



# UNIVERSITÀ DI PARMA

## DIPARTIMENTO DI MEDICINA E CHIRURGIA

### CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOBIOLOGIA E NEUROSCIENZE COGNITIVE

#### LA LATERALIZZAZIONE COMPORTAMENTALE NEI SURICATI (*Suricata suricatta*):

#### attività quotidiana e compito cognitivo

**Relatore:**

*Chiar.mo Prof. LUCA BONINI*

**Correlatore esterno:**

*Chiar.mo Dott. CAMILLO SANDRI*

**Laureanda:**

*MARGHERITA FRAJA*

**ANNO ACCADEMICO 2021 - 2022**



# INDICE

ABSTRACT .....	5
INTRODUZIONE .....	6
1. LATERALIZZAZIONE .....	9
1.1 Evoluzione e cenni storici .....	9
1.2 Studi di lateralizzazione sui vertebrati .....	11
1.2.1 Pesci .....	15
1.2.2 Rettili e anfibi .....	15
1.2.3 Uccelli .....	16
1.2.4 Mammiferi .....	17
2. SCOPO DELLO STUDIO .....	21
3. LA SPECIE: I SURICATI .....	22
3.1 Classificazione e descrizione .....	22
3.2 Distribuzione, habitat e conservazione .....	24
3.3 Biologia .....	25
3.3.1 Struttura sociale e comportamento .....	25
3.3.2 Dieta e alimentazione .....	28
3.3.3 Riproduzione e sviluppo .....	28
3.4 Ricerca e comportamento di problem solving .....	29
4. MATERIALE E METODI .....	31
4.1 Area di studio .....	31
4.2 Colonia del Parco .....	32
4.2.1 Reparto .....	32
4.2.2 Gestione .....	33
4.3 Soggetti sperimentali .....	34
4.4 Apparato sperimentale .....	34
4.5 Disegno e procedura sperimentale .....	35
4.6 Fase di raccolta dati .....	38

4.7 Raccolta dati.....	39
4.8 Analisi dei dati .....	41
5. RISULTATI .....	43
5.1 Analisi della preferenza di zampa nell'quotidiana ( <i>Baseline</i> ) .....	43
5.1.1 <i>Uso di due zampe o di una sola zampa alla volta</i> .....	43
5.1.2 <i>Uso della zampa anteriore destra o della zampa anteriore sinistra</i> .....	45
5.2 Analisi della preferenza di zampa nel <i>task</i> cognitivo ( <i>Problem solving</i> ) .....	53
5.2.1 <i>Uso di due zampe o di una sola zampa alla volta</i> .....	53
5.2.2 <i>Uso della zampa anteriore destra o della zampa anteriore sinistra</i> .....	55
6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	65
BIBLIOGRAFIA .....	70

## ABSTRACT

Gli arricchimenti cognitivi vengono considerati come un metodo efficace per migliorare il benessere animale nei giardini zoologici. Sono state riscontrate differenze nelle abilità cognitive tra i vertebrati, a livello intra e inter specifico, ed esse sembrano essere connesse alla lateralizzazione motoria; tale aspetto è stato studiato nei carnivori, rivelando che la preferenza manuale sembra essere collegata al compito. Tuttavia, nessuno studio finora ha indagato l'asimmetria nei suricati (*Suricata suricatta*). Questa ricerca si propone di investigare la lateralizzazione comportamentale nella colonia di 10 suricati ospitati al Parco Natura Viva, valutando alcune attività quotidiane unimanuali, sia a livello di gruppo che individuale. Lo studio si è sviluppato in due periodi: *Baseline* (gestione quotidiana), che si è svolto in due sessioni giornaliere da 10 minuti per ogni suricato, e *Problem solving* (compito cognitivo), con 11 sessioni da un'ora ciascuna videoregistrate. Utilizzando un metodo di campionamento ad animale focale, i soggetti sono stati osservati durante l'attività spontanea e durante lo svolgimento di un compito cognitivo complesso. Sono stati raccolti i dati sulla preferenza manuale per quanto riguarda il *Foraging*, il *Digging* e la *Locomotion*; inoltre, per approfondire il ruolo dell'attività cognitiva nel determinare la preferenza manuale nei suricati, è stato analizzato l'utilizzo della zampa durante la manipolazione dell'apparato sperimentale (*Object manipulation*). Per quanto riguarda l'attività spontanea, è emersa una preferenza per la zampa destra a livello di gruppo, ma non a livello individuale. Nel *task* cognitivo invece, si manifesta una netta preferenza per la zampa destra sia a livello individuale che a livello di gruppo, dimostrando che il compito di *problem solving* può aver influito sui comportamenti lateralizzati di questo gruppo di suricati.

## INTRODUZIONE

Un giardino zoologico, detto anche “bioparco”, viene definito come un luogo attrezzato nel quale vengono ospitati ed esposti al pubblico animali in cattività, per lo più esotici, con l’intento di salvaguardare il loro benessere e la loro conservazione e di sensibilizzare i visitatori sulle specie minacciate (Treccani, n.d.). Per questo e altri motivi, i giardini zoologici svolgono da decenni un ruolo di fondamentale importanza, sebbene abbiano subito una notevole evoluzione nel corso dei secoli.

Attorno al XVIII secolo sorsero le prime menagerie in diverse città europee, nelle quali animali esotici di ogni genere venivano tenuti in gabbia per essere ammirati da cortigiani e uomini illustri, senza considerare il loro benessere. Il serraglio di Versailles, ad esempio, venne fatto costruire da Luigi XIV con al centro un’arena, la quale fungeva da intrattenimento per gli ospiti con le sue feroci battaglie tra tigri, leoni o elefanti.

Il Tiergarten Schonbrunn di Vienna viene considerato il primo giardino zoologico moderno, e con la sua apertura nel 1775 esso ha dato il via alla diffusione della struttura dei giardini zoologici di tutta Europa. Da quel momento in poi, essi non costituiscono solo un intrattenimento per il pubblico, ma possiedono anche e soprattutto la funzione di tutelare le specie che ospitano. Per questo, i moderni giardini zoologici si fondano su 3 principi fondamentali:

- *Conservazione*: attuando un programma di tutela specifico per ogni specie, si va a favorire la sua sopravvivenza, contrastandone la diminuzione della popolazione. I fattori di rischio che affliggono la fauna selvatica riguardano anche l’uomo, unica specie che ne possiede la consapevolezza e ha quindi la possibilità di agire in questa direzione. La conservazione nei giardini zoologici, detta anche *ex situ*, si svolge in Europa attraverso programmi come l’EEP (European Endangered species Programme) e l’ESB (European

Studbook); ma la conservazione può essere anche attuata *in situ*, sostenendo progetti e associazioni che svolgono la loro attività nella sede d'origine della specie.

- *Ricerca*: significa ampliare le conoscenze sulle specie ospitate e i loro habitat, sul loro benessere e sulla loro gestione. In particolare, si va ad investigare il comportamento, la nutrizione, l'arricchimento ambientale, la riproduzione, l'ecologia e la conservazione. Questo diventa ancora più importante per quelle specie poco osservabili in natura, magari perché elusive o fortemente minacciate. Vengono inoltre considerate anche le ricerche riguardanti le interazioni con i visitatori.

- *Educazione*: si concretizza sensibilizzando i visitatori sulla conservazione delle specie minacciate, accompagnandoli a sviluppare una maggiore consapevolezza sul tema. Questo gioca un ruolo importante sia a livello ambientale che culturale, considerando l'impatto che esso può avere sulle nuove generazioni.

Il Parco Natura Viva è impegnato da decenni a perseguire questi e altri importanti obiettivi, con il fine ultimo di preservare e tutelare le specie minacciate (Parco Natura Viva, n.d.).

Nello studio che segue, vi è la principale intenzione di focalizzarsi sull'obiettivo della Ricerca. Gli zoo forniscono un'incredibile varietà di specie e soprattutto molteplici possibilità di approfondirne le conoscenze, consentendo di studiare gli animali in un ambiente non controllato ma che riproduce il loro habitat naturale. Negli ultimi decenni, la ricerca nei parchi zoologici ha acquisito un grande valore, soprattutto perché si è raggiunta la consapevolezza della sua importanza e ricchezza. Sebbene la maggior parte degli studi si focalizzino sui primati o in generale i mammiferi, è importante che venga considerata l'intera collezione di animali ospitati, con la possibilità di confrontare specie diverse, sfruttando molte tecniche e metodi scientifici (Hopper, 2017). Inoltre, gli studi cognitivi svolgono un ruolo fondamentale in tali contesti: la somministrazione di

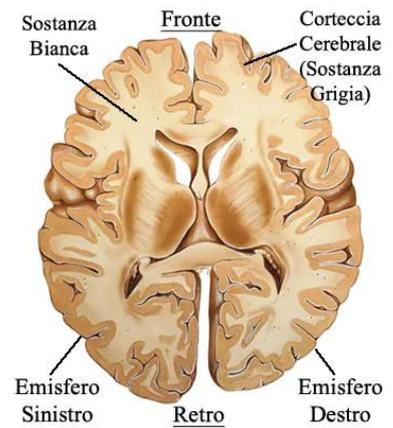
arricchimenti comportamentali, infatti, è volta alla stimolazione delle abilità cognitive degli animali e va di conseguenza a garantire il loro benessere (Garcia-Pelegrin et al., 2022).

Nell'ambito di questo panorama, si introduce questo studio che si pone l'obbiettivo di approfondire una competenza cognitiva di rilevante importanza: la lateralizzazione. La lateralizzazione, la quale costituisce l'espressione comportamentale di funzioni emisferiche cerebrali, è di fatto stata largamente indagata in molteplici specie animali. Considerando solo l'ordine dei carnivori (*Carnivora*), diverse ricerche hanno dimostrato l'esistenza di asimmetrie funzionali. Tuttavia, ad oggi non si riscontrano studi in letteratura riguardo la lateralizzazione comportamentale della specie *Suricata suricatta*, un carnivoro appartenente alla famiglia delle *Herpistidae*.

# 1. LATERALIZZAZIONE

## 1.1 Evoluzione e cenni storici

Un cervello lateralizzato viene definito tale nel caso in cui uno dei due emisferi mostri delle caratteristiche fisiche diverse ed esegua funzioni differenti rispetto all'altro. Si parla infatti di specializzazione emisferica, in quanto nel corso dell'evoluzione le due parti del cervello sembrano aver affinato le proprie abilità in modo differente (Bisazza et al., 1998). A livello anatomico, il cervello umano presenta infatti delle



**Figura 1.1:** Cervello umano  
- Photo credit: Shutterstock

differenze morfologiche: ad esempio, l'emisfero sinistro appare più stretto e allungato, con il planum temporale e le circonvoluzioni di Heschl più estese, mentre l'emisfero destro è più schiacciato ai poli, con amigdala e ippocampo più preponderanti (Geschwind & Levitsky, 1968; Amunts, 2010; *Figura 1.1*). Inoltre, un'altra caratteristica fondamentale riguarda la capacità di ogni emisfero di controllare il lato controlaterale del corpo, proprio grazie a un fenomeno denominato “decussazione”, per cui i fasci nervosi di un emisfero “decussano”, cioè si incrociano e vanno ad agire sul lato opposto (Mistichelli, 1709).

Le prime evidenze scientifiche riguardo la lateralizzazione cerebrale risalgono al 1836, quando il dottore Marc Dax si stupì della mancanza di lesioni all'emisfero destro in pazienti con afasia linguistica (Manning & Thomas-Antérion, 2011). Qualche decennio più tardi, nel 1861, Paul Broca scoprì che la lesione della porzione anteriore sinistra del cervello comportava deficit di produzione linguistica (Berker et al., 1986).

In ambito accademico, le asimmetrie cerebrali sono state considerate una prerogativa umana fino a qualche decennio fa, anche se l'esistenza di lateralizzazioni nel comportamento degli animali era già nota da lungo tempo, anche da Broca stesso, che affermò: “esiste un grado minore, e pure evidente, di dissimetria nelle grandi scimmie” (Broca, 1865, p. 527). Da circa metà del secolo scorso però,

alcuni scienziati iniziarono a servirsi del modello animale per studiarne il cervello, con il fine poi di sperimentare delle tecniche o di trarre delle conclusioni su quello umano. Uno di questi fu Roger Sperry, il quale propose diversi studi sulla lateralizzazione cerebrale, sia sull'uomo che su gatti e scimmie. Sperry comprese innanzitutto l'analogia tra il cervello animale e quello umano, cogliendone le similitudini e la possibilità di utilizzare questa caratteristica a fini scientifici. A seguito di numerosi esperimenti su modello animale, fu in grado di studiare a fondo il cervello delle cavie per poi passare ad operazioni chirurgiche sull'uomo. Egli sezionò infatti il corpo calloso di pazienti epilettici farmacoresistenti, e notò che in alcuni compiti cognitivi, i due emisferi mostravano prestazioni qualitativamente differenti. Questo perché recidendo una struttura così importante come il corpo calloso le informazioni non vengono trasferite da un emisfero all'altro, ma rimangono confinate al lato del corpo controlaterale. Questi pazienti vennero poi successivamente chiamati *split brain* perché in alcuni compiti e in condizioni di laboratorio particolari, si comportavano come se avessero due cervelli separati (Sperry, 1961, 1982).

Con la scoperta della lateralizzazione anatomica negli animali non umani (Braitenberg & Kemali, 1970), gli scienziati cominciarono ad esplorare le asimmetrie di tipo funzionale. Tra le più note, si ricordano i dati di Fernando Nottebohm, che recidendo il ramo sinistro del nervo ipoglosso comportò l'incapacità di produrre il canto in due specie di uccelli canori, risultato che non ottenne sul nervo destro (Nottebohm, 1971, 1977). Nei pulcini di pollo domestico (*Gallus gallus*), si scoprì che l'iniezione di un inibitore della sintesi proteica, la cicloesimide, conduceva a effetti sull'apprendimento della discriminazione visiva e uditiva, ma solo nell'emisfero sinistro (Rogers & Anson, 1979). Queste evidenze divennero fondamentali per studiare l'area cerebrale collegata all'*imprinting*, il mesopallio mediale intermedio (IMM), all'interno del quale la parte sinistra si può ricondurre a un magazzino di memoria a lungo termine, mentre la parte destra consente di elaborare in modo più approfondito e dettagliato le informazioni (Cipolla-Neto et al., 1982; Horn, 1973, 2004).

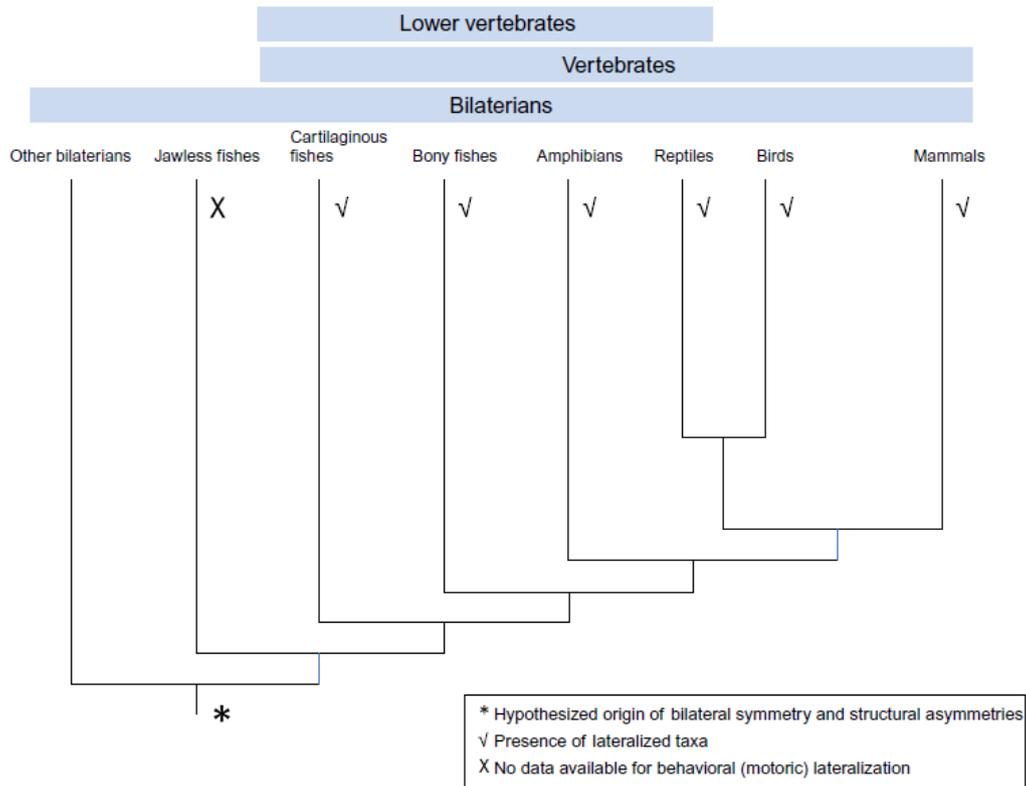
Da allora, si è avviato un consistente filone di ricerca sui pulcini di pollo che tutt'oggi è in corso con numerosi studi (Vallortigara, 2005; Marino, 2017).

Intorno agli anni Ottanta, Victor Denenberg condusse una serie di studi da cui emerse che la manipolazione nei cuccioli di ratti (detta anche *handling*) favoriva lo sviluppo di asimmetrie, proprio perché comportava un aumento del corpo calloso maggiore rispetto ai conspecifici non manipolati, e andava ad influenzare le funzioni specializzate dell'emisfero destro, come le emozioni negative (Denenberg, 1981).

La lateralizzazione cerebrale non può essere considerata una peculiarità umana, ma al contrario, vi sono diverse testimonianze del fatto che gli animali non umani condividano con l'uomo l'asimmetria anatomica del cervello, che si riflette di conseguenza sulla componente comportamentale. Qui di seguito verranno considerati i vertebrati (*Vertebrata*) come dimostrazione di questo fenomeno.

## **1.2 Studi di lateralizzazione sui vertebrati**

Come precedentemente accennato, è possibile affermare che la lateralizzazione si sia evoluta nelle diverse specie di vertebrati, con un'asimmetria anatomica collegata a quella funzionale e comportamentale. Questa affermazione va dunque a superare l'ideologia secondo cui la lateralizzazione sia solamente una prerogativa umana. In questo contesto, a livello evolutivo si possono ricercare le modalità in cui questa caratteristica si è sviluppata e modificata, creando una linea evolutiva del processo (*Figura 1.2*).



**Figura 1.2:** albero filogenetico delle asimmetrie riscontrate nei vertebrati e nei bilateria. La legenda indica l'ipotetica origine delle asimmetrie strutturali, e la presenza o meno di dati nei diversi Taxa. Photo credit – Stancher et al., 2018

È necessario specificare che l'asimmetria cerebrale e funzionale inizialmente attribuita alla specie umana possiede radici più profonde e intricate, che risalgono all'era Cambriana e Precambriana. Un modello animale efficiente nello studio dell'evoluzione della lateralizzazione è fornito dalla lancetta (*Branchiostoma*), la quale si ipotizza che come i suoi antenati, gli echinodermi primitivi e i cornuti, possieda un'asimmetria morfologica per nutrirsi più agevolmente sul fondale marino. La larva di questo animale infatti, presenta la bocca sul lato sinistro del corpo proprio per questa funzione. Pur non essendo un vertebrato, la lancetta ne presenta delle similitudini e fornisce informazioni importanti sulla loro evoluzione, costituendo un esempio di come le asimmetrie cerebrali e comportamentali partecipino ad un meccanismo evolutivo da migliaia di anni, e che continua ancora oggi, in molteplici specie animali.

Una dimostrazione di questo processo è data dalla presenza di numerosi studi in letteratura volti a indagare la lateralizzazione negli invertebrati. In una recente ricerca ad esempio, è stata riscontrata una differenza nelle asimmetrie olfattive funzionali tra api da miele (*Apis mellifera*), un'ape sociale, e api muratrici (*Osmia cornuta*), un'ape solitaria. Misurando la capacità di rievocare un ricordo olfattivo dopo l'addestramento, è emersa una migliore prestazione da parte dell'antenna destra rispetto all'antenna sinistra, anche se questo accadeva solo per le api mellifere. L'asimmetria di popolazione delle api da miele non è stata quindi rilevata nelle api muratrici, che mostravano una lateralizzazione a livello individuale nell'utilizzo delle antenne. Una possibile spiegazione a questo fenomeno è che durante la nutrizione vengono eseguiti alcuni comportamenti sociali solo dalle api mellifere, e non da quelle muratrici; un'ipotesi a sostegno della lateralizzazione come vantaggio nella vita sociale degli animali (Anfora et al., 2010).

Considerando solo il Subphylum dei vertebrati (*Vertebrata*), la lateralizzazione sembra essersi sviluppata in diverse specie animali. Le asimmetrie comportamentali possono emergere seguendo una "strategia evolutivamente stabile", una teoria dei giochi sviluppata da John Maynard-Smith (1982) e applicata successivamente alle specializzazioni emisferiche e comportamentali (Ghirlanda & Vallortigara, 2004; Vallortigara & Rogers, 2005). In questo contesto, le asimmetrie si sarebbero sviluppate evolutivamente in due fasi: inizialmente solo alcuni individui manifestano una preferenza, presentando quindi una lateralizzazione di tipo individuale. In seguito, gli individui sono spinti ad allineare la direzione della propria asimmetria poiché essa risulta un vantaggio rilevante nella vita sociale di gruppo; quando infatti la maggior parte di essi mostra la stessa preferenza, si parla di asimmetria di popolazione. Detto ciò, le asimmetrie possono essere distinte ulteriormente in base a forza (intensità della lateralizzazione) e direzione (preferenza sinistra/destra).

Si può pensare al classico caso in cui il predatore viene a contatto con la preda, e quest'ultima si deve confrontare con due possibilità: fuggire a destra o a sinistra. Gli individui che si raggruppano per scappare nella stessa direzione sembrano correre un rischio minore di essere catturati; questo fenomeno viene chiamato “diluizione del rischio di predazione”, ed è stato sviluppato Foster e Treherne (1981). La prevedibilità della strategia di questi individui però, potrebbe convertirsi in uno svantaggio: proprio per questo, risulta conveniente che all'interno del gruppo sociale vi siano soggetti che mostrano un'asimmetria con direzione opposta rispetto a quella di popolazione, così da rendere imprevedibile il loro comportamento. Questa capacità viene chiamata “selezione dipendente dalla frequenza”, e diviene un vantaggio quando questi individui costituiscono una piccola percentuale della popolazione, circa il 10%.

Le evidenze sulle asimmetrie anatomiche e funzionali nei vertebrati, e anche per quanto concerne il loro sviluppo, costituiscono un grande bacino di conoscenza nella letteratura scientifica da diversi decenni (per una sintesi, si veda la *Tabella 1*). A tal proposito, verranno quindi di seguito descritti brevemente alcuni studi, suddivisi per classi di Vertebrati.

**Tabella 1:** breve sintesi delle specializzazioni emisferiche e funzionali riscontrate nei vertebrati (per ulteriori dettagli, si veda Rogers et al., 2016).

<b>EMISFERO SINISTRO</b>	<b>EMISFERO DESTRO</b>
Attenzione focalizzata su stimoli ripetuti	Attenzione non focalizzata per le novità
Stimoli categorizzati	Risposte di emergenza; emozioni intense (paura, attacco)
Discriminazione da cibo e non cibo	Risposte allo stress (ormoni dello stress, frequenza cardiaca); tendenza cognitiva negativa, depressione
Segue le regole, impara	Riconoscimento dei volti
Può inibire l'emisfero destro	Posizione sociale rispetto ai membri del gruppo

### **1.2.1 Pesci**

Alcune specie di pesci risultano interessanti per quanto riguarda la lateralizzazione nella visione e nella loro risposta di fuga. In generale, considerando il sistema visivo sembra esserci una preferenza dell'occhio destro quando essi controllano i predatori, e dell'occhio sinistro quando stanno osservando delle prede o dei conspecifici (Rogers et al., 2016). Un caso interessante lo riscontriamo inoltre in alcune specie di pesci teleostei, che mostrano una preferenza nell'uso dell'occhio sinistro quando guardano la propria immagine allo specchio (Sovrano et al., 1999).

Nel caso in cui si trovassero di fronte a delle prede, i pesci tendono a fuggire, e utilizzano una risposta neurale denominata “reazione di partenza C”; il tronco, ripiegandosi da un lato, conduce a un colpo di coda che permette all'animale di acquisire maggiore velocità nel movimento. Questo circuito neurale appare lateralizzato, per questo la maggior parte delle specie studiate preferisce piegarsi sul lato sinistro piuttosto che sul destro, nel momento in cui incontra un predatore (Heuts, 1999; Lippolis et al., 2009).

### **1.2.2 Rettili e anfibi**

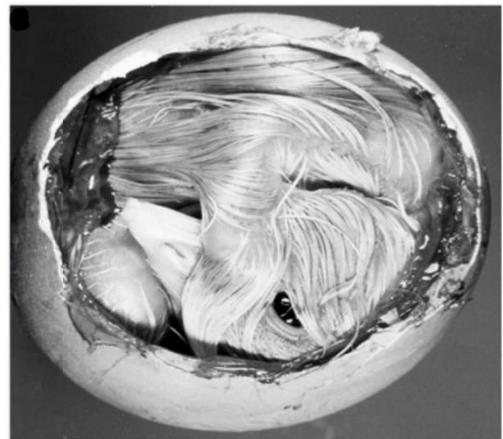
Diversi studi sulle asimmetrie comportamentali hanno riscontrato evidenze anche su rettili e anfibi. Per quanto riguarda il sistema visivo, è stato osservato che le femmine di lucertola striata degli altipiani (*Sceloropus virgatus*) tendono a manifestare comportamenti più aggressivi nei confronti dei maschi se essi appaiono alla loro sinistra, o nel loro campo visivo binoculare; come se l'emisfero destro andasse a determinare questo comportamento (Hews et al., 2004). I maschi della lucertola arboricola ornata (*Urosaurus ornatus*) manifestano lo stesso comportamento nei confronti di altri maschi (Hews & Worthington, 2001).

Questa stessa preferenza per l'utilizzo dell'occhio sinistro nel momento in cui si attivano comportamenti aggressivi o sessuali verso conspecifici, è stata osservata in alcune specie di rospi

(Robins et al., 1998; Vallortigara et al., 1998). Inoltre, nel rospo comune (*Bufo bufo*) è emersa una preferenza di popolazione per la zampa anteriore destra in un compito in cui dovevano rimuovere un oggetto dalla propria testa (Bisazza et al., 1996); la stessa zampa veniva utilizzata dal rospo delle canne (*Bufo marinus*) per tornare in posizione diritta dopo che il corpo era stato capovolto in acqua (Malaschichev & Wassersug, 2004).

### 1.2.3 Uccelli

Lo sviluppo della lateralizzazione negli uccelli possiede delle differenze all'interno delle stesse specie. I pulcini di pollo (*Gallus gallus domesticus*) ad esempio, al 18° giorno all'interno dell'uovo, compiono una rotazione che gli consente di portare l'occhio destro verso il guscio; questo movimento espone l'occhio stesso a una maggiore quantità di luce e permette un aumento di connessioni dal talamo al mesencefalo (Figura 1.3). Ciò conduce a uno sviluppo



**Figura 1.3:** esposizione al 18° giorno dell'occhio destro verso la luce.  
Photo credit: Halpern et al., 2005

lateralizzato della vita talamofugale, che porta il pulcino a una maggiore capacità di apprendere una discriminazione spaziale tra destra e sinistra (Rogers & Sink, 1988; Rogers & Deng, 1999).

I piccioni (*Columba livia*) invece, ruotano all'interno dell'uovo in un altro momento dello sviluppo, portando a una maggiore lateralizzazione del sistema tettofugale verso sinistra, vale a dire quindi a maggiori connessioni tra il tetto ottico, il corrispettivo del collicolo superiore nei mammiferi, e il mesencefalo. I piccioni mostrano pertanto una dominanza per l'occhio destro. Un'altra differenza sostanziale è che mentre la lateralizzazione nei piccioni selvatici sembra essere permanente (Güntürkün, 2002), nei polli è solo transitoria; in quest'ultimo caso però, da essa scaturiranno altre asimmetrie che risulteranno permanenti (Rogers & Deng, 1999).

Per quanto concerne l'aspetto funzionale, un recente studio ha riscontrato una preferenza a livello individuale in alcune specie di pappagalli Ara (*Ara chloropterus*, *Ara ararauna*, *Ara macao*) durante l'esecuzione di un compito cognitivo; ciò suggerisce che la lateralizzazione manuale di questi soggetti possa aver influito sulla performance del *task* cognitivo (Regaiolli et al., 2021a).

#### **1.2.4 Mammiferi**

Vi sono numerose evidenze sulla lateralizzazione motoria e comportamentale nei mammiferi. Partendo dall'uomo, è ormai riconosciuto che circa il 90% della popolazione mondiale sia destrimane (Porec & Coren, 1981; McManus, 2002), e questo sembra essere collegato a una specializzazione delle regioni deputate all'elaborazione del linguaggio nell'emisfero sinistro nel 95% degli individui (Lurito & Dzemic, 2001). Secondo un'ipotesi di Marion Annett (1985), vi sarebbe un meccanismo genetico ereditabile alla base di questa asimmetria. Tuttavia, questa correlazione tra preferenza manuale destra e lateralizzazione dell'emisfero sinistro per il linguaggio è ancora fonte di accesi dibattiti (McManus, 2019).

Nelle scimmie antropomorfe, inizialmente si era riscontrata una lateralità manuale destra, in particolare negli scimpanzé (*Pan troglodytes*; Hopkins et al., 2006) e nei gorilla (*Gorilla gorilla*; Meguerditchian, 2010a) in cattività, ipotizzando che questa tendenza fosse da attribuire all'esposizione di queste specie alla cultura umana (McGrew & Marchant, 1997). Numerosi studi hanno poi dimostrato l'infondatezza di questi dati, appurando che non solo questa caratteristica è stata riscontrata anche in natura, ma anche che riguarda altre specie di primati. Secondo Rogers (2018), la preferenza manuale è più che altro riscontrabile a livello individuale e non di popolazione, con differenze significative nelle performance dei soggetti. Nella sua ricerca sugli uistiti dai pennacchi bianchi (*Callithrix jacchus*), la forza della preferenza manuale, piuttosto che la direzione, è legata all'abilità di svolgere due attività contemporaneamente, come per esempio il rilevamento di un

predatore durante l'attività di *foraging*. In una recente ricerca sugli ilobatidi (*Hylobatidae*) è emersa una preferenza dell'uso della mano sinistra nel *Tube task*, significativa solo nel siamango (*Symphalangus syndactylus*) ma non nel gibbone dalle guance bianche settentrionale (*Nomascus leucogenys*; Morino et al., 2017). Una preferenza nell'uso della mano destra è stata invece rilevata a livello di gruppo nei lemuri dalla coda ad anelli (*Lemur catta*) sia durante il compito unimanuale che durante quello bimanuale, in cui i soggetti dovevano raggiungere del cibo all'interno di una scatola con una o due mani; a livello individuale invece, il compito bimanuale sembrava elicitare una preferenza maggiore dell'uso di una delle due mani rispetto a quello unimanuale (Regaiolli et al., 2016). A livello individuale, Schweitzer et al. (2007) hanno riscontrato nei cercopitechi di Brazzà (*Cercopithecus neglectus*) una maggiore forza nella lateralizzazione nei compiti sperimentali rispetto alle attività quotidiane e spontanee, rivelando che il compito cognitivo complesso sembra indurre una maggiore lateralizzazione comportamentale.

Oltre ai Primati, vi sono diversi studi che hanno analizzato la preferenza manuale in altri ordini. Interessante l'esempio dei macropodidi (*Macropodidae*): una ricerca sui wallaby dal collo rosso (*Notamacropus rufogriseus*) ha riscontrato una preferenza di gruppo per la zampa sinistra in numerosi comportamenti spontanei. Tale asimmetria fa supporre una specializzazione dell'emisfero destro per il processamento delle emozioni e per il mantenimento della postura (Spiezio et al., 2016).

In riferimento ai Carnivori, si dispone di diverse pubblicazioni in letteratura. Una recente metanalisi di Ocklenburg et al. (2019) ha raccolto numerose ricerche per quanto concerne la preferenza manuale di canidi (*Canidae*) e felidi (*Felidae*), riscontrando in linea generale delle preferenze a livello individuale ma non una lateralizzazione di popolazione, per quanto vi siano i presupposti per ritenere che il processo di domesticazione debba aver influito sulla loro asimmetria. Oltre al cane (*Canis familiaris*) e al gatto (*Felis catus*), la preferenza manuale è stata investigata anche

nei leoni (*Panthera leo*), nei quali a livello di gruppo la preferenza risiede nella zampa destra (Zucca et al., 2010). Negli Ursidi (*Ursidae*), nello specifico nell'orso kermode (*Ursus americanus kermodei*) è emersa una lateralizzazione a livello individuale per l'azione di *foraging*, presentando una variabilità nell'utilizzo delle zampe, e una lateralizzazione a livello di gruppo per la zampa destra per quanto riguarda lo *scavenging*, cioè l'azione di rovistare nelle carcasse (Reimchen & Spoljaric, 2011). In uno studio preliminare sulle lontre dalle piccole unghie (*Aonyx cinereus*), appartenente alla famiglia dei mustelidi (*Mustelidae*), è emersa un'asimmetria a livello individuale nell'uso della zampa, con una preferenza a livello di gruppo per uno specifico comportamento nell'utilizzo della zampa destra (Manns et al., 2018); questo risultato è in linea con ciò che è stato precedentemente riscontrato in letteratura (Ströckens et al., 2013).

Vi sono evidenze che la lateralizzazione sia legata al *task* cognitivo o comportamentale da eseguire: ad esempio, in uno studio sui lupi (*Canis lupus*) i soggetti presentavano una lateralizzazione a livello individuale quando interagivano con un arricchimento cognitivo, di tipo olfattivo e di tipo alimentare (Regaiolli et al., 2021b; *Figura 1.4*).



**Figura 1.4:** Lupo (*Canis lupus*) al Parco Natura Viva durante la somministrazione dell'arricchimento cognitivo. Photo credit: Parco Natura Viva

Per quanto concerne la lateralizzazione comportamentale e la preferenza manuale nei suricati (*Suricata suricatta*) attualmente in letteratura non si riscontrano evidenze, neppure considerando la famiglia di appartenenza (*Herpistidae*). L'evoluzione delle asimmetrie dei vertebrati fornisce quindi una base fondamentale per poter indagare questo aspetto, anche in una specie attualmente non ancora indagata. Diventa quindi necessario approfondire le caratteristiche morfologiche, funzionali e cognitive di questa specie, nello specifico la lateralizzazione comportamentale, con l'obiettivo di colmare un vuoto in letteratura.

## 2. SCOPO DELLO STUDIO

Considerando l'assenza di ricerche in letteratura, il presente studio si pone come obiettivo principale quello di investigare la manifestazione della preferenza manuale nei suricati (*S. suricatta*). I soggetti, membri della colonia ospitata al Parco Natura Viva (VR), sono stati osservati sia durante l'attività quotidiana e spontanea, ovvero mentre i suricati svolgevano le loro azioni abituali, sia durante la presentazione di un compito cognitivo complesso di *problem solving*. Nello specifico, questo studio si pone l'obiettivo di:

- Stabilire se, a livello di gruppo e individuale, vi sia una preferenza nell'uso di una zampa sola o di due zampe simultaneamente, considerando tutti i comportamenti lateralizzati;
- Stabilire se, a livello di gruppo e individuale, vi sia una preferenza nell'uso della zampa anteriore destra o della zampa anteriore sinistra, considerando tutti e i singoli comportamenti lateralizzati, sia nella situazione di *Baseline* sia durante lo svolgimento di *Problem solving*;
- Verificare se nella risoluzione di un compito cognitivo complesso (definito *Problem solving*) emerge una preferenza della zampa destra o della zampa sinistra.

Dunque, l'indagine sulla lateralizzazione comportamentale in questo gruppo di *S. suricatta* conduce necessariamente ad accrescere le conoscenze sull'aspetto cognitivo della specie, colmando un vuoto presente in letteratura. Oltre a ciò, il fatto di fornire agli animali nuovi strumenti e apparati con cui interagire, come ad esempio gli arricchimenti quotidiani, permette loro di sviluppare nuove abilità e funzioni cognitive, le quali si traducono in un miglioramento del benessere della specie stessa. Ciò vale per una grande varietà di specie, considerata l'intera collezione che un parco zoologico può ospitare, rimarcando quindi l'importanza della ricerca in questo settore (Hopper, 2017).

### 3. LA SPECIE: I SURICATI

#### 3.1 Classificazione e descrizione

Classe: *Mammalia*

Ordine: *Carnivora*

Sottordine: *Feliformia*

Famiglia: *Herpestidae*

Genere: *Suricata*

Specie: *S. suricatta*

Vengono riconosciute 3 sottospecie:

- *S. s. suricatta*
- *S. s. iona* (Cabral, 1971)
- *S. s. majoriae* (Bradfield, 1936)

I Suricati (Schreber, 1776; *Figura 3.1*) appartengono alla famiglia delle manguste (*Herpestidae*) e vivono in zone aride dell'Africa meridionale. Si tratta di una specie diurna, carnivora e gregaria; gli individui non mostrano dimorfismo sessuale accentuato, sebbene i maschi dominanti possono presentarsi come leggermente più robusti.

Il corpo allungato e snello dei suricati può arrivare a 731gr nei maschi e 720gr nelle femmine, con un'altezza di 250/350mm. Essi presentano una testa appuntita verso un naso piccolo e bruno. Gli occhi sono caratterizzati da un contorno marcatamente scuro per proteggerli dai forti raggi solari; possiedono una visione binoculare e stereoscopica, che permette loro di percepire le profondità, e di notare un predatore anche se molto distante (Moran et al., 1983). Le orecchie sono piccole e nere e la forma del padiglione varia nei diversi individui. I piccoli sono altriciali, quindi occhi e orecchie sono chiusi alla nascita, e vanno ad aprirsi nelle settimane successive (van Staaden, 1994). I suricati possiedono una lunga coda con dei peli più scuri nella parte finale, utilizzata come appoggio quando si mantengono in equilibrio, e rialzata quando corrono velocemente. Generalmente il colore del pelo tende al marrone chiaro, bianco e grigiastro, ma varia in base alla zona geografica. Sull'addome il pelo è meno folto, e sporgono tre paia di mammelle. Le zampe sono a quattro dita e con dei cuscinetti morbidi, per aiutarli nella locomozione, e soprattutto quelle anteriori sono caratterizzate da artigli, lunghi, forti e affilati, utili per scavare buche e dissotterrare il cibo dal terreno.



*Figura 3.1: Suricato - Photo credit: Parco Natura Viva*

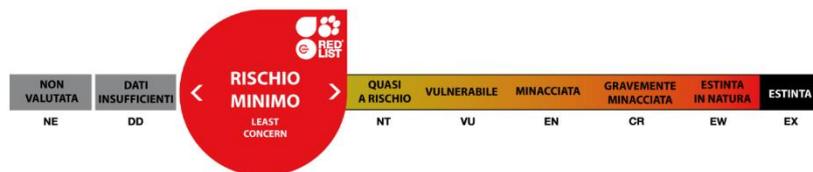
### 3.2 Distribuzione, habitat e conservazione

L'areale di distribuzione di questa specie (Figura 3.2) comprende gran parte dell'Africa meridionale, più precisamente nella Namibia e nel Botswana sud-occidentale, e del Sudafrica settentrionale, con una piccola porzione nel sud dell'Angola. I suricati occupano principalmente zone aride e aperte, caratterizzate da erba bassa e piccoli arbusti sparsi. Si distribuiscono nelle boscaglie di Acacia in Botswana, karoo in Sudafrica, Highland e Camlethorn in Namibia; la precipitazione media annuale in genere è inferiore a 600 mm. Possono vivere anche in ambienti rocciosi lungo letti di fiumi asciutti, ma sono assenti nei deserti veri e propri, nelle aree forestali e nelle zone montane.



**Figura 3.2:** Areale di distribuzione della specie *Suricata suricatta* – Photo credit: IUCN Red List

L'andamento della popolazione viene considerato stabile dalla *IUCN Red List*, che classifica *Suricata suricatta* come specie a rischio minimo (*Least Concern, LC*), anche grazie al vasto areale e all'inconsistente presenza di minacce importanti. Abitando un areale molto vasto, la densità della popolazione dei suricati varia infatti in base alla presenza di predatori e precipitazioni (Figura 3.3).



**Figura 3.3:** Livello di rischio della specie secondo la *IUCN Red List*, che classifica a livello mondiale lo stato di conservazione di flora e fauna – Photo credit: IUCN Red List

### 3.3 Biologia

#### 3.3.1 *Struttura sociale e comportamento*

La struttura sociale dei gruppi di suricati è composta in numero variabile da 3 a 30 individui, seguendo una gerarchia in cui ogni membro del gruppo ha un proprio ruolo. La femmina dominante, a cui è affidata la maggior parte della riproduzione, e il maschio dominante, che è il padre dei cuccioli, costituiscono la coppia Alpha. Questi due individui si distinguono rispetto al resto della colonia poiché ricevono più grooming e vengono attaccati notevolmente meno (Griffin, 2003). L'acquisizione della dominanza da parte della femmina dipende da molteplici fattori, tra cui l'età e le dimensioni fisiche; alla morte della dominante infatti, si avvia un processo di lotte competitive tra le subordinate, e solitamente la vincitrice è colei che possiede una struttura fisica più importante rispetto alle altre (Thavarajah et al., 2014). Una volta stabilita la femmina Alpha per diversi mesi, è improbabile che si verifichino insurrezioni per spodestarla, a meno che non entrino in gioco malattie o problematiche fisiche (Sharp & Clutton-Brock, 2009; citato da Koenig & Dickinson, 2016).

La colonia è costituita inoltre da individui Beta, gli aiutanti, solitamente nati dalla coppia dominante o imparentati con essa; alcuni gruppi possono contenere inoltre maschi immigrati da altre colonie (Clutton-Brock et al., 1999a). Le femmine subordinate invece, tendono a rimanere con il gruppo di appartenenza anche se in genere viene impedito loro di riprodursi; la femmina Alpha espelle infatti le subordinate incinte o uccide i loro piccoli appena nati, in modo tale da assicurare un vantaggio di sopravvivenza per i propri cuccioli (Clutton-Brock et al., 1998a), ed esse sono quindi costrette a formare una nuova colonia altrove. Occasionalmente però, in stagioni particolarmente abbondanti, le femmine subordinate possono avere la possibilità di riprodursi sincronizzando la gestazione con la dominante (Clutton-Brock et al., 1999b).

Nella maggior parte dei casi, gli aiutanti possono cooperare svolgendo alcuni compiti: sorvegliare i cuccioli della coppia dominante (*babysitting*), cercare e fornire cibo ai piccoli (*pup feeding*), rinnovare e rinforzare i canali sotterranei (*social digging*), e fare da guardia mentre altri membri della

colonia stanno procacciando cibo (*raised guarding*) (Doolan & Macdonald, 1999; Clutton-Brock et al., 2003). Tra gli aiutanti, le femmine tendono ad occuparsi maggiormente dei cuccioli, mentre i maschi sono più attivi nel comportamento di sentinella (Clutton-Brock et al., 2002).

Le femmine subordinate, costrette a non riprodursi o rimanendo senza cuccioli, sono però incoraggiate dalla femmina Alpha a rimanere nella colonia per fare da *babysitter* ai propri cuccioli, un comportamento effettivamente conveniente per la sopravvivenza dei piccoli (Clutton-Brock et al., 2001). I *babysitter* devono infatti occuparsi dei cuccioli mentre il resto della colonia è impegnata a procacciare cibo, e sono gli individui che seguiranno maggiormente le cure parentali nel corso della crescita, dato che la coppia dominante si occupa sporadicamente dell'accudimento dei propri cuccioli (Clutton-Brock et al., 1998b; O'Riain et al., 2000).

Un'attività estremamente caratterizzante di questa specie è lo scavare (*digging*); i suricati infatti utilizzano le loro unghie lunghe e affilate per cercare cibo nella sabbia (Doolan & Macdonald, 1996) oppure per spostare la terra al fine di creare tane e cunicoli sotterranei, come luogo di riposo o riparo. La quantità di tempo trascorsa a scavare sembra essere direttamente correlata al peso e all'età dell'individuo (Clutton-Brock et al., 2002).

Il comportamento di sentinella (chiamato anche *raised guarding*; *Figura 3.4*) viene eseguito a turno dai membri della colonia, e consiste nel vigilare e sorvegliare il territorio circostante. Solitamente viene svolto in un punto abbastanza alto dell'ambiente, come per esempio alberi o rocce, in modo tale che la visuale sia più ampia possibile. Questo consente agli altri individui della colonia di foraggiarsi nell'ambiente circostante senza rimanere costantemente in all'erta, e contemporaneamente nascondersi nelle tane o in altri luoghi di riparo nel momento in cui la sentinella



**Figura 3.4:** Posizione di "raised guarding" di una femmina al Parco Natura Viva -  
Photo Credit: Flavia Fiorato

avverte un pericolo imminente. L'individuo comunica l'inizio del proprio turno da sentinella attraverso uno specifico vocalizzo, che differisce per ognuno, e l'attività non viene necessariamente svolta con pattern di turni rigidi (Manser, 1999). Vengono inoltre prodotti vocalizzazioni di diverso tipo, alcune con l'intento di tranquillizzare il gruppo e altre per allarmarlo in caso di pericolo, ognuna delle quali con uno specifico significato. In particolare, i richiami utilizzati in situazioni di pericolo sono stati classificati in base all'urgenza (bassa, media o alta) e alla tipologia di predatore (aereo o terrestre) (Manser, 2001; Rauber & Manser, 2017).

Nel caso di un predatore aereo, la strategia vincente è quella di nascondersi nelle tane più vicine; mentre qualora avvistassero un predatore terrestre, attuano un comportamento apparentemente paradossale chiamato *mobbing*, il quale consiste nel circondare il potenziale predatore con le code alzate ed emettendo vocalizzazioni. Questo consente sia di cacciarlo, che di raccogliere informazioni su di esso, in modo tale da essere più preparati all'ipotetica minaccia in futuro; diventa inoltre un'ottima occasione per i giovani suricati di osservare e imparare questa tipologia di comportamento (Manser et al., 2001; Graw & Manser, 2007).

Infine, il *grooming* (o "spulciamento") possiede la principale funzione di rafforzare i legami all'interno del gruppo: non si tratta semplicemente di un fattore igienico di ispezione del pelo, ma anche e soprattutto di un'attività con specifiche caratteristiche sociali. Il grooming infatti, mantiene in modo stretto il legame sessuale nella coppia dominante e trasmette le cure parentali, riflette i conflitti tra i vari individui ed è usato come mezzo da parte dei subordinati per placare l'aggressività dei dominanti nei loro confronti (Kutsukake & Clutton-Brock, 2005).

### ***3.3.2 Dieta e alimentazione***

I suricati sono animali diurni e tendono ad uscire dai loro cunicoli durante le prime ore di luce, organizzandosi in bande per foraggiare, e tornando nelle tane al tramonto. Pur essendo principalmente insettivori, i suricati includono nella loro alimentazione anche altri artropodi e piccoli vertebrati, come mammiferi, serpenti e uccelli, ma possono anche cibarsi di frutta, tuberi e verdura (Doolan & Macdonald, 1996). Provenendo da aree desertiche, non sono soliti bere acqua ma si idratano da altre fonti, come radici e tuberi (van Staaden, 1994).

I suricati risultano essere immuni principalmente al veleno di scorpioni ma anche al veleno di altri animali, come alcuni serpenti (English, 2010; citato da Azmilumur, 2017); nel caso dello scorpione ad esempio, tendono prima di tutto a bloccare la preda staccando la sua coda per poi cibarsi del resto del corpo. Questo risulta anche molto utile per insegnare i cuccioli a cacciare, e gli individui più grandi lasciano infatti la preda più o meno in vita a seconda dell'età del piccolo (Thornton & McAuliffe, 2012).

### ***3.3.3 Riproduzione e sviluppo***

Le femmine di suricato sono considerate adulte ad 1 anno, anche se generalmente non si accoppiano fino ai 2 anni di età. La riproduzione è estremamente collegata alle piogge; meno la stagione è secca, e più cibo ci sarà a disposizione, e le nascite saranno quindi più numerose. Infatti, la maggior parte delle nascite si verificano tra gennaio e aprile, ma possono coprire anche i mesi più caldi ed estendersi a tutto l'anno (Doolan & Macdonald, 1996; citato da Doolan & Macdonald, 1997). La gestazione di questa specie dura circa 60 giorni e la femmina può partorire dai 3 ai 5 cuccioli al massimo, con una distanza tra due nascite di 80-90 giorni (Lynch, 1980; citato da Clutton-Brock et al., 1999b).

I cuccioli di *Suricata suricatta* (Figura 3.5) sono altriciali, quindi nascono con occhi e orecchie chiusi, che si apriranno a circa 10 giorni dalla nascita; i piccoli necessitano della stimolazione della madre per defecare o urinare. Lo svezzamento avviene a 49/63 giorni dalla nascita, e fino a quel momento si nutrono del latte materno. Dalla nascita fino a circa 3 settimane, i piccoli non escono dalla tana, per poi emergere e imparare a spostarsi cautamente con il resto del gruppo (van Staaden, 1994).

Come precedentemente detto, circa l'80% delle nascite appartiene alla coppia dominante; gli altri membri della colonia, potendosi riprodurre raramente, svolgeranno in questi casi mansioni da *babysitter*, controllando i piccoli e aiutandoli nella crescita (Clutton-Brock et al., 1998b; Clutton-Brock et al., 1999a; O'Riain et al., 2000).



*Figura 3.5: Femmina di suricato con i cuccioli - Photo credit: Parco Natura Viva*

### **3.4 Ricerca e comportamento di problem solving**

Il comportamento dei suricati, sia in natura che in cattività, è ancora scarsamente studiato, sebbene le evidenze sulle capacità di *problem solving* dei mammiferi carnivori siano ampiamente confermate (Thornton & Samson, 2012; in Johnson-Ulrich et al., 2022). In uno studio riguardante 63 suricati selvatici, 13 sono riusciti ad apprendere uno dei tre modi per completare il problema della “scatola puzzle” in modo cooperativo, e quattro di loro hanno risolto tutte e tre le scatole.

Sicuramente l'aspetto sociale ha un ruolo anche nell'apprendimento (Hoppitt et al., 2012), poiché sembra ricondursi a una maggiore partecipazione al compito; mentre a livello individuale riguarda più l'acquisizione del compito vero e proprio. L'acquisizione di nuove tecniche per procacciarsi il cibo viene trasmessa ai membri meno esperti (Thornton & Malapert, 2009), sebbene gli individui più propensi a imparare nuovi metodi siano giovani e non membri anziani del gruppo. Questo dimostra che le capacità cognitive di apprendimento sono un aspetto importante della vita sociale dei suricati, e che le nuove informazioni acquisite vengono condivise con il resto della colonia.

Oltre alle fondamentali capacità di apprendimento, i suricati si avvalgono di altre sorprendenti abilità cognitive: utilizzano infatti le vocalizzazioni di ogni singolo individuo per riconoscersi fra di loro. Anche se ciò non dimostra necessariamente che sappiano formarsi una rappresentazione globale dell'altro, non ci sono evidenze scientifiche che negano che il semplice aspetto uditivo sia insufficiente per il riconoscimento (Townsend et al., 2012).

Possiedono inoltre un'incredibile capacità di orientamento nell'ambiente in cui vivono, dimostrando di conoscere la giusta distanza e direzione dalla buca più vicina, da intraprendere nel caso di minaccia imminente. Le aree desertiche in cui vivono rendono difficili ulteriori studi sui possibili *landmark* che i suricati utilizzerebbero per orientarsi (Manser & Bell, 2004), ma numerose ricerche su diverse specie animali hanno dimostrato la presenza nell'ippocampo delle *place cells*, neuroni specifici che si attivano in un particolare punto dell'ambiente già visitato (O'Keefe & Dostrovsky, 1971) e che adatterebbero la propria attivazione in base alla tipologia di ambiente della specie (Finkelstein et al., 2016).

Attualmente però, non si riscontrano in letteratura studi sulla lateralizzazione e comportamentale della specie *Suricata suricatta*: lo studio che segue intende proprio colmare questa assenza di dati, verificando la presenza di ulteriori aspetti cognitivi, nello specifico della lateralizzazione, nei suricati.

## 4. MATERIALE E METODI

### 4.1 Area di studio

Il progetto di ricerca si è svolto all'interno del Parco Natura Viva (*Figura 4.1*), un moderno Parco Zoologico in provincia di Verona. Il Parco fu progettato dal 1965 e venne inaugurato il 21 giugno 1969 con un percorso all'interno di circa 10 ettari, ciò che oggi è chiamato Faunistico. Nel 1973 venne aggiunto un settore dedicato ai mammiferi e agli uccelli africani denominato Safari, da visitare tramite il proprio autoveicolo. Nel 1978 il Parco venne ulteriormente ampliato con l'Aquaterrarium, la Serra Tropicale e l'area Dinosauri, quest'ultima con modelli a grandezza naturale dei rettili del passato. Nel 2019 la Serra Tropicale è stata sostituita dalla più moderna House of Giants, ovvero la Serra dei Giganti, nella quale si possono ammirare giganti e nani del regno animale, fra cui rettili, anfibi ed insetti.

Nel 2012 è inoltre nata Fondazione A.R.C.A. (Animal Research Conservation in Action) come naturale espansione della tutela della biodiversità del Parco Natura Viva. Fondazione A.R.C.A. contribuisce al coinvolgimento e all'educazione delle comunità locali laddove il Parco agisce direttamente con diversi progetti ancora in corso (Progetto Leopardi delle Nevi, Progetto Bisonti, Progetto Gipeto e altri ancora).

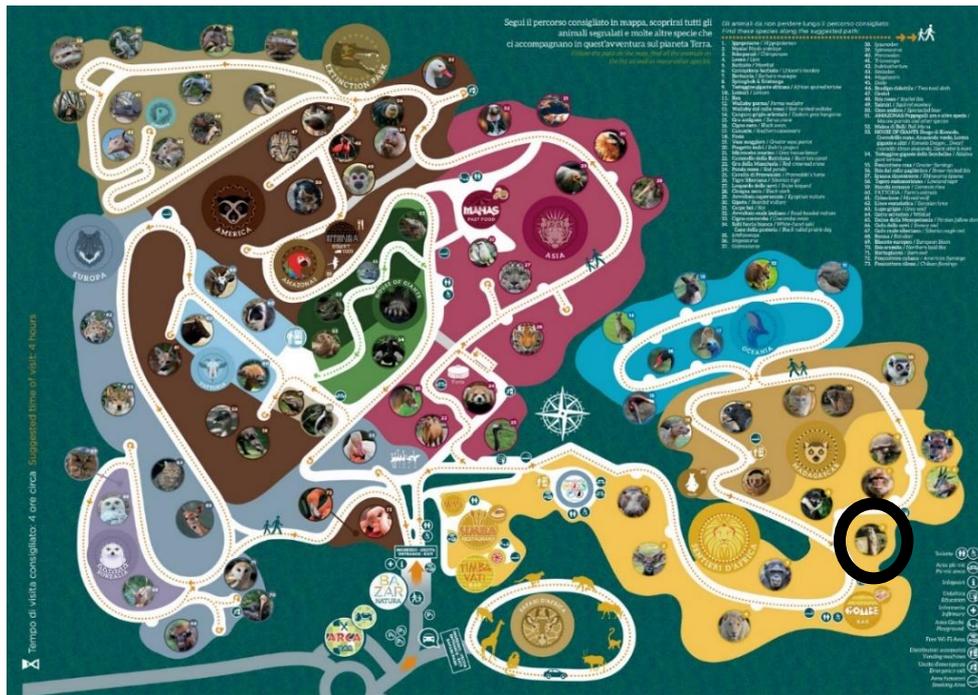


Figura 4.1: Mappa del Parco Faunistico, con il reparto dei suricati cerchiato in nero.

## 4.2 Colonia del Parco

### 4.2.1 Reparto

Il reparto dei suricati (Figura 4.2) è costituito da due aree, una esterna e una interna, circondati da rocce artificiali e comunicanti tra di loro. In questo modo, gli individui possono passare da una zona all'altra e scegliere dove stare.

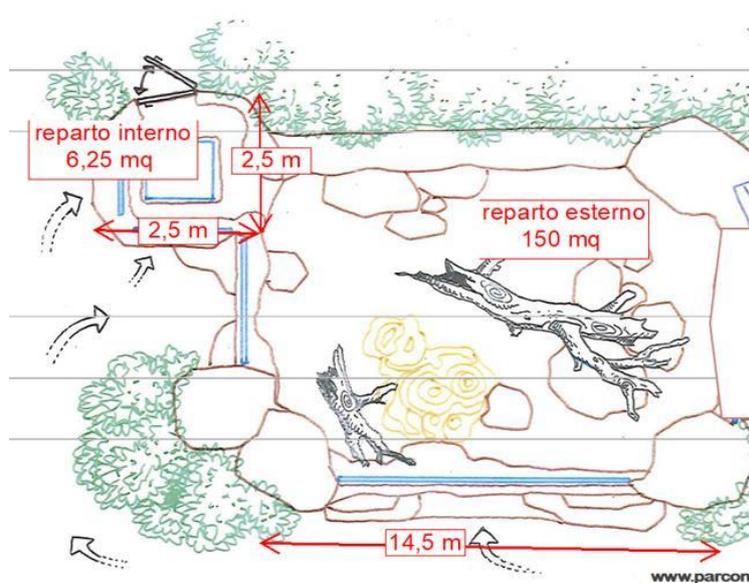


Figura 4.2: schizzo del reparto dei suricati, con misure indicate in figura.

Il reparto interno è una piccola area di forma quadratica con grandezza di 6,25 mq, utilizzato più frequentemente d'inverno e presenta una vetrata dalla quale i visitatori possono vedere i suricati quando sono nel reparto interno. Il reparto esterno invece, la cui grandezza è di circa 150 mq, è di forma rettangolare e anch'esso presenta su due lati degli osservatori in vetro per i visitatori, mentre sui lati restanti vi sono le rocce artificiali. All'interno di esso troviamo diversi arricchimenti per i suricati, come tronchi di legno e rocce da cui monitorare l'ambiente o trovare piccoli insetti; un ombrellone con lampada riscaldante per i mesi più freddi; inoltre sono disposte due cassette in legno nelle quali i keeper inseriscono le ciotole di cibo. Vi sono diversi tunnel e gallerie costruite interamente dai suricati e che essi utilizzano come tane o per dormire durante i periodi più caldi. Per ultimo, diverse piante sono state inserite per rendere l'ambiente più realistico. Nella parte posteriore dell'intero reparto, sono presenti due porticine a cui hanno accesso solo i keeper addetti ai suricati, che danno accesso rispettivamente all'area interna ed esterna.

#### **4.2.2 Gestione**

Ai suricati viene somministrata quotidianamente una dieta studiata e bilanciata in base alle loro esigenze. Giornalmente viene infatti fornita verdura o frutta, suddivisa in due pasti, e in uno di questi viene associata una proteina, tra insetti (tarme, locuste, caimani), carne bianca o rossa, e uova. L'acqua fresca e pulita è sempre a disposizione dei suricati, generalmente posizionata nel reparto interno. Oltre ai pasti principali, possono essere forniti diversi arricchimenti agli animali. Si può trattare di arricchimenti alimentari, e in questo caso può essere cibo sparso nel reparto (sia insetti che cereali di diverso tipo) o di arricchimenti più strutturati, come scatole, fagotti o vestiti contenenti cibo e odori. Questi arricchimenti vengono alternati quotidianamente, inserendone di nuovi di tanto in tanto.

### 4.3 Soggetti sperimentali

Lo studio è stato condotto su una colonia composta da 10 individui di *S. suricatta*, tra cui la coppia riproduttiva con i figli nati tra il 2016 e il 2019. Tutti i soggetti inclusi nello studio sono ospitati al Parco Natura Viva, e sono nati e cresciuti in un ambiente controllato, allevati dai genitori naturali e dai membri della colonia stessa. L'interazione diretta uomo-suricato si limita a quando i keeper entrano nel reparto unicamente per pulire o per portare i pasti. È stato possibile riconoscere tutti i soggetti presenti in base alle loro caratteristiche fisiche, ed è stato assegnato ad ognuno un nome di fantasia e una lettera dell'alfabeto (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J).

### 4.4 Apparato sperimentale

Questo studio è volto a indagare la preferenza nell'uso delle zampe dei suricati, sia durante l'attività quotidiana che durante lo svolgimento di un compito cognitivo. Per valutare la preferenza con un compito più complesso delle azioni quotidiane, è stato presentato un apparato sperimentale costruito *ad hoc* dallo staff del Parco Natura Viva, da un'idea del "Loro Parque" a Tenerife. Sono state posizionate due impalcature in legno (40x25 cm ciascuna), alla cui sommità vi erano delle fessure in cui venivano inserite le aste di ferro con i cilindri (15 cm di diametro; 50 cm di lunghezza; *Figura 4.3*).

Questi ultimi sono stati forati e al loro interno inserite delle tarme della farina (*Tenebrio molitor*); questo insetto è molto apprezzato dai suricati e li motivava quindi a utilizzare



**Figura 4.3:** Cilindri utilizzati per l'esperimento, sui quali sono stati eseguiti 9 buchi per coppia.  
Photo credit: Flavia Fiorato

l'apparato. Le impalcature, a distanza di 30 cm l'una dall'altra, sorreggevano due cilindri ciascuna,

per un totale di quattro cilindri. L'altezza delle impalcature è stata studiata appositamente per dar modo ai suricati di raggiungere i cilindri sorreggendosi sulle zampe posteriori.

La funzione cognitiva di questo apparato riguarda il *problem solving* e cioè la capacità di risolvere problemi. Presentando questo nuovo apparato il suricato deve comprendere quale azione svolgere per ottenere la ricompensa posta al suo interno. Nel corso delle sessioni, infatti, i suricati hanno avuto modo di sperimentare tecniche differenti per raggiungere il cibo. Questi aspetti ed altre facoltà cognitive si ipotizzi vadano a concorrere nello sviluppo di un'asimmetria motoria e comportamentale più marcata.

#### **4.5 Disegno e procedura sperimentale**

Lo studio si è svolto principalmente in due fasi: la fase preliminare e la fase di raccolta dati. Quest'ultima a sua volta è suddivisa in raccolta dati *Baseline* e raccolta dati *Problem solving*.

Durante la fase preliminare, è stato possibile osservare i suricati direttamente al Parco Natura Viva nel mese di luglio per:

- Effettuare il riconoscimento individuale di ciascun individuo in base alle loro caratteristiche fisiche e morfologiche;
- Definire un etogramma di categorie comportamentali dei suricati utilizzando e integrando quando già presente in letteratura (RZSS, n.d.; *Tabella 2*);
- Individuare i possibili comportamenti utili a studiare la preferenza manuale (*Digging, Foraging, Locomotion, Object manipulation*). In *Tabella 3* viene indicata la modalità con cui è stata raccolta la preferenza manuale.

**Tabella 2:** categorie comportamentali, suddivise per pattern individuali e sociali

	<b>CATEGORIA</b>	<b>SIGLA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<i>COMPORAMENTI INDIVIDUALI</i>	<i>Digging</i>	DG	Il suricato scava, spostando la terra e creando buche.
	<i>Foraging</i>	FR	Il suricato smuove il terreno alla ricerca di cibo.
	<i>Locomotion</i>	LC	Il suricato si muove; cammina, corre o si arrampica.
	<i>Object Manipulation</i>	OM	Il suricato sposta, gratta e manipola l'apparato sperimentale.
	<i>Feeding</i>	FD	Il suricato mangia.
	<i>Sniffing</i>	SN	Il suricato annusa l'oggetto o l'ambiente.
	<i>Resting</i>	RST	Il suricato è inattivo, sdraiato o seduto, con occhi aperti o chiusi.
	<i>Look out</i>	LO	Il suricato si guarda intorno da terra, è allerto e vigile.
	<i>Sentry</i>	S	Il suricato si guarda intorno, è allerto e vigile e si trova in uno dei punti più alti del reparto. Richiama gli altri membri della colonia in caso di possibile minaccia.
	<i>Eliminating</i>	EL	Il suricato urina o defeca.
	<i>Hiding</i>	HI	Il suricato si nasconde velocemente nelle buche a seguito di una possibile minaccia (es. suono).
	<i>Cleaning</i>	CL	Il suricato si pulisce leccandosi.
	<i>Not Visible</i>	NV	Il suricato non è visibile.
<i>COMPORAMENTI SOCIALI</i>	<i>Grooming</i>	GR	Il suricato ispeziona il pelo di un altro individuo con le zampe o mordendolo con i denti.
	<i>Being Groomed</i>	BG	Il suricato subisce il grooming di un altro individuo.
	<i>Huddle</i>	HU	Il suricato rimane fermo con uno o più individui mantenendo un contatto corporeo.
	<i>Copulation</i>	CO	Il suricato copula con un altro individuo.

	<i>Aggression</i>	AG	Il suricato interagisce in modo aggressivo con un altro individuo, mordendolo, inseguendolo o “ringhiando” se si avvicina.
	<i>Being Attacked</i>	BA	Il suricato subisce l’aggressione di un altro individuo.
	<i>Interacting with Visitors</i>	IV	Il suricato guarda attivamente o produce suoni verso i visitatori.
	<i>Play</i>	PL	Il suricato mostra comportamenti di gioco con un altro o altri individui.
<i>Altro</i>		AL	Altri comportamenti non classificati.

**Tabella 3:** preferenza manuale per alcuni dei comportamenti illustrati nella Tabella 2

<b>CATEGORIA</b>	<b>SIGLA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
<i>ZAMPA DESTRA</i>	DX	Il suricato svolge l’azione con la zampa destra.
<i>ZAMPA SINISTRA</i>	SX	Il suricato svolge l’azione con la zampa sinistra.
<i>BIMANUALE</i>	BX	Il suricato svolge l’azione con entrambe le zampe.
<i>NON RILEVABILE</i>	NR	La zampa non è rilevabile perché non vista.
<i>NON NOTABILE</i>	NN	La zampa non è un dato rilevante per quel comportamento.

#### 4.6 Fase di raccolta dati

Terminata la fase preliminare, è stato possibile procedere con la fase di raccolta dati dello studio, suddivisa in raccolta dati spontanea considerato come *Baseline* e raccolta dati di *Problem solving*.

*Baseline*: l'osservazione è durata dal 18/07/22 al 29/07/22. Sono state effettuate due osservazioni giornaliere per soggetto, una al mattino e una al pomeriggio, in cui venivano osservati gli animali durante la loro attività quotidiana. Per ogni individuo sono state svolte 20 sessioni di osservazione da 10 minuti ciascuna e quindi, considerando tutta la colonia, sono state effettuate 200 osservazioni, per un totale di 2000 minuti nel periodo *Baseline*. Ogni osservazione è avvenuta in presenza direttamente al reparto dei suricati del Parco Natura Viva. Le sessioni giornaliere venivano effettuate subito dopo la somministrazione dei pasti, in modo tale da poter registrare numeri consistenti di comportamenti.

*Problem solving*: tra il 9/08/22 e il 9/09/22, è stato somministrato l'apparato sperimentale illustrato nel paragrafo 4.4 (Figura 4.4). In totale sono state svolte 11 sessioni dalla durata di un'ora ciascuna, ed ogni sessione è stata videoregistrata. La presentazione del compito complesso avveniva a giorni alterni, con l'intento di mantenere alta la motivazione dei suricati nell'interagire con l'apparato. Le tarme venivano inserite precedentemente dai keeper all'interno dei cilindri per poi posizionarli sulle strutture in legno, con i fori rivolti verso l'alto. Al termine dell'osservazione, i tubi venivano rimossi immediatamente, e il cibo non consumato tenuto all'interno dei cilindri per la successiva sessione sperimentale.



**Figura 4.4:** alcuni suricati che interagiscono con lo stimolo.  
Photo credit: Flavia Fiorato

#### 4.7 Raccolta dati

La raccolta dati si è svolta utilizzando un campionamento ad animale focale (Altman, 1974), per raccogliere la frequenza dell'uso della zampa nei diversi comportamenti lateralizzati, descritti nel precedente etogramma. Per i comportamenti registrati, sia nel periodo *Baseline* che in quello *Problem solving*, sono stati raccolti i bout di preferenza manuale, ovvero segnando la prima zampa utilizzata durante quella attività (McGrew & Marchant, 1997). Ad esempio, se un soggetto iniziava la sessione di *Foraging* con la zampa destra ma poi continuava a svolgere l'attività con la zampa sinistra, la preferenza indicata era per la zampa destra. Inizia un nuovo bout ogni volta che inizia un nuovo comportamento o con un cambio posturale. (McGrew & Marchant, 1997).

Baseline: sono stati considerati tutti i comportamenti dell'etogramma (Tabella 2), specificando la preferenza manuale per le azioni che lo prevedevano (Tabella 3). I dati sono stati raccolti su una scheda cartacea (Figura 4.5). L'osservazione di ogni suricato aveva una durata di 10 minuti, e l'ordine di osservazione dei suricati è stato randomizzato.

Studio Focale - comportamenti spontanei  
 Nome suricato: J      Giorno: 25107      Ora: 9:19      (MATTINA / POMERIGGIO)

TEMPO	COMPORAMENTO	MANO	DOVE	NOTE
0:00				
0:16				
0:23		DX		
0:31	NVC			
1:25				
1:21	NVC			
2:05				
2:02		RT		
2:13				
2:21		RT		
2:33				
2:35				
2:46				
2:57				
3:12				
3:25				
3:40				
3:47				
3:50				
4:01				
4:10				
4:17		NA		
4:23		RT		
4:33				
4:37				
4:47				
5:06				
5:18		DX		
5:24		DX		
5:33				
5:40				
5:46		RT		
5:52		RT		
5:56				

**Figura 4.5:** scheda utilizzata per la raccolta dei dati spontanei. Nella scheda viene inserito il nome del suricato, il giorno, l'ora e il momento della giornata in cui viene svolta la sessione a cui si aggiunge il counter di inizio di ciascun comportamento, l'azione stessa e la zampa con cui viene eseguita.



**Figura 4.6:** registrazione durante la somministrazione dell'apparato sperimentale.

Problem solving: sono stati inclusi solo alcuni dei comportamenti specificati nell'etogramma, con l'intento di tenere il focus sui comportamenti lateralizzati (illustrati in blu nella *Tabella 2*). Sono state svolte 11 sessioni di registrazione dei suricati, dalla durata di un'ora ciascuna, durante lo svolgimento del compito complesso. L'apparato sperimentale illustrato nel *paragrafo 4.4* veniva posizionato negli appositi sostegni; quando i keeper uscivano dal reparto, la registrazione poteva essere avviata. I filmati sono stati registrati grazie alla telecamera Sony Handycam 16.6 4K e un cavalletto accessorio dello stesso marchio, fornito dalla struttura (*Figura 4.6*).

Le registrazioni ottenute sono state successivamente analizzate grazie al programma *Boris* (Friard & Gamba, 2016; *Figura 4.7*). Ogni registrazione di un'ora è stata osservata seguendo un suricato alla volta, quindi per 10 volte, per un totale di 110 ore di osservazione nelle 11 sessioni.



**Figura 4.7:** schermata del programma *Boris*. Sulla sinistra, i comportamenti e i soggetti con i codici ad essi associati; al centro, video registrazione della sessione sperimentale; a destra, le osservazioni identificate; in basso, barra di scorrimento del video.

I dati sono stati successivamente esportati su *Microsoft Excel* e preparati per l'analisi statistica.

#### 4.8 Analisi dei dati

L'analisi statistica è stata condotta sia a livello di gruppo che a livello individuale. In entrambi i livelli, si è andata ad analizzare la preferenza manuale per ogni azione comportamentale lateralizzata.

Al livello di gruppo la preferenza manuale è stato utilizzato l'Handedness Index per ciascun individuo, che ha come formula:

$$HI = (D - S)/(D + S)$$

Dove  $D$  è il numero di *bout* effettuati con la zampa destra e  $S$  il numero di *bout* effettuati con la zampa sinistra. L'HI viene calcolato per ogni soggetto e varia da -1 (100% di azioni svolte con la zampa sinistra) a +1 (100% di azioni svolte con la mano destra) (Hopkins, 1999).

Per l'analisi del gruppo, inoltre, è stato scelto di utilizzare test di statistica non parametrica. In particolare è stato usato il *One-sample Wilcoxon Test* utilizzando gli *H-index* per verificare l'uso preferenziale di una delle due zampe anteriori nei comportamenti lateralizzati a livello di gruppo. Il livello di significatività scelto, per ognuno dei test, è  $p < 0.05$  (Siegel & Castellan, 1992).

Inoltre, per valutare la significatività della preferenza per l'uso di una zampa a livello individuale è stato utilizzato lo *z-score*; in questo modo, il soggetto è stato classificato come mancino ( $z\text{-score} < -1,96$ ), destrimane ( $z\text{-score} > +1,96$ ), o senza preferenza manuale ( $-1,96 < z\text{-score} < +1,96$ ) (McGrew & Marchant, 1997; Michel et al., 2022). Gli *z-score* sono stati calcolati solo per i soggetti per cui è stato possibile ottenere un minimo di 10 *bout* per azione (Meguerditchian and Vauclair, 2009; Meguerditchian et al., 2010b; Spiezio et al., 2016).

Per condurre le analisi sono stati utilizzati i software “*RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA*” e “*XLSTAT (2021) statistical and data analysis solution. Paris, France by Addinsoft*”.



*Figura 4.8: suricato che interagisce con l'apparato tramite l'ausilio della sola zampa destra. Photo credit - Flavia Fiorato*

## 5. RISULTATI

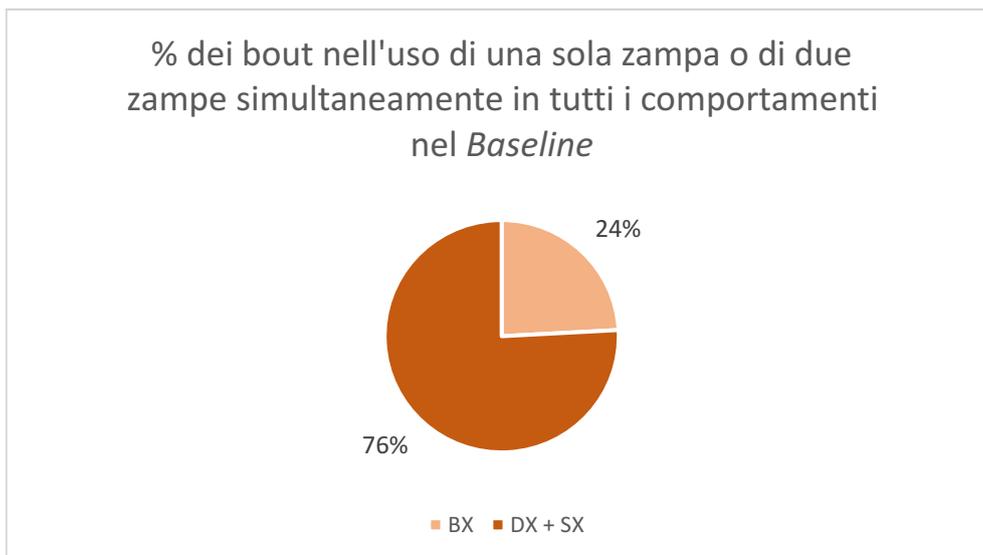
In questo studio è stata indagata la preferenza manuale nella specie *S. suricatta* in diverse azioni comportamentali, sia durante l'attività quotidiana (periodo *Baseline*) che durante lo svolgimento di un compito cognitivo complesso.

Inizialmente si è osservato se i suricati usassero entrambe le zampe contemporaneamente per svolgere le diverse azioni oppure preferissero utilizzare una sola mano. In secondo luogo, è stata analizzata la differenza nella preferenza nell'uso della mano destra o della mano sinistra, prima considerando tutti i comportamenti e poi per ogni singolo comportamento. Questo sia a livello di gruppo sia a livello del singolo individuo. Per l'analisi a livello individuale, sono stati considerati solo i soggetti con un numero di *bout* uguale o superiore a 10.

### 5.1 Analisi della preferenza di zampa nell'quotidiana (*Baseline*)

#### 5.1.1 Uso di due zampe o di una sola zampa alla volta

Il grafico in *Figura 5.1* esprime la percentuale di *bout* nell'uso di entrambe le zampe anteriori contemporaneamente e di una sola zampa. Da questi dati emerge che il 76% delle azioni manifestate sono state svolte con una sola zampa, mentre il 24% con due zampe simultaneamente.



**Figura 5.1:** uso delle zampe nell'attività quotidiana (*Baseline*), espresso in percentuale, considerati tutti i comportamenti lateralizzati.

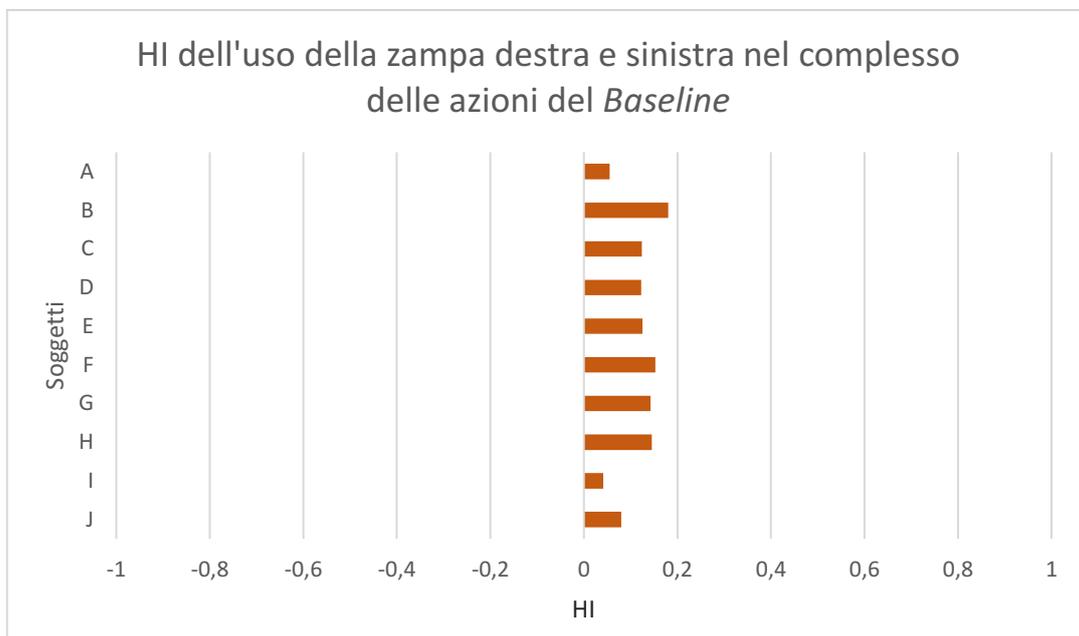
È stata quindi riscontrata una netta prevalenza nella frequenza dei *bout* per l'utilizzo di una sola zampa rispetto all'utilizzo di due mani contemporaneamente, considerando tutti i comportamenti. Dalla *Tabella 5* emerge che di 1474 *bout* totali, 1118 sono stati eseguiti o con la zampa destra o con la zampa sinistra, mentre i restanti 356 sono stati eseguiti con la simultaneità delle zampe anteriori.

**Tabella 4:** numero di *bout* per le azioni compiute con due zampe simultaneamente (*BX*), con una sola zampa (*DX + SX*), e la sommatoria di entrambe (*BX + DX + SX*), per ogni soggetto, nel *Baseline*.

<b>SOGGETTO</b>	<b>BX</b>	<b>DX + SX</b>	<b>BX + DX + SX</b>
<i>A</i>	44	127	171
<i>B</i>	58	161	219
<i>C</i>	34	105	139
<i>D</i>	38	114	152
<i>E</i>	39	80	119
<i>F</i>	23	85	108
<i>G</i>	20	56	76
<i>H</i>	32	131	163
<i>I</i>	34	146	180
<i>J</i>	34	113	147
<b>TOT</b>	356	1118	1474

### 5.1.2 Uso della zampa anteriore destra o della zampa anteriore sinistra

Nel grafico in *Figura 5.2* sono riportati i valori per soggetto dell'*Handedness Index* (HI) considerando tutte le categorie comportamentali insieme. Per tutti i comportamenti, ogni individuo utilizza maggiormente la zampa destra evidenziando così a livello di gruppo una significativa preferenza per l'uso della zampa anteriore destra (*One-sample Wilcoxon Test:  $V = 55$ ;  $p$ -value = 0,006*).



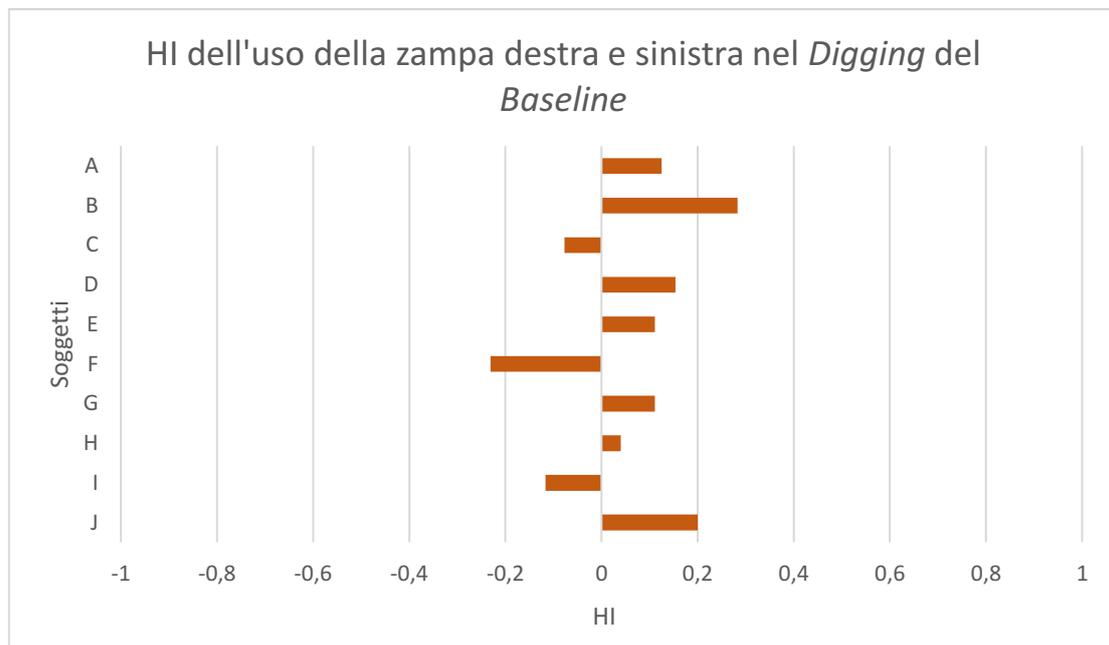
**Figura 5.2:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo il totale dell'uso delle zampe (destra e sinistra) nel *Baseline*.

A livello individuale, invece, considerando tutti i comportamenti lateralizzati presi in esame, solo il soggetto B è risultato destrimane ( $z\text{-score} > +1,96$ ), mentre i restanti nove soggetti sono ambi-preferent e non mostrano alcuna preferenza significativa (*Tabella 6*).

**Tabella 5:** in tabella, considerando tutti i comportamenti insieme, sono riportati per ogni soggetto il totale dei bout effettuati con la zampa destra, quelli effettuati con la zampa sinistra, e la somma dei due ( $N$ ). Gli  $z\text{-score}$  sono stati calcolati solo per i soggetti per cui è stato possibile ottenere un minimo di 10 bout per azione. Viene infine riportata la preferenza manuale. In arancione sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>TOT DX</b>	<b>TOT SX</b>	<b><math>N</math> (TOT DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	67	60	127	0,532	ambi-preferent
<i>B</i>	95	66	161	2,207	destra
<i>C</i>	59	46	105	1,171	ambi-preferent
<i>D</i>	64	50	114	1,217	ambi-preferent
<i>E</i>	45	35	80	1,006	ambi-preferent
<i>F</i>	49	36	85	1,301	ambi-preferent
<i>G</i>	32	24	56	0,935	ambi-preferent
<i>H</i>	75	56	131	1,572	ambi-preferent
<i>I</i>	76	70	146	0,414	ambi-preferent
<i>J</i>	61	52	113	0,752	ambi-preferent

Nel grafico della *Figura 5.3* sono riportati i valori dell'HI di ciascun soggetto considerando il solo comportamento del *Digging*. Da esso emerge che sette soggetti (A, B, D, E, G, H, J) usano maggiormente la zampa anteriore destra, mentre i restanti tre soggetti (C, F, I) usano maggiormente la zampa sinistra. Dall'analisi statistica a livello di gruppo non emerge alcuna preferenza significativa dell'uso di una delle due zampe (*One-sample Wilcoxon Test: V = 39; p-value = 0,262*).



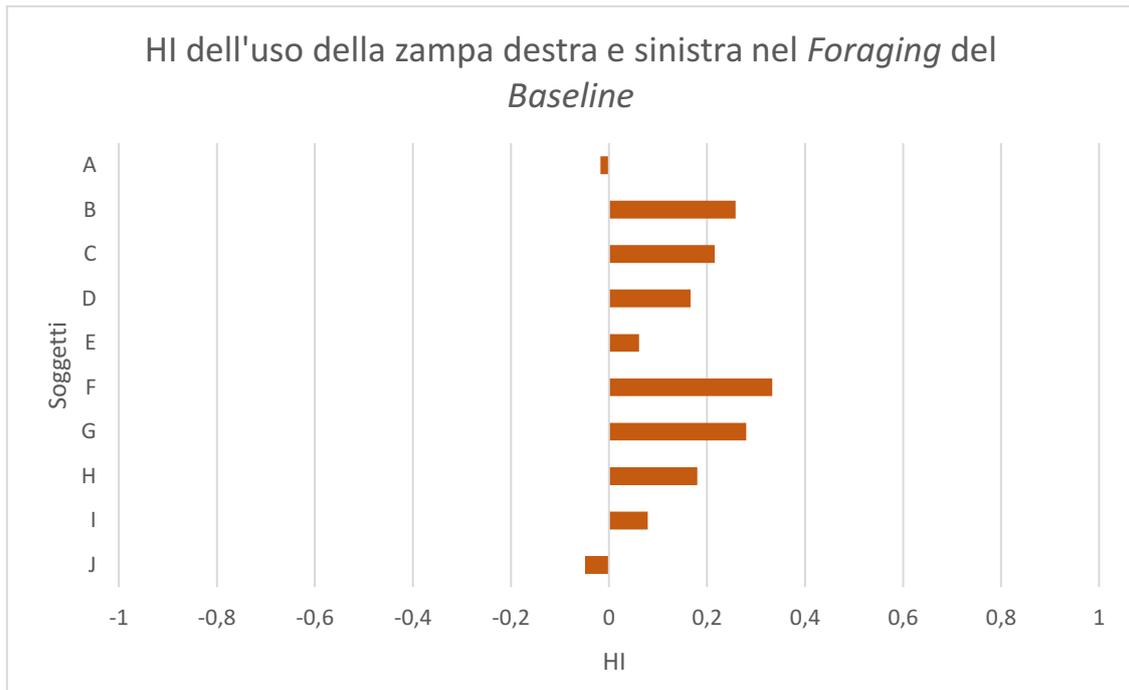
**Figura 5.3:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante il *Digging* nel *Baseline*.

Anche a livello individuale nessun suricato mostra nell'azione di *Digging* una preferenza significativa nell'uso di una o dell'altra zampa (si vedano i valori di *z-score* in *Tabella 7*), e tutti i soggetti sono ambi-preferent.

**Tabella 6:** nella tabella sono riportati per l'azione di *Digging* nel *Baseline*, per ogni soggetto il numero dei *bout* effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Viene infine riportata la preferenza manuale. In arancione sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	18	14	32	0,53	ambi-preferent
<i>B</i>	34	19	53	1,923	ambi-preferent
<i>C</i>	12	14	26	-0,196	ambi-preferent
<i>D</i>	15	11	26	0,588	ambi-preferent
<i>E</i>	5	4	9	#	#
<i>F</i>	5	8	13	-0,554	ambi-preferent
<i>G</i>	10	8	18	0,235	ambi-preferent
<i>H</i>	13	12	25	0	ambi-preferent
<i>I</i>	19	24	43	-0,609	ambi-preferent
<i>J</i>	9	6	15	0,516	ambi-preferent

Per quanto concerne il *Foraging*, dal grafico in *Figura 5.4* emerge che otto soggetti (B, C, D, E, F, G, H, I) su 10 usano maggiormente la zampa destra, evidenziando a livello di gruppo una preferenza significativa per l'uso della zampa anteriore destra (*One-sample Wilcoxon Test: V = 52; p-value = 0,014*).



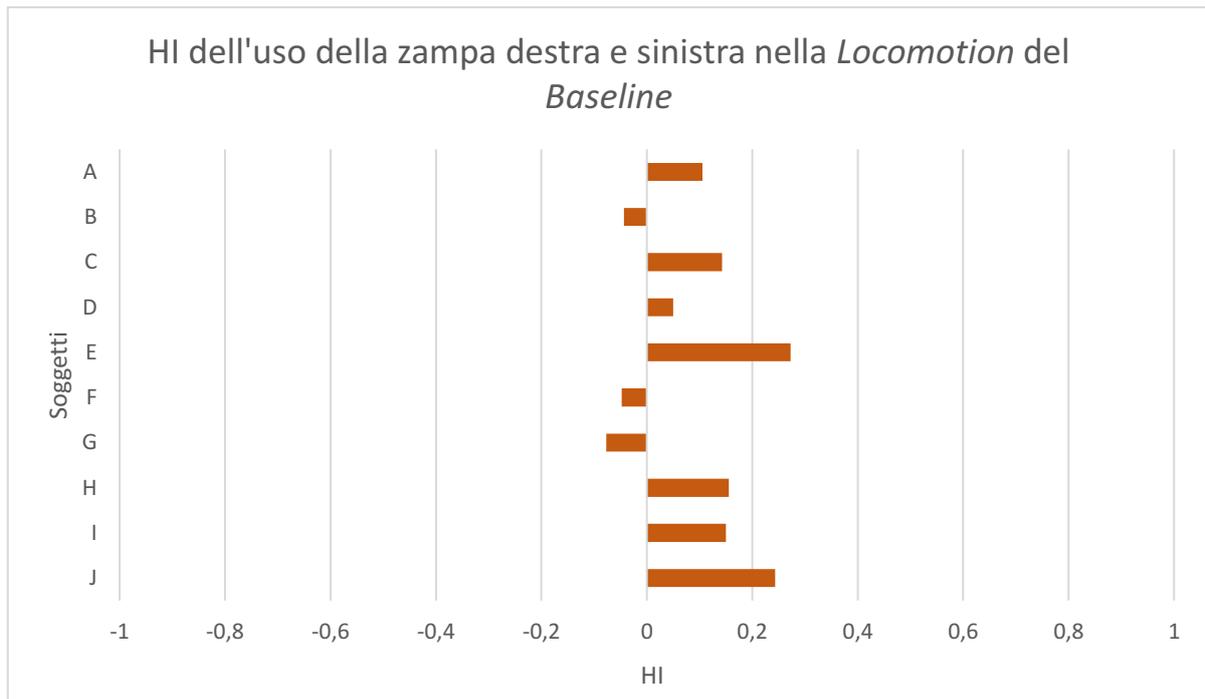
**Figura 5.4:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante il *Foraging* nel *Baseline*.

A livello individuale il soggetto F è l'unico a mostrare una preferenza significativa per l'utilizzo della zampa destra rispetto alla sinistra nel *Foraging* ( $z\text{-score} > +1,96$ ).

**Tabella 7:** nella tabella sono riportati per l'azione di *Foraging* nel *Baseline*, per ogni soggetto, i bout effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Viene infine riportata la preferenza manuale. In arancione sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	28	29	57	-0,265	ambi-preferent
<i>B</i>	39	23	62	1,905	ambi-preferent
<i>C</i>	31	20	51	1,4	ambi-preferent
<i>D</i>	28	20	48	1,01	ambi-preferent
<i>E</i>	26	23	49	0,285	ambi-preferent
<i>F</i>	34	17	51	2,241	destra
<i>G</i>	16	9	25	1,2	ambi-preferent
<i>H</i>	36	25	61	1,281	ambi-preferent
<i>I</i>	34	29	63	0,504	ambi-preferent
<i>J</i>	29	32	61	-0,256	ambi-preferent

Infine, per quanto riguarda l'utilizzo della zampa per iniziare la *Locomotion*, nel grafico in *Figura 5.5* si evince che sette soggetti usano maggiormente la zampa destra (A, C, D, E, H, I, J) mentre tre soggetti quella sinistra (A, F, G). A livello di gruppo, è emersa una preferenza significativa nell'uso della zampa destra (*One-sample Wilcoxon Test: V = 48; p-value = 0,041*).



**Figura 5.5:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante la *Locomotion* nel *Baseline*.

Dalla *Tabella 9*, si evince che tutti i soggetti siano risultati ambi-preferent, e nello specifico due soggetti presentano uno *z-score* perfettamente simmetrico.

**Tabella 8:** nella tabella sono riportati per l'azione di *Locomotion nel Baseline*, per ogni soggetto, i *bout* effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Viene infine riportata la preferenza manuale. In arancione sono evidenziati i valori significativi.

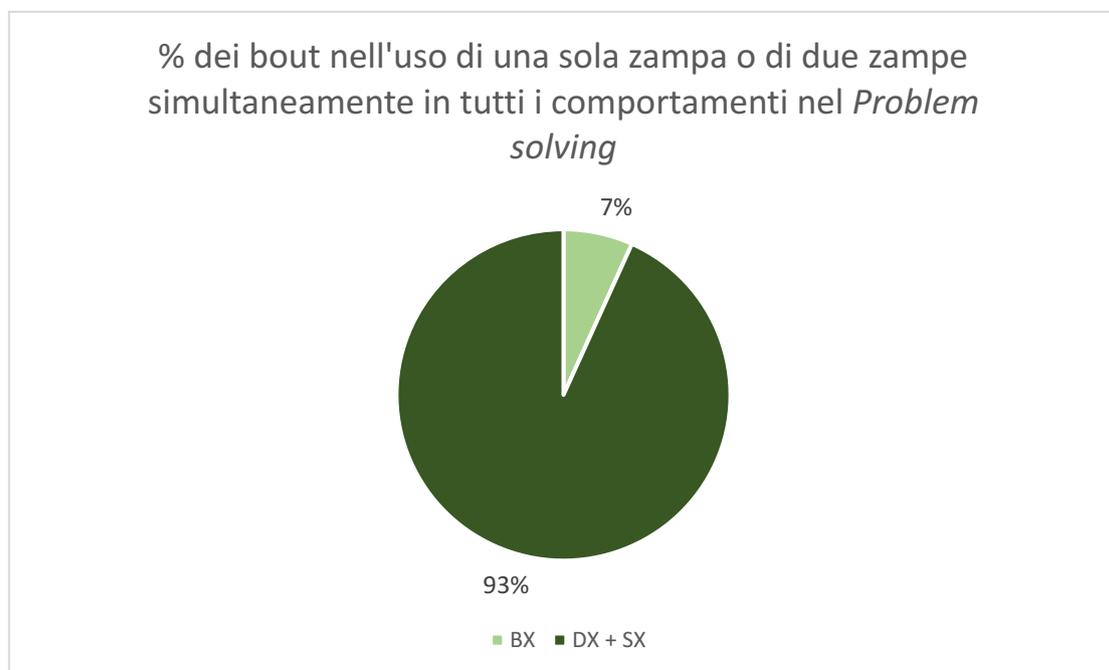
<b>SOGGETTO</b>	<b>TOT DX</b>	<b>TOT SX</b>	<b>N</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	21	17	38	0,487	ambi-preferent
<i>B</i>	22	24	46	-0,147	ambi-preferent
<i>C</i>	16	12	28	0,567	ambi-preferent
<i>D</i>	21	19	40	0,158	ambi-preferent
<i>E</i>	14	8	22	1,066	ambi-preferent
<i>F</i>	10	11	21	0	ambi-preferent
<i>G</i>	6	7	13	0	ambi-preferent
<i>H</i>	26	19	45	0,894	ambi-preferent
<i>I</i>	23	17	40	0,791	ambi-preferent
<i>J</i>	23	14	37	1,315	ambi-preferent

## 5.2 Analisi della preferenza di zampa nel *task* cognitivo (*Problem solving*)

### 5.2.1 *Usa di due zampe o di una sola zampa alla volta*

Il procedimento svolto in questa fase è stato il medesimo dell'analisi sui dati spontanei precedentemente illustrati, con l'unica differenza che in questo paragrafo viene aggiunto il pattern comportamentale relativo all'interazione con l'apparato sperimentale: l'*Object manipulation*.

Considerando tutti i comportamenti, il 93% delle azioni manifestate sono state svolte con una sola zampa, mentre il 7% con due zampe contemporaneamente (grafico in *Figura 5.6*).



**Figura 5.6:** uso delle zampe nel *task* cognitivo (*Problem solving*), espresso in percentuale, considerati tutti i comportamenti lateralizzati.

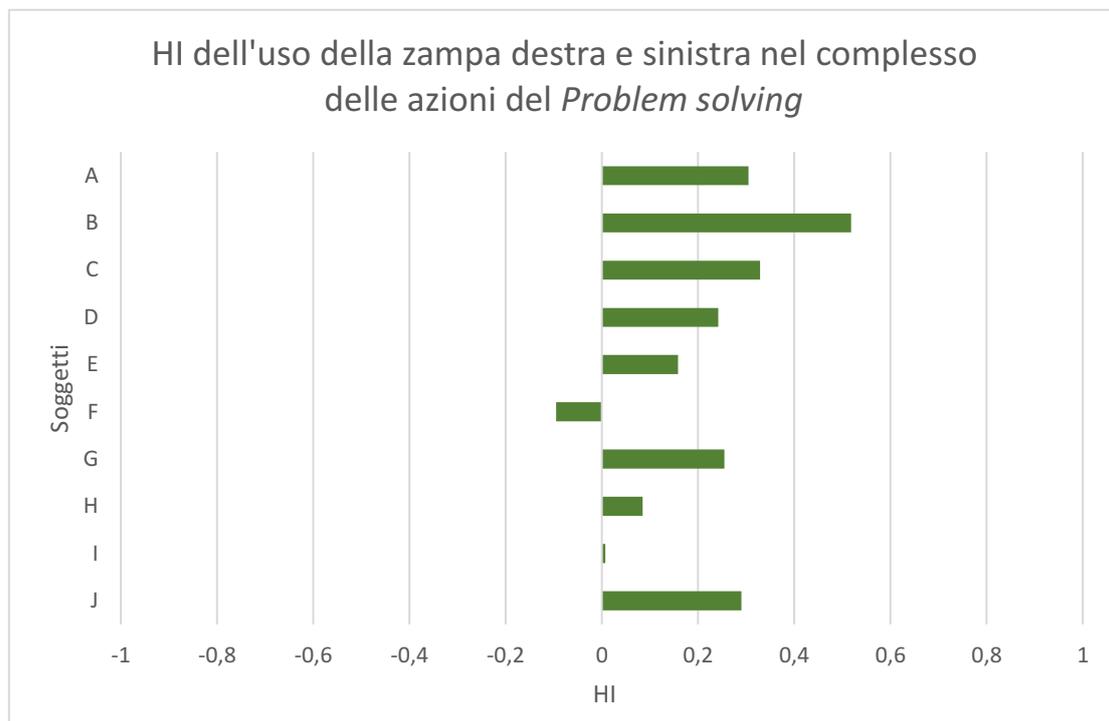
Si riscontra quindi una frequenza maggiore dei *bout* per l'utilizzo di una sola zampa invece di due contemporaneamente. Dalla *Tabella 10* emerge infatti che 3632 *bout* sono stati svolti con la zampa destra o sinistra, e 262 utilizzando le due zampe insieme, su un totale di 3894 azioni.

**Tabella 9:** numero di *bout* per le azioni compiute con due zampe simultaneamente (*BX*), con una sola zampa (*DX + SX*), e la sommatoria di entrambe (*BX + DX + SX*), per ogni soggetto, nel *Problem solving*.

<b>SOGGETTO</b>	<b><i>BX</i></b>	<b><i>DX + SX</i></b>	<b><i>BX + DX + SX</i></b>
<i>A</i>	33	616	649
<i>B</i>	18	436	454
<i>C</i>	1	167	168
<i>D</i>	23	190	213
<i>E</i>	18	397	415
<i>F</i>	20	431	451
<i>G</i>	28	255	283
<i>H</i>	27	354	381
<i>I</i>	28	431	459
<i>J</i>	66	355	421
<b><i>TOT</i></b>	262	3632	3894

### 5.2.2 Uso della zampa anteriore destra o della zampa anteriore sinistra

Considerando tutti i comportamenti, dal grafico in *Figura 5.7* emerge che nove soggetti su 10 utilizzano maggiormente la zampa destra, mentre il soggetto F la zampa sinistra. A livello di gruppo, si evidenzia una significativa preferenza per l'uso della zampa anteriore destra (*One-sample Wilcoxon Test:  $V = 52, p\text{-value} = 0,014$* ).



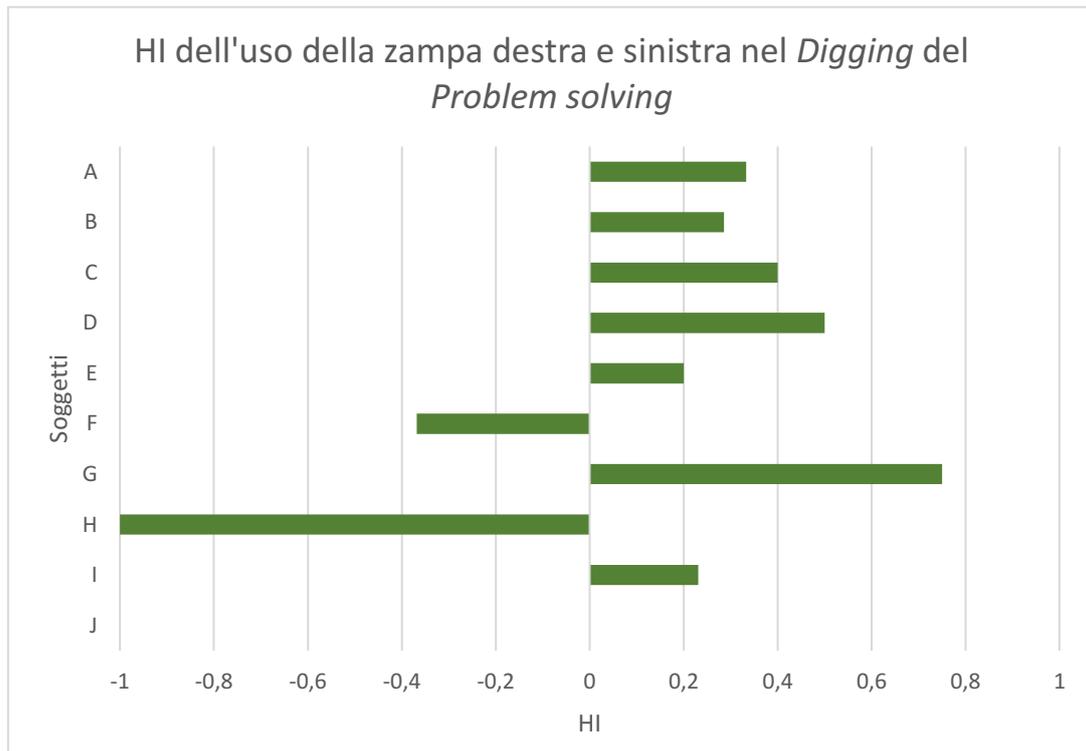
**Figura 5.7:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo il totale dell'uso delle zampe (destra e sinistra) nel *Problem solving*.

A livello individuale emerge una preferenza per l'uso della mano destra in sette soggetti (*z-score* > +1,96); i restanti soggetti sono risultati invece ambi-preferent (*Tabella 11*).

**Tabella 10:** in tabella, considerando tutti i comportamenti insieme sono riportati, per ogni soggetto, il totale dei bout effettuati con la zampa destra, quelli effettuati con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Gli *z-score* sono stati calcolati solo per i soggetti per cui è stato possibile ottenere un minimo di 10 bout per azione. Viene infine riportata la preferenza manuale. In verde sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>TOT DX</b>	<b>TOT SX</b>	<b>N (TOT DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	402	214	616	7,534	destra
<i>B</i>	331	105	436	10,775	destra
<i>C</i>	111	56	167	4,178	destra
<i>D</i>	118	72	190	3,265	destra
<i>E</i>	230	167	397	3,112	destra
<i>F</i>	195	236	431	-1,927	ambi-preferent
<i>G</i>	160	95	255	4,007	destra
<i>H</i>	192	162	354	1,541	ambi-preferent
<i>I</i>	217	214	431	0,096	ambi-preferent
<i>J</i>	229	126	355	5,413	destra

Dal grafico in *Figura 5.8*, riportante i valori di HI di ciascun soggetto durante il *Digging*, si nota che sette soggetti usano maggiormente la zampa anteriore destra, e due soggetti la zampa sinistra. Il soggetto J risulta ambi-preferent. A livello di gruppo non emerge alcuna preferenza significativa nell'uso di una delle due zampe (*One-sample Wilcoxon Test:  $V = 31, p\text{-value} = 0,34$* ).



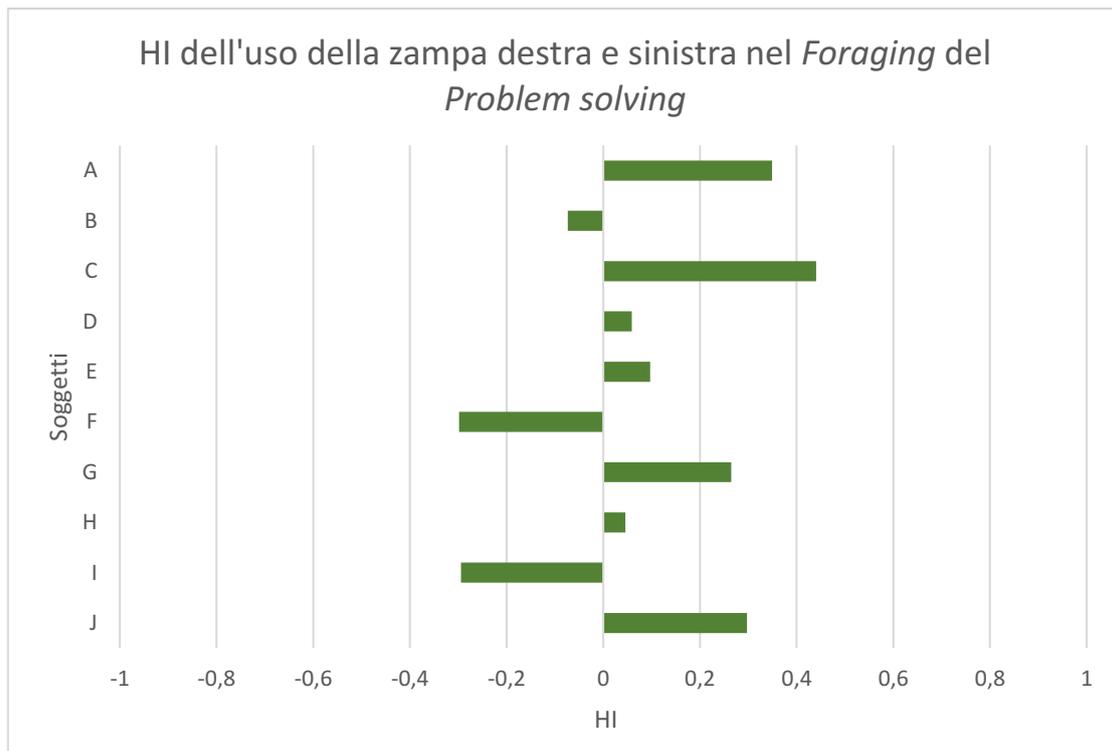
**Figura 5.8:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante il *Digging* nel *Problem solving*.

Anche a livello individuale nessun soggetto mostra una significativa preferenza per l'uso della destra o della sinistra durante il *Digging*, e tutti i suricati sono quindi ambi-preferent (*Tabella 12*).

**Tabella 11:** nella tabella sono riportati per l'azione di *Digging* nel *Problem solving*, per ogni soggetto, i bout effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Viene infine riportata la preferenza manuale. In verde sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
<i>A</i>	4	2	6	#	#
<i>B</i>	9	5	14	0,802	ambi-preferent
<i>C</i>	7	3	10	0,949	ambi-preferent
<i>D</i>	9	3	12	1,443	ambi-preferent
<i>E</i>	3	2	5	#	#
<i>F</i>	6	13	19	-1,376	ambi-preferent
<i>G</i>	7	1	8	#	#
<i>H</i>	0	1	1	#	#
<i>I</i>	8	5	13	0,555	ambi-preferent
<i>J</i>	1	1	2	#	#

Dal grafico in *Figura 5.9* emerge una preferenza per la mano destra in sette soggetti (A, C, D, E, G, H, J) e per la mano sinistra in tre soggetti (B, F, I), nell'azione di *Foraging*. A livello di gruppo non si riscontra alcuna preferenza significativa nell'uso della zampa destra o sinistra (*One-sample Wilcoxon Test:  $V = 38, p\text{-value} = 0,308$* ).



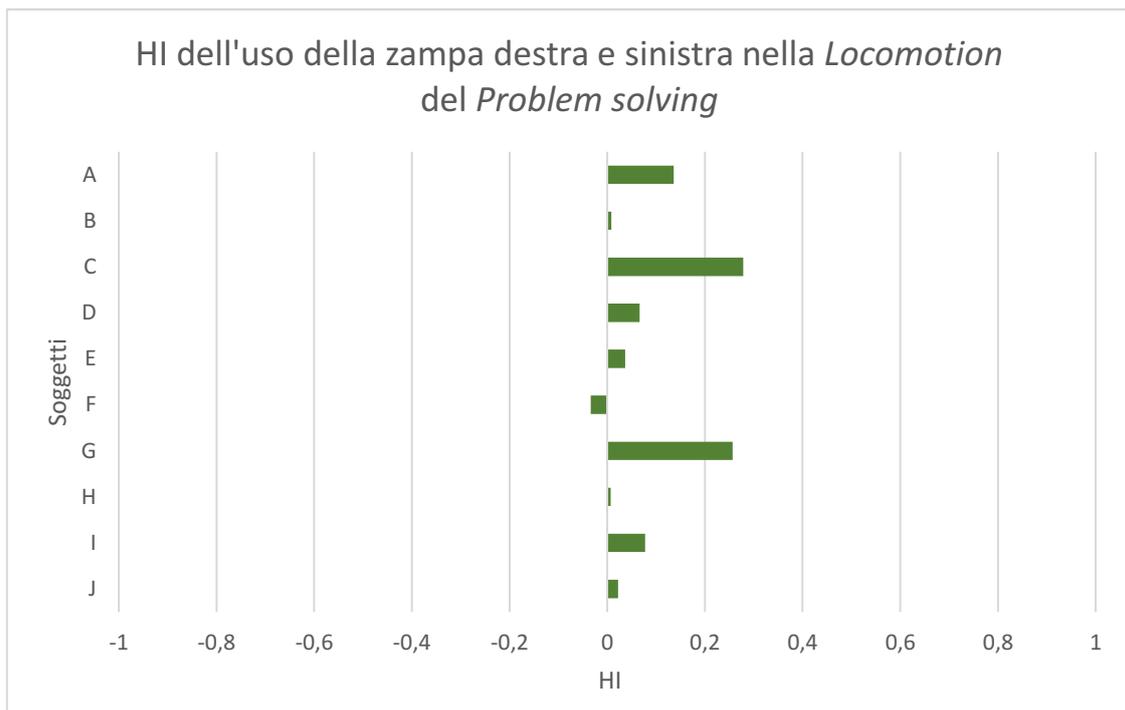
**Figura 5.9:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante il *Foraging* nel *Problem solving*.

Per quanto riguarda il livello individuale, illustrato nella *Tabella 13*, tre soggetti (A, C, G) risultano destrimani ( $z\text{-score} > +1,96$ ), due invece (F, I) risultano mancini ( $z\text{-score} < -1,96$ ), e infine i restanti cinque (B, D, E, H, J) ambi-preferent.

**Tabella 12:** nella tabella sono riportati per l'azione di *Foraging nel Problem solving*, per ogni soggetto, i *bout* effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (*N*). Viene infine riportata la preferenza manuale. In verde sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
A	58	28	86	3,127	destra
B	19	22	41	-0,312	ambi-preferent
C	36	14	50	2,969	destra
D	18	16	34	0,171	ambi-preferent
E	17	14	31	0,359	ambi-preferent
F	47	87	134	-3,369	sinistra
G	43	25	68	2,061	destra
H	23	21	44	0,151	ambi-preferent
I	30	55	85	-2,603	sinistra
J	24	13	37	1,643	ambi-preferent

Considerando la *Locomotion*, si evince dal grafico in *Figura 5.10* che nove soggetti manifestano una maggiore utilizzo della zampa destra, mentre il soggetto F della zampa sinistra. A livello di gruppo non emerge una preferenza significativa, né per la zampa destra, né per la zampa sinistra (*One-sample Wilcoxon Test:  $V = 51, p\text{-value} = 0,02$* ).



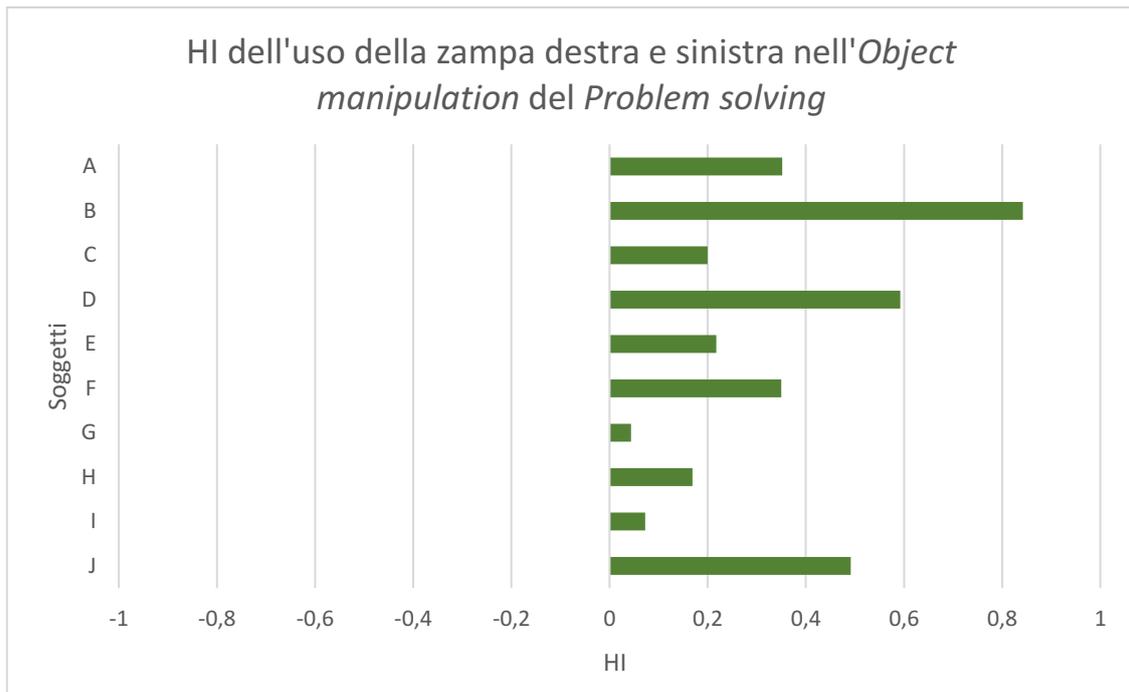
**Figura 5.10:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante la *Locomotion* nel *Problem solving*.

A livello individuale, i soggetti C e G sono risultati destrimani ( $z\text{-score} > +1,96$ ), mentre i restanti otto ambi-preferent (*Tabella 14*).

**Tabella 13:** nella tabella sono riportati per l'azione di Locomotion nel Problem solving, per ogni soggetto, i bout effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due ( $N$ ). Viene infine riportata la preferenza manuale. In verde sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
A	75	57	132	1,479	ambi-preferent
B	58	57	115	0	ambi-preferent
C	62	35	97	2,639	destra
D	48	42	90	0,527	ambi-preferent
E	56	52	108	0,288	ambi-preferent
F	115	123	238	-0,453	ambi-preferent
G	98	58	156	3,122	destra
H	72	71	143	0	ambi-preferent
I	90	77	167	0,928	ambi-preferent
J	69	66	135	0,172	ambi-preferent

Dal grafico in *Figura 5.11* emerge che tutti i soggetti utilizzano maggiormente la zampa destra durante l'azione di *Object manipulation*, evidenziando al livello di gruppo una preferenza significativa per l'uso della zampa anteriore destra (*One-sample Wilcoxon Test: V = 55, p-value = 0,006*).



**Figura 5.11:** valori dell'HI calcolati per ciascun suricato riguardo l'uso delle zampe (destra e sinistra) durante l'*Object manipulation* nel *Problem solving*.

A livello individuale, sette soggetti (A, B, D, E, F, H, J) si sono rivelati come destrimani (*z-score* > +1,96), mentre i restanti sono risultati ambi-preferent, come illustrato in *Tabella 15*.

**Tabella 14:** nella tabella sono riportati per l'azione di Object manipulation nel Problem solving, per ogni soggetto, i bout effettuati con la zampa destra, quelli con la zampa sinistra, e la somma dei due (N). Viene infine riportata la preferenza manuale. In verde sono evidenziati i valori significativi.

<b>SOGGETTO</b>	<b>DX</b>	<b>SX</b>	<b>N (DX + SX)</b>	<b>Z-SCORE</b>	<b>PREFERENZA</b>
A	265	127	392	6,919	destra
B	245	21	266	13,673	destra
C	6	4	10	0,316	ambi-preferent
D	43	11	54	4,219	destra
E	154	99	253	3,395	destra
F	27	13	40	2,055	destra
G	12	11	23	0	ambi-preferent
H	97	69	166	2,096	destra
I	89	77	166	0,854	ambi-preferent
J	135	46	181	6,541	destra

## 6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'individuazione di una preferenza nell'uso della mano può conseguentemente rispecchiarsi nella specializzazione emisferica corrispondente. Con questa premessa, da diversi decenni sono stati svolti innumerevoli studi riguardanti l'asimmetria cerebrale e funzionale nell'uomo (Sperry, 1961, 1982), dimostrando successivamente che essa non può essere considerata una prerogativa umana (Braitenberg & Kemali, 1970; Cipolla-Neto et al., 1982; Denenberg, 1981; Horn, 1973, 2004; Marino, 2017; Nottebohm, 1971, 1977; Rogers & Anson, 1979; Vallortigara, 2005). La lateralizzazione sembra costituire un elemento evolutivo chiave nel regno animale, dagli invertebrati ai vertebrati. Per avere conferma sulla sua diffusione e per comprenderne la sua origine evolutiva e il suo valore adattativo, i ricercatori continuano a studiare la lateralizzazione osservandola in specie sempre diverse.

Nell'ordine dei carnivori, la preferenza manuale è stata riscontrata nei comportamenti spontanei, come nel caso delle lontre dalle piccole unghie (*Aonyx cinereus*) che hanno mostrato un'asimmetria a livello di gruppo per la zampa destra (Manns et al., 2018). I compiti cognitivi, inoltre, sembrano far emergere questa asimmetria, aumentando la preferenza dell'uso di una zampa in uno o più comportamenti. Nei lupi (*Canis lupus*) è stata infatti riscontrata una preferenza della zampa destra nella manipolazione di oggetti a livello individuale (Regaiolli et al., 2021b); la stessa asimmetria la ritroviamo invece a livello di gruppo nei lemuri dalla coda ad anelli (*Lemur catta*) durante un compito unimanuale e bimanuale di raggiungimento del cibo (Regaiolli et al., 2016).

Ad oggi, non si riscontrano in letteratura studi sulla lateralizzazione comportamentale nei suricati (*S. suricatta*). Si è voluto, quindi, indagare la presenza della preferenza manuale anche in questa specie, colmando un vuoto presente in letteratura.

L'obiettivo di questo studio era quello di osservare la colonia ospitata al Parco Natura Viva (VR), costituita da 10 suricati, per verificare la manifestazione della preferenza manuale, a livello

individuale e di gruppo, sia nella quotidianità dei compiti spontanei, sia in un compito più complesso, un compito di *Problem solving*.

Come primo aspetto è stato necessario verificare se, considerando tutti i possibili comportamenti che coinvolgevano le zampe anteriori, sia a livello individuale che a livello di gruppo, i 10 suricati della colonia al Parco Natura Viva, preferissero usare una delle due zampe piuttosto che entrambe le zampe contemporaneamente. Dai risultati dello studio è emerso che tutti i suricati osservati preferiscono utilizzare una zampa rispetto a due simultaneamente per le azioni osservate, sia nella manifestazione dei compiti spontanei sia in quelli più complessi, come il *Problem solving* proposto in questo studio, con la possibilità di individuare una scelta preferenziale di una zampa o dell'altra.

Analizzando invece le preferenze tra l'uso della zampa destra e sinistra in tutti i comportamenti considerati, a livello di gruppo emerge una preferenza per l'uso della mano destra nella manifestazione dei compiti spontanei. A livello individuale, nel caso dell'attività quotidiana, si riscontra un solo soggetto destrimane (B).

È interessante osservare che nelle azioni del *Problem solving* la maggior parte dei soggetti mostra una preferenza significativa nell'uso della zampa anteriore destra. A livello di gruppo, emerge una preferenza per l'uso della mano destra; a livello individuale, sono sette i soggetti con una preferenza per l'uso della zampa destra (A, B, C, D, E, G, J). Questo risultato sembra essere concordante con quanto emerso in letteratura, dove si riscontra come il compito cognitivo possa elicitare una preferenza motoria, come risposta funzionale dell'attivazione cognitiva emisferica (Schweitzer et al., 2007).

Analizzando i singoli comportamenti dai risultati dello studio si ha che:

- Nel *Digging* sia nell'attività quotidiana, nel *Baseline*, che durante il compito di *Problem solving*, la maggior parte dei soggetti non presenta una preferenza per una o per l'altra zampa nell'iniziare l'azione, portandoci a concludere che i suricati non mostrano una lateralizzazione

comportamentale quando scavano il terreno. Anche a livello individuale tutti i suricati sono infatti ambi-preferent nella manifestazione di questo comportamento (Spiezio et al., 2016).

- Nel *Foraging*, attività che comporta la ricerca del cibo, si riscontra solo nel *Baseline* una preferenza nell'uso della zampa anteriore destra. Questa lateralizzazione di gruppo viene persa durante il compito di *Problem solving* dove, invece, si evince una significativa preferenza mostrata da più soggetti per la zampa destra o sinistra. Infatti, mentre nel *Baseline* un soggetto risulta destrimane (F), e non vi sono mancini, nel compito complesso di *Problem solving* si riscontrano tre soggetti destrimani (A, C, G), e due soggetti mancini (F, I). Il compito complesso, quindi potrebbe elicitarne a livello individuale la più appropriata risposta motoria in base alla specializzazione emisferica (Regaiolli et al., 2021a)
- Nella *Locomotion* i risultati dello studio evidenziano che a livello di gruppo i suricati osservati, quando iniziano la locomozione usano preferenzialmente una zampa rispetto all'altra, mostrando una preferenza significativa per la zampa destra, sia nell'attività quotidiana, *Baseline*, che nel compito cognitivo di *Problem solving*. A livello individuale nel *Baseline*, invece, tutti i soggetti risultano ambi-preferent, mentre, nuovamente, nel compito cognitivo di *Problem solving* si riscontrano preferenze significative. In particolare, due soggetti sono destrimani (C, G). Nuovamente emerge che in una nuova situazione, con la presenza di un nuovo stimolo, i suricati a livello individuale mostrano una variabilità comportamentale (Regaiolli et al., 2021a).

Considerando ora l'azione diretta all'apparato, l'*Object manipulation*, necessaria prima per esplorare e poi risolvere il compito, dai risultati dello studio emerge a livello di gruppo una preferenza significativa per la zampa destra nell'interagire con l'apparato. A livello individuale sette soggetti sono destrimani (A, B, D, E, F, H, J) mentre tre ambi-preferent (C, G, I) riscontrando così una maggioranza di individui lateralizzati nella stessa direzione. Questo risultato sembra essere in accordo

con quanto riscontrato in letteratura dove il compito complesso porta a manifestare una lateralizzazione comportamentale (Regaiolli et al., 2021b).

Da quanto si riscontra, seppur nelle stesse azioni, manifestate nelle diverse condizioni, vi sia una espressione diversa della lateralizzazione tra gli individui, ma anche per gli stessi individui, l'azione diretta di manipolazione e risoluzione del *Problem solving* sembra essere quella che elicitava maggiormente una lateralizzazione a livello individuale. L'effetto risulta quindi più evidente a livello individuale, come è emerso nel caso dei lupi (Regaiolli et al., 2021b); la lateralizzazione appare quindi legata al *task*, e le abilità cognitive possono potenziare i comportamenti lateralizzati (Ocklenburg et al., 2019; Regaiolli et al., 2021b; Spiezio et al., 2016).

Nel complesso, valutando i comportamenti singoli presi in esame, si evince come l'apprendimento della risoluzione di un nuovo compito e la conseguente attività cognitiva che ne deriva scaturisca nei singoli soggetti un uso preferenziale di una zampa rispetto a un'altra. Come per altri studi, anche con i suricati si evince grande variabilità individuale per i compiti spontanei (Manns et al., 2018; Reimchen & Spoljaric, 2011; Spiezio et al., 2016). Un aspetto interessante in questo studio è che osservando la lateralizzazione per le stesse azioni spontanee come *Foraging* e *Locomotion*, ma in condizioni differenti, dove altri fattori entrano in gioco come la competizione, la difficoltà di reperire il cibo, la cooperazione, essi vadano a influire sulla manifestazione della preferenza dell'uso dell'una o dell'altra zampa a livello individuale. Questo risultato sembra sottolineare come, in un contesto sociale più naturale, dove gli animali hanno la necessità di esprimere aspetti relazionali in diverse situazioni, la lateralizzazione non possa essere determinata da un solo fattore. O meglio, un solo fattore potrebbe determinare una lateralizzazione comportamentale, ma altri fattori concorrerebbero ad influenzarne l'espressione. Ciò che risulta da questa ricerca però, è che molto probabilmente l'aspetto della novità nella presentazione di una nuova attività influenza anche quei comportamenti che non hanno a che fare direttamente con il compito, dimostrando che la lateralizzazione va a sua volta ad incidere sul repertorio comportamentale nella sua interezza piuttosto che sulla singola azione.

Questa ricerca si pone come punto di partenza nell'investigazione della lateralizzazione comportamentale dei *S. suricatta*, e di tante altre specie di cui ancora si possiede poca conoscenza a riguardo. Inoltre, porta a sottolineare la necessità di osservare sempre di più gli individui in contesti sociali: fornendo arricchimenti quotidiani e inserendo elementi di novità nel reparto, si dà la possibilità agli animali di sviluppare competenze cognitive che andranno a influenzare il benessere della specie stessa (Hopper et al., 2017). Dunque, altri studi saranno necessari per fare maggiore chiarezza su queste tematiche e per approfondire sempre di più il valore adattativo della lateralizzazione, all'interno di un contesto in cui l'accrescimento delle funzioni cognitive svolge un ruolo di fondamentale importanza per il benessere della specie.

## BIBLIOGRAFIA

- Altmann J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3), 227–267.  
<https://doi.org/10.1163/156853974x00534>
- Amunts, K. (2010). Structural Indices of Asymmetry. In Hugdahl, K., & Westerhausen, R. (A cura di). *The Two Halves of the Brain: Information Processing in the Cerebral Hemispheres* (pp. 145-175). MIT Press.
- Anfora, G., Frasnelli, E., Maccagnani, B., Rogers, L. J., & Vallortigara, G. (2010). Behavioural and electrophysiological lateralization in a social (*Apis mellifera*) but not in a non-social (*Osmia cornuta*) species of bee. *Behavioural brain research*, 206(2), 236–239.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.09.023>
- Azmilumur, N. F., Sobri, M. N., & Othman, W. A. F. W. (2017). Meerkat foraging behaviour modelling. *2017 7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 230-235, doi: 10.1109/ICCSCE.2017.8284410.
- Berker, E. A., Berker, A. H., & Smith, A. (1986). Translation of Broca's 1865 report. Localization of speech in the third left frontal convolution. *Archives of neurology*, 43(10), 1065–1072.  
<https://doi.org/10.1001/archneur.1986.00520100069017>
- Bisazza, A., Cantalupo, C., Robins, A. et al. Right-pawedness in toads. *Nature* 379, 408 (1996).  
<https://doi.org/10.1038/379408a0>
- Bisazza, A., Rogers, L. J., & Vallortigara, G. (1998). The origins of cerebral asymmetry: a review of evidence of behavioural and brain lateralization in fishes, reptiles and amphibians. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 22(3), 411–426.  
[https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(97\)00050-x](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(97)00050-x)
- Braitenberg, V., & Kemali, M. (1970). Exceptions to bilateral symmetry in the epithalamus of lower vertebrates. *The Journal of comparative neurology*, 138(2), 137–146.  
<https://doi.org/10.1002/cne.901380203>
- Broca, P. (1865). Sur le siège de la Faculté du langage articulé. *Bulletins de la Société Anthropologique de Paris*, 6, 377-393. doi:10.3406/bmsap.1865.9495

- Cipolla-Neto, J., Horn, G., & McCabe, B. J. (1982). Hemispheric asymmetry and imprinting: the effect of sequential lesions to the hyperstriatum ventrale. *Experimental brain research*, 48(1), 22–27. <https://doi.org/10.1007/BF00239569>
- Clutton-Brock, T. H., Brotherton, P. N. M., Smith, R., McIlrath, G. M., Kansky, R., Gaynor, D., O'Riain, M. J., & Skinner, J. D. (1998a). Infanticide and expulsion of females in a cooperative mammal. *Proceedings of the Royal Society series B: biological sciences.*, 265 (1412), 2291-2295. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.1998.0573>
- Clutton-Brock, T. H., Gaynor, D., Kansky, R., MacColl, A. D. C., McIlrath, G., Chadwick, P., Brotherton, P. N. M., O'Riain, J. M., Manser, M., & Skinner, J. D. (1998b). Costs of cooperative behaviour in suricates (*Suricata suricatta*). *Proceedings. Biological sciences*, 265(1392), 185–190. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0281>
- Clutton-Brock, T.H., Gaynor, D., McIlrath, G.M., Maccoll, A.D.C., Kansky, R., Chadwick, P., Manser, M., Skinner, J.D., & Brotherton, P.N.M. (1999a). Predation, group size and mortality in a cooperative mongoose, *Suricata suricatta*. *Journal of Animal Ecology*, 68, 672-683. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.1999.00317.x>
- Clutton-Brock, T.H., Maccoll, A., Chadwick, P., Gaynor, D., Kansky, R. & Skinner, J.D. (1999b). Reproduction and survival of suricates (*Suricata suricatta*) in the southern Kalahari. *African Journal of Ecology*, 37, 69-80. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.1999.00160.x>
- Clutton-Brock, T.H., Brotherton, P.N., Russell, A.F., O'Riain, M.J., Gaynor, D., Kansky, R., Griffin, A.S., Manser, M.B., Sharpe, L.L., McIlrath, G.M., Small, T., Moss, A., & Monfort, S. (2001). Cooperation, control, and concession in meerkat groups. *Science*, 291 5503, 478-81. [10.1126/science.291.5503.478](https://doi.org/10.1126/science.291.5503.478)
- Clutton-Brock, T. H., Russell, A. F., Sharpe, L. L., Young, A. J., Balmforth, Z., & McIlrath, G. M. (2002). Evolution and development of sex differences in cooperative behavior in meerkats. *Science (New York, N.Y.)*, 297(5579), 253–256. <https://doi.org/10.1126/science.1071412>
- Clutton-Brock, T.H., Russell, A.F., & Sharpe, L.L. (2003). Meerkat helpers do not specialize in particular activities. *Animal Behaviour*, 66(3), 531-540. <https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2209>.

- Clutton-Brock, T.H., & Manser, M.B. (2016). Meerkats: cooperative breeding in the Kalahari. In Koenig, W., & Dickinson, J. (A cura di). *Cooperative Breeding in Vertebrates: Studies of Ecology, Evolution, and Behavior* (pp. 294-317). Cambridge: Cambridge University Press.
- Denenberg, V. (1981). Hemispheric laterality in animals and the effects of early experience. *Behavioral and Brain Sciences*, 4(1), 1-21. doi:10.1017/S0140525X00007330
- Doolan, S.P., & Macdonald, D.W. (1996). Diet and foraging behaviour of group-living meerkats, *Suricata suricatta*, in the southern Kalahari. *Journal of Zoology*, 239, 697-716. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1996.tb05472.x>
- Doolan, S., & Macdonald, D.W. (1997). Breeding and juvenile survival among slender-tailed meerkats (*Suricata suricatta*) in the south-western Kalahari: ecological and social influences. *Journal of Zoology*, 242, 309-327. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1997.tb05804.x>
- Doolan, S.P., & Macdonald, D.W. (1999). Co-operative rearing by slender-tailed meerkats (*Suricata suricatta*) in the Southern Kalahari. *Ethology*, 105, 851-866. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.1999.00461.x>
- Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(11), 1325–1330. DOI: [10.1111/2041-210X.12584](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584)
- Foster, W. A., & Treherne, J. E. (1981). Evidence for the dilution effect in the selfish herd from fish predation on a marine insect. *Nature*, 293(5832), 466–467. <https://doi.org/10.1038/293466a0>
- Garcia-Pelegrin, E., Clark, F., & Miller, R. (2022). Increasing animal cognition research in zoos. *Zoo Biology*, 41, 281–291. <https://doi.org/10.1002/zoo.21674>
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science (New York, N.Y.)*, 161(3837), 186–187. <https://doi.org/10.1126/science.161.3837.186>
- Ghirlanda, S., & Vallortigara, G. (2004). The evolution of brain lateralization: a game-theoretical analysis of population structure, *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 271, 853–857 <http://doi.org/10.1098/rspb.2003.2669>
- Graw, B., & Manser, M.B. (2007). The function of mobbing in cooperative meerkats. *Animal Behaviour*, 74(3), 507-517. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.11.021>.

- Griffin, A.S., Pemberton, J.M., Brotherton, P.N.M., McIlrath, G., Gaynor, D., Kansky, R., O'Riain, J., & Clutton-Brock, T.H. (2003). A genetic analysis of breeding success in the cooperative meerkat (*Suricata suricatta*). *Behavioral Ecology*, *14*(4), 472-480.  
<https://doi.org/10.1093/beheco/arg040>
- Güntürkün, O. (2002). Ontogeny of visual asymmetry in pigeons. In L. Rogers & R. Andrew (A cura di). *Comparative Vertebrate Lateralization* (pp. 247-273). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511546372.009
- Halpern, M.E., Güntürkün, O., Hopkins, W.D., & Rogers, L.J. (2005). Lateralization of the Vertebrate Brain: Taking the Side of Model Systems. *Journal of Neuroscience*, *25*(45), 10351-10357. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3439-05.2005
- Heuts, B.A. (1999). Lateralization of trunk muscle volume, and lateralization of swimming turns of fish responding to external stimuli. *Behavioural Processes*, *47*(2), 113-124.  
[https://doi.org/10.1016/S0376-6357\(99\)00056-X](https://doi.org/10.1016/S0376-6357(99)00056-X)
- Hews, D. K., & Worthington, R. A. (2001). Fighting from the right side of the brain: left visual field preference during aggression in free-ranging male tree lizards (*Urosaurus ornatus*). *Brain, behavior and evolution*, *58*(6), 356–361. <https://doi.org/10.1159/000057576>
- Hews, D.K., Castellano, M., & Hara, E. (2004). Aggression in females is also lateralized: left-eye bias during aggressive courtship rejection in lizards. *Animal Behaviour*, *68*, 1201-1207. DOI:10.1016/j.anbehav.2003.11.024
- Hopkins, W. D. (1999). On the Other Hand: Statistical Issues in the Assessment and Interpretation of Hand Preference Data in Nonhuman Primates. *International Journal of Primatology*, *New York*, *20*(6), 851-866. doi:10.1023/a:1020822401195
- Hopkins, W. D., Russell, J. L., Freeman, H., Reynolds, E. A., Griffis, C., & Leavens, D. A. (2006). Lateralized scratching in chimpanzees (*Pan troglodytes*): Evidence of a functional asymmetry during arousal. *Emotion (Washington, D.C.)*, *6*(4), 553–559.  
<https://doi.org/10.1037/1528-3542.6.4.553>
- Hopper, L.M. (2017). Cognitive research in zoos. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *16*, 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.04.006>

- Hoppitt, W., Samson, J., Laland, K.N., & Thornton, A. (2012). Identification of Learning Mechanisms in a Wild Meerkat Population. *PLoS One*, 7(8).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042044>
- Horn, G. (1985). *Memory, Imprinting, and the Brain: An Inquiry Into Mechanisms*. Oxford University Press UK.
- Horn, G. (2004). Pathways of the past: the imprint of memory. *Nature reviews. Neuroscience*, 5(2), 108–120. <https://doi.org/10.1038/nrn1324>
- Johnson-Ulrich, L., Johnson-Ulrich, Z., & Holekamp, K.E. (2022). Natural conditions and adaptive functions of problem-solving in the Carnivora. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 44(101111). <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2022.101111>
- Kutsukake, N., & Clutton-Brock, T.H. (2006). Social functions of allogrooming in cooperatively breeding meerkats. *Animal Behaviour*, 72(5). <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.02.016>.
- Lippolis, G., Joss, J. M., & Rogers, L. J. (2009). Australian lungfish (*Neoceratodus forsteri*): a missing link in the evolution of complementary side biases for predator avoidance and prey capture. *Brain, behavior and evolution*, 73(4), 295–303. <https://doi.org/10.1159/000230674>
- Loro Parque. (2019, July 16). *Bamboo's environmental enrichment for meerkats* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=uxUseP7VZ9k>
- Lurito, J. T., & Dziedzic, M. (2001). Determination of cerebral hemisphere language dominance with functional magnetic resonance imaging. *Neuroimaging clinics of North America*, 11(2), 355–x.
- Malashichev, Y. B., & Wassersug, R. J. (2004). Left and right in the amphibian world: which way to develop and where to turn?. *BioEssays : news and reviews in molecular, cellular and developmental biology*, 26(5), 512–522. <https://doi.org/10.1002/bies.20036>
- Manning, L., & Thomas-Antérion, C. (2011). Marc Dax and the discovery of the lateralisation of language in the left cerebral hemisphere. *Revue neurologique*, 167(12), 868–872.  
<https://doi.org/10.1016/j.neurol.2010.10.017>
- Manns, M., Ströckens, F., Stavenhagen, P., & Ocklenburg, S. (2018). Paw preferences in the Asian small-clawed otter - using an inexpensive, video-based protocol to study laterality of rare species in the zoo. *Laterality*, 23(6), 722–737.  
<https://doi.org/10.1080/1357650X.2018.1457047>

- Manser, M.B. (1999). Response of foraging group members to sentinel calls in suricates, *Suricata suricatta*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 266(1423), 1013. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0737>
- Manser, M.B. (2001). The acoustic structure of suricates' alarm calls varies with predator type and the level of response urgency. *Proceedings. Biological sciences*, 268(1483), 2315–2324. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1773>
- Manser, M.B., Bell, M.B., & Fletcher, L.B. (2001). The information that receivers extract from alarm calls in suricates. *Proceedings. Biological sciences*, 268(1484), 2485–2491. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1772>
- Marino, L. (2017). Thinking chickens: a review of cognition, emotion, and behavior in the domestic chicken. *Animal Cognition*, 20, 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-1064-4>
- Maynard-Smith, J. (1982). *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McGrew, W.C. & Marchant, L.F. (1997). On the other hand: Current issues in and meta-analysis of the behavioral laterality of hand function in nonhuman primates. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 104, 201-232. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(1997\)25+<201::AID-AJPA8>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(1997)25+<201::AID-AJPA8>3.0.CO;2-6)
- McManus, C. (2002). *Right hand, left hand: The origins of asymmetry in brains, bodies, atoms and cultures*. Harvard University Press.
- McManus, C. (2019). Half a century of handedness research: Myths, truths; fictions, facts; backwards, but mostly forwards. *Brain and neuroscience advances*, 3, 2398212818820513. <https://doi.org/10.1177/2398212818820513>
- Meerkat Ethogram. (n.d.). In RZSS Discovery & Learning. <https://learning.rzss.org.uk/mod/book/view.php?id=365&chapterid=97>
- Meguerditchian, A., Vauclair, J., (2009). Contrast of hand preferences between communicative gestures and non communicative actions in baboons: implications for the origins of hemispheric specialization for language. *Brain Lang.*, 108, 167-174.
- Meguerditchian, A., Calcutt, S. E., Lonsdorf, E. V., Ross, S. R., & Hopkins, W. D. (2010 a). Brief communication: Captive gorillas are right-handed for bimanual feeding. *American journal of physical anthropology*, 141(4), 638–645. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21244>

- Meguerditchian, A., Vauclair, J., Hopkins, W.D., (2010b). Captive chimpanzees use their right hand to communicate with each other: implications for the origin of the cerebral substrate for language. *Cortex*, 46(1), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.02.013>
- Michel, G.F., Sheu, C., Brumley, M.R., (2002). Evidence of a right-shift factor affecting infant hand-use preference from 7 to 11 months of age as revealed by latent class analysis. *Dev. Psychobiol.*, 40, 1-13. <http://dx.doi.org/10.1002/dev.10008>
- Microsoft Corporation. (2018). Microsoft Excel. Retrieved from <https://office.microsoft.com/excel>.
- Mistichelli, D. (1709). *Trattato dell' apoplessia in cui con nuove osservazioni anatomiche, e riflessioni fisiche si ricercano tutte le cagioni, e spezie di quel male, e si palesa frà gli altri un nuovo, & efficace rimedio*. Roma, A. de' Rossi.
- Moran, G., Timney, B., Sorensen, L., & Desrochers, B. (1983). Binocular depth perception in the meerkat (*Suricata suricatta*). *Vision research*, 23(10), 965–969. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(83\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(83)90006-8)
- Morino, L., Uchikoshi, M., Bercovitch, F., Hopkins, W. D., & Matsuzawa, T. (2017). Tube task hand preference in captive hylobatids. *Primates; journal of primatology*, 58(3), 403–412. <https://doi.org/10.1007/s10329-017-0605-z>
- Nottebohm, F. (1971). Neural lateralization of vocal control in a passerine bird. I. Song. *The Journal of experimental zoology*, 177(2), 229–261. <https://doi.org/10.1002/jez.1401770210>
- Nottebohm, F. (1977) Asymmetries for neural control of vocalization in the canary. In Harnad, S., Doty, R.W., Goldstein, L., Jaynes, J., & Krauthamer G. (A cura di). *Lateralization in the nervous system* (pp. 23–44). New York: Academic Press.
- Ocklenburg, S., Isparta, S., Peterburs, J., & Papadatou-Pastou, M. (2019). Paw preferences in cats and dogs: Meta-analysis. *Laterality*, 24(6), 647–677. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2019.1578228>
- O'Keefe, J., & Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map: Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Research*, 34(1), 171–175. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(71\)90358-1](https://doi.org/10.1016/0006-8993(71)90358-1)
- O'Riain, M., Bennett, N., Brotherton, P., Mellrath, G., & Clutton-Brock, T.H. (2000). Reproductive suppression and inbreeding avoidance in wild populations of co-operatively breeding

meerkats (*Suricata suricatta*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 48.

<https://doi.org/10.1007/s002650000249>

<https://www.parconaturaviva.it/il-parco/a-proposito-di-noi/mission>

Porac, C., & Coren, S. (1981). *Lateral Preferences and Human Behavior*. Springer, New York.

RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA

URL <http://www.rstudio.com/>.

Rauber, R., Manser, M. (2017). Discrete call types referring to predation risk enhance the efficiency of the meerkat sentinel system. *Sci Rep*, 7, 44436. <https://doi.org/10.1038/srep44436>

Regaiolli, B., Spiezio, C., & Hopkins, W. D. (2016). Hand preference on unimanual and bimanual tasks in strepsirrhines: The case of the ring-tailed lemur (*Lemur catta*). *American journal of primatology*, 78(8), 851–860. <https://doi.org/10.1002/ajp.22549>

Regaiolli, B., Bolcato, S., Ottolini, G., Vallortigara, G., Pievani, D., & Spiezio, C. (2021a). Preliminary investigation of foot preference for a string-pulling task in zoo macaws. *Applied Animal Behaviour Science*, 238, 105307, <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105307>

Regaiolli, B., Mancini, L., Vallortigara, G., & Spiezio, C. (2021b). Paw preference in wolves (*Canis lupus*): A preliminary study using manipulative tasks. *Laterality*, 26(1-2), 130–143. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2020.1853763>

Reimchen, T. E., & Spoljaric, M. A. (2011). Right paw foraging bias in wild black bear (*Ursus americanus kermodei*). *Laterality*, 16(4), 471–478. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2010.485202>

Robins, A., Lippolis, G., Bisazza, A., Vallortigara, G., & Rogers, L.J. (1998). Lateralized agonistic responses and hindlimb use in toads. *Animal Behaviour*, 56(4), 875-881, <https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0877>

Rogers, L. J., & Anson, J. M. (1979). Lateralisation of function in the chicken fore-brain. *Pharmacology, biochemistry, and behavior*, 10(5), 679–686. [https://doi.org/10.1016/0091-3057\(79\)90320-4](https://doi.org/10.1016/0091-3057(79)90320-4)

Rogers, L.J., & Deng, C. (1999). Light experience and lateralization of the two visual pathways in the chick. *Behavioural Brain Research*, 98(2), 277-287. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(98\)00094-1](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(98)00094-1)

- Rogers, L.J., & Sink, H.S. (1988). Transient asymmetry in the projections of the rostral thalamus to the visual hyperstriatum of the chicken, and reversal of its direction by light exposure. *Exp Brain Res*, 70(2), 378–384. <https://doi.org/10.1007/BF00248362>
- Rogers, L.J., Vallortigara, G., & Andrews, R.J. (2016). *Cervelli divisi: l'evoluzione della mente asimmetrica*. Mondadori università.
- Savani, L. (2011). *Giardini zoologici in epoca barocca*. <https://www.baroque.it/luoghi-del-barocco/giardini-e-parchi-barocchi/giardini-zoologici-in-epoca-barocca.html>
- Schweitzer, C., Bec, P. & Blois-Heulin, C. (2007). Does the Complexity of the Task Influence Manual Laterality in De Brazza's Monkeys (*Cercopithecus neglectus*)?. *Ethology*, 113, 983-994. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2007.01405.x>
- Sharp, S.P. and Clutton-Brock, T.H. (2010), Reproductive senescence in a cooperatively breeding mammal. *Journal of Animal Ecology*, 79, 176-183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01616.x>
- Siegel, S., & Castellan, J.N. (1992). *Statistica non parametrica*. McGraw-Hill.
- Sovrano, V.A., Rainoldi, C., Bisazza, A., & Vallortigara, G. (1999). Roots of brain specializations: Preferential left-eye use during mirror-image inspection in six species of teleost fish. *Behavioural Brain Research*, 106(1-2), 175-180. [https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(99\)00105-9](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(99)00105-9)
- Sperry R. W. (1961). Cerebral Organization and Behavior: The split brain behaves in many respects like two separate brains, providing new research possibilities. *Science (New York, N.Y.)*, 133(3466), 1749–1757. <https://doi.org/10.1126/science.133.3466.1749>
- Sperry R. (1982). Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. *Science (New York, N.Y.)*, 217(4566), 1223–1226. <https://doi.org/10.1126/science.7112125>
- Spiezio, C., Regaiolli, B., & Vallortigara, G. (2016). Motor and postural asymmetries in marsupials: Forelimb preferences in the red-necked wallaby (*Macropus rufogriseus*). *Behavioural Processes*, 128, 119-125, <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2016.04.019>
- Stancher, G., Sovrano, V.A., & Vallortigara, G. (2018). Motor asymmetries in fishes, amphibians, and reptiles. In Forrester, G.S., Hopkins, W.D., Hudry, K., & Lindell, A. (A cura di). *Cerebral Lateralization and Cognition: Evolutionary and Developmental Investigations of*

*Behavioral Biases* (pp. 33-56). Progress in Brain Research, Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.06.002>

Ströckens, F., Güntürkün, O., & Ocklenburg, S. (2013). Limb preferences in non-human vertebrates. *Laterality*, 18(5), 536–575. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2012.723008>

Thavarajah, N.K., Fenkes, M., & Clutton-Brock, T.H. (2014). The determinants of dominance relationships among subordinate females in the cooperatively breeding meerkat, *Behaviour*, 151(1), 89-102. <https://doi.org/10.1163/1568539X-00003124>

Thornton, A., & McAuliffe, K. (2006). Teaching in Wild Meerkats, *Science*, 313(5784), 227-229, <https://doi.org/10.1126/science.1128727>

Thornton, A., & Malapert, A. (2009). Experimental evidence for social transmission of food acquisition techniques in wild meerkats, *Animal Behaviour*, 78(2), 255-264. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.04.021>

Thornton, A., & Samson, J. (2012). Innovative problem solving in wild meerkats. *Animal Behaviour*, 83, 1459-1468. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.03.018>

Townsend, S. W., Allen, C., & Manser, M. B. (2012). A simple test of vocal individual recognition in wild meerkats. *Biology letters*, 8(2), 179–182. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0844>

<https://www.treccani.it/vocabolario/zoologico/>

Vallortigara, G., Rogers, L. J., Bisazza, A., Lippolis, G., & Robins, A. (1998). Complementary right and left hemifield use for predatory and agonistic behaviour in toads. *Neuroreport*, 9(14), 3341–3344. <https://doi.org/10.1097/00001756-199810050-00035>

Vallortigara, G. (2005). *Cervello di gallina: visite (guidate) tra etologia e neuroscienze*. Bollati Boringhieri.

Vallortigara, G., & Rogers, L. J. (2005). Survival with an asymmetrical brain: advantages and disadvantages of cerebral lateralization. *The Behavioral and brain sciences*, 28(4), 575–633. <https://doi.org/10.1017/S0140525X05000105>

Van Staaden, M. 1994. *Suricata suricata*. *Mammalian Species*, 483, 1-8.

Zucca, P., Baciadonna, L., Masci, S., & Mariscoli, M. (2011). Illness as a source of variation of laterality in lions (*Panthera leo*). *Laterality*, 16(3), 356-366. <https://doi.org/10.1080/13576501003690025>

