoperti simultaneamente e poi coperti

Condizione 3: i piatti vengono scoperti e ricoperti successivamente, le sue quantità non sono mai visibili simultaneamente.

(Ward & Smuts, 2007)

I risultati di questo esperimento confermano che i cani sono in grado di discriminare quantità e che la loro accuratezza diminuisce all'aumentare del rapporto tra le due, coerentemente con la legge di Weber. Questa capacità sembra permanere, sebbene con accuratezza minore, anche quando le quantità non rimangono visibili per l'intera durata della prova. Come nello studio sui coyote, anche in questo caso non è stato osservato alcun apprendimento (Ward & Smuts, 2007).

In uno studio del 2020 sono state osservate le capacità quantitative di cuccioli di cane di 2 mesi di età. Il setup per questo esperimento è simile a

quelli utilizzati con coyote e cani adulti (J. M. Baker et al., 2011; Ward & Smuts, 2007) e prevede la presentazione di tre confronti tra due quantità di cibo con rapporti diversi, per capire non solo se l'abilità di discriminare quantità spontaneamente è presente già nel cucciolo, ma anche per individuare se il limite superiore di questa capacità sia diverso che nell'adulto (Miletto Petrazzini et al., 2020). I cuccioli sono stati capaci di scegliere la quantità maggiore di cibo nella discriminazione tra 1 e 8 pezzi di cibo (rapporto 0,125), in quella tra 1 e 6 (rapporto 0,167), ma non nel confronto tra 1 e 4 (rapporto 0,25). Considerato che questo rapporto è invece risultato semplice per i cani adulti (Ward & Smuts, 2007), questi risultati suggeriscono che la capacità di discriminazione di quantità sia già presente nei cuccioli, sebbene limitata a discriminazioni molto semplici (Miletto Petrazzini et al., 2020).

Questi studi che utilizzano il cibo come mezzo per indagare la discriminazione di quantità spesso inseriscono un controllo dell'odore per verificare se i soggetti sfruttano informazioni olfattive per portare a termine la discriminazione.

Si possono utilizzare quantità diverse, nel range di discriminazione accessibile all'animale, all'interno di un contenitore che non permetta all'animale di vedere le quantità, ma che permetta all'odore di passare. Utilizzando questo metodo, i cani adulti e i coyote, si sono dimostrati incapaci di discriminare rispettivamente 1 e 5 pezzi di cibo e 1 e 6 pezzi di cibo quando l'unica informazione disponibile era olfattiva (J. M. Baker et al., 2011; Ward & Smuts, 2007). Questi risultati sono coerenti con quelli trovati da uno studio del 2013, in cui venivano presentati ai soggetti due piatti coperti contenenti 1 e 5 pezzi di cibo, ogni piatto veniva fatto annusare all'animale e poi appoggiato a terra di fronte ad esso. Da questo studio è emerso che i cani scelgono in maniera casuale se hanno a disposizione solo informazioni olfattive (Horowitz et al., 2013). Questi risultati sono diversi da quelli trovati osservando 303 cani randagi in India

(Banerjee & Bhadra, 2019). Questo studio ha ottenuto risultati coerenti con l'ipotesi che i cani utilizzino preferenzialmente informazioni olfattive per discriminare quantità diverse di cibo.

È possibile che questa differenza sia da attribuire al differente ambiente in cui vivono gli animali. Un cane in cattività non ha la necessità di utilizzare l'olfatto per trovare del cibo, come invece potrebbe essere necessario per un animale allo stato brado.

Come i cani e i coyote, anche i lupi (*Canis lupus*) sono in grado di portare a termine con successo prove di discriminazione di quantità.

Nello studio di Utrata et al. del 2012, 11 esemplari di Lupo, ospitati al Wolf Science Centre in Austria, sono stati addestrati all'utilizzo di un apparato sperimentale (fig. 4.3) che permette di presentare agli animali una scelta tra due quantità oggetto per oggetto senza mai mostrare all'animale l'intera quantità su un piatto o su una ciotola.

I confronti sottoposti ai soggetti sono 1 vs 2, 1 vs 3, 1 vs 4, 2 vs 4, 2 vs 3, 3 vs 4, inoltre è stato inserito un controllo per eguagliare il tempo di presentazione delle quantità (aggiungendo pietre alla quantità minore).

Dopo un'estensiva fase di addestramento, i soggetti sono stati in grado di scegliere la quantità maggiore in più del 70% dei casi. È interessante notare che in questo esperimento la scelta della quantità maggiore non sembra essere sempre collegata al rapporto delle quantità, tuttavia, con questi dati non è possibile indicare con certezza che tipo di sistema venga utilizzato dai lupi per rappresentare le quantità. Ulteriori test, utilizzando rapporti maggiori e quantità più elevate (e.g. 1 vs 7), sono necessari per avere una risposta definitiva (Utrata et al., 2012).

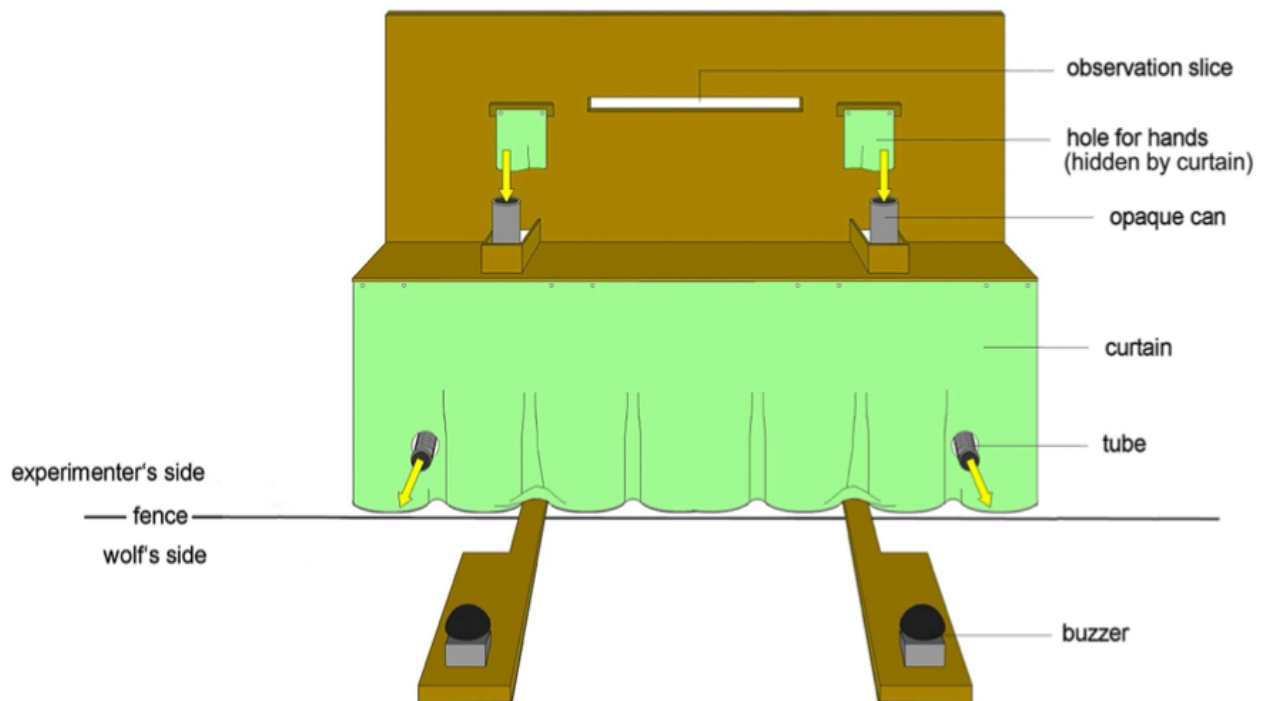


Figura 4.3: apparato sperimentale utilizzato per investigare la discriminazione di quantità in 11 lupi (Utrata et al., 2012)

Questo identico setup è stato utilizzato con 13 cani (*Canis familiaris*), con la medesima fase di addestramento. I risultati ottenuti con i cani sono stati confrontati con quelli dei lupi (Range et al., 2014).

Anche i cani hanno scelto la quantità maggiore di cibo con frequenza maggiore, ma, a differenza dei lupi, la loro accuratezza non è differente al caso quando il rapporto tra le quantità sale a 0,67 o 0,75.

Questo risultato è coerente con lo studio di Ward e Smuts del 2007 discusso in precedenza, che riconosce una difficoltà maggiore nella discriminazione di quantità tra due quantità non visibili al momento della scelta.

Molti ricercatori hanno strutturato i loro test in modo da ridurre la possibilità che il proprietario o il ricercatore stesso suggerissero involontariamente ai soggetti la scelta corretta. Spesso, infatti, i ricercatori

indossano occhiali da sole per evitare di indicare ai soggetti una o l'altra scelta e vengono date istruzioni al proprietario in modo da minimizzare questa evenienza (non guardare i piatti, guardare per terra) (J. M. Baker et al., 2011; Miletto Petrazzini et al., 2020; Range et al., 2014).

In uno studio che indaga questa possibilità, 54 cani sono stati testati in una scelta dicotomica tra due quantità diverse di cibo, nella prima condizione la scelta era libera, mentre nella seconda condizione il proprietario mostrava interesse per la quantità minore di cibo.

I cani hanno ottenuto risultati migliori nella prima condizione rispetto alla seconda, nonostante tutte le variabili legate al confronto siano state mantenute (fig. 4.4) (Prato-Previde et al., 2008).

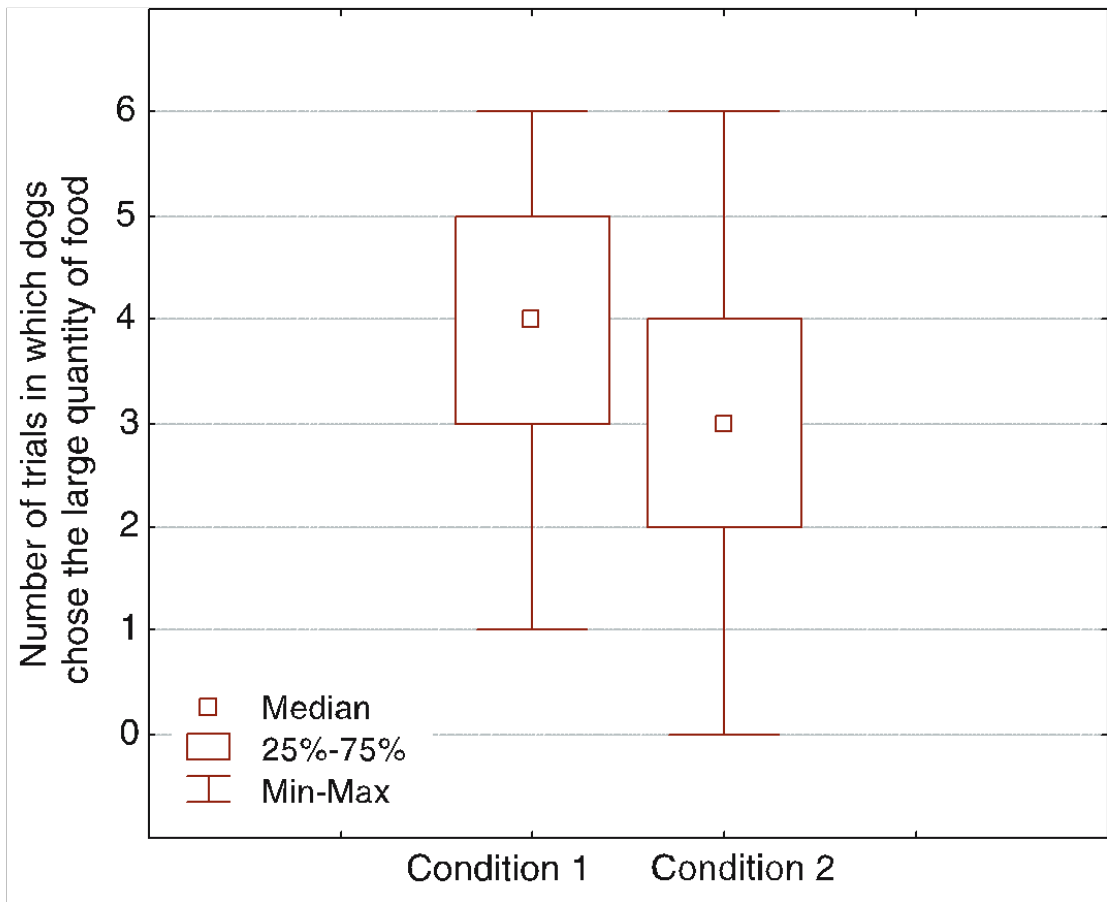


Figura 4.4: mediana e percentile dei cani che hanno scelto la quantità maggiore nella scelta libera (condizione 1) e quando il proprietario ha mostrato interesse per la quantità minore (condizione 2) (Prato-Previde et al., 2008)

5. STUDIO

5.1 OBIETTIVI

Con il presente studio vogliamo valutare quali fattori, singolarmente o in combinazione tra loro, possono influenzare la performance di cani adulti in una prova di discriminazione di quantità spontanea.

I soggetti che hanno preso parte a questo studio, 42 cani maschi, sono stati sottoposti a 18 scelte dicotomiche tra quantità diverse di cibo, divise in tre sessioni da sei prove ciascuna.

Abbiamo inserito in ogni scelta un controllo per l'odore, per evitare che gli animali effettuino la scelta basandosi su informazioni olfattive. Inoltre, abbiamo cercato di eliminare possibili indicazioni da parte del tester indossando occhiali da sole per la durata del test.

La prima variabile che abbiamo considerato è il tipo di test sottoposto al cane. A circa metà dei soggetti abbiamo proposto una discriminazione tra 1 e 8 pezzi di cibo (rapporto 0,125), mentre agli altri abbiamo proposto una discriminazione tra 2 e 4 (rapporto 0,5).

Abbiamo poi considerato lo stato riproduttivo dell'animale, per capire se esiste una differenza nella capacità di discriminazione negli animali castrati rispetto a quelli non castrati.

L'ultima variabile che abbiamo considerato è il blocco di scelta, ovvero il numero della sessione di test a cui l'animale stava partecipando. Questa variabile è stata inserita per valutare la possibilità di apprendimento o di perdita di motivazione tra la prima e l'ultima sessione.

5.2 MATERIALI E METODI

5.2.1 SOGGETTI

Sono stati testati un totale di 42 cani maschi, due dei quali sono stati eliminati dalle analisi a causa di un bias spaziale (entrambi i soggetti hanno scelto in ogni prova di ogni sessione i premi alla destra del tester). Le analisi sono state fatte quindi su un totale di 40 cani (17 castrati e 25 non castrati).

18 cani maschi hanno preso parte alla prova due vs quattro (9 castrati e 9 non castrati).

22 cani maschi hanno preso parte alla prova uno vs otto (8 castrati e 14 non castrati).

Le caratteristiche dei soggetti sono riportate nelle tabelle 5.1 e 5.2

Nome	Prova	Stato riproduttivo	Età (mesi)
Oreste	due vs quattro	non castrato	14
Pluto	due vs quattro	non castrato	94
Ulisse	due vs quattro	non castrato	111
Leo	due vs quattro	non castrato	12
Orazio	due vs quattro	non castrato	24
Magnum	due vs quattro	non castrato	36
Mirco	due vs quattro	non castrato	162
Fido	due vs quattro	non castrato	144

Nome	Prova	Stato riproduttivo	Età (mesi)
Chicco	due vs quattro	non castrato	36
Baloo	due vs quattro	castrato	42
Chicco	due vs quattro	castrato	120
Duck	due vs quattro	castrato	132
Jeeg	due vs quattro	castrato	138
Daimon	due vs quattro	castrato	120
Trudy	due vs quattro	castrato	132
Dylan	due vs quattro	castrato	66
Raja	due vs quattro	castrato	110
Pippo	due vs quattro	castrato	192
Ulisseal	uno vs otto	non castrato	40
Dodo	uno vs otto	non castrato	84
Snoopy	uno vs otto	non castrato	80
Beethoven	uno vs otto	non castrato	156
Pelo	uno vs otto	non castrato	120
Milton	uno vs otto	non castrato	108
Rolly	uno vs otto	non castrato	84
Doc	uno vs otto	non castrato	84
Leon	uno vs otto	non castrato	60

Nome	Prova	Stato riproduttivo	Età (mesi)
Joy	uno vs otto	non castrato	72
Balu'	uno vs otto	non castrato	72
Master	uno vs otto	non castrato	72
Ronny	uno vs otto	non castrato	36
Tommy	uno vs otto	non castrato	36
Thor	uno vs otto	castrato	40
Prince	uno vs otto	castrato	59
Spillo	uno vs otto	castrato	60
Jack	uno vs otto	castrato	18
Jetro	uno vs otto	castrato	78
Rocky	uno vs otto	castrato	72
Vladimiro	uno vs otto	castrato	120
Bullone	uno vs otto	castrato	60
			Età media 82,4± 7,0

Tabella 5.1: Dati dei soggetti testati: prova, stato riproduttivo ed età in mesi.

Per tipo di prova (mesi)	Per stato riproduttivo (mesi)	Prova-stato riproduttivo (mesi)
1 vs 8 = 73,2±6,8	castrati = 91,7±11,0	1 vs 8 / castrati = 63,4±10,5
2 vs 4 = 93,6±12,0	non castrati = 75,5±9,1	1 vs 8 / non castrati = 78,9±8,8
		2 vs 4 / castrati = 116,9±14,3
		2 vs 4 / non castrati = 70,3±19,4

Tabella 5.2: medie delle età dei soggetti per tipo di prova, per stato riproduttivo e combinando la prova e lo stato riproduttivo.

5.2.2 MATERIALI

I materiali adoperati per la raccolta sono riportati in fig. 2.1 e consistono in:

Occhiali: indossati dall'operatore durante tutto il test. (Fig. 5.1A)

Mascherina: indossata dall'operatore durante tutto i test. (Fig. 5.1B)

4 Vaschette di alluminio: (L: 12 cm, l: 9,5 cm, h: 4,5 cm) due vaschette (Fig. 5.1C) vengono incollate sovrapponendo la parte esterna dei due fondi. Si crea così un contenitore (Fig. 5.1D). Al termine di ogni prova vengono lavate o sostituite.

2 Fogli di alluminio: utilizzati per coprire la vaschetta di alluminio superiore di ogni contenitore. Dopo l'applicazione vengono forati (Fig. 5.1E). Al termine della prova vengono sostituiti.

2 Piatti di plastica bianca: (Diametro esterno: 21 cm, Diametro interno: 15 cm, Profondità: 2,5 cm), al termine della prova vengono lavati o sostituiti. (Fig. 5.1F)

Wurstel di pollo AIA (Fig. 5.1G): vengono tagliati longitudinalmente, dividendoli in due metà. Ognuna di queste viene divisa trasversalmente in 8 pezzi, il più possibile simili tra loro per forma e dimensione (Fig. 5.1H) da ogni wurstel si ottengono 16 pezzi.

Vengono tenuti in un contenitore chiuso fino al momento dei test.

Nastro adesivo: utilizzato per indicare sul pavimento la posizione dei due piatti e del cane durante i test. (Fig. 5.1I)

Fotocamera: utilizzata per riprendere lo svolgimento dei test. È stata utilizzata la fotocamera del computer portatile.

Metro: utilizzato per preparare la postazione prima di cominciare i test. (Fig. 5.1J)

Fogli per la raccolta dati: fogli su cui riportare le informazioni del soggetto (nome, razza, età, sesso, stato riproduttivo) e il tipo di test a cui il soggetto viene sottoposto (2 vs 4, 1 vs 8). Viene riportata la data di ogni sessione con i risultati corrispondenti ed eventuali informazioni aggiuntive sul soggetto o sull'ambiente in cui si svolge il test.

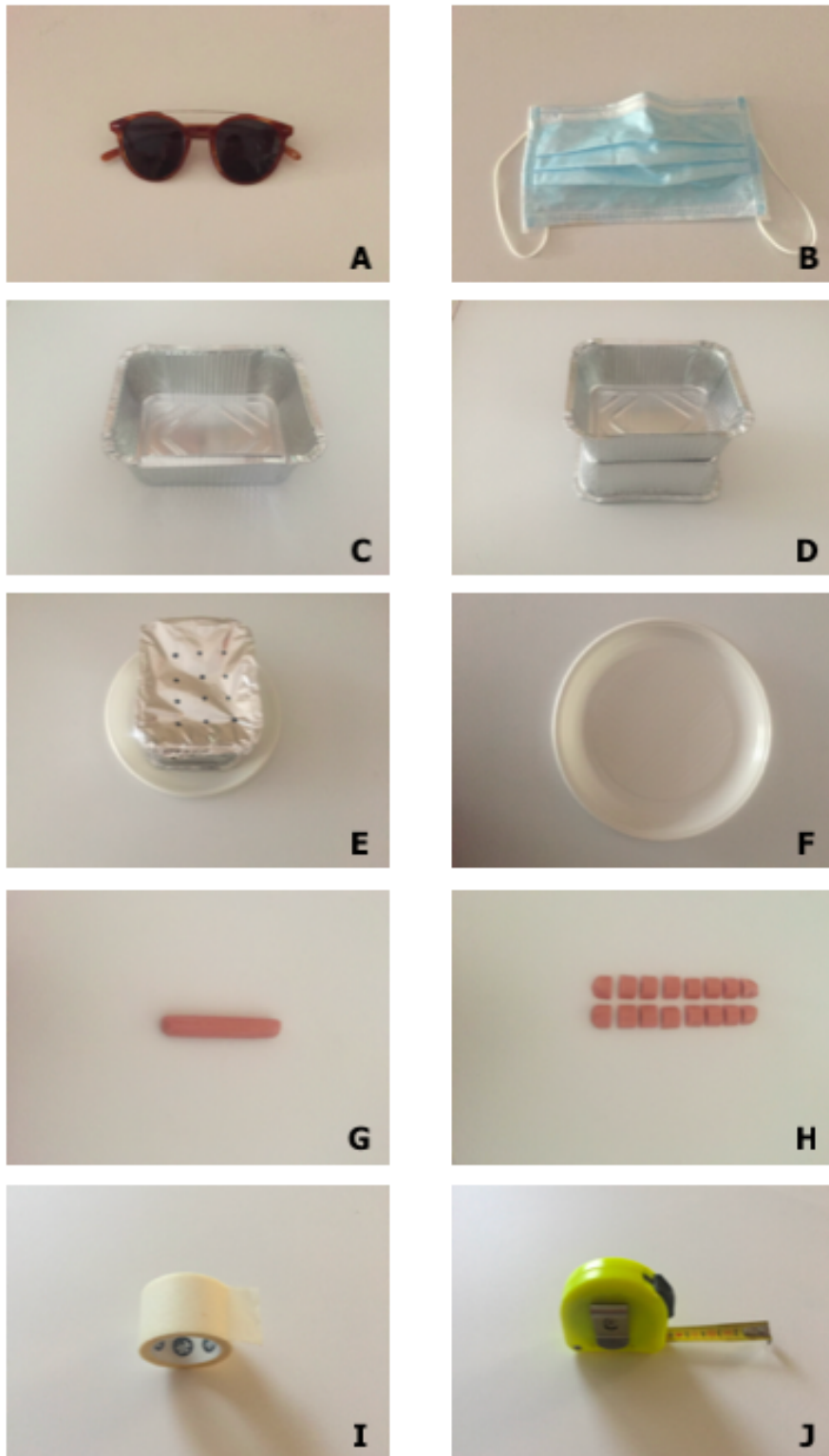


Figura 5.1: Materiale utilizzato nella raccolta dati

5.2.3 PROCEDURA

Accertamenti preliminari: il tester si accorda con il proprietario spiegando il procedimento che verrà svolto durante il test e assicurandosi che il cane e il proprietario siano in grado di portarlo a termine. Vengono poi stabiliti un orario e un luogo di ritrovo per lo svolgimento dei test. Il luogo deve essere conosciuto e familiare al soggetto (casa, giardino o comunque un luogo in cui il cane si senta a suo agio) e il più possibile scevro di distrazioni.

Prima di cominciare le sessioni, il tester fa conoscenza con il soggetto, offrendogli dei premi e lasciandosi annusare, in modo che il cane si abitui alla sua presenza.

In questo momento si verificano anche la presenza di evidenti impedimenti sensoriali del soggetto (e.g. il soggetto segue i movimenti, si volta se viene chiamato) e il suo interesse per il cibo che verrà utilizzato durante la prova. Il procedimento dei test viene spiegato al proprietario (e ripetuto prima di ogni sessione), assicurandosi che lo comprenda. Il proprietario viene invitato, in particolare, a trattenere il cane in modo non troppo coercitivo, ad astenersi il più possibile da altre interazioni con il soggetto (interazioni verbali, fisiche, gesti, sguardi) e a non guardare i piatti, per influenzare il meno possibile l'esito del test. Tutte queste indicazioni tengono conto anche delle caratteristiche del soggetto (es. un cane molto esuberante e con un grande interesse per cibo avrà bisogno di essere trattenuto più fermamente di un cane che attende tranquillamente di essere rilasciato).

Preparazione della postazione (Fig. 5.2): utilizzando il nastro di carta vengono segnati a terra due punti (A e B), distanti tra di loro 60 cm. Questi punti indicano la posizione dei due piatti durante i test. Il centro di ogni piatto corrisponde con il punto indicato con il nastro adesivo.

Viene poi segnato a terra un terzo punto (C), distante 100 cm dal centro del segmento AB (rimanendo perpendicolari al segmento). C indica il punto in cui il soggetto viene trattenuto dal proprietario durante i test.

Viene poi posizionata la telecamera in modo da inquadrare la posizione del tester durante le prove, i piatti e il soggetto testato.

Nel caso in cui il terreno non permetta di applicare il nastro adesivo (terreno bagnato, erba ecc.), gli stessi punti (A, B, C) vengono indicati utilizzando altri metodi. In particolare, sono stati utilizzati dei piccoli picchetti infissi nel terreno completamente, in modo da non interferire con la prova.

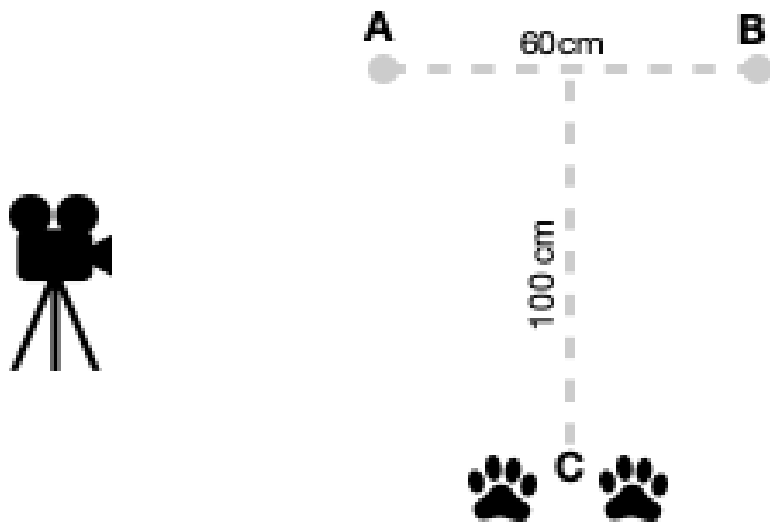




Figura 5.2: preparazione della postazione per il test, come descritto nella sezione corrispondente.

Preparazione dei materiali:

-Test 2 vs 4 (Fig. 5.3):

Sul primo piatto vengono posizionati 2 pezzetti di wurstel e sulla vaschetta superiore del primo contenitore vengono posizionati 4 pezzetti di wurstel che vengono coperti con un foglio di carta di alluminio forata. In questo modo il soggetto non è mai in grado, per tutto il test, di vedere il cibo contenuto nella vaschetta, ma ne percepisce l'odore.

Il contenitore viene a questo punto posizionato sopra al piatto, in modo che i pezzetti di cibo nel piatto vengano contenuti e coperti completamente dalla vaschetta inferiore.

Sul secondo piatto vengono posizionati 4 pezzetti di wurstel e sulla vaschetta superiore del secondo contenitore vengono posizionati 2 pezzetti di wurstel che vengono coperti con un foglio di carta di alluminio forata. In questo modo il soggetto non è mai in grado, per tutto il test, di vedere il cibo contenuto nella vaschetta, ma ne percepisce l'odore.

Il contenitore viene a questo punto posizionato sopra al piatto, in modo che i pezzetti di cibo nel piatto vengano contenuti e coperti completamente dalla vaschetta inferiore.

Viene preparato il foglio per la raccolta dati, inserendo le informazioni del soggetto e la data della prova.

Vengono tenuti a portata di mano, vicino alla postazione, gli occhiali da sole, il foglio per la raccolta dati e una penna, un contenitore chiuso con i pezzetti di wurstel per sostituire quelli che verranno consumati dal soggetto durante i test.



Figura 5.3: preparazione dei piatti e dei contenitori per il test 2 vs 4

-Test 1 vs 8 (Fig. 5.4):

Sul primo piatto viene posizionato un pezzetto di wurstel e sulla vaschetta superiore del primo contenitore vengono posizionati 9 pezzetti di wurstel che vengono coperti con un foglio di carta di alluminio forata. In questo modo il soggetto non è mai in grado, per tutto il test, di vedere il cibo contenuto nella vaschetta, ma ne percepisce l'odore.

Il contenitore viene a questo punto posizionato sopra al piatto, in modo che il pezzetto di cibo nel piatto venga contenuto e coperto completamente dalla vaschetta inferiore.

In questo caso, abbiamo utilizzato 9 pezzetti di cibo nella vaschetta superiore per ridurre al minimo i bias dovuti all'eventuale scelta di un piatto basata sulla percezione olfattiva. Se il soggetto dovesse basare la sua scelta sull'odore si ritroverebbe a scegliere più frequentemente il piatto con il numero minore di pezzetti di wurstel.

Sul secondo piatto vengono posizionati 8 pezzetti di wurstel e sulla vaschetta superiore del secondo contenitore viene posizionato un pezzetto di wurstel che viene coperto con un foglio di carta di alluminio forata. In questo modo il soggetto non è mai in grado, per tutto il test, di vedere il cibo contenuto nella vaschetta, ma ne percepisce l'odore.

Il contenitore viene a questo punto posizionato sopra al piatto, in modo che i pezzetti di cibo nel piatto vengano contenuti e coperti completamente dalla vaschetta inferiore.

Vengono tenuti a portata di mano, vicino alla postazione, gli occhiali da sole, il foglio per la raccolta dati e una penna, un contenitore chiuso con i pezzetti di wurstel per sostituire quelli che verranno consumati dal soggetto durante i test.



Figura 5.4: preparazione dei piatti e dei contenitori per il test 1 vs 8

Svolgimento dei Test: i soggetti vengono testati singolarmente, eventuali animali conviventi devono essere mantenuti a distanza.

Ogni soggetto, per portare a termine la prova, verrà sottoposto a 18 scelte dicotomiche, divise in tre sessioni da 6 scelte ognuna, da svolgere in giorni separati.

Ogni sessione avviene ad almeno due giorni di distanza dalla precedente, ma mai oltre i quattro giorni.

Il tester indossa gli occhiali e la mascherina, accende la telecamera e ripete ad alta voce i dati del soggetto testato, la data e il tipo di test.

Il soggetto viene trattenuto dal proprietario/conduuttore con gli arti anteriori sopra al punto C, in modo da essere il più possibile frontale al segmento AB. Il cane dev'essere trattenuto il più gentilmente possibile,

assicurandosi comunque di tenerlo in posizione. Il conduttore deve mantenere una posizione il più neutra possibile, in modo da non influenzare il cane. Inoltre, al conduttore viene chiesto di non interagire (verbalmente o fisicamente) con il soggetto durante il test.

Il tester è in ginocchio, con la sommità del ginocchio tangente al segmento AB, con il soggetto e il conduttore di fronte a sé.

I piatti con i wurstel, coperti dalle vaschette, vengono posizionati in modo che il loro centro coincida con i punti A e B.

Il tester cerca di attirare l'attenzione del cane su di sé facendo dei richiami per evitare che il soggetto focalizzi lo sguardo su uno dei piatti, inficiando il risultato della prova. Il conduttore trattiene il cane.

Il tester solleva i coperchi e li posiziona lateralmente al piatto corrispondente.

Se il soggetto ha perso l'interesse per il tester e si focalizza su uno dei due piatti, vengono utilizzati nuovamente dei richiami vocali per mantenere l'attenzione del cane.

A questo punto il tester dà al conduttore il comando per liberare il cane (in questo caso "OK"). Solo a questo punto il conduttore allenta la presa sul cane, senza spingerlo in nessun modo a procedere verso i piatti.

Il cane è libero di muoversi e scegliere uno dei due piatti, o dirigersi da qualunque altra parte nell'ambiente.

Quando il soggetto ha consumato il contenuto del piatto scelto, il conduttore (eventualmente con l'aiuto del tester) riprende il cane, prima che questo riesca a consumare il contenuto del secondo piatto.

Il tester si volta, dando la schiena alla postazione, riporta il risultato della scelta sul foglio per la raccolta dati e riempie nuovamente il piatto che è stato svuotato con lo stesso quantitativo di wurstel presenti prima. I piatti vengono coperti dai contenitori e si procede allo stesso modo fino a completare le 6 scelte della sessione.

La posizione dei piatti (a destra o a sinistra del tester), contenenti quantità di cibo maggiore (4 o 8) o minore (2 o 1) è predeterminata, uguale per tutti i soggetti e ripetuta nelle tre sessioni. (Tab. 5.3)

Al termine della sessione i wurstel avanzati nei piattini e nei contenitori vengono eliminati.

N°	Sinistra	Destra
1	Maggiore (4/8)	Minore (2/1)
2	Minore (2/1)	Maggiore (4/8)
3	Maggiore (4/8)	Minore (2/1)
4	Minore (2/1)	Maggiore (4/8)
5	Minore (2/1)	Maggiore (4/8)
6	Maggiore (4/8)	Minore (2/1)

Tabella 5.3: Indica da che lato del tester si trovano la quantità maggiore e minore di wurstel ad ogni test.

La stessa sequenza è ripetuta nelle tre sessioni

5.3 ANALISI DEI DATI

Le analisi statistiche sono state effettuate in R (R Core Team, 2021).

La nostra variabile dipendente è il numero di scelte corrette durante i test (con corretto si intende la quantità maggiore di cibo).

Abbiamo utilizzato un modello lineare generalizzato, con una funzione degli errori gaussiana, utilizzando il pacchetto lme4 (Douglas Bates et al., 2015). Nel modello abbiamo incluso come variabili indipendenti il tipo di test (1 vs 8 o 2 vs 4), lo stato riproduttivo del cane (non castrato o castrato), il blocco di scelta e l'interazione tra queste variabili.

I soggetti sono stati inseriti nel modello come effetto random.

Abbiamo utilizzato il pacchetto car (Fox & Weisberg, 2019) per testare quali fattori del modello hanno effetto significativo sulla variabile dipendente. Utilizzando il pacchetto emmeans (Lenth, 2021) abbiamo svolto un'analisi post-hoc per determinare la direzione dell'effetto delle variabili risultate significative. Abbiamo utilizzato il pacchetto DHARMA (Hartig, 2021) per testare la fitness del modello e ggplot2 (Wickham, 2016) per sviluppare i grafici.

5.4 RISULTATI

Analizzando le performance dei soggetti, abbiamo trovato una differenza significativa rispetto alle variabili indipendenti tipo di test ($X^2=6.012$, $p=0.014$) e stato riproduttivo ($X^2=17.179$, $p < 0.001$).

Nel modello è stata inserita anche la variabile blocco di scelta, non sono state trovate differenze significative rispetto a questa variabile.

Per quanto riguarda la variabile tipo di test, entrambi i gruppi di soggetti (chi ha svolto il test 2 vs 4 e chi ha svolto il test 1 vs 8) hanno dato risultati superiori al caso (analisi post-hoc, due vs quattro: $M=3.59$, $SE=0.158$, $t=22.734$, $p<.0001$; uno vs otto: $M= 4.13$, $SE=0.149$, $t=27.784$, $p<.0001$).

Mettendoli a confronto, la performance dei soggetti che hanno preso parte al test uno vs otto risultano migliori rispetto ai soggetti che hanno preso parte al test due vs quattro (analisi post-hoc, differenza tra le medie (due vs quattro - uno vs otto) = -0.535 , $SE=0.217$, $t= -2.468$, $p=0.019$). Fig. 5.5A

Per la variabile stato riproduttivo entrambi i gruppi di soggetti castrati e non castrati hanno dato risultati superiori al caso (analisi post-hoc, castrati: $media=3.410$, $SE=0.163$, $t=20.932$, $p<.0001$;

Non castrati: $media=4.310$, $SE=0.143$, $t=30.098$, $p<.0001$).

Mettendoli a confronto, le performance dei soggetti non castrati risulta migliore rispetto ai soggetti castrati (analisi post-hoc, differenza tra le medie castrati - non castrati= -0.901 , $SE= 0.217$, $t= -4.154$, $p=0.0002$) Fig. 5.5B.

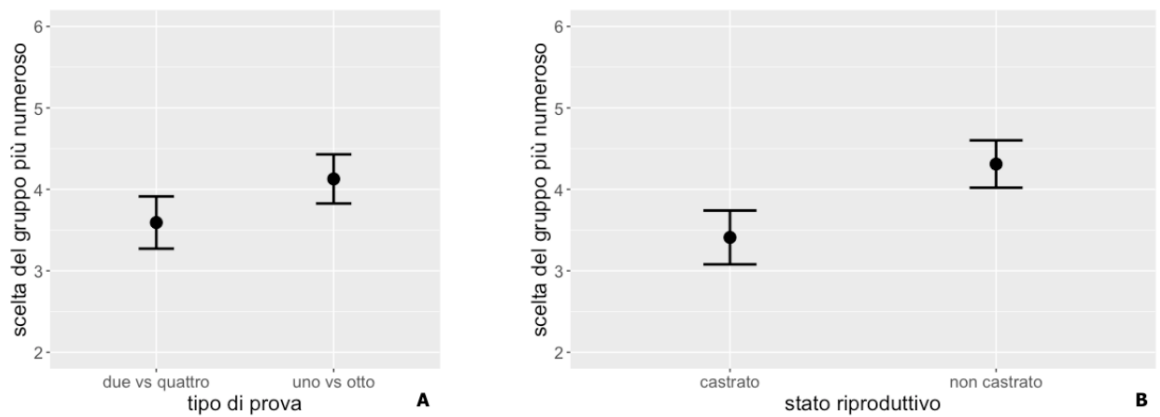


Figura 5.5

A: Confronto tra il numero di scelte corrette nella prova due vs quattro e nella prova uno vs otto. (Asse ascisse= tipo di prova, asse ordinate= scelta del gruppo più numeroso).

Le barre rappresentano l'intervallo di confidenza.

B: Confronto tra il numero di scelte corrette nei soggetti castrati e in quelli non castrati. (Asse ascisse= stato riproduttivo, asse ordinate= scelta del gruppo più numeroso).

Le barre rappresentano l'intervallo di confidenza.

6. DISCUSSIONE

I dati raccolti sul campione di 40 soggetti sono stati analizzati mettendo a confronto i risultati ottenuti dai sottogruppi suddivisi in base al tipo di prova (1 vs 8 o 2 vs 4), in base allo stato riproduttivo (castrato o non castrato), in base al blocco di scelta e in base all'interazione di queste variabili.

Per quanto riguarda i risultati dei sottogruppi sottoposti alle prove 2 vs 4 e 1 vs 8, emerge che i soggetti di entrambi i sottogruppi raggiungono risultati positivi (scelta della quantità maggiore di cibo) più frequentemente rispetto al caso.

Confrontando questi due sottogruppi, risulta che i soggetti che hanno preso parte alla prova 1 vs 8 hanno ottenuto risultati migliori rispetto ai soggetti che hanno partecipato alla prova 2 vs 4.

Questi risultati fanno pensare che i soggetti sottoposti alla prova 1 vs 8 abbiano trovato minor difficoltà a risolvere il test rispetto ai soggetti sottoposti alla prova 2 vs 4, probabilmente a causa di una maggior differenza numerica e un minor rapporto tra le due scelte nella prova 1 vs 8. Il risultato ottenuto non è per nulla sorprendente perché permette ai soggetti di raggiungere una ricompensa maggiore con uno sforzo minimo ed è coerente con quelli trovati in molti altri studi simili (Call, s.d.; Ward & Smuts, 2006).

Analizzando i risultati dei sottogruppi divisi per stato riproduttivo dei soggetti, risulta che entrambi i sottogruppi (non castrati- castrati) raggiungono risultati positivi (scelta della quantità maggiore di cibo) più frequentemente rispetto al caso.

Confrontando i due sottogruppi, risulta che i soggetti non castrati hanno ottenuto risultati migliori rispetto ai soggetti castrati, questo risultato sembra in opposizione rispetto a quelli ritrovati in altri studi che mettono

a confronto le capacità cognitive di cani maschi castrati e non (Mongillo et al., 2017; Scandurra et al., 2018).

In questa situazione però, considerando che entrambi i sottogruppi hanno raggiunto risultati positivi (superiori al 50%) è ragionevole imputare tale differenza a processi cognitivi più semplici piuttosto che a una minor capacità cognitiva.

È possibile che tale differenza sia legata ad una maggior diffidenza dei cani castrati rispetto agli interi (Starling et al., 2013) che li porterebbe a prestare maggior attenzione al tester piuttosto che al test stesso.

È possibile anche che i cani non castrati, avendo un metabolismo più rapido e quindi una richiesta energetica maggiore rispetto ai cani castrati (Birmingham et al., 2014; Pedrinelli et al., 2021), mostrino un maggiore interesse per il cibo. Questo fattore potrebbe aumentare in maniera rilevante la loro motivazione a terminare il test con successo, raggiungendo dei risultati migliori.

Questi risultati fanno pensare che lo stato riproduttivo abbia un impatto negativo sulla performance in questo tipo di test, ma non tanto sulla capacità del soggetto di discriminare le diverse quantità di cibo, ma su altri processi coinvolti, quali l'attenzione o la motivazione.

I risultati dei test sono stati analizzati anche rispetto al blocco di scelta e dal confronto dei risultati ottenuti non appare evidente alcuna differenza significativa rispetto a questa variabile. Sembrerebbe quindi che non ci sia un miglioramento rilevabile tra le diverse sessioni di test, se questo fosse presente, potrebbe essere imputabile ad un apprendimento determinato dal rinforzo differenziale. Non è stato rilevato nemmeno un peggioramento dei risultati.

I soggetti analizzati in questo test hanno quindi mantenuto una performance costante, senza segni di miglioramento o peggioramento nei tre blocchi di scelta.

I risultati sono stati analizzati anche in base all'interazione tra le tre variabili considerate (tipo di prova, stato riproduttivo, blocco di scelta). Dal confronto tra i risultati di questa analisi non sono evidenti differenze significative in nessuna delle interazioni considerate.

7. CONCLUSIONE

I cani testati in questo studio sono stati capaci di distinguere due quantità in maniera spontanea, sia con rapporto di 0,125 (1 vs 8) che con rapporto di 0,5 (2 vs 4). La performance nelle due prove, tuttavia, è peggiorata all'aumentare del rapporto, come già rilevato nel cane e in altre specie (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011; Jones & Brannon, 2012; Ward & Smuts, 2007).

L'utilizzo di un controllo per l'odore esclude che i cani abbiano basato le loro scelte sull'odore della quantità maggiore e l'utilizzo di occhiali da sole diminuisce la probabilità che il tester abbia indicato involontariamente la scelta corretta all'animale.

La performance è influenzata anche dallo stato riproduttivo, con un'accuratezza migliore nei cani non castrati, anche se è possibile che questa differenza non abbia a che fare con le capacità cognitive dei due gruppi di soggetti (castrati e non castrati), ma sia dovuta ad altri fattori come la motivazione a portare a termine la prova o la diffidenza verso il tester.

La performance degli animali non ha subito variazioni significative a seconda del blocco di scelta, escludendo un apprendimento o una perdita di motivazione nel corso del test.

Non sono state rilevate differenze valutando l'interazione tra le variabili. In futuro, sarebbe interessante valutare le capacità dei cani in un esperimento che preveda una fase di addestramento estensiva, come quelle impiegate per testare gli orsi (Vonk & Beran, 2012), i primati (Anderson et al., 2005; Tomonaga, 2008) o i pesci rossi (DeLong et al., 2017).

In questo modo sarebbe possibile indagare le reali capacità discriminative del cane ed avere delle risposte più complete rispetto a quali fattori possano alterare questa capacità, come l'età, il sesso e lo stato riproduttivo.

8. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Addressi, E., Crescimbene, L., & Visalberghi, E. (2008). Food and token quantity discrimination in capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Animal Cognition*, *11*(2), 275–282. <https://doi.org/10.1007/s10071-007-0111-6>
- Agrillo, C., & Bisazza, A. (2014). Spontaneous versus trained numerical abilities. A comparison between the two main tools to study numerical competence in non-human animals. *Journal of Neuroscience Methods*, *234*, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.04.027>
- Agrillo, C., Dadda, M., & Bisazza, A. (2006). Sexual Harassment Influences Group Choice in Female Mosquitofish. *Ethology*, *112*(6), 592–598. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2006.01188.x>
- Agrillo, C., Dadda, M., & Bisazza, A. (2007). Quantity discrimination in female mosquitofish. *Animal Cognition*, *10*(1), 63–70. <https://doi.org/10.1007/s10071-006-0036-5>
- Agrillo, C., Piffer, L., Bisazza, A., & Butterworth, B. (2012). Evidence for Two Numerical Systems That Are Similar in Humans and Guppies. *PLOS ONE*, *7*(2), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031923>
- Agrillo Christian. (2008). *La cognizione numerica degli animali: Il Teleosteo *Gambusia Holbrooki* come modello sperimentale.*
- Alexander, L. L., Duthie, C., Fyfe, J. D. D., Haws, Z., Hunt, S., Ochoa, C., Siva, A., Stringer, L. D., Horik, J. O. van, & Burns, K. C. (2005). *An experimental evaluation of food hoarding by North Island robins (*Petroica australis longipes*).*
- Anderson, U. S., Stoinski, T., Bloomsmith, M., Marr, M., Smith, A., & Maple, T. (2005). Relative Numerosity Judgment and Summation in Young and Old Western Lowland Gorillas. *Journal of comparative psychology (Washington, D.C. : 1983)*, *119*, 285–295. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.119.3.285>
- Baker, J. M., Shivik, J., & Jordan, K. E. (2011). Tracking of food quantity by coyotes (*Canis latrans*). *Behavioural Processes*, *88*(2), 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2011.08.006>

Baker, J., Morath, J., Rodzon, K., & Jordan, K. (2012). A Shared System of Representation Governing Quantity Discrimination in Canids. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00387>

Banerjee, A., & Bhadra, A. (2019). The More the Merrier: Dogs can Assess Quantities in Food-Choice Tasks. *Current Science*.

Benson-Amram, S., Gilfillan, G., & McComb, K. (2018). Numerical assessment in the wild: Insights from social carnivores. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 373, Fascicolo 1740). <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0508>

Benson-Amram, S., Heinen, V. K., Dryer, S. L., & Holekamp, K. E. (2011). Numerical assessment and individual call discrimination by wild spotted hyaenas, *Crocuta crocuta*. *Animal Behaviour*, 82(4), 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.07.004>

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>

Bermingham, E. N., Thomas, D. G., Cave, N. J., Morris, P. J., Butterwick, R. F., & German, A. J. (2014). Energy Requirements of Adult Dogs: A Meta-Analysis. *PLOS ONE*, 9(10), e109681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109681>

Bisazza, A., Agrillo, C., & Lucon-Xiccato, T. (2014). Extensive training extends numerical abilities of guppies. *Animal Cognition*, 17(6), 1413–1419. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0759-7>

Bisazza, A., & Gatto, E. (2021). Continuous versus discrete quantity discrimination in dune snail (Mollusca: Gastropoda) seeking thermal refuges. *Scientific Reports*, 11(1), 3757. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82249-6>

Bogale, B. A., Aoyama, M., & Sugita, S. (2014). Spontaneous discrimination of food quantities in the jungle crow, *Corvus macrorhynchos*. In *Animal Behaviour* (Vol. 94, pp. 73–78). <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.012>

- Bonanni, R., Natoli, E., Cafazzo, S., & Valsecchi, P. (2011). Free-ranging dogs assess the quantity of opponents in intergroup conflicts. *Animal cognition*, *14*, 103–115. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0348-3>
- Brannon, E. M., & Terrace, H. S. (1998). Ordering of the Numerosities 1 to 9 by Monkeys. *Science*, *282*(5389), 746–749. <https://doi.org/10.1126/science.282.5389.746>
- Call, J. (s.d.). *Estimating and Operating on Discrete Quantities in Orangutans (Pongo pygmaeus)*. 12.
- Call, J. (2000). Estimating and operating on discrete quantities in Orangutans (*Pongo pygmaeus*). *Journal of Comparative Psychology*, *v.114*, 136-147 (2000), *114*. <https://doi.org/10.1037//0735-7036.114.2.136>
- Caraballo-Ortiz, M. A., Santiago-Valentín, E., & Carlo, T. A. (2011). Flower number and distance to neighbours affect the fecundity of *Goetzea elegans* (Solanaceae). *Journal of Tropical Ecology*, *27*(5), 521–528. JSTOR.
- 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.
- Chittka, L., & Geiger, K. (1995). Can honey bees count landmarks? *Animal Behaviour*, *49*(1), 159–164. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(95\)80163-4](https://doi.org/10.1016/0003-3472(95)80163-4)
- Cox, L., & Tamara Montrose, V. (2016). Quantity discrimination in domestic rats, *Rattus norvegicus*. In *Animals* (Vol. 6, Fascicolo 8). <https://doi.org/10.3390/ani6080046>
- Cushing, D. H., & Jones, F. R. H. (1968). Why do Fish School? *Nature*, *218*(5145), 918–920. <https://doi.org/10.1038/218918b0>
- Dacke, M., & Srinivasan, M. V. (2008). Evidence for counting in insects. *Animal Cognition*, *11*(4), 683–689. <https://doi.org/10.1007/s10071-008-0159-y>
- DeLong, C. M., Barbato, S., O’Leary, T., & Wilcox, K. T. (2017). Small and large number discrimination in goldfish (*Carassius auratus*) with extensive training. In *Behavioural Processes* (Vol. 141, pp. 172–183).

<https://doi.org/10.1016/j.beproc.2016.11.011>

Douglas Bates, Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). *Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67(1), 1-48. Doi:10.18637/jss.v067.i01. (1.1-27.1). Journal of Statistical Software.*

Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2004). The Mentality of Crows: Convergent Evolution of Intelligence in Corvids and Apes. *Science, 306(5703), 1903–1907.* <https://doi.org/10.1126/science.1098410>

Feigenson, L., Carey, S., & Hauser, M. (2002). The Representations Underlying Infants' Choice of More: Object Files Versus Analog Magnitudes. *Psychological Science, 13(2), 150–156.* <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00427>

Fernandes, D. M., & Church, R. M. (1982). Discrimination of the number of sequential events by rats. *Animal Learning & Behavior, 10(2), 171–176.* <https://doi.org/10.3758/BF03212266>

Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *Car, An R Companion to Applied Regression (Third edition).* Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>

Garland, A., Low, J., & Burns, K. C. (2012). Large quantity discrimination by North Island robins (*Petroica longipes*). *Animal Cognition, 15(6), 1129–1140.* <https://doi.org/10.1007/s10071-012-0537-3>

Gatto, E., & Carlesso, D. (2019). Spontaneous quantity discrimination in crickets. In *Ethology (Vol. 125, Fascicolo 9, pp. 613–619).* <https://doi.org/10.1111/eth.12912>

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>

Hartig, F. (2021). *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models* [R ($\geq 3.0.2$)]. <https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>

Hauser, M. D., Carey, S., & Hauser, L. B. (2000). Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 267(1445), 829–833. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1078>

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>

Howard, S. R., Schramme, J., Garcia, J. E., Ng, L., Avargues-Weber, A., Greentree, A. D., & Dyer, A. G. (2020). Spontaneous quantity discrimination of artificial flowers by foraging honeybees. In *Journal of Experimental Biology* (Vol. 223, Fascicolo 9). <https://doi.org/10.1242/jeb.223610>

Jones, S. M., & Brannon, E. M. (2012). Prosimian primates show ratio dependence in spontaneous quantity discriminations. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 3, Fascicolo DEC). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00550>

Landeau, L., & Terborgh, J. (1986). Oddity and the 'confusion effect' in predation. *Animal Behaviour*, 34(5), 1372–1380. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(86\)80208-1](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(86)80208-1)

Lenth, R. V. (2021). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>

Lucon-Xiccato, T., Petrazzini, M. E. M., Agrillo, C., & Bisazza, A. (2015). Guppies discriminate between two quantities of food items but prioritize item size over total amount. *Animal Behaviour*, 107, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.06.019>

McComb, K., Packer, C., & Pusey, A. (2004). Roaring and numerical assessment in contests between groups of female lions, *Panthera leo*. *Animal Behaviour*, 47. <https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1052>

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>

Mongillo, P., Scandurra, A., D'Aniello, B., & Marinelli, L. (2017). Effect of sex and gonadectomy on dogs' spatial performance. *Applied Animal Behaviour Science*, 191, 84–89.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.01.017>

Pedrinelli, V., Porsani, M. Y. H., Lima, D. M., Teixeira, F. A., Duarte, C. N., Vendramini, T. H. A., & Brunetto, M. A. (2021). Predictive equations of maintenance energy requirement for healthy and chronically ill adult dogs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(S2), 63–69.

Scopus. <https://doi.org/10.1111/jpn.13184>

Petrazzini, M. E. M., & 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>

Pilastro, A., Benetton, S., & Bisazza, A. (2003). Female aggregation and male competition reduce costs of sexual harassment in the mosquitofish *Gambusia holbrooki*. *Animal Behaviour*, 65(6), 1161–1167.

<https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2118>

Pisa, P. E., & Agrillo, C. (2009). Quantity discrimination in felines: A preliminary investigation of the domestic cat (*Felis silvestris catus*). *Journal of Ethology*, 27(2), 289–293. <https://doi.org/10.1007/s10164-008-0121-0>

Pocklington, R., & Dill, L. M. (1995). Predation on females or males: Who pays for bright male traits? *Animal Behaviour*, 49(4), 1122–1124.

<https://doi.org/10.1006/anbe.1995.0141>

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. *Animal Cognition*, 11(1), 167–174.

<https://doi.org/10.1007/s10071-007-0102-7>

R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>

- Range, F., Jenikejew, J., Schröder, I., & Virányi, Z. (2014). Difference in quantity discrimination in dogs and wolves. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01299>
- Rugani, R., Vallortigara, G., & Regolin, L. (2013). Numerical Abstraction in Young Domestic Chicks (*Gallus gallus*). *PLOS ONE*, 8(6), 1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065262>
- Scandurra, A., Marinelli, L., Lööke, M., D’Aniello, B., & Mongillo, P. (2018). The effect of age, sex and gonadectomy on dogs’ use of spatial navigation strategies. *Applied Animal Behaviour Science*, 205, 89–97. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.05.010>
- Stancher, G., Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2015). Numerical discrimination by frogs (*Bombina orientalis*). *Animal Cognition*, 18(1), 219–229. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0791-7>
- Starling, M. J., Branson, N., Thomson, P. C., & McGreevy, P. D. (2013). Age, sex and reproductive status affect boldness in dogs. *The Veterinary Journal*, 197(3), 868–872. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.05.019>
- Stevens, J. R., Wood, J. N., & Hauser, M. D. (2007). When quantity trumps number: Discrimination experiments in cotton-top tamarins (*Saguinus oedipus*) and common marmosets (*Callithrix jacchus*). *Animal Cognition*, 10(4), 429–437. <https://doi.org/10.1007/s10071-007-0081-8>
- Szabo, B., Noble, D. W. A., McCloghry, K. J., Monteiro, M. E. S., & Whiting, M. J. (2021). Spontaneous quantity discrimination in a family-living lizard. *Behavioral Ecology*, 32(4), 686–694. <https://doi.org/10.1093/beheco/abab019>
- 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>
- Uller, C., Jaeger, R., Guidry, G., & Martin, C. (2003). Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: Rudiments of number in an amphibian. *Animal cognition*, 6, 105–112. <https://doi.org/10.1007/s10071-003-0167-x>
- Utrata, E., Virányi, Z., & Range, F. (2012). Quantity Discrimination in

Wolves (*Canis lupus*). *Frontiers in Psychology*, 3.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00505>

Vonk, J., & Beran, M. J. (2012). Bears 'count' too: Quantity estimation and comparison in black bears, *Ursus americanus*. *Animal Behaviour*, 84(1), 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.05.001>

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>

Ward, C., & Smuts, B. B. (2007). 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>

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>

Yaman, S., Kilian, A., von Fersen, L., & Güntürkün, O. (2012). Evidence for a Numerosity Category that is Based on Abstract Qualities of “Few” vs. “Many” in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*). *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00473>

Zorina, Z. A., & Smirnova, A. A. (1996). Quantitative evaluations in gray crows: Generalization of the relative attribute “larger set”. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 26(4), 357–364. <https://doi.org/10.1007/BF02359040>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio infinitamente la Professoressa Simona Rosaria Carla Normando e la Dottoressa Maria Loconsole per avermi accompagnato in questo percorso di stesura dell'elaborato finale, per essere sempre state disponibili per chiarimenti e indicazioni e per avermi infine portata alla consegna di questa tesi.

Ringrazio tutti i proprietari che mi hanno dedicato il loro tempo e i loro cani che si sono prestati come soggetti per questa tesi, senza di loro tutto questo lavoro sarebbe stato impossibile.

Ringrazio la mia famiglia:

Ringrazio la mia mamma, il mio papà e mio fratello Leonardo per avermi sostenuta nei momenti più difficili di questo lungo percorso, per avermi sempre offerto un sorriso e una parola di incoraggiamento, anche quando magari non me li meritavo e per tutte le opportunità che mi hanno permesso di cogliere.

Ringrazio la mia nonna, perché senza di lei non avrei mai conosciuto questa grande passione per gli animali che mi ha portata a intraprendere il percorso di studio in Medicina Veterinaria, la ringrazio per avermi sempre guardata come solo una nonna sa fare, come se fossi la migliore del mondo.

Ringrazio i miei cani, prima Stella e Iaky e ora Zoe, sono adesso e sono sempre stati amici splendidi, sempre presenti e in grado di capire e condividere le mie preoccupazioni e le mie gioie anche quando gli altri non ne erano capaci, perché con loro ho sempre avuto la garanzia di tornare a casa e trovare una coda scodinzolante e un naso umido ad accogliermi.

Ringrazio le mie amiche più speciali, Margherita e Martina con cui ho condiviso le gioie e le difficoltà del percorso scolastico prima e accademico poi, perché non mi hanno mai fatta sentire sola, con loro ho condiviso e dividerò in futuro mille avventure.

Ringrazio il mio gruppo scout e la mia comunità capi, che mi hanno visto crescere e prendere servizio con il branco. Con loro ho condiviso diciassette anni della mia vita e spero che, anche in futuro, continueremo a condividere la passione per lo splendido movimento che è lo scoutismo.

Ringrazio tutti i miei amici, i compagni di corso, i miei zii e tutte le persone che mi hanno sostenuto, perché questo mio successo di oggi non sarebbe stato possibile senza ognuno di loro.

Grazie!