



## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali ed Ambiente

Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie Animali

Tesi di Laurea Triennale

### **Effetto della dipendenza seriale nella stima della quantità del cane (*Canis lupus familiaris*)**

The effect of serial dependence in the perception of quantity in dogs

(*Canis lupus familiaris*)

***Relatore:***

Prof. Paolo Mongillo

***Correlatore:***

Dott.ssa Miina Lõoke

***Laureanda:*** Asia Zanzot

***Matricola:*** 1233712

Anno Accademico 2022/2023

## INDICE

RIASSUNTO .....	3
CAPITOLO 1: Introduzione .....	4
CAPITOLO 2: L'occhio e le capacità visive nel cane	
2.1 Anatomia dell'occhio .....	5
2.2 Fisiologia dell'occhio .....	8
2.3 La visione nel cane: sensibilità alla luce, visione a colori e acuità visiva .....	10
2.4 Fattori influenzanti le abilità numeriche.....	14
2.4.1 La numerosità nel cane domestico .....	16
CAPITOLO 3: Dipendenza seriale: cos'è e come si applica nell'uomo	
3.1 La dipendenza seriale .....	19
3.2 La dipendenza seriale nella percezione della numerosità.....	21
CAPITOLO 4: Scopo della tesi	
4.1 Obiettivo .....	25
4.2 Descrizione generale .....	25
CAPITOLO 5: Materiali e metodi	
5.1 Soggetti sperimentali e criteri di selezione .....	26
5.2 Materiali ed allestimento sperimentale .....	27
5.3 Stimoli .....	29
5.4 Procedura generale .....	31
5.5 Fase di Addestramento .....	33
5.6 Fase di Test .....	35
5.7 Raccolta ed analisi dei dati .....	36
CAPITOLO 6: Risultati .....	38
CAPITOLO 7: Discussione .....	44
CAPITOLO 8: Conclusione .....	49
BIBLIOGRAFIA .....	50

## **Riassunto**

Per l'essere umano, il senso della vista è tra tutti il più rilevante. Nei mammiferi domestici, invece, la visione è messa in secondo piano. Sebbene la struttura del bulbo oculare e gli elementi ad esso connessi siano molto simili tra uomo e cane, il modo in cui i cani vedono la realtà esterna si discosta molto dal nostro modo di vedere. Nonostante ciò, essendo la percezione visiva del cane un ambito poco studiato ed analizzato, sorge spontaneo chiedersi: i cani possono essere soggetti a fenomeni visivi solitamente attribuiti all'essere umano? La dipendenza seriale, effetto alterante la visione di uno stimolo, si verifica anche nella specie canina?

Recenti studi hanno dimostrato che la visione nell'uomo è serialmente dipendente: in questo esperimento si andrà a verificare questo effetto visivo dal punto di vista del cane. Per serialmente dipendente, però, cosa si intende? Nella sperimentazione effettuata sull'uomo [1], ad un campione di soggetti sono stati sottoposti una serie di stimoli a matrice di punti di diversa numerosità: è risultato che, nel momento di quantificazione di tali stimoli, la percezione dei soggetti risultava alterata dalla visione immediatamente precedente di uno stimolo simile, ma numericamente differente. Questo stimolo prende il nome di "induttore", ed è, per il compito richiesto, irrilevante. Parallelamente, in questo esperimento sono stati sottoposti ai soggetti degli stimoli visivi composto da cerchi di tacchino, ed è stato richiesto ad ognuno degli individui di selezionare lo stimolo quantitativamente maggiore, dopo aver effettuato una fase di addestramento per tale incarico. È risultato che, nel momento in cui viene posto uno stimolo induttore precedente allo stimolo vero e proprio, quest'ultimo viene percepito più numeroso o meno, a seconda della dimensione dell'induttore utilizzato. Uno stimolo induttore piccolo altera la percezione dello stimolo successivo, rendendolo minore, e viceversa uno stimolo induttore maggiore.

Questo è un piccolo risultato che segna un grande passo all'interno della conoscenza del mondo della visione nella specie canina e che, si auspica, sia l'inizio di una lunga serie di studi riguardo le sue abilità cognitive più intrinseche, permettendoci una comprensione a tutto tondo di questo mondo ancora troppo incognito.

## Capitolo 1

### Introduzione

Almeno una volta nella vita studiosi, proprietari, appassionati della razza canina si sono interrogati sulla modalità in cui il cane vede e percepisce il mondo in cui vive. Sebbene nel mondo scientifico non siano state trovate risposte esaustive a riguardo, una delle consapevolezze più fondate è che la vista canina sia più limitata in confronto a quella umana.

Nell'immaginario comune il mondo animale è ritenuto generalmente inferiore e meno specializzato nella cognizione e nella raccolta di informazioni della realtà che ci circonda.

Eppure “per qualsiasi creatura vivente, la consapevolezza ambientale è la chiave per la sopravvivenza” [2]: ogni specie animale, compresa quella umana, ha specializzato i propri sensi evolvendosi ed adattandosi all'interno della propria nicchia ecologica, per giungere a percepire a tutto tondo l'ambiente circostante.

La vista è il senso atto alla percezione degli stimoli visivi, e nell'essere umano è considerata altamente specializzata; è a causa di questa convinzione che, nel cane, si rischia una analisi prettamente antropocentrica piuttosto che di una valutazione approfondita dell'argomento. In studi recenti, però, sono stati approfonditi aspetti sempre più specifici delle capacità percettive canine, che ci si auspica porteranno ad una descrizione più dettagliata di quello che è la vista nel cane. In particolare, lo studio protagonista di questa tesi si propone di esplorare un effetto della percezione visiva sinora attribuita tipicamente all'essere umano: la dipendenza seriale. La dipendenza seriale è un effetto visivo che altera la visualizzazione di uno stimolo se preceduto da uno stimolo simile, che induce uno squilibrio nella percezione nel primo.

M. Fornaciai e J. Park [1] hanno condotto uno studio sulla specie umana su questo fenomeno applicato al campo della percezione visiva della numerosità: l'obiettivo di questa tesi sarà analizzare lo stesso esperimento effettuato però sulla specie canina, e verificare se i risultati ottenuti confermino o confutino l'ipotesi trovata dai due studiosi nella loro sperimentazione.

## Capitolo 2: L'occhio e le capacità visive nel cane

### 2.1 Anatomia dell'occhio

L'occhio del cane, nonostante le differenze di specie, ha una struttura ed un funzionamento molto simile al nostro. È un organo che, nonostante le dimensioni limitate, è strutturalmente molto complesso e costituito da una varietà di componenti che lavorano sinergicamente per permettere la visione, ricevendo stimoli di luce dall'ambiente esterno e trasmettendoli in forma di segnali elettro-chimici al cervello. La vista è un senso caratterizzato da elevata complessità, e i processi atti alla visione “sono interconnessi in maniera complessa e richiedono l'intervento di diverse porzioni dell'organo della vista” [3].

L'occhio può essere analizzato considerando due macro-aree principali: l'organo recettoriale per la ricezione sensoriale in senso stretto, il bulbo oculare, e in secondo luogo organi accessori e di protezione, in cui sono compresi vasi, nervi, cuscinetti adiposi, muscoli, palpebre e apparato lacrimale.

Anche la cavità orbitale, o orbita, è considerata un organo accessorio dell'occhio. L'orbita è una cavità delimitata da alcune ossa del cranio, e, negli animali originariamente predatori, è posta anteriormente nello splancocranio; tra le diverse specie varia l'angolo assiale, che nel cane risulta essere di 70°, e ciò evidenzia una similarità binoculare tra i due occhi. Insieme al bulbo, la cavità orbitale contiene gli organi accessori dell'occhio.

Il bulbo oculare è l'organo atto alla ricezione degli stimoli luminosi ed è di forma approssimativamente sferoidale, con un diametro che, nei carnivori, si aggira intorno ai 20-24 mm. Esso è contenuto e protetto nella cavità orbitale. È composto da una camera interna avvolta da tre strati parietali esterni, le tonache; a sua volta, la camera interna contiene le due camere dell'occhio, la lente e il corpo vitreo. Le tre tonache esterne si distinguono in tonaca fibrosa, o esterna del bulbo, tonaca vascolare, o media del bulbo, e tonaca interna dell'occhio. Analizzando i tre strati parietali esterni, possiamo evidenziare che ognuna di queste tonache è costituita da diversi elementi: la tonaca esterna si compone di sclera e cornea, la tonaca media comprende la corioide, il corpo ciliare e l'iride, e la tonaca interna consta in porzione ottica della retina e porzione cieca della retina. La tonaca interna viene più comunemente nominata retina. È quest'ultimo l'elemento del bulbo oculare deputato alla ricezione degli stimoli luminosi provenienti dall'ambiente esterno e alla trasmissione di essi sotto forma di segnali

nervosi alle strutture cerebrali adibite all'interpretazione visiva. La retina viene suddivisa in due porzioni, la porzione cieca della retina e la porzione ottica della retina. La porzione cieca della retina è posta anteriormente, è priva di fotorecettori e insensibile alla luce; funzionalmente va a ricoprire internamente parte del corpo ciliare e dell'iride, elementi appartenenti alla tonaca media del bulbo. La seconda parte che compone la retina è detta porzione ottica, o campo recettoriale posteriore sensibile alla luce. A sua volta essa comprende due foglietti, rispettivamente chiamati epitelio pigmentato, uno strato pigmentato esterno, e strato recettoriale, o strato nervoso interno. L'epitelio pigmentato, sebbene non presenti cellule fotorecettoriali (coni e bastoncelli), collabora indirettamente alla funzione di visione grazie alla presenza di cellule pigmentate che vanno ad avvolgere i coni e i bastoncelli, presenti nella porzione ottica della retina, aumentando la risoluzione dell'occhio e riducendo la riflessione della luce. È collocato tra una membrana della corioidea, la membrana di Bruch, e i segmenti esterni dei fotorecettori. La porzione ottica della retina è uno strato nervoso, e, come tale, viene considerata di natura nervosa e può essere inclusa come componente del diencefalo, contenendo inoltre cellule gliali, le cellule di sostegno di Müller, e cellule nervose. Tali cellule nervose, nello specifico, sono tre neuroni disposti in serie e reciprocamente collegati.

Il primo neurone consta in tre strati differenti, composti da altrettanti elementi stratificati: lo strato principale è composto da coni e bastoncelli, chiamato strato neuroepiteliale, i quali rappresentano i neuroni stessi. In seguito, è presente uno strato granulare esterno costituito dai pirenofori delle cellule nervose bipolari, i quali assoni vanno a comporre lo strato plessiforme esterno. È il primo tra questi, lo strato di coni e bastoncelli, che corrisponde allo strato fotosensoriale, ovvero sensibile alla luce. Coni e bastoncelli sono cellule altamente specializzate e sono gli elementi recettoriali deputati alla trasmissione degli stimoli luminosi in potenziali elettrici; prendono il nome dalla forma del loro segmento esterno. Dal punto di vista funzionale e strutturale i bastoncelli sono recettori sensibili ai segnali luminosi a bassa intensità, quindi deputati alla vista crepuscolare. In aggiunta, molti vertebrati, tra cui i Canidi, posseggono internamente o posteriormente alla retina uno strato riflettente, nei carnivori di cellulosa coroidale, che riflette la luce e permette così alla retina di captarne una quantità maggiore e aumentare le abilità visive in presenza di scarsa luminosità: prende il nome di tapetum lucidum. I coni, invece, permettono la visione a colori. Nel cane, che risulta essere

maggiormente scotopico dell'uomo, la retina è prevalentemente composta da fotorecettori a bastoncello, contro il 3% delle cellule fotorecettive a cono presenti. I bastoncelli contengono un pigmento visivo, la rodopsina, la quale è contenuta in dischi membranosi dove avviene una serie di reazioni chimiche che stanno alla base della visione; i coni, invece, contengono prevalentemente il pigmento iodopsina. Dimensionalmente parlando, le due cellule si assomigliano, così come per quanto riguarda la struttura di base; strutturalmente, il segmento esterno del bastoncello è lungo e sottile, con un diametro di circa  $2\mu\text{m}$ , che permette una elevata concentrazione di essi e quindi di aumentare l'assorbimento di fotoni di notte, mentre i coni sono più spessi. Tali vengono considerate le cellule sensoriali primarie, e collimano tramite neuroni intermedi sulle cellule gangliari, le quali determinano la formazione delle fibre del nervo ottico; in tal modo, inoltre, è permessa una considerevole diminuzione di elementi che sono indirizzati al sistema nervoso centrale. Al centro della retina, però, sia coni che bastoncelli sono dimensionalmente più sottili, per permettere una densità maggiore di fotorecettori. Questi sono i corpuscoli che stanno a contatto con le cellule pigmentate della retina, mentre dall'estremità opposta si continuano in successione con cellule bipolari e cellule multipolari, dette anche gangliari. Coni e bastoncelli ricevono l'apporto trofico necessario grazie ad un processo di diffusione dalla rete capillare della corioidea.

Secondo le attuali ricerche, tutti i mammiferi domestici sono animali bicromatici, quindi in grado di percepire maggiormente le colorazioni dello spettro giallo e blu, e distinguere le sfumature comprese in questo spettro di colore. Lo spettro del rosso e tutte le colorazioni in esso incluse, invece, è ben distinguibile solo dagli animali tricromatici, i primati. Nell'uomo la porzione dove la vista è più acuta e discriminante è l'area circoscritta dalla retina, in posizione centrale, chiamata macula lutea, di colore giallastro: nei mammiferi domestici questa area non è presente, la pigmentazione manca, e prende il nome di area centrale della fovea. Quest'area è formata prevalentemente da coni, e inoltre vi possiamo trovare un buon numero di cellule gangliari del I e del II neurone. Essa, inoltre, ha un importante compito nella visione binoculare.

Il secondo neurone è composto da uno strato granulare interno, composto da cellule nervose bipolari, e da uno strato plessiforme interno. Infine, il terzo neurone consta in uno strato di cellule gangliari e uno strato di fibre nervose.

Le informazioni visive captate dalle cellule fotorecettoriali vengono trasmesse all'encefalo tramite il nervo ottico. Esso è deputato al trasferimento degli impulsi elettrici che risultano dalla traduzione recettoriale retinica, consentendo quindi la visione. Il suo diametro nel cane è di circa 2 mm.

Internamente, invece, la camera interna del bulbo è composta da due elementi principali: il cristallino, o lente, suddiviso in capsula, epitelio e fibre, e il corpo vitreo. Quest'ultimo, oltre ad avere funzione di protezione e omeostasi della retina, è un importante mezzo diottrico dell'occhio, poiché è trasparente e permette il passaggio della luce.

L'occhio, oltre alle sue numerose componenti interne, è accompagnato da una serie di strutture, gli organi accessori, che forniscono protezione, sostegno, mantenimento e aiuto per un corretto funzionamento. Tra questi organi accessori, oltre alla cavità oculare già citata, troviamo le fasce e i muscoli esterni dell'occhio, le palpebre (una superiore, una inferiore ed una laterale, la membrana nittitante), l'apparato lacrimale, vasi e nervi. Tutti gli elementi sopra citati sono perfettamente integrati gli uni con gli altri, e ciò risulta essere una caratteristica fondamentale: "l'orientamento ottico totale si realizza soltanto grazie alla collaborazione di tutte le componenti del sistema" [3].

## **2.2 Fisiologia dell'occhio**

La luce è l'elemento chiave che rende possibile la visione. La sua natura è ancora oggetto di discussione, in quanto è stata descritta alternativamente sia come un'onda, sia come particelle protoniche. A prescindere da che sia considerata nell'uno o nell'altro modo, la struttura e il funzionamento sinergico degli elementi dell'occhio permettono al passaggio dei raggi luminosi la trasformazione dei quanti di luce in energia nervosa, secondo un fenomeno che prende il nome di trasduzione. La materia vivente, però, è caratterizzata da un determinato grado di fotosensibilità: per essa intendiamo "una certa capacità di rispondere a radiazioni elettromagnetiche comprese fra i 400 e i 700 nm, corrispondenti a ciò che si usa chiamare luce visibile" [4].

Il senso della vista è determinato dalla serie di lenti di cui è composto l'occhio, in collaborazione con retina, nervo ottico, chiasma ottico, tratto ottico, nuclei genicolati laterali del talamo e tratto genicolocalcarino proiettato sulla corteccia occipitale. Nello specifico, l'insieme di elementi che permette la formazione dell'immagine del mondo esterno sulla



superficie concava della retina stessa è chiamato apparato diottrico oculare, ed è formato rispettivamente da cornea, umor acqueo di camera anteriore e posteriore, cristallino, umor vitreo e dagli strati retinici posti anteriormente ai segmenti esterni di coni e bastoncelli.

La retina è considerata l'attrice protagonista della visione, deriva embriologicamente dal diencefalo, e nei Vertebrati figura come una struttura assai complessa, costituita da catene neuroniche, a loro volta composte da fotorecettori, cellule di conduzione e cellule associative. Per permettere l'analisi della forma di un qualsiasi oggetto, dalla retina, elemento ricevente dell'apparato visivo, si passa alla corteccia cerebrale. Essa andrà ad analizzare ed elaborare le informazioni captate per giungere ad una chiara visualizzazione dell'immagine. Il mezzo di trasporto grazie al quale informazioni ed impulsi andranno a costituire l'immagine nella mente di un soggetto è il nervo ottico. Il nervo ottico è un nervo cranico composto da neuriti amielinici delle cellule multipolari; tali neuriti, una volta usciti dal bulbo oculare, si ricoprono della guaina mielinica per atto degli oligodendrociti.

Nella maggior parte delle specie analizzate si è assistita ad una evoluzione dell'organismo che ha permesso una graduale e progressiva corticalizzazione del processo di analisi della forma. Prendendo come riferimento il gatto, la specie della quale possediamo più informazioni, si può evincere che le fibre del nervo ottico sono composte dai neuriti delle cellule gangliari della retina. Una percentuale di queste fibre, circa il 60%, si decussa nel chiasma ottico, la zona in cui le fibre nervose dei due nervi ottici si incontrano e si intrecciano tra loro, in modo tale da proseguire nel tratto ottico opposto; il restante 40% prosegue nel tratto ottico dello stesso lato. Il tratto ottico può terminare in diverse e ben definite aree del sistema nervoso centrale, e la destinazione finale sarà la corteccia cerebrale visiva. Questa descrizione può essere attribuita a specie caratterizzate da parziale sovrapposizione dei campi visivi; nelle specie in cui ciò non è presente, la quasi totalità delle fibre si decussa a livello chiasmatico. La corteccia visiva si può suddividere, seguendo la mappa di Brodmann, in 3 aree: area 17 o striata, area 18 od occipitale e area 19 o preoccipitale.

Dal mondo esterno, alla retina, alle cellule gangliari: una volta giunte a queste le informazioni visive raggiungono i nervi ottici e come potenziale d'azione viaggiano verso il chiasma ottico. Grazie ad alcuni cambi di direzione dei messaggi ogni tratto ottico andrà a trasmettere informazioni derivanti sia dall'occhio destro che dal sinistro. Da qui passeranno poi ai nuclei genicolati del talamo. Questi ultimi vengono descritti come due piccole masse nervose

annesse alla faccia laterale del talamo, che insieme vanno a formare il metatalamo; la massa nervosa di nostro interesse è il corpo genicolato laterale, in gran parte ricoperto da fibre del tratto ottico. Le informazioni visive verranno integrate a questi corpuscoli per poi essere proiettate nella corteccia visiva. Nel corpo genicolato laterale, inoltre, le informazioni vengono riordinate per rendere più semplice l'analisi e l'elaborazione di esse da parte della corteccia. Quest'ultima è il passaggio finale del viaggio delle informazioni visive; è collocata nella porzione posteriore dell'encefalo, nel lobo occipitale, insieme alla confinante area di associazione visiva, che permette ulteriore integrazione delle informazioni per identificare ciò che vediamo.

### **2.3 La visione nei cani: sensibilità alla luce, visione a colori e acuità visiva**

La domanda “come vede un cane” è molto complessa, poiché il senso della vista comprende una moltitudine di fattori che non permettono una così immediata spiegazione. Strutturalmente parlando la realtà dell'apparato visivo del cane non si discosta eccessivamente da quella dell'uomo, eppure si è scoperto che presentano divergenze sostanziali, come la distribuzione delle cellule retiniche, che rendono la vista completamente differente. Ad esempio, analizzando le varie caratteristiche che il sistema visivo comprende, si può affermare che esso nel cane sia meno specializzato per quanto riguarda l'acuità e la visione a colori, ma sia maggiormente sviluppata per la ricezione dei movimenti, soprattutto in condizioni di scarsa illuminazione. Inoltre, nel cane è opportuno effettuare una distinzione intra-razza: “i cani rappresentano le specie morfologicamente più diverse esistenti” [5]. Tra una razza ed un'altra sono presenti ampi intervalli di variazione per quanto riguarda mole, altezza al garrese, conformazione della testa, posizione degli occhi, e non è da escludere che queste caratteristiche, di disparità non indifferente, determinino una diversa capacità di elaborazione degli stimoli visivi. Questa variabilità tra razze ha avuto un interesse teorico notevole, in quanto è stata utilizzata per spiegare e giustificare le differenze nei risultati sperimentali ottenuti.

Il cane apre gli occhi in un intervallo compreso tra il dodicesimo e il sedicesimo giorno di vita, ma è solo dal venticinquesimo giorno in poi che cominciano a distinguere forme ed oggetti, come dimostrato in uno studio di comparazione dei sensi tra cani e lupi, in cui è

risultato che i cani anticipano di circa 1,6 giorni la capacità di definizione visiva rispetto ai loro antenati.

Gli aspetti fondamentali della vista riguardano in primo luogo la ricezione dei segnali luminosi e la percezione del movimento, ma non solo. Prospettiva, campo visivo, percezione della profondità, acuità visiva e percezione di forme e colori sono caratteristiche imprescindibili che rendono il senso della vista completo. Il campo visivo della razza canina è più ampio rispetto a quello umano di circa 60-70°, stimato essere approssimativamente dai 250° ai 260°. È inoltre caratterizzato da variabilità intra-specie: una differenza sostanziale è stata rilevata tra razze brachicefale e mesocefale, in quanto la posizione degli occhi nel cranio influenza l'ampiezza del campo visivo. Rilevante è inoltre anche la lunghezza del naso. Il grado di sovrapposizione binoculare, la porzione di una scena visiva sovrapposta perché visualizzata da entrambi gli occhi, invece, è considerata migliore nell'uomo.

Contrariamente a ciò che si pensa, “i cani sembrano essere generalisti visivi, con una visione funzionale sia di giorno che di notte” [5], e nonostante il loro sistema visivo si sia evoluto e migliorato per amplificare le prestazioni visive in condizioni di penombra, hanno mantenuto nel tempo una buona capacità di visualizzare la realtà anche con la luce del giorno. Rispetto all'uomo, infatti, il cane risulta essere più scotopico: grazie ad uno studio di Pavlov si è dimostrato che i limiti dell'abilità dei cani di vagliare l'intensità di illuminazione a basso livello non sono determinabili dall'uomo utilizzando solamente i propri sensi, tale è la specializzazione dell'animale a riguardo. Analizzando più da vicino la sensibilità alla luce si evidenzia che la distribuzione di cellule retiniche tra cane e uomo sia differente. È stato osservato che nell'area centralis della retina del cane la concentrazione di fotorecettori sia massima, includendo il 20% di tutti i recettori della retina, e non consiste solo di cellule a cono, ma anche di cellule a bastoncello (atte alla visione in scarsa luminosità come precedentemente citato), a differenza dell'area centralis umana, in cui sono distribuiti esclusivamente fotorecettori a cono. Per di più, contrariamente a quanto affermato in studi meno recenti, nell'area centralis si è riscontrata una prevalenza di cellule a cono rispetto a cellule a bastoncello, sebbene siano queste ultime le unità atte alla visione crepuscolare. Considerata questa differenza nella capacità di visione basata sulle condizioni luminose, si ipotizzò che tale derivasse dal fotopigmento a bastoncello, la rodopsina, che figura avere delle differenze tra le due specie. La rodopsina è un recettore accoppiato alla proteina G, è molto

sensibile alla luce e migliora la visione in situazioni crepuscolari; l'ipotesi è stata però confutata, poiché il cane risulta sensibile a lunghezze d'onda di luce comprese tra i 506 e i 510 nm, contro i 495 nm dell'essere umano. Questo scarto tra le due è minimo al punto che non può essere attribuito alla migliore capacità del cane di vedere con luminosità scarsa. Un attributo che invece è accertato aumenti tale capacità è la presenza del tapetum lucidum, già citato in precedenza, elemento tipico di molti Vertebrati, ma non dell'essere umano. Anche qui, però, studi stanno affrontando la possibilità di presenza di discrepanze tra tapetum lucidum di più razze canine, che determinerebbe quindi una variazione intra-specie della possibilità di visione scotopica.

Un altro falso mito dell'immaginario collettivo è che il cane possieda una visione esclusivamente in bianco e nero. Svariati studi hanno dimostrato che la specie canina è in grado di visualizzare e distinguere i colori, considerata anche la presenza di fotorecettori a cono sensibili al colore, sebbene in modo limitato rispetto all'uomo. I cani sono caratterizzati da due tipologie di cellule fotorecetrici a cono, responsabili della visione cromatica, e sebbene non si possa dimostrare che l'animale percepisca il colore allo stesso modo in cui lo percepiamo noi, si assume che il suo spettro visibile sia diviso in due tonalità: la prima in colorazione blu-viola, da 430 a 475 nm di lunghezza d'onda, e la seconda in giallo-verde-rosso, da 500 a 620 nm. Si suggerisce che approssimativamente la specie canina distingua prettamente due spettri di colori, blu e giallo, e che sia caratterizzata da una incapacità di distinguere lunghezze d'onda medie da lunghezze d'onda lunghe, e quindi di non percepire colori come il rosso, l'arancione o il verde. A prescindere da ciò, i cani risultano reagire solamente in presenza di colori che assumono per loro un significato biologico [6], di conseguenza le restrizioni in questo ambito non costituiscono un limite così gravoso. La questione è ancora controversa, dal momento che in determinate ricerche si suggerisce che il cane, sebbene non possieda le tre tipologie di cellule a cono tipiche dell'uomo, sia in grado di percepire ulteriori colorazioni. Nonostante non si sia ancora fatta luce in questo campo, uno studio di Tanaka, Watanabe, Eguchi e Yoshimoto [7] ha dimostrato che i cani risultano porre attenzione ai colori che riescono a visualizzare, dal momento in cui due esemplari di razza Shiba hanno identificato in un compito di discriminazione a due scelte uno stimolo positivo di colore rosso, blu o verde rispetto ad uno stimolo neutro di colore grigio. Un distinto esperimento [8] è stato condotto, ancora una volta tramite un compito discriminatorio, per

dimostrare che la specie canina utilizza la colorazione blu o gialla rispetto a segnali luminosi nella scelta tra due stimoli. Complessivamente, esperimenti e ricerche a riguardo risultano tutt'ora discrepanti e poco affini: la visione a colori nel cane rimane una questione irrisolta. Anche l'acuità visiva è un campo di difficile esplicazione nella visione canina. Per acuità visiva si intende la chiarezza della vista e l'abilità di cogliere la ricchezza dei dettagli dell'ambiente visivo circostante; è dipesa dalle proprietà ottiche del bulbo oculare, dalla possibilità della retina di rilevare le immagini e dalla capacità dei sistemi visivi superiori di elaborarle ed interpretarle. Questa proprietà è ritenuta limitata nel cane rispetto all'essere umano, ma tali limiti non sono ascrivibili alle proprietà visive dell'occhio, né alla elaborazione neurale post-retinale, bensì alle abilità ricettive della retina. Un elevato potere risolutivo della retina è determinato da un'alta densità di fotorecettori e da un gran numero di cellule gangliari e fibre ottiche nervose: il nervo ottico umano contiene circa 1,2 milioni di fibre nervose contro le 167 000 del cane. Il rapporto cellula gangliare - fotorecettore a cono nell'uomo è pari a 1:1, mentre nel cane non è stato ben determinato; si suggerisce che si avvicini al rapporto presente nei gatti, pari a 4 fotorecettori per cellula gangliare. La tipologia di cellula gangliare retinica fondamentale nella determinazione dei limiti dell'acuità visiva è la cellula beta/X, in quanto è la cellula dimensionalmente più piccola, con un campo dentritico minore. In alcuni studi sono state rilevate condizioni di miopia e ipermetropia in campioni di individui, determinando che anche la specie canina può essere soggetta a questo tipo di disturbo. Anche l'astigmatismo, sebbene meno comune, è una anomalia rilevata in alcune razze. L'intervallo di variazione dei valori di acuità visiva nel cane è estremamente ampio a causa della moltitudine di test che vengono utilizzati per misurarla: in passato sono stati utilizzati test comportamentali, potenziali corticali creati visivamente o l'elettroretinografia a pattern con valutazione della risposta optocinetica. I valori ottenibili da questi test sono comparabili tra loro, sebbene ognuno abbia una metodologia propria per valutare le unità di acuità visiva. Una unità fa riferimento al minimo angolo di risoluzione, ovvero la distanza minima tra due linee necessaria affinché tali possano essere distinte come separate. Considerando nell'insieme tutti gli studi a riguardo si può affermare che un cane ha un'acuità visiva di circa 20/75, e ciò sta a significare che un cane riesce a mettere a fuoco una immagine dettagliata a 20 piedi di distanza rispetto ai ben 75 piedi necessari all'uomo.

Conclusivamente, la visione nella specie canina è un mondo ancora parzialmente inesplorato e di difficile interpretazione, ma si auspica ad un miglioramento delle tecniche e delle analisi di ricerca in modo tale da approfondire ogni sua particolarità e discrepanza, fino ad ottenere chiarezza a 360° del suo funzionamento.

#### **2.4 Fattori influenzanti le abilità numeriche**

In questa tesi la nostra ipotesi viene indagata tramite un compito che consta nella scelta dello stimolo più numeroso tra due proposti. Ma, in questo caso, si può concretamente parlare di numerosità? Si può affermare che i cani siano in grado di contare?

La cognizione di informazioni visive relative alla quantità è un imperativo della maggior parte delle specie animali, dalla più alla meno evoluta, a prescindere dall'incarico in cui tale capacità è richiesta. Negli ultimi anni sono stati condotti un considerevole numero di studi su una variegata quantità di specie con lo scopo di verificare in che modo le specie animali siano in grado di contare o, quanto meno, come riescano a discriminare due o più quantità diverse. I risultati di tali studi hanno riportato che “animali non umani condividono con l'uomo un senso di numerosità - ovvero una sensibilità alla informazione numerica che non fa affidamento al pensiero simbolico o all'educazione” [9]. Da qui prende origine il concetto di sistema numerico approssimativo, un metodo di valutazione generica della quantità di oggetti presenti in una matrice, nel quale ogni numero è rappresentato su una linea continua, necessaria per discriminare approssimativamente le grandezze; tale sistema risulta appartenere anche al mondo animale. Nel dettaglio, inoltre, il livello di discriminabilità è correlato e dipendente al rapporto numerico delle quantità dei due stimoli sottoposti ad un individuo. La legge di Weber è ciò che regola la discriminabilità: “il cambiamento nell'intensità dello stimolo necessario affinché un organismo rilevi un cambiamento è una proporzione costante dell'intensità dello stimolo originale, piuttosto che una quantità costante” [10].

Le abilità matematiche sono considerate come una delle abilità cognitive maggiori nella specie umana, eppure le capacità numeriche non simboliche sono ampiamente diffuse anche tra i Vertebrati. Per quanto possa risultare bizzarro affiancare un concetto come “la matematica” o, più semplicemente, la capacità di esprimere preferenze di fronte a due diverse grandezze ad una specie animale, queste abilità possono risultare fondamentali per la

sopravvivenza di tale specie: per esempio, i pesci tendono ad unirsi al branco più numeroso per ridurre la possibilità di essere predati [11].

La stima della quantità, sia nel mondo umano che in quello animale, si basa non solo sulla quantità complessiva dell'insieme sottoposto ad un soggetto, ma si effettua anche sulla base di altre caratteristiche dello stimolo, chiamate quantità continue, come ad esempio la superficie cumulativa, che indica l'area complessiva occupata dagli elementi compresi nello stimolo, o la densità della matrice dello stimolo sottoposto. Non è possibile verificare con certezza che un animale effettui la sua scelta tra due discriminanti basandosi sul numero o su tali quantità continue: alcuni autori [12], però, affermano che gli animali utilizzino il valore simbolico del numero solo come ultima risorsa, quando non hanno alcun altro tipo di informazione su cui basarsi per effettuare la scelta. In un esperimento effettuato sui gatti basato su un compito di discriminazione, i soggetti erano in grado di selezionare lo stimolo quantitativamente maggiore; dopo aver equalizzato le superfici cumulative dei due stimoli, però, l'analisi dei successivi risultati confermava che nessuna scelta del campione risultava significativa [13]. Altre specie, invece, come l'Orango o il Macaco Rhesus, hanno dimostrato di essere in grado di effettuare scelte di discriminazione basandosi sulla codifica delle informazioni numeriche. Si ipotizza che l'importanza relativa all'informazione numerica o alla quantità continua dipenda dal contesto, in base a quanto tali informazioni risultino esplicative e coadiuvino a scegliere in modo più ponderato. Considerando tutte le tipologie di indagini, ad oggi non è possibile dichiarare quale tipo di misura venga utilizzata dalla specie canina nei compiti di discriminazione.

Nasce quindi la distinzione tra i due concetti di "senso del numero" e "senso di grandezza": si intende, rispettivamente, la capacità di intendere la numerosità in quanto tale, manipolarla e comprenderla, e la capacità di mera discriminazione di quantità diverse. Sebbene in passato si considerassero entrambe caratteristiche tipiche sia del mondo umano che di quello animale, studi più recenti hanno ipotizzato che la percezione dei numeri per le specie animali non sia un processo così automatico ed innato [11]. Un test considerato valido per vagliare le competenze numeriche degli animali sono i test a scelta spontanea, perché sono una buona simulazione di ciò che il soggetto potrebbe incontrare nel suo habitat naturale, e riflettono capacità intrinseche del loro repertorio cognitivo. Al contrario, test con previa procedura di

addestramento risultano più forzati e meno naturali, quindi richiedono l'integrazione di prove a scelta spontanea.

Dal punto di vista neuro-scientifico, risulta come struttura cerebrale primaria coinvolta nell'interpretazione dei numeri il solco intraparietale, seguito dalla corteccia prefrontale. In quest'ultima la latenza di risposta è più lenta, ragion per cui si ipotizza che il solco intraparietale si occupi dell'extrapolazione delle informazioni numeriche, mentre alla corteccia è attribuita la funzione di elaborazione. In uno studio del 2019 [9] sono state esaminate le basi neurali attive per la percezione della numerosità nei cani, utilizzando la risonanza magnetica funzionale: i cani durante l'analisi erano sottoposti a stimoli a matrice di punti, variabili in proporzione. Dai risultati ottenuti si può affermare che le regioni parieto-temporali risultano attive nel momento in cui il soggetto è sottoposto allo stimolo, e che tale attivazione muti al variare del rapporto numerico tra stimoli.

#### **2.4.1 La numerosità nel cane domestico**

Gli studi sui giudizi quantitativi sono ad oggi poco numerosi, soprattutto quelli incentrati sul cane domestico; nella specie canina i diversi aspetti della cognizione sono stati approfonditi, ma nonostante ciò non è possibile escludere o confermare l'utilizzo di informazioni numeriche o non. In due studi è stato dimostrato che due diversi campioni di cani fossero in grado di scegliere, in un incarico di discriminazione di grandezza, lo stimolo numericamente maggiore; in entrambi i casi le quantità continue non sono state manipolate o controllate.

In un esperimento di West e Young [14] è stata riadattata una tecnica di analisi della cognizione numerica utilizzata nei bambini alla specie canina. In questo studio ai cani veniva mostrato un numero variabile di oggetti alimentari, per poi posizionare tali oggetti uno ad uno dietro una barriera, per nasconderli alla vista del cane. Al termine della somministrazione degli stimoli, lo schermo tra cane e oggetti veniva rimosso, per mostrare il quantitativo finale di elementi. Nell'esperimento sono state affrontate due tipologie diverse di condizioni, che hanno permesso di ipotizzare la presenza di un sistema numerico.

Nella prima al cane venivano mostrati, separatamente ed uno successivo all'altro, due oggetti, i quali poi risultavano presenti anche dietro lo schermo: il calcolo  $1 + 1 = 2$  era rispettato, e il cane osservava per lo stesso quantitativo di tempo sia i due oggetti singoli iniziali che i due oggetti mostrati in simultanea successivamente. Nel secondo caso, invece, gli oggetti mostrati



singolarmente rimanevano in numero pari a due, ma dietro lo schermo, poi, ne risultava un numero maggiore o minore rispetto al risultato atteso del calcolo: il soggetto in esame osservava per più tempo gli oggetti mostrati insieme perché non rispettavano l'aspettativa ( $1 + 1 = 3$ , oppure  $1 + 1 = 1$ ). L'ipotesi formulata suggerisce quindi che i cani abbiano una sorta di sistema numerico che ha permesso loro di anticipare il risultato dei calcoli.

Anche Ward e Smuts [15] hanno esaminato la capacità discriminativa del cane domestico. L'incarico richiesto si basava sulla scelta dello stimolo numericamente maggiore tra i due presentati: complessivamente l'incarico è stato svolto con successo, ma risultava più difficile nel momento in cui i confronti erano numericamente ravvicinati. In una variabile di tale esperimento, gli stimoli durante il momento della scelta non erano disponibili ai soggetti: essi avrebbero dovuto tenere traccia mentalmente delle quantità visualizzate. Nonostante ciò, i cani sono riusciti a discriminare correttamente la quantità maggiore, e questo sta ad indicare che "alcuni cani possono formare rappresentazioni interne e fare confronti mentali di quantità" [15].

Successivamente, K. Macpherson e W. A. Roberts [10] hanno condotto un esperimento per indagare la cognizione numerica nel cane domestico, facendo cadere in sequenza dei pezzi di cibo all'interno di due ciotole; al termine del posizionamento dell'alimento, al soggetto era data la possibilità di scegliere una ciotola e mangiarne il contenuto. I risultati non rispettarono le aspettative, in quanto le abilità numeriche non erano verificate se non nello scenario di discriminazione 1 contro 0 (stimolo presente - stimolo assente), e le prestazioni del campione non erano conformi alla legge di Weber. In un secondo esperimento, invece, gli autori hanno variato la procedura di somministrazione degli stimoli, passando da sequenziale a simultanea. Gli stimoli in questione erano costituiti da due caselle con un numero variabile di forme geometriche poste al loro interno, e l'incarico richiedeva di scegliere la grandezza maggiore. Inoltre, in questo caso i due studiosi hanno lavorato con un singolo soggetto, anziché con un campione di individui. Questo esperimento ha dato riscontro positivo, e l'ipotesi di presenza di abilità numeriche nella specie canina confermata. Il successo del secondo esperimento rispetto al primo poteva essere legato ad una serie di fattori: il soggetto della seconda sperimentazione ha effettuato un numero molto maggiore di prove, in cui la presentazione degli stimoli era simultanea e non sequenziale. Anche la differenza di razza potrebbe aver causato differenze nei risultati ottenuti, ma la variabile non è stata indagata. Tutti gli elementi

che potrebbero aver causato discrepanze tra i due esperimenti condotti andrebbero presi in considerazione, integrati alle metodologie di indagine e affrontate in studi futuri per giungere ad una conclusione per capire a che livello di specializzazione arrivino le abilità numeriche della specie canina.

In conclusione, al netto degli studi affrontati ad oggi riguardo tali abilità nel *Canis lupus familiaris*, è più corretto parlare di grandezza degli stimoli rispetto a numerosità, in quanto manca una conferma certa della capacità di un cane di contare.

## **Capitolo 3: Dipendenza seriale: cos'è e come si applica nell'uomo**

### **3.1 La dipendenza seriale**

Studi recenti hanno dimostrato che la percezione visiva negli esseri umani, ma anche in svariate specie animali, è serialmente dipendente. Ma cosa si intende per “serialmente dipendente”? La dipendenza seriale può essere descritta come un effetto visivo che risulta quasi come un'illusione ottica: la percezione di uno stimolo visivo sottoposto ad un soggetto risulta sistematicamente alterata, sbilanciata verso stimoli visivi visualizzati nell'immediato passato. La dipendenza seriale si può verificare nella percezione della numerosità, caratteristica presa in considerazione nel nostro studio, ma anche in altri ambiti, come l'orientamento di oggetti, o ambiti comprensivi di stimoli complessi, come i volti; è un fenomeno di tipo attrattivo, ma in base allo specifico contesto applicativo può trasformarsi in un diverso effetto, di tipo repulsivo.

Il nostro sistema visivo è notevole al punto di permetterci di costruire una rappresentazione affidabile e costante della realtà che ci circonda, nonostante l'immagine proiettata sulla retina sia in continua evoluzione a causa di spostamenti della testa, cambiamenti di illuminazione, movimenti oculari e molti altri fattori. In tal modo l'individuo riesce ad ottimizzare la risposta ai cambiamenti degli attributi visualizzati. Inoltre, la realtà fisica è caratterizzata da stabilità e continuità nel tempo, di conseguenza è possibile presupporre che il contesto attuale sia simile e sovrapponibile a ciò che è stato visualizzato pochi istanti prima. La stabilità dell'esperienza percettiva è una caratteristica fondante e basilare del nostro modo di vedere la realtà esterna, eppure è tutt'altro che banale, considerata la “natura rumorosa dell'elaborazione delle informazioni neuronali e l'instabilità intrinseca dei sensori biologici come l'occhio” [1]. Si suppone, infatti, che a livello neurale vi siano complessi meccanismi in grado di attuare processi di stabilizzazione attiva che permettono di ottenere tale stabilità e coerenza del mondo.

Un elemento della visione che permette di mantenere tale stabilità è la memoria di lavoro visiva, che determina la permanenza temporanea delle rappresentazioni in modo tale da colmare l'instabilità intrinseca delle immagini che la retina riceve. Questo sistema, però, presenta dei limiti, che causano l'unificazione di rappresentazioni passate (ma recenti) e di quelle attuali: “cioè, le informazioni precedentemente rilevanti possono persistere e avere un

impatto su ciò che attualmente ricordiamo nel breve termine” [16]. Nel sistema della memoria di lavoro influisce un fenomeno chiamato interferenza proattiva, un effetto che provoca la collimazione di nuove informazioni e ricordi preesistenti, i quali si sovrappongono a quelli attuali a scapito dell’apprendimento delle prime. La dipendenza seriale nella percezione visiva viene descritta come un processo molto simile, ma, a differenza dell’interferenza proattiva, essa è stata definita come un processo adattativo, che cioè integra stimoli simili posti in successione in modo tale da migliorare la stabilità percettiva.

Studi sulla dipendenza seriale sono stati effettuati non solo sulla percezione visiva della numerosità, ma anche in altri ambiti, tra cui l'identità del volto, l’attrattiva del viso, il movimento, la posizione e persino l’orientamento degli stimoli; in uno studio, Fischer e Whitney [17] hanno sottoposto ad alcuni soggetti dei reticoli orientati casualmente nello spazio, presentati in progressione a distanza di pochi secondi. È risultato che nel campione le risposte di regolazione dell’orientamento di tali stimoli erano sistematicamente attratte ed influenzate dall’orientamento degli stimoli precedentemente sottoposti agli individui. Possiamo chiamare questo particolare effetto della dipendenza seriale “pregiudizio attrattivo”, e tramite analisi computazionali si è evidenziato come la fusione tra esperienze visive recenti di stimoli e rappresentazioni percettive attuali dia come risultato una percezione efficacemente più stabile. Questi pregiudizi attrattivi sono analizzati ed approfonditi in diversi studi, considerando gli svariati ambiti applicativi, ma la derivazione della natura della dipendenza seriale, così come il meccanismo neurale alle sue spalle, non è chiara. Ad esempio, per fornire una spiegazione della nascita della dipendenza seriale, si potrebbe parlare sia di elaborazione visiva che di meccanismi post percettivi, ma al giorno d’oggi ancora non è possibile dare una risposta certa a riguardo. Sono state però accertate alcune considerazioni in ulteriori studi, tra cui la forte correlazione tra dipendenza seriale e attenzione ed impegno attivo nello svolgimento del compito richiesto [1] [17] [18]. Per l’appunto, Pascucci in un suo articolo [19] dimostra come l’effetto attraente si converte in pregiudizio repulsivo nel momento in cui lo stimolo presentato precedentemente al riferimento non viene giudicato in modo attivo. Nel complesso consultando la letteratura attuale si potrebbe dedurre che nella generazione della dipendenza seriale siano coinvolti in larga misura processi di alto livello e meccanismi post-percettivi. Coerentemente a quanto appena spiegato, si è inoltre dimostrato che si ottiene una generalizzazione della dipendenza seriale tra stimoli con diverse proprietà

sensoriali di basso livello; portando un esempio, il numero di eventi (diversi) precedenti presentati ad un soggetto può influire sulla percezione della numerosità di uno stimolo a matrice di punti.

La dipendenza seriale è stata analizzata, in aggiunta, anche sotto un punto di vista funzionale, per verificare eventuali effetti positivi o negativi in un incarico di discriminazione tra diversi stimoli. G. M. Cicchini e colleghi [20] hanno dimostrato che questo effetto determina un complessivo miglioramento delle prestazioni misurate dalla dispersione della risposta, quindi dell'errore di risposta: il modello utilizzato nel suo esperimento esprime un miglioramento nell'attività, dal quale si deduce che la dipendenza seriale agisce direttamente sull'efficienza percettiva, e non solo sulle decisioni. Inoltre, lo studio ha appurato che questo effetto attrattivo causa una diminuzione nel tempo di reazione del soggetto, perché facilita la raccolta di informazioni nel tempo. Nel complesso i nostri dati mostrano che la dipendenza seriale ha un ruolo benefico a vari livelli di percezione, coerentemente con l'idea che il cervello sfrutti la ridondanza temporale della scena visiva come strategia di ottimizzazione.

In conclusione, la dipendenza seriale attrattiva nella percezione è un fenomeno evidenziato in un'ampia gamma di attributi visivi: il suo funzionamento, per quanto non ancora definita una sua chiara derivazione neurale, ci permette di ottenere una più stabile visualizzazione di stimoli presenti nell'ambiente che ci circonda, nonostante la natura intermittente, frastornante ed effimera degli input visivi che i nostri occhi riescono a captare.

### **3.2 La dipendenza seriale nella percezione della numerosità**

Tra varie tipologie di stimoli presenti, anche la percezione della numerosità è influenzata dalla dipendenza seriale. A tal proposito, M. Fornaciai e J. Park [1] si sono interrogati sul paradigma della dipendenza seriale attrattiva e sulla sua ipotetica applicazione nel campo di valutazione della numerosità di determinati stimoli. Gli stimoli in questione sono a matrice di punti, e sono stati somministrati ad un campione di soggetti in modo tale che essi potessero compiere una scelta sulla base della quantità di punti disposti sullo stimolo. Per verificare l'effetto della dipendenza seriale in questo ambito, in aggiunta agli stimoli di riferimento, è stato introdotto all'inizio di ogni prova uno stimolo induttore, irrilevante per l'incarico richiesto. Nello studio in questione sono state effettuate tre diverse sperimentazioni, che differivano per la disposizione spaziale e temporale degli stimoli. Le tipologie di stimoli utilizzati sono tre: il primo è lo stimolo chiamato "di riferimento", composto da un numero di

pallini pari a 16, il secondo stimolo prende il nome sonda variabile e comprende un numero di punti compresi nell'intervallo da 8 a 32; infine è presente lo stimolo induttore, di numerosità variabile a seconda dell'esperimento. I punti erano distribuiti su uno schermo in modo tale che la distanza tra i singoli non risultasse inferiore al raggio degli stessi, e la loro dimensione era omogenea. Nell'esperimento 1 gli stimoli sono stati sottoposti ai soggetti in maniera sequenziale, mantenendo l'ordine induttore-riferimento-sonda, per un tempo di 250ms ciascuno, separati da un intervallo di tempo variabile e mantenendo per tutta la durata della prova una posizione centrale. Nell'esperimento 2 la successione degli stimoli rimane invariata, ma è stata modificata la posizione dell'induttore, che poteva essere posizionato centralmente, quindi sovrapposto agli stimoli successivi, o in posizione adiacente ad essi, completamente o parzialmente sovrapposta, sia a destra che a sinistra del punto di centro. Infine, negli esperimenti 3a e 3b la posizione dello stimolo di riferimento e della sonda variabile era contigua, e la loro somministrazione al soggetto simultanea; la distribuzione in lato destro e in lato sinistro era variabile e casuale, ma equilibrata in tutta la durata della sessione. Di fondamentale rilevanza è la localizzazione dello stimolo induttore che, in questo caso, veniva presentato precedentemente e nella posizione dello stimolo di riferimento. Questo studio complessivamente si preme il raggiungimento di diversi obiettivi funzionali, suddivisi in base ai tre diversi esperimenti. In ordine, gli studiosi hanno indagato innanzitutto la provenienza della dipendenza seriale nella percezione della numerosità, che si ipotizza derivare dall'elaborazione neuronale nelle regioni sub-corticali, avvalendosi di occhiali che permettessero di visualizzare gli stimoli con un solo occhio. In secondo luogo, è stata testata la specificità dei pregiudizi attrattivi dal punto di vista spaziale, lavorando sulla sovrapposizione degli stimoli. Infine, nell'ultimo esperimento, presentando gli stimoli in modo simultaneo, si ambiva a ridurre al minimo il coinvolgimento della memoria di lavoro; nello studio 3b i risultati equivalgono a quelli ottenuti nell'esperimento 3a, ma sono stati analizzati includendo la modulazione dell'attenzione. L'analisi dei dati di questa sperimentazione ha permesso di indagare nel profondo la dipendenza seriale attrattiva e il suo funzionamento, e sono state tratte una moltitudine di assunzioni che permettono di spiegare determinati aspetti visualizzati durante lo studio.

Tra tali assunzioni, grazie ai risultati dell'Esperimento 1, è stata verificata l'ipotesi elaborata da Collins nel 2017: lo studioso dichiarava l'esclusione del coinvolgimento di aree visive sub-

corticali nell'effetto attraente, in quanto la percezione della numerosità era dimostrata iniziare lungo le vie monoculari atte al convoglio di informazioni tra retina e corteccia, e che avrebbe reso di conseguenza la discriminazione numerica semplificata. Questo avrebbe dovuto determinare nell'esperimento di Fornaciai e Park una differenza significativa tra condizioni mono-ottiche e di-ottiche, che però non sono state rilevate. La spiegazione fornita dai due studiosi suggerisce che la discrepanza tra presentazione ad un solo occhio anziché a occhi diversi separatamente è dovuta dal fatto che “i pregiudizi attrattivi nascono nelle fasi in di elaborazione in cui le informazioni monoculari sono già combinate (cioè, a partire almeno dalla corteccia visiva primaria).” [10]

Riguardo l'Esperimento 2, invece, è stato appurato che l'effetto attraente della dipendenza seriale avviene in modo localizzato nello spazio, nello specifico considerando la posizione dello stimolo induttore. Se quest'ultimo è completamente sovrapposto al Riferimento, l'effetto sarà molto più forte rispetto ad una sovrapposizione parziale o nulla. L'importanza attribuita alla localizzazione in questo caso indica la natura (in origine) di “fenomeno percettivo emergente dai calcoli sensoriali” [10] della dipendenza seriale.

Negli Esperimenti 3a e 3b, infine, è stata effettuata una modifica nella somministrazione degli stimoli ai soggetti, presentandoli simultaneamente e non in sequenza: questo perché, nonostante il vantaggio pratico dell'archetipo sequenziale, risulta in una più difficile rappresentazione dell'effetto attrattivo, a causa del confronto diretto tra i due stimoli. La presentazione simultanea è atta ad una diminuzione dell'effetto della memoria di lavoro, per evitare il suo coinvolgimento nell'attuazione dell'effetto attrattivo. I risultati dell'Esperimento 3a, però, non mostrano rilevanti effetti di dipendenza seriale. Questo induce a pensare che l'attivazione della memoria di lavoro non sia causata dalla modalità di presentazione degli stimoli, ma da altre caratteristiche, come ad esempio l'attenzione: il ruolo dell'induttore, infatti, poteva essere ignorato durante il compito di discriminazione, data la somministrazione degli stimoli. Infatti, per questo motivo nell'Esperimento 3b è stata richiesta al campione una partecipazione attiva nei confronti dell'induttore: soddisfacendo l'aspettativa, in questo caso si è riscontrato un forte effetto attrattivo nello svolgimento del compito di discriminazione. Di conseguenza è stato confermato che, nel momento in cui si rivolge un adeguato livello di attenzione allo stimolo induttore, la dipendenza seriale attrattiva può verificarsi anche in assenza di coinvolgimento della memoria di lavoro.

In conclusione, questo esperimento permette l'analisi del paradigma di funzionamento della dipendenza seriale attrattiva nella percezione della numerosità, che può essere definita come un fenomeno attivo che sfrutta la fusione di nozioni visive passate e presenti in modo tale da coadiuvare il processo di stabilizzazione della realtà visiva, naturalmente discontinua ed incoerente.



## **CAPITOLO 4: Scopo della tesi**

### **4.1 Obiettivo**

L'obiettivo di questo esperimento è verificare se la percezione visiva del cane sia serialmente dipendente, ovvero se la visione della quantità di elementi di cui è composto uno stimolo risulti influenzata o meno dalla precedente visione di un induttore.

### **4.2 Descrizione generale**

L'esperimento si compone di una serie di prove in cui il cane viene sottoposto contemporaneamente a due stimoli visivi di diversa quantità, composti da cibo: ci si aspetta che il soggetto scelga lo stimolo con la quantità maggiore. Prima di uno dei due stimoli, a distanza di un paio di secondi, viene presentato un induttore, uno stimolo simile ai due principali ma con diversa numerosità, con la funzione di far figurare lo stimolo più o meno numeroso a seconda della grandezza di tale induttore.

Ci si attende che lo stimolo induttore presentato avrebbe influenzato la percezione della quantità del cane nel compito richiesto. Nello specifico, quando viene sottoposto uno stimolo induttore più piccolo, i soggetti dovrebbero tendere a scegliere lo stimolo sonda (vedi sotto), causando uno spostamento della curva psicometrica a sinistra; viceversa, la situazione si ribalta nel momento in cui viene presentato uno stimolo induttore quantitativamente maggiore.

## **CAPITOLO 5: Materiali e metodi**

### **5.1 Soggetti sperimentali e criteri di selezione**

Per questo esperimento sono stati selezionati 6 cani da compagnia in totale, di età, sesso e razza differenti. Nel campione, tre cani erano di razza pura (cane 1, 2, 5), e i restanti tre erano invece incroci (cane 3, 4, 6) (figura 1). Sono stati posti dei limiti di selezione per quanto riguarda l'età, ovvero che il soggetto superasse i 12 mesi, mentre cani troppo anziani non erano presi in considerazione, in quanto avrebbero potuto presentare problemi all'apparato visivo dovuti dall'età; razza e sesso non erano rilevanti per la scelta dei soggetti. L'età degli individui del campione all'inizio della sperimentazione spaziava da 1,2 a 8,9 anni, con una media di  $4,38 \pm 3,50$ .

Tutti i soggetti partecipanti godevano in generale di buona salute e si sentivano a loro agio nel luogo in cui è stato svolto lo studio, oltre ad essere disponibili a lavorare con il personale di laboratorio. Nello specifico, requisito fondamentale nella scelta degli individui è stata l'assenza di qualsiasi tipo di deficit visivo, considerata la natura dell'esperimento, i quali avrebbero potuto falsare i risultati ottenuti. Allo stesso modo, i soggetti non soffrivano di patologie dell'apparato locomotore, che non avrebbero permesso di muoversi verso lo stimolo. Per di più, essendo lo stimolo composto da cibo, i soggetti dimostravano avere una buona motivazione ed interesse nei suoi confronti, né avevano problemi a mangiarne una discreta quantità (fino a 100g al giorno).

Infine, essendo il test composto da una fase di addestramento ed una fase di test, a loro volta composte da un consistente numero di livelli, le tempistiche di sperimentazione si sarebbero potute dilungare anche diversi mesi: di conseguenza la scelta degli individui è stata determinata anche dalla disponibilità dei proprietari. I cani partecipanti sono stati forniti dal personale di laboratorio, professori e studenti dell'Università.

Nome del cane	Soggetto sperimentale	Età in anni	Sesso	Razza
<b>Cloe</b>	1	1,5	F	Labrador Retriever
<b>Kora</b>	2	2,5	F	Golden Retriever
<b>Reiko</b>	3	1,3	M	Incrocio
<b>Chobe</b>	4	8,9	F	Incrocio
<b>Wendy</b>	5	8,3	F	Vizsla
<b>Mustu</b>	6	3,8	F	Incrocio

Figura 1: Informazioni relative ai soggetti del campione.

## 5.2 Materiali e allestimento sperimentale

La sperimentazione si è svolta nel Laboratorio di Etologia Applicata dell'Università di Padova, sito a Legnaro. Il test è stato svolto in una delle stanze del laboratorio, di dimensioni  $4,7 \times 5,8$  m, con luci accese e porta chiusa; durante le prove il corridoio al di fuori di tale stanza doveva essere libero, allo scopo di limitare al massimo i rumori di sottofondo che avrebbero potuto distrarre il cane dal suo compito. Nell'allestimento della stanza in cui si eseguiva il test era buon uso lavare il pavimento con acqua e sapone neutro tra la sessione di un soggetto e un altro, per eliminare tracce di odori di altri cani o persone, in modo tale che l'individuo non potesse essere distratto dalla componente olfattiva presente.

Il principale strumento per lo svolgimento dell'esperimento consisteva in un muro di policarbonato bianco con larghezza 150 cm e di altezza 100 cm, con spessore di un cm. Questo apparato presentava sulla superficie due finestre di dimensioni 30 x 30 cm, distanti 30 cm da terra e 77 cm tra loro. Nella parte posteriore entrambe le finestre erano fornite ai bordi laterali e inferiori di due corridoi di scorrimento che permettevano l'inserimento di due pannelli, che sarebbero andati a costituire gli stimoli e l'induttore. Sempre posteriormente erano posti due ganci, uno per finestra, sul lato superiore, per poter posizionare e mantenere

fermi gli stessi. In aggiunta, l'apparato comprendeva una fessura di pochi cm, coperta da un tessuto bianco e velato, che permetteva allo sperimentatore di vedere i movimenti del soggetto, ma non al soggetto di vedere la direzione dello sguardo dello sperimentatore, il quale avrebbe potuto influenzare la scelta del cane.

Sui ganci erano posizionati dei pannelli rimovibili di forma quadrata e dimensione 30 x 30 cm, di polycarbonato nero, con una piccola asola di corda incollata sul lato posteriore per permettere allo sperimentatore di agganciarli all'apparato. Essi costituivano i piatti su cui venivano posti i cerchi di tacchino per andare a comporre lo stimolo. Questi pannelli, al momento del test, venivano sganciati dall'apparato e, grazie agli appositi corridoi, scivolavano verso il basso posizionandosi sulle finestre, in modo tale che il cane potesse visualizzarli. La corda presente permetteva inoltre allo sperimentatore di rimuoverli con rapidità in caso di errore.

Davanti all'apparato era posizionata una sedia, necessaria al secondo sperimentatore per sedersi e mantenere il cane in posizione per lo svolgimento della prova, in direzione frontale all'apparato. A terra era presente una "T" di nastro adesivo nero, rivolta verso il centro dell'apparato stesso, per permettere il corretto posizionamento del soggetto, a 120 cm di distanza. Sempre in funzione di una giusta collocazione dell'animale, è stato posizionato un tappeto in corrispondenza della "T" di nastro adesivo.

Al gestore del cane erano forniti un paio di occhiali da sole, da utilizzare per tutta la durata del test, con lo scopo di nascondere la direzione dello sguardo al cane in modo tale che non potesse essere influenzato da esso. Inoltre, erano a disposizione anche delle crocchette di cibo per cani, atte a facilitare il richiamo del soggetto tra una prova e l'altra.

Posteriormente all'apparato era posto un tavolo, che permetteva allo sperimentatore di appoggiare tutto il necessario per lo svolgimento del test. Per ogni prova era necessario fornirsi di una sequenza rappresentativa del livello che si andava a svolgere, per assicurarsi di posizionare gli stimoli nel lato corretto e segnare i risultati ottenuti.

Infine, due piccole videocamere (Xacti VPC-WH1, Sanyo, Moriguchi, Giappone) erano posizionate nella stanza per permettere la videoregistrazione di ogni sessione. Una videocamera veniva poggiata a terra, a lato della sedia, in modo tale che inquadrasse gli

stimoli presentati e permettesse di visualizzare la scelta del cane; la seconda, invece, veniva posta tramite un tripode al di sopra del tavolo, per poter inquadrare frontalmente il cane e il secondo sperimentatore. Le videocamere, ai fini della codifica dei video, dovevano essere munite di microfono per garantire la registrazione audio.

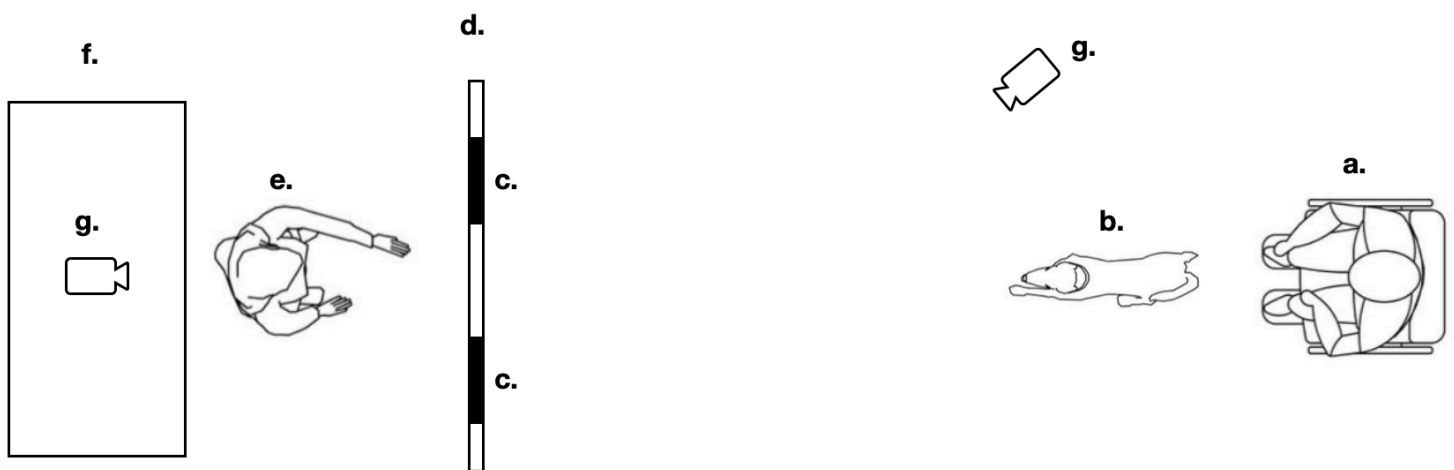


Figura 2. Allestimento sperimentale con rappresentazione di elementi e figure: secondo sperimentatore (a), cane (b), finestre di posizionamento degli stimoli (c), apparato (d), primo sperimentatore (e), tavolo (f), videocamere (g).

### 5.3 Stimoli

Ai soggetti nella sperimentazione era sottoposto un compito di discriminazione tra due stimoli di grandezza diversa.

Tali stimoli sottoposti al cane erano costituiti dai pannelli in policarbonato nero sopra citati, su cui venivano apposti dei cerchi di taccino, dal diametro di 1 cm ciascuno, creati con un apposito strumento di metallo e distribuiti casualmente. È stato utilizzato del petto di taccino

arrosto ad uso umano, a fette e preincartato. Era indicato utilizzare la stessa marca commerciale, in modo da ottenere cerchi di spessore e colore uguali tra loro.

Per il primo livello di addestramento (vedi sotto) sono stati utilizzati dei tondini di plastica, di egual forma, colore e dimensione dei cerchi di tacchino, realizzati con argilla polimerica e incollati ai pannelli di policarbonato.

I cerchi di tacchino erano distribuiti in modo casuale sui pannelli, mantenendo tra un cerchio e l'altro una distanza di circa 2 cm. L'area complessiva coperta doveva essere approssimativamente uguale per tutti gli stimoli, a prescindere dalla numerosità. Era importante mantenere liberi i bordi del pannello di circa 3 cm, per evitare che i cerchi fossero nascosti dall'apparato al momento del posizionamento sulle finestre. Nella composizione degli stimoli, in caso di difficoltà, ci si poteva aiutare con dell'acqua per garantire che i cerchi rimanessero ben adesi al pannello.

In totale, gli stimoli utilizzati nella sperimentazione potevano essere composti da 4, 6, 8, 11 o 16 cerchi di tacchino.

Nella fase di addestramento ogni livello era integrato con nuovi stimoli di diversa numerosità: inizialmente erano utilizzati stimoli di soli 4 e 8 cerchi di tacchino, per poi aggiungere stimoli di 6, 11 e 16 cerchi in base al livello raggiunto.

L'induttore è uno stimolo che andrà a posizionarsi precedentemente al discriminante numericamente maggiore della prova. Nella fase di addestramento l'induttore era inserito in metà delle prove, casualmente ed equamente distribuito tra destra e sinistra; tale era un induttore di tipo neutro, ovvero composto da un numero di cerchi uguale alla quantità presente sullo stimolo mostrato sullo stesso lato.

Ogni prova era costituita da una diversa combinazione di discriminanti ed induttori.

In ogni prova della sessione uno dei due discriminanti era costituito da 8 cerchi. Tale stimolo prendeva il nome di "Riferimento"; l'altro pannello invece costituiva gli stimoli di 4, 6, 8, 11 o 16 cerchi, alternativamente ed equamente distribuiti in tutte le prove della sessione; questo stimolo va sotto il nome di "Sonda".

#### **5.4 Procedura generale**

Inizialmente, prima di procedere all'inizio della sperimentazione, il cane veniva sottoposto ad un numero limitato di prove per permettergli di abituarsi all'ambiente e familiarizzare con gli oggetti presenti nella stanza e con il compito da svolgere. Ogni soggetto veniva lasciato libero di esplorare. Poi, gradualmente, lo sperimentatore cominciava a sottoporre al soggetto gli stimoli, per permettergli di comprendere il compito da eseguire, utilizzando come rinforzo positivo principale il cibo. Prima gli si presentava solo uno piatto, poi due di cui uno vuoto, poi due di diversa quantità, fino a che il soggetto non fosse completamente a suo agio nell'ambiente circostante e nel compiere autonomamente la funzione richiesta.

Per lo studio era necessaria la presenza di due figure, ognuna delle quali aveva un compito ben specifico. Lo sperimentatore si occupava di presentare gli stimoli al soggetto, posizionandoli correttamente nell'apparato, preparare nuovi stimoli per ogni prova e segnare correttamente le scelte del cane. La seconda figura in campo, invece, aveva il compito di sedere sulla sedia e mantenere il cane in posizione corretta.

Ogni sessione era composta da 15 prove. Ogni prova iniziava con il richiamo del cane da parte del secondo sperimentatore per porlo nella corretta posizione. Era importante che il soggetto fosse posto in linea con il centro dell'apparato e con la T di nastro adesivo sul pavimento, equidistante da entrambe le finestre, in posizione seduta o in stazione quadrupedale. Il gestore poteva mantenere il cane fermo tramite l'utilizzo di una pettorina o posizionando le mani sulle spalle, a seconda delle preferenze del soggetto stesso. Di rilevante importanza erano gli occhiali da sole, da utilizzare per ogni prova in tutti i livelli della sperimentazione, con lo scopo di oscurare la direzione dello sguardo al soggetto in esame ed evitare di influenzare la scelta dello stesso. In aggiunta, per la stessa funzione, era buon uso durante le prove non rivolgere la propria attenzione al cane o all'apparato, mantenendo lo sguardo rivolto al pavimento.

Una volta che il cane era posizionato correttamente, il primo sperimentatore chiamava il nome del cane e lasciava scivolare l'induttore sulle finestre dell'apparato, se la sequenza lo prevedeva, e ad una distanza di 2 secondi posizionava il Riferimento e la Sonda. Nel caso in cui una prova non prevedesse la presenza dell'induttore neutro, lo sperimentatore avrebbe posizionato direttamente lo stimolo sonda e lo stimolo di riferimento.

Inoltre, un ulteriore incarico del primo sperimentatore era definire il momento di avvio di ogni singola prova, collocato nel tempo a 2 secondi dal posizionamento degli stimoli, tramite la pronuncia della parola “OK”, alla quale il soggetto veniva rilasciato dal secondo sperimentatore e poteva rivolgersi all’apparato per compiere la scelta tra i due stimoli. In questo momento, lo sperimentatore poteva osservare il cane dalla fessura posta in alto nell’apparato, che permetteva di visionare la scelta del cane e rimuovere o lasciare i pannelli in caso di risposta corretta o errore. Nel momento in cui venivano rilasciati i piatti e pronunciato “OK”, lo sperimentatore doveva chiudere gli occhi: questo perché, teoricamente, sarebbe potuto accadere che lo sperimentatore enunciasse l’“OK” nel momento in cui lo sguardo del cane fosse rivolto verso il piatto corretto. Questo avrebbe influenzato la scelta e avrebbe falsato i risultati. Al momento del suono “OK” eseguito dallo sperimentatore, il gestore doveva rimuovere le mani dal cane che, una volta libero, poteva compiere la sua scelta tra i due stimoli presentati.

Al soggetto, dopo aver raggiunto gli stimoli posti nell’apparato, era data la possibilità di mangiare gli elementi di tacchino o meno, in base alla scelta eseguita e alla fase della sperimentazione in cui ci si trovava (vedere sotto per dettagli).

Una volta terminata una prova, il secondo sperimentatore richiamava il cane a sé per riposizionarlo correttamente di fronte all’apparato in vista della prova successiva.

La sperimentazione è stata divisa in due parti: una fase iniziale di addestramento, seguita dalla fase di test. La fase di addestramento era atta ad insegnare in modo corretto all’individuo che l’incarico da eseguire era dirigersi verso lo stimolo quantitativamente maggiore. La fase di test, invece, era la più consistente, ed è da essa che sono stati tratti i risultati da analizzare per la sperimentazione.

Ogni prova cominciava con il soggetto posto in posizione predeterminata, mantenuto dal secondo sperimentatore, munito di occhiali da sole e che non rivolgeva alcun tipo di attenzione al cane. Lo sperimentatore poneva in modo corretto i cerchi di tacchino a seconda della sequenza da seguire, appendendo gli stimoli al gancio dell’apparato, uno a destra e uno a sinistra; l’induttore veniva posto posteriormente ad uno dei due pannelli. Lo sperimentatore, posizionato dietro l’apparato, accovacciato per essere nascosto dalla vista del cane, doveva evitare di attirare l’attenzione dell’individuo e rimanere in silenzio. Al momento dell’inizio della prova lo sperimentatore rilasciava il pannello dell’induttore, che andava a posizionarsi in



una delle due finestre, visibile al soggetto. Successivamente, dopo aver atteso 2 secondi, venivano rilasciati contemporaneamente i due discriminanti, uno dei quali andava a coprire l'induttore. Lo sperimentatore contava mentalmente 1 secondo, e pronunciava l'"OK", al quale il gestore poteva rilasciare il cane, che si dirigeva verso l'apparato per eseguire la sua scelta. Se l'induttore non fosse stato presente, lo sperimentatore avrebbe presentato direttamente i due discriminanti.

Mentre nella fase di addestramento era possibile utilizzare rinforzo positivo verbale, nella fase di test non era permesso.

Era importante considerare la disponibilità del cane a lavorare: se il soggetto si fosse dimostrato poco cooperativo, se avesse presentato difficoltà a dirigersi direttamente verso l'apparato, o se avesse mostrato timore o disagio, la sessione sarebbe stata interrotta e, dopo aver effettuato un periodo di pausa di circa un'ora, si avrebbe ripreso dall'inizio del livello. Le sessioni non potevano essere eseguite parzialmente e non erano permesse pause; se necessario il soggetto poteva prendere un breve intervallo per bere durante la sessione.

## **5.5 Fase di addestramento**

La fase di addestramento era composta da 4 livelli; ogni cane poteva passare al successivo solo in caso di raggiungimento del criterio di apprendimento del livello precedente. Ogni sessione era composta da 15 prove. Tutte le sessioni erano create in modo casuale, ma era importante controbilanciare la presenza di stimolo maggiore e induttore, in modo tale che lo stimolo più grande non apparisse per più di tre volte di fila dalla stessa parte.

Dal secondo livello in poi si procedeva anche in caso di errore del cane, e il livello poteva essere superato solo in caso di un numero di errori minore o uguale a 2.

Nella fase di addestramento, inoltre, a differenza della fase di test, si potevano utilizzare forme di rinforzo positivo nei confronti del cane tra una prova e l'altra, come gratificazioni a voce e carezze, con lo scopo di dare sicurezza al cane nelle fasi iniziali dello studio e mantenere alta la motivazione.

### **Livello 1:**

Nel primo livello erano permesse prove di correzione: il cane, in caso di errore, aveva la possibilità di ripetere la prova.

Il primo livello comprendeva stimoli di 8 cerchi di tacchino contro stimoli di 4 cerchi di tacchino. In metà delle prove, inoltre, era stato inserito un induttore neutrale, per abituare il cane alla presenza dello stesso. Il pannello con lo stimolo da 4 era formato da finti tondini di argilla polimerica: questo perché, in caso di errore, lo sperimentatore poteva evitare di rimuovere il pannello dall'apparato. La rimozione dello stimolo alle prime sessioni dei soggetti si è dimostrata essere controproducente in quanto causava perdita di motivazione, ragione per cui il pannello rimaneva in posizione per dare tempo al soggetto di annusarlo. L'induttore neutro utilizzato nella metà delle prove era sempre costituito da cibo, e contava un numero di cerchi di tacchino uguale allo stimolo che veniva posto dalla stessa parte. Per le restanti prove, quelle senza induttore, al soggetto venivano presentati direttamente i due stimoli. Inoltre, era importante controbilanciare la presenza dell'induttore sia nella finestra di destra che in quella di sinistra.

In caso di risposta corretta, al soggetto era permesso mangiare il tacchino; in caso di risposta errata il cane poteva esplorare ed annusare il pannello, composto dai tondini di argilla, ma non poteva mangiare dal piatto corretto.

Il livello si riteneva superato nel momento in cui il numero di errori era minore uguale a due per almeno due sessioni consecutive, e il cane al momento dell'OK si dirigeva direttamente verso gli stimoli, senza indugiare in eventuali elementi di distrazione. Era anche importante valutare l'attenzione del cane durante la scelta, assicurandosi che si concentrasse sui pannelli e non su eventuali elementi di distrazione presenti, per evitare che prendesse una decisione dettata dal caso.

## **Livello 2:**

Il secondo livello consisteva in stimoli di numerosità di 8 cerchi contro 16 cerchi di tacchino. Qui, a differenza del primo livello, non venivano utilizzati i pannelli con i tondini di argilla, bensì tutti gli stimoli erano costituiti da cibo. Di conseguenza, in caso di errore, lo sperimentatore doveva prontamente rimuovere il pannello, per non permettere al cane di mangiare lo stimolo errato. L'induttore veniva inserito e sottoposto al cane in metà delle prove e, così come nel primo livello, era un induttore neutro.

Il passaggio al terzo livello era conseguente ad un numero di errori minore o uguale a due, per due sessioni di fila.

### **Livello 3:**

Nel terzo livello venivano introdotti gli stimoli composti da 6 e 11 cerchi di tacchino, in aggiunta agli stimoli visti precedentemente di 4, 8 e 16 cerchi. Era mantenuto in tutte le prove lo stimolo di riferimento, composto da 8 cerchi. I quattro tipi di stimoli sonda erano distribuiti equamente in tutta la sessione. Anche qui era compreso l'inserimento dell'induttore neutro in metà delle prove. Per passare al livello successivo i criteri di superamento equivalevano a quelli del secondo livello.

### **Livello 4:**

Il quarto livello è l'ultimo livello compreso nella fase di addestramento. Qui venivano utilizzati stimoli di 8, 6 e 11 cerchi, e in metà sessione avevamo la presenza dell'induttore neutro. In metà delle prove al cane venivano sottoposti stimoli di 8 e 6 cerchi, mentre nell'altra metà si utilizzavano 8 contro 11 cerchi.

I criteri di superamento equivalevano a quelli del terzo livello, e al termine di questo quarto livello il soggetto entrava nella fase di testing.

## **5.6 Fase di test**

Nella fase di testing abbiamo ottenuto i risultati che siamo andati poi ad analizzare al termine della sperimentazione. Qui non era permesso ai due sperimentatori di utilizzare rinforzo verbale positivo nei confronti del soggetto tra una prova e l'altra, in modo tale da non influenzare la scelta del cane.

Nella fase di testing avevamo tre differenti condizioni in base a presenza numerosità dell'induttore. Le diverse condizioni presentate erano induttore 4, induttore 16 o nessun induttore; l'induttore è presentato sempre nel lato del Riferimento.

Ogni sessione era composta 15 prove, l'ordine delle quali era casuale, ma il lato in cui si andava a posizionare la quantità maggiore e il lato dell'induttore erano equilibrati tra l'uno e l'altro.

Nelle prove in cui l'induttore presentato era composto da 4 o 16 cerchi, al cane era data la possibilità di mangiare a prescindere dalla scelta fatta; nelle prove in cui, invece, non veniva

presentato l'induttore (fatta esclusione per le prove 8 contro 8), il pannello veniva rimosso nel momento in cui il cane sceglieva lo stimolo che presentava la minor quantità. Questo tipo di prova veniva chiamata prova di controllo, e permetteva di verificare che il soggetto ancora scegliendo in modo affidabile la quantità corretta, quindi la maggiore.

Nel momento in cui un soggetto avesse scelto per più di una prova la quantità minore in una delle prove di controllo, la sessione sarebbe stata interrotta e ripetuta successivamente. I risultati di tale sessione, di conseguenza, non sarebbero stati presi in considerazione, dacché il soggetto non avrebbe soddisfatto i criteri di apprendimento.

Per terminare la fase di testing ogni soggetto doveva superare con successo 16 sessioni.

### **5.7 Raccolta ed analisi dei dati**

Tutti i dati raccolti durante le sessioni di addestramento sono stati trasferiti manualmente sul programma Excel; nello specifico, per ogni prova eseguita era opportuno riportare data, numero della sessione, numero di errori, e nomi degli sperimentatori, per valutare l'avanzamento della fase di addestramento. Inoltre, per verificare un possibile effetto dell'età dei soggetti sulla lunghezza della fase di addestramento, abbiamo effettuato un test di correlazione tra l'età dei singoli cane e il numero di prove eseguite per soggetto.

I risultati della fase di test sono stati raccolti durante lo svolgimento della sperimentazione stessa, effettuando un controllo tramite le registrazioni video per verificare eventuali errori. Le registrazioni, al fine di garantire massima accuratezza, erano revisionate da due diverse figure. La corrispondenza tra risultati raccolti durante ogni sessione e i video registrati è risultata essere del 100%. I dati ottenuti sono stati analizzati e raccolti prendendo in considerazione solo la fase di test, che consta di 16 livelli. Le prestazioni di discriminazione di test di ogni soggetto sono state analizzate separatamente e scandagliando ogni sessione da esso effettuato. Utilizzando i risultati delle singole prove all'interno delle sessioni effettuate è stata calcolata la percentuale di errore di ogni soggetto per una data combinazione di induttore - sonda. Grazie ai dati estrapolati dalla sperimentazione per ogni soggetto è stata stimata una curva psicometrica che includesse i due diversi induttori e la condizione di controllo.

Applicando un modello matematico alle curve psicometriche ottenute, inoltre, è stato ricavato per ciascuna condizione il punto di uguaglianza soggettiva (PSE), definito come la dimensione che lo stimolo sonda dovrebbe avere affinché il cane scelga in modo casuale tra essa e lo stimolo di riferimento.

I valori dei punti di uguaglianza soggettiva ottenuti sono differenti per ogni soggetto preso in esame: questi valori permettono di esprimere che la percezione di uno stimolo di riferimento pari a 8 sarebbe risultata ridotta se preceduta da un induttore più piccolo o aumentata se preceduta da induttore più grande. Per verificare l'effetto significativo atteso generato dall'induttore è stato effettuato il test di ipotesi ANOVA confrontando i punti di uguaglianza soggettiva tra le tre possibili condizioni sperimentali.

In aggiunta, è stato utilizzato il modello del confronto visivo a coppie (*pairwise comparison*) per analizzare le differenze presenti tra le diverse condizioni sperimentali, applicando la correzione sequenziale di Bonferroni.

## CAPITOLO 6: Risultati

Tutti i cani che hanno eseguito la sperimentazione avevano raggiunto il criterio di apprendimento durante la fase di addestramento. Non è stato prestabilito alcun limite massimo da rispettare nel numero di prove eseguite. Ogni soggetto ha effettuato un numero variabile di prove: la media del campione risultava di  $49,83 \pm 29,40$ . Il soggetto 5 ha eseguito il maggior numero di prove, pari a 87, mentre il minor numero di prove è stato 17, da parte del soggetto 2.

L'età di cani ha risultato non influire sulla lunghezza della fase di addestramento ( $r = 0,45$ ;  $p = 0,37$ ).

<b>Cane</b>	<b>Numero di prove in addestramento</b>	<b>Nessun Induttore PSE</b>	<b>Induttore 4 PSE</b>	<b>Induttore 16 PSE</b>
<b>Cloe</b>	32	9,13	7,51	10,83
<b>Kora</b>	17	7,29	7,49	8,87
<b>Reïko</b>	79	9,49	6,70	10,30
<b>Chobe</b>	59	8,98	7,24	9,95
<b>Wendy</b>	87	8,37	6,29	10,70
<b>Mustu</b>	25	7,66	6,08	10,39
<b>Media</b>	49,83	8,49	6,89	10,17
<b>d.s.</b>	29,40	0,87	0,62	0,71

Figura 3. Numero di prove eseguite nella fase di addestramento per soggetto e PSE di ogni condizione affrontata per soggetto.

La fase di test è stata completata con successo dall'intero campione. In figura 3 si mostrano i diversi valori di PSE per ogni cane, con rispettive medie: per la condizione di controllo (induttore assente) la media è di  $8,49 \pm 0,87$ , per l'induttore 4 è di  $6,89 \pm 0,62$ , ed infine per l'induttore 16 equivale a  $10,17 \pm 0,71$ . I risultati del test di ipotesi ANOVA hanno confermato la differenza significativa tra i punti di uguaglianza soggettiva delle tre diverse condizioni sperimentali ( $F = 34,51$   $p < 0,001$ ).

L'applicazione del confronto visivo a coppie ha permesso di verificare e calcolare la presenza di questi effetti significativi tra le prove di controllo e le prove con induttore 4, e le prove di controllo e prove con induttore 16, con valori di  $p$  rispettivamente di 0,032 e 0,008 (applicando la correzione sequenziale di Bonferroni).

Per ogni soggetto le curve psicometriche create (Figura 4) permettono di visualizzare l'effetto causato dall'induttore nella percezione dei diversi stimoli sottoposti; tale effetto è mostrato dallo spostamento della curva, a sinistra per l'induttore 4 e a destra per l'induttore 16, rispetto alla curva centrale, che fa riferimento alla condizione senza induttore.

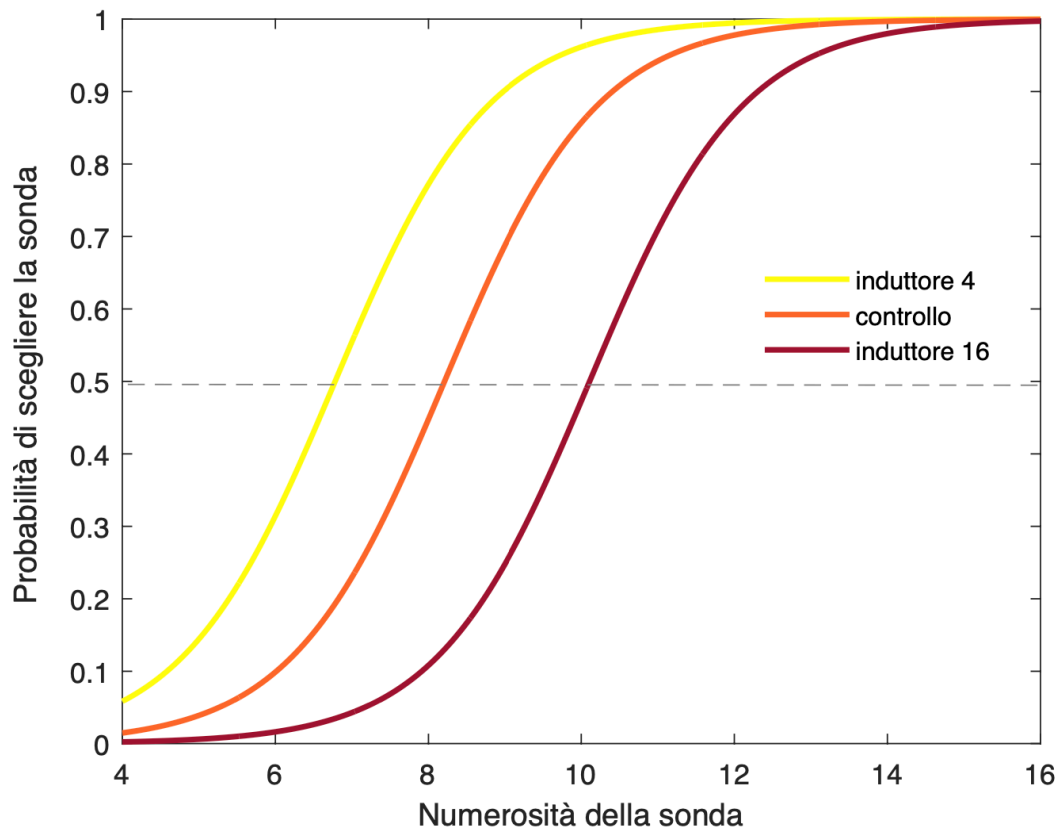
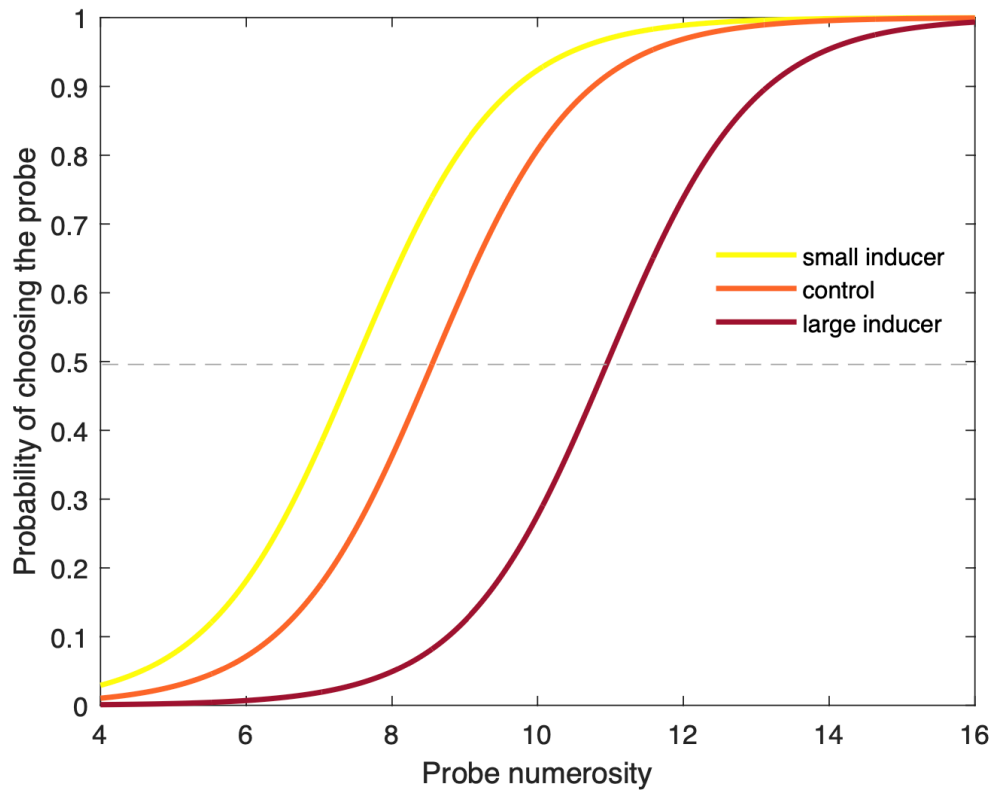
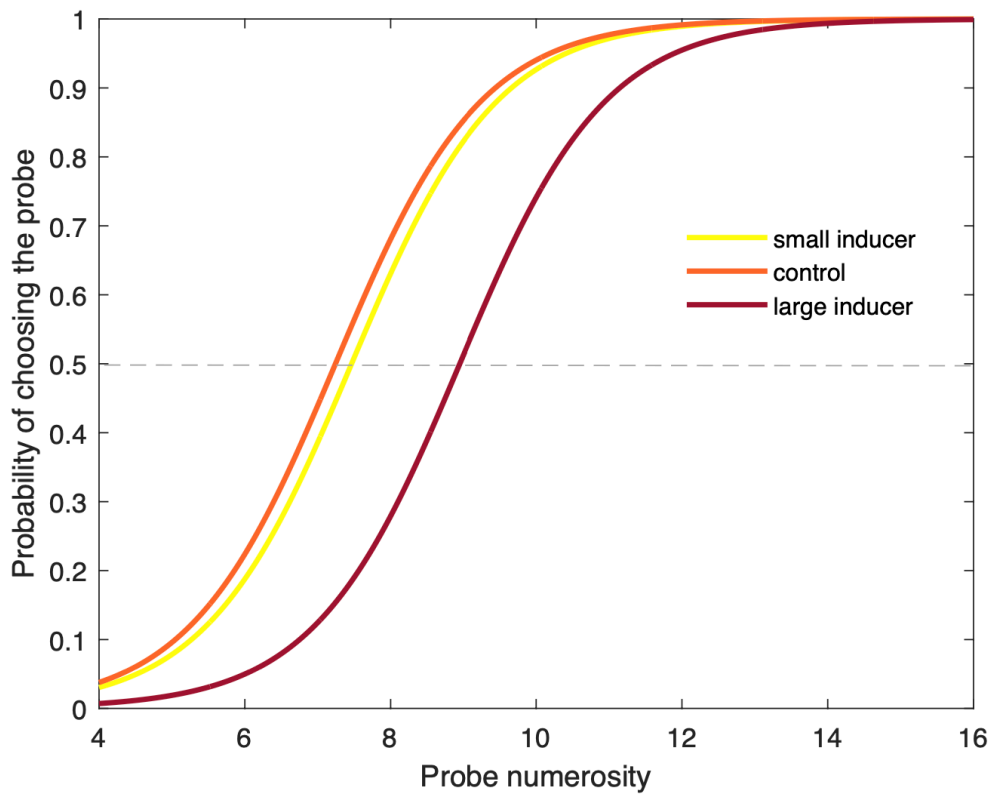


Figura 4: curva psicometrica complessiva dei risultati dell'intero campione. La curva in giallo rappresenta l'effetto nella percezione del riferimento dopo l'induttore 4, la curva in rosso rappresenta l'effetto nella percezione del riferimento dopo l'induttore 16 e la curva centrale, in arancione, rappresenta le prove di controllo.

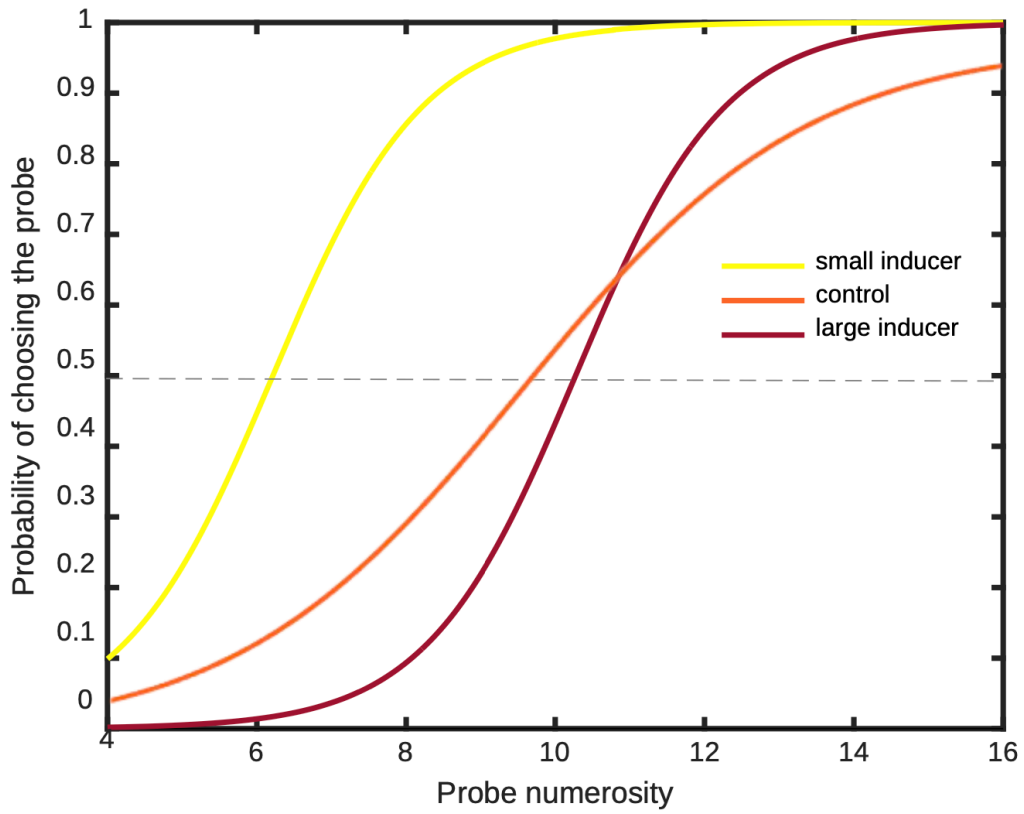




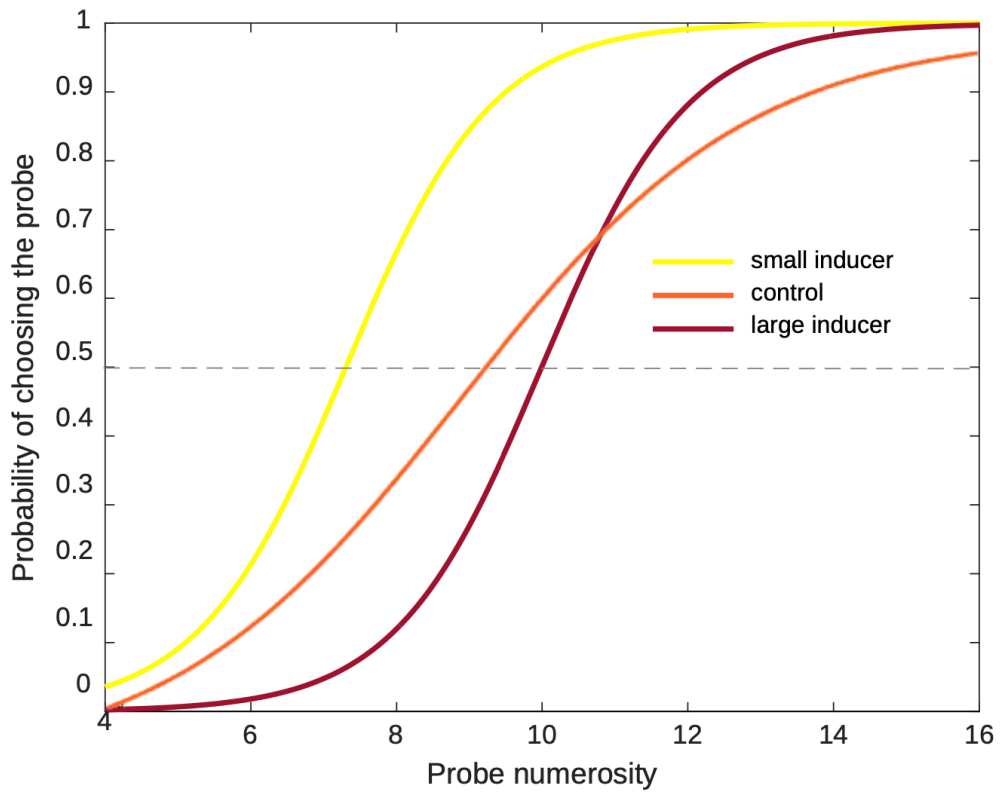
a. Cloe, soggetto 1



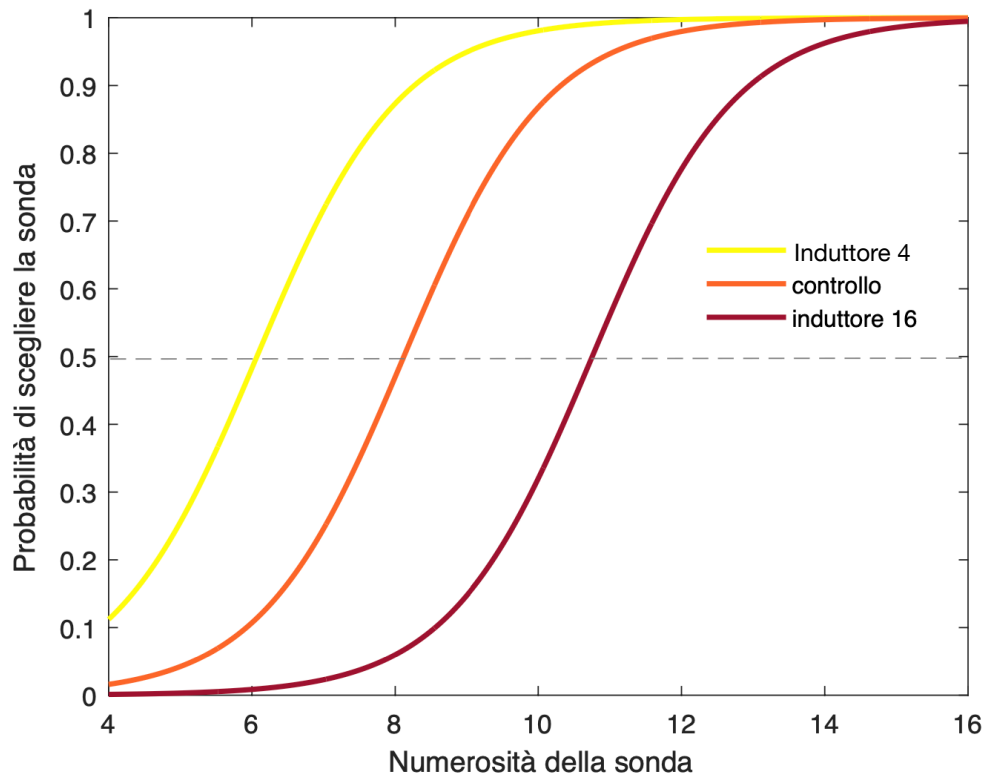
b. Kora, soggetto 2



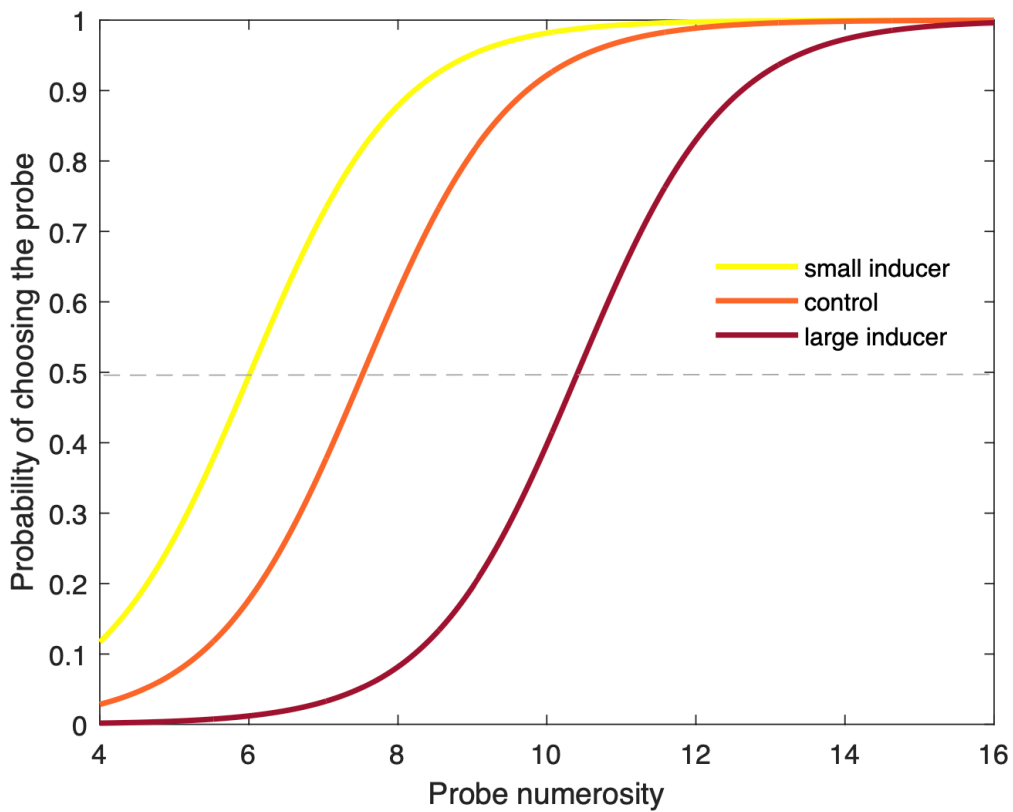
c. Reiko, soggetto 3



d. Chobe, soggetto 4



e. Wendy, soggetto 5



f. Mustu, soggetto 6

Figura 5. Curve psicometriche del soggetto 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5, (e), 6 (f).

## CAPITOLO 7: Discussione

In questo studio l'obiettivo era verificare se il fenomeno attrattivo di dipendenza seriale fosse presente anche nella specie *Canis lupus familiaris*. I risultati indicano chiaramente che un induttore a bassa numerosità induceva una diminuzione del PSE e, viceversa, un induttore ad elevata numerosità rendeva il PSE più elevato, rispetto alla condizione di assenza dell'induttore. Dalle analisi dei risultati ottenuti possiamo affermare che l'induttore ha un effetto significativo sulla percezione della numerosità dei soggetti, così come lo avevano dimostrato Fornaciai e Park [1] nel loro studio applicato alla specie umana. Ciò significa che la presenza di uno stimolo sottoposto ad un soggetto, precedentemente ad un altro, causa un effetto distorsivo nella percezione del secondo. Questo ci conferma che l'effetto di dipendenza seriale attrattiva si verifica anche sulla specie canina.

Nello studio sull'uomo Fornaciai e Park [1] hanno potuto evidenziare come questo effetto visivo sia propedeutico a fornire maggiore stabilità al nostro modo di vedere: la natura delle informazioni visive che captiamo continuamente sarebbe discontinua, rumorosa e disordinata, e non ci permetterebbe di visualizzare il mondo in modo chiaro, ordinato e stabile. Risulta quindi che la presenza dell'effetto di dipendenza seriale metta in atto un meccanismo stabilizzante attivo che coinvolge complessi processi neurali, che permette una coerenza delle informazioni visive percepite dall'occhio, integrando le caratteristiche di uno stimolo nel tempo e nello spazio. Dacché abbiamo tratto risultati significativi sia sull'uomo che sul cane, si suggerisce che la dipendenza seriale nella specie canina metta in atto lo stesso meccanismo di stabilizzazione attiva presente nella specie umana, in modo tale da permettere ad un cane di visualizzare la realtà in modo lineare. Nonostante la distanza filogenetica presente tra uomo e cane, l'effetto si applica in modo simile in entrambe le specie, e si suppone che esso, insieme ai suoi vantaggi e conseguenze, sia imputabile alla condivisione dello stesso ambiente da circa 10 000 anni, periodo in cui, secondo gli studi, è iniziata la domesticazione del cane [21]. Questo implica un meccanismo di convergenza evolutiva, quindi l'evoluzione di un carattere o una funzione simili in modo indipendente in due specie diverse o, in alternativa, si suppone che tale carattere sia presente in un antenato comune ai due. A tal proposito, ci si potrebbe interrogare sulla presenza di tale effetto anche in altre specie: ad esempio, si possono prendere in considerazione specie filologicamente vicine, rispettivamente primati o lupi. Il senso del numero negli animali, sebbene sia appurato, è di difficile derivazione, e ancora non si

conoscono le basi evolutive che danno origine a questa capacità, e il motivo per cui le abilità numeriche esistono nella storia dell'evoluzione è ancora sconosciuto. Molteplici ricerche hanno indagato la presenza di abilità numeriche nei primati non umani, nonostante le presenti differenze inter-specifiche dovute da un diverso sviluppo adattativo. È risultato che in risposta a stimoli biologici o artificiali, sia in natura che in esperimenti condotti su diverse specie, le scimmie dimostrano la capacità di contare, discriminare stimoli e oggetti diversi. Ad esempio, studi hanno dimostrato che, senza l'utilizzo di quantità continue, la specie Macaco Rhesus è in grado di discriminare gruppi di grandezze diverse [22]. Le scimmie hanno dimostrato, inoltre, di possedere capacità aritmetiche, ma la loro precisione è correlata al rapporto tra valori degli stimoli scelti. I primati non umani sono le specie filologicamente più vicine all'essere umano: per questo motivo si può ipotizzare che le scimmie, essendo anch'esse dotate di abilità numeriche ed aritmetiche, siano suscettibili agli effetti attrattivi del fenomeno di dipendenza seriale e, non solo, che tale sia un effetto di ausilio alla stabilità delle informazioni visive captate dall'apparato oculare delle scimmie. Anche nei lupi, sebbene di più difficile determinazione, è stato verificato l'utilizzo del sistema numerico approssimativo e delle abilità numeriche, sfruttati in diversi contesti biologici; ad esempio, si è dimostrato che essi regolano la numerosità del gruppo di caccia in base alla grandezza della preda [23].

Anche in questo caso, conseguentemente, si può attribuire al lupo l'effetto di dipendenza seriale attrattiva nella percezione della numerosità, considerata la presenza di abilità numeriche e la vicinanza filogenetica con la specie canina, e, così come per l'uomo e i primati non umani, si suggerisce che la presenza di tale effetto sia atta ad una maggior stabilizzazione delle informazioni sensoriali visive che la retina riceve. Analizzando queste due ultime specie citate, non si può affermare, come nel caso del cane, che la causa della ipotetica presenza di dipendenza seriale attrattiva sia determinata dalla condivisione dell'ambiente naturale della vita di tutti i giorni. In questo caso però, stiamo considerando le due specie filologicamente più vicine a uomo e cane: di conseguenza si suggerisce che la presenza di tale effetto visivo derivi da un adattamento evolutivo simile tra due specie così vicine. Al contrario, se tale effetto non si presentasse in alcuna di esse, significherebbe che il percorso evolutivo presenta, ad un certo livello, una divergenza, che causa la differente applicazione della dipendenza seriale, o addirittura la assenza di essa. Altri studi negli anni si sono concentrati su specie filologicamente diverse e lontane da uomo e cane, e contemporaneamente che non

condividessero la stessa nicchia ecologica, confermando la presenza di “senso del numero” in specie come la rana (*Bombina orientalis*), api e corvi [23]. Si propone quindi in studi futuri una più attenta analisi riguardanti le abilità numeriche di altre specie, per indagare l'applicazione degli effetti di dipendenza seriale applicata alla percezione della numerosità, i suoi vantaggi nella visione e la sua origine evolutiva.

Nell'esperimento affrontato abbiamo rilevato che tutti i cani presenti nel campione sono suscettibili ad almeno una delle condizioni stimolo - induttore presentate; questo effetto risulta essere però soggetto a variabilità: le risposte alle condizioni sottoposte ad ognuno degli individui non sono equivalenti tra loro, e, sebbene i dati abbiano significatività statistica per l'intero campione, racchiudono un certo valore di discrepanza. Tale variabilità si potrebbe imputare all'elevato grado di differenza morfologica che caratterizza le razze canine: la specie *Canis lupus familiaris*, infatti, è caratterizzata da altissima variabilità intra-specie, a causa della diversificazione presente in mole, altezza al garrese, dimensione e conformazione del cranio. È proprio quest'ultima peculiarità che risulta avere un impatto sulla visione del cane: in base alla morfologia cefalica i cani si possono suddividere in brachicefali, mesocefali e dolicocefali [24]. In una attenta descrizione di Miller e Murphy [6] sulla visione del cane, si afferma che la conformazione craniale influenza la posizione degli occhi, e di conseguenza l'ampiezza del campo visivo varia, così come la sovrapposizione binoculare [25]. In combinazione ad essa, anche la forma e la lunghezza del naso hanno un impatto sulla struttura dell'occhio. In aggiunta, in un ulteriore studio è stato dimostrato che, sebbene la dimensione del bulbo oculare del cane sia variabile, è fortemente correlata con la dimensione del cranio [26]. Queste due misurazioni, inoltre, sembrano influire anche sul numero totale di cellule gangliari retiniche. Complessivamente, quindi, si può ipotizzare che tale variabilità morfologica possa condizionare le prestazioni di percezione ed elaborazione visiva in incarichi a stampo visivo. Nell'esperimento proposto in questa tesi, però, a causa della complessità dello svolgimento della sperimentazione e delle tempistiche prolungate, il numero di soggetti del campione è sufficiente ma limitato, e comprende solamente individui di tipo mesocefalico. In questo caso la disamina delle differenze individuali non è possibile: la variabilità morfologica del cane è vasta, e sarebbe opportuno ed interessante effettuare analisi ulteriormente specifiche che permettano di visualizzare eventuali discrepanze intra-razza e osservare come tali difformità siano in grado di influenzare la percezione visiva.

Un altro elemento considerato nella causa della variabilità del PSE è il livello di attenzione: i risultati dell'esperimento condotto sulla specie umana forniscono una caratterizzazione completa delle dipendenze seriali nella percezione della numerosità, dimostrando che i pregiudizi attrattivi si verificano per mezzo di modulazioni attenzionali spazialmente localizzate dell'attività sensoriale [1]. Fornaciai e Park [1] nel loro studio hanno suddiviso le prove da sottoporre ai diversi campioni di soggetti, dopo aver appurato che senza un adeguato livello di attenzione nei confronti dell'induttore l'effetto attrattivo di dipendenza seriale non si verificava. In particolare, nella prova 3b, infatti, è stata richiesta una partecipazione attiva nella percezione dello stimolo induttore, in quanto, nella prova precedente, a causa della mancanza di attenzione nei confronti di quest'ultimo, non vi è stata rilevazione dell'effetto di dipendenza seriale. Per la somministrazione degli stimoli, in questa prova, era fondamentale la posizione dell'induttore, completamente sovrapposta allo stimolo di riferimento che si sarebbe mostrato successivamente. I risultati della prova 3b hanno dimostrato che ponendo un certo livello di attenzione verso lo stimolo, esso causava l'effetto attrattivo aspettato nel compito di discriminazione. Purtroppo, il lavoro effettuato sul cane non ci permette di dire con certezza quale sia il livello di partecipazione attiva nei confronti dello stimolo induttore da parte dei soggetti, nonostante nell'allestimento e nella preparazione della sperimentazione si siano messe in atto pratiche confacenti ad un maggior coinvolgimento dell'induttore, come ad esempio l'inclusione di esso anche nella fase di addestramento, e il mantenimento di un ambiente tranquillo e silenzioso che non desse spazio ad eventuali distrazioni. A questo proposito, si può affermare che, considerata la significatività statistica dei risultati ottenuti, il livello di attenzione nei confronti dell'induttore fosse sufficiente, sebbene non quantificabile. Inoltre, si può presupporre un maggiore livello attentivo nei confronti dell'induttore 16 rispetto all'induttore 4, considerando che l'impatto visivo è maggiore per la elevata numerosità. Anche il fattore di differenza individuale del livello di attenzione non è misurabile, ma può essere implicato nella differente percezione dello stimolo induttore e nell'attenzione ad esso rivolto. Complessivamente, il livello attentivo nei confronti dell'induttore è un fattore che modifica l'attuarsi dell'effetto attrattivo di dipendenza seriale, e perciò la sua incostanza potrebbe essere implicata nella variabilità rilevata nei punti di uguaglianza soggettiva dei soggetti in esame.

Un'ultima considerazione sui risultati ottenuti fa riferimento alla consistente lunghezza della fase di addestramento, che presenta una media di  $49,83 \pm 29,40$  sessioni; il soggetto con più prove ne ha eseguite 87, mentre il soggetto che ha il numero minore ne ha eseguite 17. Questa eccessiva durata della fase di addestramento potrebbe essere determinata per il fatto che la specie canina, spontaneamente, non è in grado di discriminare due stimoli la cui *ratio* è un valore smodatamente alto (ad esempio, 6 contro 8 = 0,75), e quindi potrebbe causare una variabilità individuale nei compiti di discriminazione [15]. In aggiunta, è presente nel nostro campione un campo di variazione ragionevolmente elevato anche per quanto riguarda le età dei 6 soggetti. Si potrebbe quindi imputare la variabilità ottenuta nei risultati alle diverse età dei soggetti del campione in correlazione alla lunghezza della fase di addestramento. La media dell'età dei soggetti è di  $4,38 \pm 3,50$  anni; il soggetto più giovane aveva 1,2 anni, mentre il più vecchio 8,9. A primo impatto si potrebbe pensare ad una correlazione positiva tra età del soggetto e lunghezza dell'addestramento, osservando i valori medi ottenuti. È stato effettuato un test di correlazione tra questi due parametri, che ha dato come risultato una assenza di significatività ( $p > 0,05$ ). L'effetto dell'età non è quindi confermato. Anche la possibilità di esperienze passate nel settore può essere presa in considerazione, in quanto potrebbero aver influenzato e migliorato la capacità di un soggetto di eseguire compiti di discriminazione delle grandezze, determinando un'ampia variabilità nel numero di prove eseguite. Questa variabile non è stata presa in considerazione nell'analisi di questo studio, vista la difficoltà di controllo e quantificazione di esse.

In conclusione, si può affermare che in questo studio tutti i soggetti del campione risultano essere significativamente attratti dalla presenza di uno stimolo induttore neutro sottoposto durante il compito di discriminazione di grandezze diverse. Per riuscire a delucidare le origini della variabilità presente nei risultati, così come per scoprire la reale derivazione di tale fenomeno visivo, si suggerisce una ricerca più approfondita nei vari ambiti citati in questo paragrafo, per giungere ad ottenere una chiara delineazione del paradigma di dipendenza seriale in tutte le sue sfaccettature.



## **CAPITOLO 8: Conclusione**

La specie *Canis lupus familiaris* è ad oggi l'unica specie, oltre all'essere umano, in cui è stata testata e confermata la presenza del fenomeno di dipendenza seriale attrattiva. Nello specifico, in questo studio si è analizzata la presenza di tale effetto visivo nella percezione di stimoli numerici e nella capacità di discriminazione di differenti grandezze.

La dipendenza seriale è però un fenomeno applicabile anche ad altri ambiti, come ad esempio l'orientamento di stimoli nello spazio, l'identità del viso e l'attrattiva, il movimento e la posizione. Si auspica in studi futuri un ampliamento di orizzonti e ricerche, comprendendo i diversi domini visivi in cui si presenta la dipendenza seriale, per verificarne la sua applicazione, ma anche la sua derivazione e i suoi eventuali vantaggi sulla percezione del mondo che un cane può avere.

Abbiamo verificato e confermato la presenza di tale effetto, ma sarebbe interessante indagare in quanta parte la dipendenza seriale possieda un ruolo rilevante nella stabilizzazione della percezione, per quantificare l'importanza di tale fenomeno e dare ad esso il peso adeguato nel funzionamento della componente visiva di ogni soggetto, umano od animale che sia.

Considerato l'ausilio che risulta avere nell'uomo, non è da escludere la presenza di questo effetto anche in altre specie: gli animali in cui è stata rilevata la presenza di abilità numeriche sono molteplici, e spaziano dal mondo degli Insetti ai Vertebrati.

Un'analisi più approfondita ci permetterebbe non solo di comprendere al meglio il funzionamento e i meccanismi neurali messi in atto dal fenomeno visivo in questione, ma anche di indagare più a fondo capacità visive e organi ad esse annessi di specie animali ad oggi ancora non approfondite.

In conclusione, per quanto riguarda la visione nel cane, attualmente non possediamo una descrizione approfondita, aggiornata e specifica delle sue caratteristiche più intrinseche e del suo funzionamento a livello neurale. Questo studio potrebbe risultare come un passo avanti nella conoscenza più avanzata della specie canina, e permettere una maggior consapevolezza, atta a fini potenzialmente medici e non solo scientifici, di come e cosa i nostri cani vedono.

## Bibliografia

- [1] M. Fornaciai, J. Park, *Serial dependence in numerosity perception*, Journal of Vision, 2018, Volume 18, Numero 9, pp. 1–12
- [2] Singletary M., Lazarowski L., *Canine Special Senses: Considerations in Olfaction, Vision, and Audition*, Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 2021, Volume 51, Numero 4, pp. 839-858
- [3] Budras K. McCarthy P. H., Fricke W., Richter R., *Atlante illustrato di Anatomia del Cane*, Antonio Delfino Editore, V edizione
- [4] Aguggini G., Beghelli V., Giulio L. F., *Fisiologia degli Animali Domestici con elementi di Etologia*, UTET, II edizione
- [5] Byosiere, S.E., Chouinard, P.A., Howell, T.J. et al., *What do dogs (Canis familiaris) see? A review of vision in dogs and implications for cognition research*, Psychon Bull Rev, Ottobre 2018
- [6] Miller, P. E., & Murphy, C. J., *Vision in dogs*, Journal of the American Veterinary Medical Association, 1995, Volume 207, pp. 1623-1634
- [7] Tanaka, Toshio & Watanabe, Tamiko & Eguchi, Yusuke & Yoshimoto, Tadashi, *Color Discrimination in Dogs*, Nihon Chikusan Gakkaiho, 2000, Volume 71, pp. 300-304
- [8] Kasparson Anna A., Badridze Jason and Maximov Vadim V., *Colour cues proved to be more informative for dogs than brightness*, Proceeding of the Royal Society B, 2013, Volume 280, Numero 1766

- [9] Autlet L. S., Chiu V. C., Prichard A., Spivak M., Lourenco S. F., Berns G. S., *Canine sense of quantity: evidence for numerical ratio-dependent activation in parietotemporal cortex*, *Biology Letters*, Dicembre 2019, Volume 15, Numero 12
- [10] Macpherson K., Roberts W. A., *Can dogs count?* *Learning and Motivation*, Novembre 2013, Volume 4, Numero 4, pp. 241-251
- [11] Leibovich T., Katzin N., Harel M., Henik A., *From “sense of number” to “sense of magnitude”: The role of continuous magnitudes in numerical cognition*, *Behavioral and Brain Sciences*, 2017, Volume 40, Numero 164
- [12] Rivas-Blanco D., Pohl I. M., Dale R., Heberlein M. T. E., Friederike G., *Wolves and Dogs May Rely on Non-numerical Cues in Quantity Discrimination Tasks When Given the Choice*, *Frontiers in Psychology*, Settembre 2020
- [13] Pisa PE., Agrillo C., *Discriminazione quantitativa nei felini: un'indagine preliminare sul gatto domestico ( Felis silvestris catus )*, *J Ethol*, 2008, Volume 27, pp. 289–293
- [14] West, R.E., Young, R.J., *Do domestic dogs show any evidence of being able to count?*, *Animal Cognition*, 2002, Volume 5, pp. 183–186
- [15] Ward C., Smuts B. B., *Quantity-based judgments in the domestic dog (Canis lupus familiaris)*, *Animal Cognition*, Agosto 2006, Volume 20, pp. 71-80
- [16] Kiyonaga A., Scimeca J. M., Bliss D. P., Whitney D., *Serial dependence across perception, attention, and memory*, *Trend in Cognition Sciences*, Luglio 2017, Volume 21, Numero 7, pp. 493-497
- [17] Fischer, J., Whitney, D., *Serial dependence in visual perception*, *Nat Neurosci*, 2014, Volume 17, pp. 738–743

- [18] Fritsche M., De Lange F. P., *The role of feature-based attention in visual serial dependence*, Journal of Vision, 2019, Volume 19, numero 13
- [19] Pascucci D, Mancuso G, Santandrea E, Della Libera C, Plomp G, Chelazzi L., *Laws of concatenated perception: Vision goes for novelty, decisions for perseverance*, PLoS Biol., Marzo 2019, Volume 17, numero 3
- [20] Cicchini G. M., Mikellidou K., Burr D. C., *The functional role of serial dependence*, Proceeding of the Royal Society B, Ottobre 2018
- [21] Verginelli F., Capelli C., *et al.*, *Domesticazione ed evoluzione dei cani: dati genetici, archeozoologici e ruolo del DNA antico*, Medicina nei secoli Arte e Scienza, Journal of History of Medicine, 2006, Volume 18, numero 3, pp. 741-754
- [22] Cantlon, J. F., and Brannon, E. M., *Semantic congruity affects numerical judgments similarly in monkeys and humans*, Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 2005, U.S.A. Volume 102, pp. 16507–16511
- [23] Nieder A., *The Adaptive Value of Numerical Competence*, Trends in Ecology & Evolution, 2020, Volume 35, numero 7, pp. 605-617
- [24] Bonetti F. *Zoognostica del Cane*, 2012, Giraldi Editore, II edizione
- [25] Evans H. E., De Lahunta A., *Miller's Anatomy of the Dog*, Elsevier, aprile 2019, IV edizione
- [26] McGreevy P., Grassi T. D., Harman A. M., *A strong correlation exists between the distribution of retinal ganglion cells and nose length in the dog*, Brain, Behavior and Evolution, 2013, Volume 63, numero 1, pp. 13-22

- [27] Arsalidou M., Taylor M. J., *Is  $2 + 2 = 4$ ? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations*, Neuroimage, Febbraio 2011, Volume 3, Numero 54, pp. 2382-2393
- [28] Barber, A. L. A., Mills, D. S., Montealegre-Z, F., Ratcliffe, V. F., Guo, K., & Wilkinson, A., *Functional performance of the visual system in dogs and humans: A comparative perspective*, Comparative Cognition & Behavior Reviews, 2020, Volume 15, pp. 1–16
- [29] Cantlon J.F., *Math, monkeys and the developing brain*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, Volume 109, pp. 10725-10732
- [30] Cicchini G. M., Benedetto A., Burr D. C., *Perceptual history propagates down to early levels of sensory analysis*, Current Biology, Marzo 2021, Volume 31, Numero 6, pp. 1245-1250
- [31] Davis, H., & Pérusse, R., *Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda*, Behavioral and Brain Sciences, 1988, Volume 11, numero 4, pp. 561-579
- [32] Gelatt K. N., Kirk N., *Veterinary Ophthalmology*, Volume 1, Hoboken, NJ, USA, Wiley Blackwell, 2021, VI edizione
- [33] Hassaan M. K., *The Animal Eye Anatomy and Development*, ACTA Scientific Veterinary Sciences, Volume 4, Numero 1, Gennaio 2022
- [34] Lööke M., Marinelli L., Agrillo C., Guérineau C., Mongillo P., *Dogs (*canis familiaris*) underestimate the quantity of connected items: first demonstration of susceptibility to the connectedness illusion in non-human animals*, Sci Rep, dicembre 2021, Volume 11
- [35] Lord K., *A Comparison of the Sensory Development of Wolves (*Canis lupus lupus*) and Dogs (*Canis lupus familiaris*)*, Department of Organismic and Evolutionary Biology, 2012, University of Massachusetts

- [36] Lucangeli D., Tressoldi P. E., *Lo sviluppo della conoscenza numerica: alle origini del "capire i numeri"*, Giornale italiano di psicologia, Aprile 2002, Rivista trimestrale, pp. 701-726
- [37] Miletto Petrazzini M. E., Wynne C. D. L., *What counts for dogs (Canis lupus familiaris) in a quantity discrimination task?* Behavioral Process., 2016, Volume 122, pp. 90-97
- [38] Miletto Petrazzini M. E., Mantese F., Prato-Previde E., *Animal Cognition*, Aprile 2020, Volume 23, pp. 703-710
- [39] Murai Y., Whitney D., *Serial dependence revealed in history-dependent perceptual templates*, Current Biology, Luglio 2021 Volume 31, Numero 14, pp. 3185 - 3191
- [40] Nieder, A., *Evolution of cognitive and neural solutions enabling numerosity judgements: lessons from primates and corvids*, Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences, 2018, pp. 962–8436
- [41] Roberts T., McGreevy P., Valenzuela M., *Human induced rotation and reorganization of the brain of domestic dogs*, PLoS One, 2010, Volume 5, numero 7
- [42] Schmitt, V., Kröger, I., Zinner, D. *et al.*, *Monkeys perform as well as apes and humans in a size discrimination task*, Animal Cognition, 2013, Volume 16, pp. 829–838
- [43] St. John-Saaltink E, Kok P, Lau HC, de Lange FP, *Serial Dependence in Perceptual Decisions Is Reflected in Activity Patterns in Primary Visual Cortex*, J Neurosci., Giugno 2016
- [44] Togoli I., Fedele M., Fornaciai M., Buetti D., *Serial dependence in time and numerosity perception is dimension-specific*, Journal of Vision, Maggio 2021, Volume 21, Numero 5