



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea in Psicologia Cognitiva Applicata

Tesi di laurea Magistrale

Percezione del movimento: Relazione tra piacevolezza, plausibilità fisica e animacy in scenari di rimbalzo

Motion perception: relationship between pleasantness, physical plausibility and animacy in bouncing-like scenarios

Relatore:

Prof. Vicovaro Michele

***Laureando:* Cosentino Daniel**

***Matricola:* 2052298**

Anno Accademico 2022/2023

Indice

Indice	1
Introduzione	3
1. Teorie intuitive sul rimbalzo	7
1.1 Fisica ingenua e metodi di studio	8
1.2 Internalizzazione ed euristiche	13
1.3 Osservazioni sulla fisica ingenua del rimbalzo	18
2. Fisica e fisica ingenua del rimbalzo	23
2.1 Introduzione alla fisica del rimbalzo	24
2.2 Moto di caduta libera	25
2.3 Conservazione dell'energia, urti ed elasticità	28
2.4 Plausibilità fisica del rimbalzo	33
3. Percezione di <i>animacy</i>	37
3.1 Origini evolutive della percezione di <i>animacy</i>	38
3.2 Percepire causalità	40
3.3 Proprietà percettive dell'<i>animacy</i>	45
4. Estetica dei giudizi	52
4.1 Percezione estetica tra arte, filosofia e scienza	53
4.2 Studio dei giudizi estetici	56
4.3 Giudizi estetici sul movimento	61
5. Esperimenti sul rimbalzo	68
5.1 Metodi generali	72
5.1.1 Partecipanti	72
5.1.2 Appartato strumentale e stimoli	73
5.1.3 Procedura	75

<u>5.1.4 Analisi</u>	77
<u>5.2 Esperimento 1</u>	77
<u>5.2.1 Stimoli e procedure</u>	78
<u>5.2.2 Risultati commentati</u>	79
<u>5.2.3 Conclusioni</u>	87
<u>5.3 Esperimento 2</u>	88
<u>5.3.1 Stimoli e procedure</u>	88
<u>5.3.2 Risultati commentati</u>	89
<u>5.2.3 Conclusioni</u>	97
<u>5.4 Discussione generale</u>	99
<u>Conclusioni</u>	108
<u>Bibliografia</u>	111
<u>Sitografia</u>	121

Introduzione

Un fenomeno fisico che possiamo facilmente riscontrare in molte circostanze è il movimento di rimbalzo. Qualsiasi oggetto che risulti abbastanza elastico e resistente da non rompersi o deformarsi a seguito dell'impatto col suolo, se lasciato cadere da una certa altezza, effettuerà qualche rimbalzo prima rimanere in stato di quiete. Normalmente capita tutti i giorni di notare un qualche tipo di rimbalzo. Lo possiamo osservare a seguito del colpo di risposta in un incontro di tennis professionistico trasmesso in tv, in un piccolo sasso piatto e sottile lanciato parallelamente alla superficie di un lago o anche in una moneta caduta accidentalmente sul parquet. Potremmo essere così abituati a questo particolare movimento da essere anche in grado di prevedere la traiettoria dell'oggetto rimbalzante con una discreta accuratezza. Se ci chiedessimo cosa potrebbe spiegare, in termini fisici, il movimento di rimbalzo, potremmo pensare alle caratteristiche dei materiali che compongono l'oggetto e la superficie contro la quale rimbalza, all'angolazione e alla velocità con cui avviene l'impatto e magari alla forma posseduta dall'oggetto stesso. Ma cosa accadrebbe se osservassimo un oggetto effettuare dei rimbalzi "poco fisici", tali da poter essere definiti innaturali? Potremmo pensare che si tratti di salti piuttosto che di rimbalzi, e che l'oggetto fisico in questione sia in realtà dotato di vita propria. Pensiamo all'ipotetica situazione in cui, con la coda dell'occhio, intravediamo una piccola figura dalla forma indistinta muoversi nella nostra direzione, entrando ripetutamente in contatto col suolo in quelli che sembrano essere diversi moti parabolici consecutivi. Se questi appaiono armonici, si fanno via via meno ampi e l'apice di ciascuno di essi si riduce progressivamente, il primo pensiero che potremmo avere è che si tratti di un oggetto elastico nell'atto di rimbalzare, come una pallina di gomma lanciata da un bambino nelle vicinanze. Cosa accadrebbe, invece, se questi movimenti si ripetessero in maniera irregolare o addirittura diventassero progressivamente più ampi? A questo punto potremmo allarmarci, ipotizzando la presenza di una probabile cavalletta che stia saltando a pochi passi da noi e nella nostra direzione.

Come possiamo constatare, anche attraverso il precedente esempio, possediamo dei criteri percettivi più o meno definiti – dei quali siamo spesso inconsapevoli – per interpretare le informazioni sensoriali provenienti dall'ambiente. Quando si tratta di ricono-

scere un movimento, questi criteri sono stabiliti da una complessa elaborazione percettiva che include svariate caratteristiche proprie del movimento osservato, come la velocità con cui avviene o il grado di coerenza con la gravità terrestre. Questi criteri percettivi sembrano essersi affinati nel tempo per ragioni evolutive. Saper distinguere con un elevato grado di accuratezza un movimento riconducibile ad un potenziale predatore potrebbe essere infatti un importante vantaggio adattivo per la sopravvivenza di una specie. Allo stesso modo, potersi creare delle aspettative adeguate sul comportamento fisico di determinati oggetti materiali in svariate circostanze può essere di grande utilità per interagire in maniera efficace con l'ambiente. Anche nel riconoscimento di specifici tipi di movimento, come quello di rimbalzo, possiamo percepire alcune caratteristiche che ci permettono di poterli attribuire ad entità inanimate o animate, come alla pallina di gomma o alla cavalletta dell'esempio precedente. Ciò che può determinare questa distinzione, nel movimento di rimbalzo, è il primo aspetto discusso all'interno del presente lavoro.

Il secondo aspetto richiama invece le preferenze estetiche nel movimento. Ci sono infatti dei particolari tipi di movimenti che tendiamo a preferire rispetto ad altri. Se pensiamo alla danza, che sia classica o moderna, possiamo notare come i ballerini stiano ore ed ore a perfezionarne i passi proprio per renderli quanto più belli possibile a livello visivo. L'estetica di un movimento può essere legata sia a determinate caratteristiche proprie del movimento, come l'armonia o la fluidità con cui avviene, sia a qualità legate alle aspettative formate su di esso, come il grado di prevedibilità che possiede. Una palla da basket che dopo esser stata lanciata si appiattisce inesorabilmente al primo impatto col suolo, senza effettuare il benché minimo rimbalzo, tradirebbe l'aspettativa di elasticità che necessariamente abbiamo di una palla. Il movimento di quella che si è rivelata essere una palla sgonfia potrebbe quindi suscitare un lieve stato affettivo negativo, derivato dalla violazione delle nostre aspettative e dalla sua scarsa prevedibilità. Di conseguenza, risulterebbe sicuramente meno gradevole a livello visivo in confronto a quello di una palla che rispetta a pieno le nostre previsioni. Fattori come la prevedibilità, la fluidità o l'armonia in un movimento possono infatti influenzare la piacevolezza che cogliamo in esso. In riferimento allo specifico movimento di rimbalzo, sono pertanto esaminate alcune delle caratteristiche fisiche e percettive che permettono di giudicarlo più piacevole in termini di estetica.

Infine, un ultimo aspetto analizzato ha a che fare con quella che si può definire un'intersezione tra i primi due. Come già accennato, vi possono essere delle caratteristiche del movimento di rimbalzo che possono ricondurlo ad un'entità animata o inanimata; queste stesse caratteristiche, tuttavia, potrebbero a loro volta influire sulla piacevolezza percepita nel movimento stesso. Pertanto, vi potrebbe essere una certa relazione tra la piacevolezza percepita in un movimento di rimbalzo e la misura con cui esso viene attribuito ad un'entità animata o inanimata. Non è escluso poi che la piacevolezza percepita possa essere influenzata dal tipo di entità a cui viene ricondotto il movimento. Ad esempio, si potrebbe ipotizzare che i movimenti che appaiono più riconducibili ad entità inanimate possano esser reputati più piacevoli per l'elevata familiarità che generalmente possiedono – i quali rispetterebbero con maggior probabilità le nostre aspettative. Ipotesi come questa sono state approfondite all'interno dell'ultimo capitolo.

Riassumendo, nel presente lavoro si analizzano, in primo luogo, le caratteristiche che permettono di interpretare un movimento di rimbalzo come attribuibile ad un'entità inanimata o animata. Si parla in questo caso di quanto un movimento venga percepito *fisicamente plausibile*, attribuibile quindi ad un'entità inanimata mossa da forze esterne (come una palla lasciata cadere al suolo e soggetta alla sola forza di gravità), o *animato*, attribuibile invece ad un'entità dotata di vita propria e di forza interna (come potrebbe accadere se la palla in questione, anziché rimbalzare, “saltasse” sempre più in alto). In secondo luogo, sono esaminate alcune delle caratteristiche che possono contribuire all'esperienza estetica nell'osservazione del movimento di rimbalzo. A tal proposito, sono analizzate alcune variabili percettive che possono influire sulla cosiddetta *percezione di piacevolezza* nel movimento. Infine, viene indagata l'esistenza di una relazione tra la percezione di plausibilità fisica o di *animacy* nel movimento di rimbalzo e la piacevolezza che questo suscita.

Il presente lavoro è articolato in cinque capitoli, nei quali vengono dapprima introdotti e discussi sul piano teorico i temi sopra menzionati (percezione di plausibilità fisica, di *animacy* e di piacevolezza), e successivamente presentati ed analizzati due esperimenti sul movimento di rimbalzo. I risultati di questi esperimenti sono infine discussi in relazione a quanto esposto in precedenza. In particolare, nel primo capitolo si introduce la fisica ingenua, un campo di indagine che si occupa di spiegare gli errori e le teorie intuitive infondate che normalmente condizionano le previsioni e le inferenze effettuate sui

fenomeni fisici, compreso il movimento di rimbalzo. Nel secondo capitolo si espongono i principali concetti della fisica meccanica che descrivono il moto di rimbalzo di un oggetto, e si entra più nel dettaglio sulle credenze erranee che possono caratterizzare i giudizi di plausibilità fisica nel movimento di rimbalzo. Nel terzo capitolo si introduce la percezione di *animacy* e si discutono le variabili che la determinano, dapprima nei movimenti in generale, poi all'interno dello specifico movimento di rimbalzo. Nel quarto capitolo vengono trattate le preferenze estetiche relative al movimento, e viene fatto riferimento in particolar modo a quelle che possono essere estese all'interno dei movimenti di rimbalzo. Infine, nel quinto ed ultimo capitolo sono presentati e discussi due esperimenti, nei quali sono stati valutati e messi a confronti i giudizi di plausibilità fisica, di *animacy* e di piacevolezza dei partecipanti in funzione di diverse animazioni grafiche simulanti il movimento di rimbalzo di un oggetto.

1. Teorie intuitive sul rimbalzo

Immaginiamo di essere al parco, seduti su una panchina. Poco lontano, un bambino con una pallina cattura la nostra attenzione. Ad un tratto, lancia la pallina verso l'alto. Ne seguiamo con lo sguardo il movimento. Osserviamo la pallina prima salire, fino a raggiungere il suo apice, e poi scendere, aumentando di velocità. Giunge al suolo e rimbalza, e ricomincia a salire, fino ad arrivare alla medesima altezza raggiunta pocanzi. Il moto si ripete, ancora e ancora. La pallina rimbalza di continuo e raggiunge sempre lo stesso picco; sembra non fermarsi mai. In presenza di questa scena capiremmo subito che c'è qualcosa di strano in essa, e probabilmente ne resteremmo esterrefatti. Noteremmo che si tratta di un fenomeno inusuale, non presente in natura e che non risponde alle leggi fisiche alle quali siamo abituati. Potremmo ipotizzare, paradossalmente, che quella pallina sia animata e stia letteralmente saltando. Ma in che modo giudichiamo se un evento sia naturale o no? Quale criterio utilizziamo per stabilire se un rimbalzo rispetta adeguatamente le leggi fisiche? La risposta potrebbe non essere così scontata. Come si dimostra in seguito, non è così netto il confine che ci permette di separare la percezione di un rimbalzo plausibile da quella di uno inverosimile. Il motivo risiede nel fatto che spesso si hanno delle credenze erronee nell'interpretazione dei fenomeni prettamente fisici, e non di rado vengono effettuate previsioni intuitive sugli eventi fisici che si rivelano sbagliate. Per comprendere meglio la percezione di plausibilità fisica nel moto di rimbalzo è necessario comprendere il grado di influenza di queste credenze erronee nella formulazione di giudizi e ipotesi sugli eventi fisici.

Il presente capitolo, quindi, verte sul tema della fisica ingenua, ovvero sullo studio delle credenze e delle previsioni errate sui fenomeni fisici. Di seguito, sono presentate e discusse alcune delle nozioni relative a questo campo di ricerca; ne sono trattati gli argomenti dapprima a livello generale, esponendo gli approcci allo studio della disciplina e le due principali prospettive teoriche di riferimento, e successivamente nello specifico, esaminando da vicino il grado di influenza che le teorie intuitive possono avere nella percezione di movimenti come quello di rimbalzo.

1.1 Fisica ingenua e metodi di studio

Con il termine *fisica ingenua*, riportata anche come *fisica intuitiva* o *fisica del senso comune*, si fa riferimento alla “nostra capacità di comprendere la struttura fisica del mondo e di anticipare come si comporteranno gli oggetti mentre si svolge la dinamica di una scena” (Fischer, 2021). Si tratta pertanto di una capacità intrinseca dell’essere umano, che è quindi in grado di sviluppare delle proprie interpretazioni teoriche del comportamento fisico degli oggetti. Tuttavia, seppure queste teorie sembrano descrivere ragionevolmente l’esperienza del movimento nel mondo reale, si rivelano spesso incoerenti con i principi fondamentali della fisica classica (McCloskey, 1983a).

Consideriamo la questione seguente: se lasciamo cadere dalla stessa altezza e nello stesso istante due sfere delle stesse dimensioni, quindi dello stesso volume, ma di massa differente, quale delle due toccherà prima il suolo? Supponiamo che ad esempio la prima sia di piombo e la seconda di legno (legno di abete), quindi che la prima sia di gran lunga più pesante della seconda¹. Quale ragionamento porterebbe a formulare la nostra risposta? La soluzione e la relativa motivazione potrebbero sembrarci piuttosto intuitive. Ci si potrebbe appellare, ad esempio, alla spiegazione secondo cui la sfera di massa maggiore, in virtù proprio della sua maggior quantità di peso, cada più velocemente². Quindi, secondo questo ragionamento, sarebbe la sfera di piombo a raggiungere per prima il suolo. Ma si potrebbe altrettanto pensare che due sfere dello stesso volume cadano sempre alla stessa velocità, indipendentemente dalla loro massa³. In quest’altro caso, toccherebbero il suolo entrambe nello stesso istante. Tuttavia, per formulare queste ipotesi sul comportamento fisico delle sfere, è possibile che non si abbia sufficiente consapevolezza delle forze in gioco, come la forza di gravità o la resistenza dell’aria.

¹ Il peso specifico (peso per unità di volume) del piombo è di 11340 Kg/m^3 , mentre quello del legno di abete è di 700 Kg/m^3 (Wikipedia, 2023).

² Generalmente, si assume che gli oggetti più pesanti cadano più velocemente di quelli più leggeri. Questa credenza è stata analizzata in numerosi studi sotto il nome di *mass-speed belief* (Vicovaro, 2014).

³ La credenza secondo cui tutti gli oggetti, indipendentemente dalla loro massa, cadano alla stessa velocità è stata definita da Oberle *et al.* (2005) il *bias* di Galileo, in quanto, come riportano all’inizio del loro lavoro, lo scienziato ha scritto nel suo trattato “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali” le seguenti parole: “Aristotele dice: ‘una palla di ferro di cento libbre, cadendo dall’altezza di cento braccia, arriva in terra prima che una di una libbra sia scesa un sol braccio’; io dico ch’ell’arrivano nell’istesso tempo; voi trovate, nel farne l’esperienza, che la maggiore anticipa due dita la minore, cioè che quando la grande percuote in terra, l’altra ne è lontana due dita”.

Queste tematiche sono state ampiamente affrontate nel dettaglio in numerosi studi (Oberle *et al.* 2005; Vicovaro *et al.*, 2019; Vicovaro *et al.*, 2021). Nello specifico, Oberle *et al.* (2005) hanno somministrato un questionario in cui si chiedeva ai partecipanti, tra le varie domande, di prevedere quale tra due palle di massa identica ma di volume differente (e viceversa) avrebbe raggiunto per prima il suolo, se fossero entrambe lasciate cadere dall'altezza di circa 10 metri e nello stesso momento – un problema identico a quello appena presentato. Dai risultati è emerso che il 61% dei partecipanti ha ritenuto che la palla di massa maggiore arrivasse per prima al suolo, mentre il restante 39% ha ritenuto che vi arrivassero entrambe nello stesso istante – risultati tutt'altro che univoci. Inoltre, dalle risposte fornite a domande simili, all'interno dello stesso questionario, riguardanti gli effetti della resistenza dell'aria e della forza di gravità sul moto di caduta delle due palle, è emerso come parte dei partecipanti avesse scarsa conoscenza concettuale degli effetti che queste due forze esercitano sul moto di caduta verticale (*ibidem*). Da qui emerge come ragionamenti come quelli precedentemente ipotizzati possano essere perfettamente plausibili per trovare la soluzione a questo problema. In ogni caso, ciò che avviene nella realtà, dal punto di vista fisico, è che un oggetto cadrà tanto più velocemente quanto maggiore è la sua massa e minore è l'area della sua sezione frontale soggetta alla forza di resistenza dell'aria (per una trattazione più approfondita del fenomeno si veda il capitolo 2) (Greenwood *et al.*, 1986; Takahashi & Thompson, 1999). Una rappresentazione di quanto detto, nel caso di due sfere di diversa massa e uguale volume (e viceversa), è mostrata in Figura 1. Quindi, riprendendo la questione presentata all'inizio del paragrafo, quello che accadrebbe realmente è che la sfera di piombo, che ha una massa maggiore rispetto alla sfera di legno, a parità di volume – e quindi a parità di sezione frontale – verrà rallentata di meno dall'attrito dovuto alla resistenza dell'aria; quindi, cadrà più velocemente e raggiungerà per prima il suolo. Come si è osservato nello studio di Oberle *et al.* (2005), non è poi così scontato che si abbia una chiara consapevolezza fisica di tale fenomeno.

Interrogativi come questo consentono di testare la validità delle proprie credenze sul comportamento fisico degli oggetti. Le risposte fornite ad essi sono proprio il campo di indagine della fisica ingenua. Un esempio paradigmatico, che coglie a pieno le peculiarità di questa disciplina, è lo studio di McCloskey *et al.*, pubblicato nel 1980. In esso è stato chiesto ai partecipanti di tracciare con la matita la traiettoria che seguirebbe una

Moto di caduta verticale

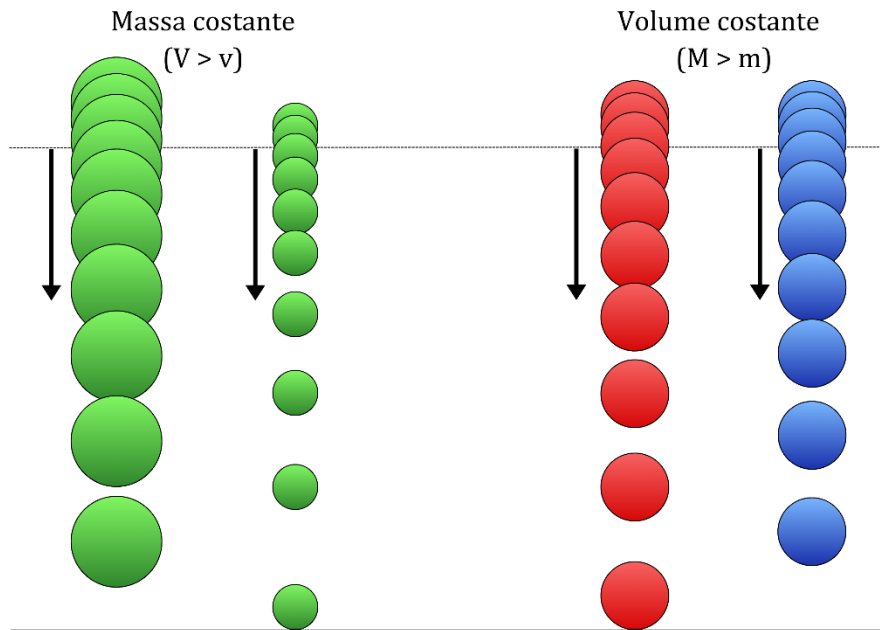


Figura 1. Rappresentazione di alcuni *frames* del moto di caduta verticale di due sfere in due condizioni differenti: a sinistra, due sfere di volume diverso ma di massa uguale; a destra, due sfere di volume uguale ma di massa diversa. Nel primo caso, a parità di massa, la sfera con volume maggiore (V), quindi con maggiore area della sua sezione frontale, subirà maggior attrito dovuto alla resistenza dell'aria e cadrà più lentamente di quella con volume minore (v). Nel secondo caso, a parità di volume, la sfera con massa maggiore (M), proprio per la sua maggior quantità di peso, subirà una forza attrattiva maggiore dal campo gravitazionale terrestre e cadrà più velocemente di quella con massa minore (m).

palla di metallo nelle seguenti situazioni: a) all'uscita da un tubo metallico ricurvo, dopo essere stata spinta al suo interno e b) se il filo al quale è agganciata, che la fa roteare velocemente attorno ad un perno, si spezzasse; in entrambi i casi, si è esplicitato di trascurare la resistenza dell'aria. Chiaramente, appena fuoriuscita dal tubo (qualunque sia la forma di quest'ultimo) o appena spezzatosi il filo, la palla si muoverà seguendo una traiettoria rettilinea. L'unica forza che agisce su di essa è quella perpendicolare alla bocca del tubo, nel primo caso, e quella tangenziale al suo moto circolare, nel secondo. Nonostante questo, buona parte dei tracciati (compresi alcuni di quelli prodotti da coloro che avevano preso parte a corsi accademici di fisica) seguiva una traiettoria curvilinea, come se la palla continuasse a mantenere la traiettoria precedente. Un'illustrazione di questo risultato si può osservare in Figura 2. Da questo esempio – e dal quesito presentato all'inizio del paragrafo – emerge come il nostro sistema cognitivo non sia una fonte pienamente

attendibile nel fare previsioni o inferenze. Inoltre, come si è visto, si può incorrere in tali errori anche possedendo una certa consapevolezza dei principi fisici che governano il movimento degli oggetti (McCloskey, 1983a; Oberle *et al.*, 2005; Sequeira & Leite, 1991).

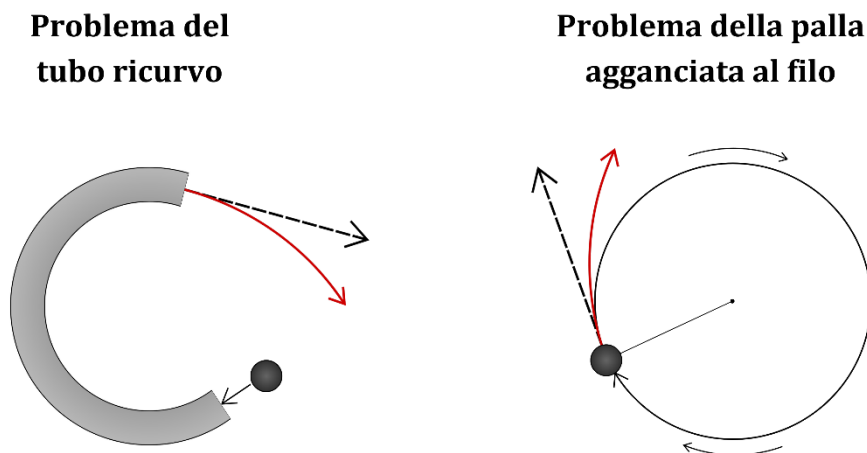


Figura 2. Ricostruzione dei problemi presentati ai partecipanti nello studio di McCloskey *et al.* (1980). A sinistra è raffigurata una palla entrante in un tubo ricurvo; a destra la traiettoria di una palla che si muove di moto circolare uniforme agganciata ad un filo fissato ad un perno. Le frecce tratteggiate rappresentano la traiettoria reale che seguirebbe la palla fuoriuscendo dal tubo (a sinistra) o qualora si spezzasse il filo (a destra). Le frecce rosse rappresentano la traiettoria prevista tracciata da una significativa parte dei partecipanti.

Negli studi riguardanti la fisica ingenua spesso si propone ai partecipanti di fornire delle previsioni su come avverrebbe la dinamica di un certo fenomeno fisico, se questo avvenisse nella realtà. Ad esempio, come è stato fatto nello studio precedente, si potrebbe chiedere ai partecipanti di tracciare con un segno grafico la traiettoria che seguirebbe un oggetto in movimento in un determinato contesto, se fosse una situazione reale. Oppure si potrebbe chiedere di scegliere, tra varie alternative di possibili movimenti presentate, quella che rappresenta la traiettoria più plausibile. Ancora, si potrebbe chiedere ai partecipanti di esplicitare i propri ragionamenti sulle dinamiche di un movimento durante l'esecuzione di compiti del genere. L'intento, comunque, è di esaminare le risposte fornite e comprenderne le motivazioni sottostanti. Alcune delle situazioni fisiche studiate in questo modo hanno riguardato il moto di un proiettile in condizioni differenti, i sistemi di

pulegge e il comportamento dei fluidi. Ad esempio, è stata valutata la capacità di fare inferenze sulla traiettoria che seguirà una palla trasportata a mezz'aria orizzontalmente a velocità costante nel momento in cui viene lasciata cadere (McCloskey *et al.*, 1983), oppure sulla traiettoria di una pallina che oscilla appesa ad un filo qualora quest'ultimo si spezzasse durante l'oscillazione (Caramazza *et al.*, 1981). Altri studi hanno esplorato le previsioni dei partecipanti circa il movimento di una carrucola inserita all'interno di un sistema di carrucole (Hegarty, 1992), ed altri ancora hanno esplorato le previsioni circa il comportamento dei fluidi inseriti in recipienti di forme diverse, quando i recipienti stessi vengono inclinati (Schwartz & Black, 1999). Da questi studi emerge infatti come la nostra vita sia costellata di situazioni nelle quali le nostre previsioni sul comportamento fisico dei corpi possano risultare fallaci, e come tale fenomeno possa pervadere molti dei contesti con i quali interagiamo abitualmente. Prove dell'utilizzo di queste false credenze nelle situazioni reali, infatti, sono altrettanto presenti (Kaiser *et al.*, 1985; McClosey & Kohl, 1983).

Oltre a questi metodi, basati essenzialmente sull'identificazione e l'analisi delle previsioni erranee, un altro approccio sperimentale allo studio della fisica ingenua consiste nel mostrare ai partecipanti uno scenario artificiale che mette in scena situazioni raffiguranti particolari dinamiche fisiche manipolate sperimentalmente. In questi casi, ai partecipanti viene tipicamente chiesto di fornire dei giudizi su specifici aspetti presi in esame (e.g. sulla plausibilità fisica di un movimento) o di estrapolare delle qualità dai comportamenti fisici osservati (e.g. sulle caratteristiche materiali degli oggetti presentati). Anche qui, lo scopo è quello di elicitarle le inferenze derivate dalla percezione di quanto osservato, con l'intento di spiegarne il funzionamento. Studi di questo tipo hanno analizzato, ad esempio, le inferenze effettuate sulla massa di due oggetti sulla base delle caratteristiche del loro movimento a seguito della collisione tra essi (Gilden & Proffitt, 1994; Todd & Warren, 1982), la capacità di giudicare la viscosità di un liquido renderizzato al computer attraverso le informazioni visive ricavate dalla sua fluidità (Kawabe *et al.*, 2015) e la naturalezza del movimento di caduta verticale di sfere di massa diversa in funzione del loro *pattern* di movimento (accelerazione uniforme o velocità costante) (Vicovaro *et al.*, 2019; Vicovaro *et al.*, 2021). Mediante questo approccio, è possibile ottenere misure più dirette di un determinato effetto percettivo offrendo agli stessi partecipanti la possibilità di manipolare i parametri del fenomeno fisico preso in esame, impiegando il cosiddetto

metodo di aggiustamento⁴. Applicazioni di questo metodo si possono riscontrare, ad esempio, nello studio della percezione di naturalezza di eventi fisici riguardanti la collisione (Vicovaro & Burigana, 2015) o la caduta verticale (Vicovaro *et al.*, 2021). Questo approccio, inoltre, è stato impiegato all'interno dei due esperimenti discussi nel capitolo 5, in cui ai partecipanti è stato chiesto di esprimere proprio dei particolari tipi di giudizi a seguito dell'osservazione di diversi stimoli inerenti al movimento rimbalzo.

In sintesi, la fisica ingenua si affaccia allo studio delle teorie intuitive sull'interpretazione fisica della realtà abbracciando un vasto campo di tematiche. Sulla base delle evidenze presentate, appare lampante l'importanza di avere maggior consapevolezza dei limiti del sistema cognitivo, proprio per soppesare meglio le proprie valutazioni. Da qui emerge una crescente ricerca nell'applicazione delle conoscenze relative alla fisica ingenua nell'ambito dell'insegnamento scolastico, con l'auspicio che integrando all'insegnamento della fisica classica conoscenze relative alle comuni false credenze si possa ridurre la portata proprio di queste ultime (Kavanagh & Sneider, 2006; Vicovaro, 2021). Allo stesso modo, anche l'ambito sportivo, in cui può essere di cruciale importanza la capacità di fare previsioni accurate, può beneficiare dei progressi effettuati dallo studio della fisica ingenua (Vicovaro, 2021), e applicazioni di questi progressi si possono riscontrare anche nella computer grafica e nella progettazione di intelligenze artificiali (Piloto *et al.*, 2022; Reitsma & O'Sullivan, 2009; Ullman *et al.*, 2017).

1.2 Internalizzazione ed euristiche

Sin da subito si è cercato di fornire spiegazioni sulle origini delle credenze fallaci emerse dalle numerose ricerche nell'ambito della fisica ingenua. Nei primi studi, è stata avanzata l'ipotesi secondo cui questi errori deriverebbero non da una scarsa conoscenza o una mancata applicazione delle leggi fisiche, bensì da un ben più radicato sistema di credenze (McCloskey, 1983b), per certi versi affine alla visione Aristotelica del moto e alle teorie medievali (Kubricht *et al.*, 2017). Si è infatti avuta evidenza di come il modello

⁴ Il metodo di aggiustamento è un metodo ampiamente utilizzato negli studi di psicofisica, che consiste nel fornire al partecipante la possibilità di cambiare le caratteristiche di uno stimolo per misurarne una variabile. Utilizzato spesso in passato nella misura della soglia percettiva (Gescheider, 1997, pp. 64-66).

Aristotelico, secondo cui i corpi cadono a velocità costante e si muovono nella direzione in cui vengono spinti (annullando di fatto l'effetto di precedenti forze agenti su di essi in direzioni diverse), possa avere un riscontro pratico in determinate previsioni sul movimento degli oggetti (diSessa, 1982; Shanon, 1974). È stato inoltre evidenziato come la teoria medievale dell'*impetus*⁵, che sostiene che il movimento è generato dalla trasmissione di un *impetus* (forza motrice), possa guidare buona parte dei ragionamenti sulle dinamiche fisiche del movimento (Hubbard, 2013a; Kozhevnikov & Hegarty, 2001; McCloskey, 1983a; McClosey & Kohl, 1983).

Questo sistema di credenze, al quale spesso si fa riferimento con il più generico termine di euristiche⁶, ha offerto numerose spiegazioni soddisfacenti alle teorie fisiche basate sul senso comune. Secondo questa prospettiva, gli errori deriverebbero da veri e propri *bias* cognitivi di natura sistematica che, seppure permettano di arrivare facilmente ad intuire una soluzione, non consentono di prendere in considerazione le numerose variabili fisiche presenti nel contesto. Si ipotizza che questi *bias* avrebbero origini percettive, e che derivino da una generalizzazione della conoscenza acquisita attraverso l'esperienza con i fenomeni fisici (McClosey & Kohl, 1983; Yates *et al.*, 1988). Sebbene non vi sia completo accordo se si tratti di un vero e proprio sistema di credenze o di più generiche spiegazioni isolate (Vicovaro *et al.* 2021), resta comunque ben documentata la rilevanza di queste euristiche nell'interpretazione della realtà fisica.

Riprendendo la teoria dell'*impetus*, si è suggerito come proprio questa teoria possa venir utilizzata come un'euristica predefinita, e che si farebbe facilmente ricorso ad essa in assenza di un'adeguata quantità di tempo per effettuare un'accurata riflessione della situazione e in presenza di situazioni di cui si ha scarsa familiarità (Kozhevnikov & Hegarty, 2001). Questa euristica sarebbe stata impiegata, ad esempio, da alcuni partecipanti nello studio di McClosky *et al.* (1980), precedentemente discusso. Infatti, la traiettoria curvilinea della palla all'uscita dal tubo (o dopo essersi spezzato il filo), che da alcuni

⁵ La teoria dell'*impetus* si è sviluppata nel corso dei secoli attraverso il contributo di diversi personaggi illustri del proprio tempo. È stata proposta concettualmente da Giovanni Filopono nel VI secolo, che ritenne che i corpi acquisissero una forza motrice impartita direttamente da ciò che ne causasse il movimento, e che questa decrescesse progressivamente in funzione dell'attrito dell'aria e del peso del corpo. Successivamente, Avicenna, nell'XI secolo, sviluppando un concetto analogo a quello di Filopono, precisò che un corpo in movimento potesse acquisire una sola forza motrice per volta. Nel XIV secolo, Giovanni Buridano ne rielaborò ulteriormente la teoria, definendo tale forza trasmessa *impetus* (De Oliveira, 2022).

⁶ Le euristiche sono strategie o scorciatoie cognitive che permettono di arrivare facilmente ad una conclusione senza sforzo e nell'immediato.

partecipanti veniva ritenuta come perfettamente plausibile, deriverebbe proprio dalla concezione per cui la palla, muovendosi inizialmente di moto circolare, avrebbe incorporato un *impetus* circolare che si sarebbe mantenuto anche dopo, in assenza dei vincoli fisici imposti dalle pareti del tubo (o dal filo al quale è fissata). A sostegno della forte influenza dell'euristica dell'*impetus* nelle previsioni sul moto dei corpi, si è avuta evidenza di come ci si avvarrebbe di essa anche in situazioni reali, in cui avviene un'interazione strumentale con gli oggetti (McCloskey & Kohl, 1983). Infine, in un recente studio si è mostrato come questa euristica possa venir applicata in una vasta gamma di domini percettivi (e.g. dalla percezione di causalità alla percezione delle forze) e come, talvolta, possa portare con poco sforzo cognitivo a formulare previsioni approssimativamente corrette (Hubbard, 2022).

L'euristica dell'*impetus* è uno dei tanti esempi di euristiche a cui si è fatto riferimento per spiegare l'origine delle previsioni e delle inferenze imprecise sugli eventi fisici. È stato suggerito che vengano utilizzate euristiche anche in eventi relativi alla collisione tra due oggetti, per inferire la massa dei due oggetti (Gilden & Proffitt, 1989; Mitko & Fischer, 2023; Todd e Warren, 1982) o una possibile relazione di causalità tra essi (Vicovaro, 2018), e in eventi di caduta verticale, per giudicare la naturalezza del moto di caduta di oggetti di massa diversa (Vicovaro *et al.*, 2019; Vicovaro *et al.*, 2021). Anche la più generica *straight-down belief* (si veda oltre) (McCloskey *et al.*, 1983) e l'ipotesi dell'esternalizzazione della meccanica corporea, ipotesi secondo cui avverrebbe una proiezione delle dinamiche del nostro corpo nella realtà percepita (Hecht, 2001), si basano sullo stesso principio delle euristiche: si tratta in tutti i casi di ragionamenti intuitivi, applicati in maniera immediata e pressoché automatica per giungere rapidamente ad una conclusione, spesso approssimativa della realtà.

La prospettiva delle euristiche, tuttavia, non spiega come in molti casi la prestazione dei partecipanti in compiti reali si riveli piuttosto accurata. Il fatto che nella maggior parte dei casi le persone siano perfettamente in grado di interagire adeguatamente con oggetti il cui comportamento è determinato dalle leggi fisiche, lascia ipotizzare che vi sia al contempo una conoscenza implicita corretta dei fenomeni fisici. In altre parole, potrebbe esservi qualche forma di conoscenza implicita delle leggi fisiche che viene "risparmiata" dai *bias* cognitivi (Bosco *et al.*, 2012; Vicovaro, 2021; Zago & Lacquaniti, 2005). Inoltre, le euristiche utilizzate in determinate situazioni non sono facilmente generalizzabili a

contesti leggermente differenti. È il caso della *straight-down belief*, la credenza che un oggetto che si muove orizzontalmente, se lasciato cadere, cadrà dritto verso il suolo (McCloskey *et al.*, 1980; McCloskey *et al.*, 1983). Infatti, buona parte dei partecipanti credeva che se una palla trasportata da un aereo, che si muove a velocità costante, all'improvviso si sganciasse e cadesse giù (ignorando l'attrito dell'aria), la palla cadrebbe perpendicolarmente al suolo. Se invece lo scenario prevedeva una palla che, rotolando, cade giù da un precipizio, i partecipanti erano inclini a prevedere (correttamente) una traiettoria parabolica (McCloskey & Kohl, 1983; [McCloskey *et al.*, 1983](#)). Le forze in gioco sono le stesse, eppure gli errori sono più comuni nel primo caso che nel secondo. Questa è solo una delle motivazioni che hanno esortato la ricerca nell'ambito della fisica ingenua a trovare spiegazioni alternative alle numerose incongruenze presenti.

Più recentemente, per far fronte almeno in parte a questi problemi, è emersa una diversa prospettiva in merito alle possibili spiegazioni sulle teorie ingenuie relative alla fisica, basata sull'inferenza Bayesiana⁷: è stato proposto che giudizi, previsioni e inferenze possano essere spiegati attraverso un modello probabilistico che integra tra le sue variabili la presenza del rumore Gaussiano⁸, relativo all'incertezza sulla percezione sensoriale delle variabili fisiche, e le precedenti conoscenze delle leggi fisiche di riferimento (Sanborn *et al.*, 2009; Smith & Vul, 2013). Questo modello verrà successivamente definito *noisy Newton model*, così chiamato perché incorpora in sé la fisica Newtoniana e il rumore (*noise*) sensoriale intrinseco nella percezione delle variabili fisiche (Sanborn *et al.*, 2013). In sostanza, prevede che le variabili percettive osservabili di un fenomeno fisico, soggette al rumore sensoriale, vengano integrate con le precedenti credenze apprese delle leggi fisiche per formare dei giudizi soggettivi sulla possibilità che un determinato evento si verifichi (Kubricht *et al.*, 2017). Questo modello ha origine dal concetto secondo cui l'essere umano sia in grado, per merito del suo processo evolutivo, di internalizzare regolarità e vincoli ambientali mediante un principio universale di generalizzazione (Shepard, 1987). Da qui il motivo per cui questa prospettiva viene comunemente definita dell'internalizzazione.

⁷ L'inferenza Bayesiana è un approccio alla statistica inferenziale basato sul teorema di Bayes, ampiamente utilizzato nella ricerca in ambito scientifico.

⁸ Il rumore Gaussiano rappresenta un rumore che si distribuisce secondo la curva a campana di Gauss. Nel presente caso si fa riferimento al fatto che il rumore percettivo è una variabile aleatoria, con una distribuzione di probabilità di tipo Gaussiana.

Ciò che contraddistingue la prospettiva dell'internalizzazione da quella dell'euristiche, in sostanza, è che la prima, a differenza della seconda, presuppone l'esistenza di una conoscenza implicita corretta delle leggi fisiche. Secondo la prospettiva dell'internalizzazione il sistema visivo genera previsioni fisiche accurate, e sarebbe l'integrazione di quest'ultime con le informazioni sensoriali disponibili a trarre in inganno (Deeb *et al.*, 2021). In altre parole, secondo questa prospettiva gli errori inferenziali non deriverebbero da *bias* sistematici che alterano la percezione degli eventi – come sostiene la prospettiva dell'euristiche – bensì dall'integrazione di conoscenze corrette delle regolarità fisiche, interiorizzate attraverso l'esperienza, con informazioni sensoriali inattendibili.

A supporto dell'ipotesi dell'internalizzazione delle leggi fisiche, corroborando di conseguenza il *noisy Newton model*, sono emerse alcune teorie basate sulla cosiddetta simulazione probabilistica approssimativa: le previsioni fisiche vengono effettuate generando simulazioni mentali del fenomeno fisico osservato, integrando in esse il rumore sensoriale e una ricostruzione interna della fisica Newtoniana (Kubricht *et al.*, 2017). Queste teorie si basano sulla capacità del sistema cognitivo di creare dei modelli mentali, ovvero rappresentazioni strutturali del mondo che permettono di ragionare su un fenomeno simulandolo mentalmente (Gentner, 2001; Ford, 1985). Il modello della simulazione probabilistica approssimativa è risultato efficace nello spiegare, ad esempio, le inferenze sulla stabilità di torri costituite da blocchi tridimensionali disposti uno sull'altro, secondo configurazioni generate casualmente, (Battaglia *et al.*, 2013) o quelle sul modo in cui un liquido soggetto alla gravità fluirebbe attraverso un percorso intralciato da strutture solide che fungono da ostacoli (Bates *et al.*, 2015).

Pertanto, secondo la prospettiva dell'internalizzazione della fisica Newtoniana, le previsioni e le inferenze sugli eventi fisici sono soggette ad un certo grado di incertezza proprio in virtù del processo che le determina. Tuttavia, alcune critiche sostengono che l'ipotesi dell'internalizzazione non sia sufficiente a spiegare universalmente la questione, e non sempre i partecipanti appaiono comportarsi come se facessero uso delle conoscenze internalizzate sull'accelerazione gravitazionale o sulla statica dei fluidi (Hecht, 2001). Ad esempio, nel caso del lancio di un oggetto il cui moto segue una traiettoria parabolica, una credenza comune è che l'oggetto lanciato continui ad accelerare progressivamente

nella prima fase del moto, subito dopo essere stato rilasciato⁹ (Hecht & Bertamini, 2000). Una spiegazione coerente con questa credenza, piuttosto che con l'ipotesi dell'internalizzazione, si avrebbe attraverso l'ipotesi dell'esternalizzazione della meccanica corporea – già incontrata precedentemente – secondo cui l'accelerazione del mezzo che ha causato il lancio (il braccio) verrebbe esternalizzata all'oggetto, facendolo accelerare a sua volta (*ibidem*).

In conclusione, due principali prospettive teoriche sono state proposte per giungere ad una comprensione dei frequenti preconcetti e delle interpretazioni erranee sul comportamento fisico degli oggetti in numerose circostanze. Tuttavia, né la prospettiva dell'utilizzo di euristiche, né quella dell'internalizzazione dei principi fisici sembrano spiegare con coerenza l'origine di queste teorie intuitive. In linea di massima, si ottengono spiegazioni più attendibili facendo riferimento alla prospettiva delle euristiche nel caso in cui gli errori o le false credenze siano di più ampia portata, mentre si possono chiarire per mezzo della prospettiva dell'internalizzazione gli errori minori e quando questi errori si distribuiscono casualmente (Vicovaro, 2021). Ad ogni modo, per quanto non possano considerarsi ancora teorie definitive e risolutive della questione, è innegabile l'apporto teorico che hanno fornito per comprendere e spiegare in due ottiche differenti importanti caratteristiche del sistema cognitivo e del sistema percettivo dell'essere umano, spesso trascurate.

1.3 Osservazioni sulla fisica ingenua del rimbalzo

I primi studi che a partire dagli anni '80 hanno esaminato le teorie ingenuie sul comportamento fisico di una palla hanno riguardato principalmente le previsioni effettuate sulla traiettoria che questa seguirebbe in numerosi scenari fisici, come quella di una palla

⁹ Nello studio di Hecht e Bertamini (2000) è emerso come un significativo numero di partecipanti ritenesse che nel lancio di un oggetto (una situazione di moto parabolico) quest'ultimo raggiungesse la sua massima velocità in prossimità dell'apice della sua traiettoria. Questo effetto, nella realtà, si otterrebbe solo se l'oggetto in questione avesse un'accelerazione uniforme o crescente. Secondo gli autori, questo deriverebbe da una credenza inconsapevole secondo cui un oggetto, dopo essere stato lanciato, continua ad accelerare. Nella realtà (e secondo le leggi fisiche) la velocità massima viene raggiunta subito dopo che l'oggetto è stato lanciato e decresce gradualmente in direzione dell'apice della sua traiettoria, per poi aumentare nuovamente nella fase di discesa.

lasciata cadere da un aereo in movimento (relativi alla *straight-down belief*) o uscente da un tubo ricurvo – come abbiamo visto precedentemente (Kaiser *et al.*, 1985; McCloskey *et al.*, 1980; McCloskey *et al.*, 1983). Tuttavia, la maggior parte di questi studi non aveva ancora preso in considerazione la percezione del rimbalzo. Uno dei primi che si è occupato di questo fenomeno ha esaminato come vengono ricavate le informazioni sull’elasticità di una palla dal modo in cui rimbalza (Warren *et al.*, 1987). L’elasticità dell’oggetto rimbalzante è una caratteristica peculiare in questo tipo di movimento, perché è proprio questa variabile che determina la velocità di risalita e l’altezza massima raggiungibile dall’oggetto stesso (si veda il capitolo 2).

Si ha evidenza di come il nostro sistema cognitivo sia abilmente in grado di riconoscere e categorizzare i materiali di cui sono fatti gli oggetti e alcune delle loro proprietà fisiche (Fleming, 2014). Si è ipotizzato che per farlo possa seguire o un *percorso associativo* – ricavandone le proprietà fisiche rievocando dalla memoria quelle di materiali ritenuti simili – o un *percorso estimativo* – ricavandone le proprietà fisiche direttamente dalle informazioni visive derivanti dalle caratteristiche del comportamento fisico del materiale (Paulun & Fleming, 2020; Schmidt, *et al.*, 2017). In particolare, diversi studi hanno mostrato come è proprio attraverso il secondo che si possono ricavare proprietà come l’elasticità di un oggetto che rimbalza (Kawabe & Nishida, 2016; Paulun & Fleming, 2020; Vicovaro & Burigana, 2015; Warren *et al.*, 1987).

Tornando allo studio di Warren *et al.* (1987), è emerso che il fattore principale a cui si fa riferimento per giudicare l’elasticità di un oggetto che rimbalza, in assenza della possibilità di testarla direttamente (e.g. con dei palleggi), è la sua altezza relativa, specificata dall’altezza massima che l’oggetto raggiunge a seguito di ogni rimbalzo. In particolare, si è ipotizzato che i partecipanti, che osservavano la palla rimbalzare, per giudicare l’elasticità facessero affidamento sul rapporto tra l’altezza che la palla raggiungeva dopo il primo rimbalzo e l’altezza dalla quale la palla era stata lasciata cadere precedentemente; maggiore era questo rapporto, minore sarebbe stata l’elasticità della palla (*ibidem*). Questi risultati sono stati confermati anche successivamente, all’interno di uno studio che ha esplorato la percezione visiva dell’elasticità in un contesto di simulazione grafica del rimbalzo (Nusseck *et al.*, 2007). In questo caso, i partecipanti erano in grado di rilevare accuratamente l’elasticità di una palla quando le animazioni mostravano chiaramente l’altezza che la palla raggiungeva a seguito del primo rimbalzo; quando invece le

animazioni si interrompevano poco dopo il rimbalzo, prima che la palla raggiungesse il suo picco, le informazioni visive disponibili non risultavano sufficienti ai partecipanti per poterne inferire correttamente l'elasticità. Pertanto, conoscere l'altezza relativa dei rimbalzi sembra essere determinante per rilevare l'elasticità di un oggetto.

Un altro studio, sempre all'interno di un contesto di simulazione al computer, ha esaminato la percezione di naturalezza di una palla che rimbalza, in relazione alla sua elasticità e alla forza di gravità (Twardy & Bingham, 2002). In esso sono stati quindi manipolati l'elasticità della palla (facendone variare l'altezza raggiunta dopo il rimbalzo) e la forza di gravità (facendo muovere la palla più o meno velocemente). I risultati hanno mostrato che i rimbalzi eccessivamente elastici, ovvero i rimbalzi a seguito dei quali la palla raggiungeva picchi sempre più alti, apparivano innaturali – come ci si aspetterebbe – e che i rimbalzi soggetti ad una forza di gravità maggiore di quella terrestre apparivano invece naturali. Nello specifico, seppure i partecipanti fossero in grado di distinguere le variazioni della forza di gravità nelle diverse animazioni del rimbalzo, anche quando questa eccedeva quella terrestre, giudicavano i rimbalzi soggetti ad una forza di gravità maggiore di quella terrestre persino come più naturali (*ibidem*). Di conseguenza, sulla base di questi risultati, la gravità non sembra essere un fattore fortemente discriminante, al pari dell'elasticità, per distinguere correttamente un rimbalzo naturale da uno innaturale.

Un successivo studio, che ha preso in esame sia i giudizi di elasticità di un oggetto (in questo caso un cubo) a seguito del rimbalzo, sia quelli legati alla tipicità del rimbalzo stesso (un costrutto per certi versi analogo a quello relativo alla naturalezza, incontrato prima), ha ottenuto risultati coerenti con quelli appena mostrati (Paulun & Fleming, 2020). In merito alla tipicità percepita, è emerso come rimbalzi rigidi (poco elastici), molto elastici o con traiettorie casuali venivano generalmente giudicati meno tipici; rimbalzi con un grado di elasticità intermedio venivano invece giudicati più tipici. I giudizi di elasticità invece, in linea di massima, erano coerenti con l'effettiva elasticità del cubo preimpostata (i cubi a cui erano stati impostati bassi valori di elasticità venivano correttamente percepiti come poco elastici, e così quelli molto elastici), seppur con qualche eccezione. I risultati dimostrano comunque che si possiede un'accurata capacità di percepire l'elasticità di un oggetto attraverso le informazioni visive ottenute dal modo in cui l'oggetto stesso rimbalza. Infine, gli stimoli sono stati presentati in tre diverse condizioni di *rendering* grafico, nelle quali, generalmente, non sono state riscontrate notevoli

differenze in entrambi i giudizi; tuttavia, nella condizione di basso *rendering*, sia i giudizi di tipicità, sia quelli sull'elasticità del rimbalzo, sono risultati significativamente più bassi rispetto alle altre due condizioni (*ibidem*). Questo risultato, ed altri come questo, sono in linea con l'ipotesi secondo cui, nello studio della fisica ingenua, gli stimoli realistici possono fornire valutazioni solitamente più attendibili del fenomeno indagato (Vicovaro *et al.*, 2021).

Numerosi studi che invece hanno preso in considerazione il *pattern* di movimento (ovvero utilizzando una velocità costante o un'accelerazione uniforme) di un oggetto che cade verticalmente hanno dimostrato come questa variabile sia in stretta relazione con la massa dell'oggetto – *mass-speed belief*: più si assume che un oggetto sia pesante, più si ritiene che l'oggetto cadrà con velocità ed accelerazione maggiori (Champagne *et al.*, 1980; Rohrer, 2002; Vicovaro, 2014; Vicovaro *et al.*, 2019; Vicovaro *et al.*, 2021). Tuttavia, in questi studi, l'impatto del *pattern* di movimento in relazione alla massa dell'oggetto non è stato valutato all'interno del movimento di rimbalzo. È certamente possibile che il sopraccitato effetto si possa riscontrare anche in questo contesto; occorre però riconoscere la maggior complessità, a livello percettivo, del movimento di rimbalzo rispetto a quello di caduta verticale. Effetti del genere possono infatti riscontrare delle differenze a seconda del tipo e della complessità del movimento considerato, e non è escluso che all'interno del movimento di rimbalzo il *mass-speed belief* possa essere mediato da altri fattori.

In conclusione, nel presente capitolo si è mostrato come l'essere umano spesso possiede credenze inesatte sul comportamento fisico degli oggetti. Queste credenze, come abbiamo visto, si possono ripercuotere nella formulazione di previsioni, giudizi ed inferenze in innumerevoli situazioni. Successivamente, sono stati presentati i principali metodi di ricerca della fisica ingenua, portando alcuni esempi che contraddistinguono lo studio della disciplina. Sono state esposte le due principali prospettive teoriche di riferimento – dell'euristiche e dell'internalizzazione – che spiegano l'origine e l'occorrenza di queste credenze. Infine, nell'ultimo paragrafo, si è discusso di alcuni aspetti che caratterizzano la percezione del movimento rimbalzo di un oggetto.

Il seguente capitolo approfondisce con maggior dettaglio la percezione di plausibilità fisica (o naturalezza) nel movimento di rimbalzo attraverso lo studio di Vicovaro *et al.* (2023). In questo studio il movimento di rimbalzo è stato manipolato in diverse variabili – l’elasticità, il numero di rimbalzi e il *pattern* di movimento, per citarne alcune – e ne sono stati analizzati gli effetti sui giudizi di plausibilità fisica dei partecipanti. Questo studio costituisce le fondamenta dalle quali hanno avuto origine i due esperimenti discussi all’interno del capitolo 5; per tale motivo, verrà ripreso più volte all’interno del presente lavoro. Il seguente capitolo, inoltre, integra alla fisica ingenua la fisica meccanica. Prima che venga presentato lo studio di Vicovaro *et al.* (2023), infatti, viene affrontato il movimento di rimbalzo da un punto di vista prettamente fisico. Sono quindi riportate le maggiori leggi della meccanica che descrivono il moto di rimbalzo e ne vengono introdotte le principali variabili fisiche implicate. Comprendere la fisica del rimbalzo risulta di grande importanza in questo contesto; oltre a fornire una maggior consapevolezza del comportamento reale di un oggetto che rimbalza e a facilitare l’interpretazione dei risultati degli studi discussi, tornerà particolarmente utile all’interno del capitolo 5. In questo, infatti, nella realizzazione degli stimoli utilizzati nei due esperimenti, si è fatto ampio riferimento ai concetti cardine che descrivono il rimbalzo dal punto di vista fisico. Pertanto, ne vengono di seguito approfonditi quegli aspetti utili alla comprensione degli argomenti trattati.

2. Fisica¹⁰ e fisica ingenua del rimbalzo

Si è mostrato finora quanto spesso le credenze errate sul comportamento fisico di oggetti ed eventi possano influire sulle previsioni e sui giudizi, compresi quelli inerenti al movimento di rimbalzo. Invece, non è stato fatto ancora alcun riferimento a ciò che determina, a livello fisico, le caratteristiche che contraddistinguono questo specifico tipo di movimento. Come è già stato precisato, comprendere le leggi che descrivono il moto di rimbalzo può fornire un ausilio sia nella comprensione dei risultati ottenuti dai vari studi sull'argomento, incluso il recente studio di Vicovaro *et al.* (2023) discusso nel presente capitolo, sia nella comprensione del modo in cui sono stati realizzati gli stimoli dei due esperimenti trattati all'interno del capitolo 5. Come è stato accennato, lo studio di Vicovaro *et al.* (2023) ha approfondito nel dettaglio numerosi aspetti relativi alla percezione fisica – e animata, come si vedrà in seguito – del movimento di rimbalzo. I risultati ottenuti sono stati di ispirazione per includere all'interno dello studio della percezione del movimento di rimbalzo anche il tema delle preferenze estetiche. La percezione del movimento animato, insieme allo studio dei giudizi di preferenza estetica (o piacevolezza), sono oggetto di analisi all'interno dei capitoli 3 e 4, rispettivamente. Come accennato, questi costituiscono i temi centrali dei due esperimenti e del presente lavoro, insieme alla percezione di plausibilità fisica.

Il presente capitolo riguarda da un lato la fisica vera e propria del rimbalzo, dall'altro la fisica ingenua del rimbalzo. Il primo argomento viene trattato all'interno dei primi tre paragrafi del capitolo: il primo ha la funzione di introdurre alcuni aspetti chiave del moto di rimbalzo, nonché il campo di studio della fisica al quale si fa riferimento; il secondo tratta nello specifico il moto di caduta libera, che costituisce la prima fase del moto di rimbalzo (in quest'analisi si escludono tutti gli altri moti di rimbalzo non caratterizzati da un iniziale moto di caduta libera); il terzo, infine, introduce gli urti, la trasformazione dell'energia e l'elasticità, argomenti centrali all'interno della fase di collisione con la superficie, nella quale si concretizza il rimbalzo effettivo dell'oggetto. Il secondo argomento

¹⁰ Le nozioni di fisica riportate nel seguente capitolo sono tratte dal manuale di Halliday *et al.* (2014).

è invece trattato nell'ultimo paragrafo, in cui sono analizzati i quattro esperimenti realizzati da Vicovaro *et al.* (2023) e ne sono mostrati i risultati.

2.1 Introduzione alla fisica del rimbalzo

Dal punto di vista fisico, il moto di rimbalzo di un *corpo* o *grave*, che in fisica indica una porzione limitata di materia con caratteristiche determinate e sottoponibile a misura, si riferisce al comportamento specifico che un corpo elastico effettua venendo a contatto con una superficie più o meno rigida. Si tratta di un moto di tipo ciclico, in quanto il corpo, se dotato di un'elasticità non nulla, effettua più rimbalzi consecutivi. Possiamo considerare ogni singolo ciclo di rimbalzo costituito da tre fasi: 1) una *fase di discesa*, in cui il corpo, da un punto dello spazio, si muove verso il basso sotto l'influenza della forza di gravità; 2) una *fase di collisione*, in cui il corpo entra in contatto con una superficie; 3) una *fase di ascesa*, in cui il corpo si muove verso l'alto fino a fermarsi, soggetto sia alla forza elastica generata dal contatto con la superficie, sia alla forza di gravità. La forza elastica è generalmente inferiore rispetto a quella di gravità; di conseguenza, il corpo, al termine della fase di ascesa, raggiunge uno stato di quiete ad un'altezza inferiore rispetto a quella di partenza. La ripetizione di più cicli consecutivi determina il moto di rimbalzo, in cui, in ciascuna fase di ascesa, il corpo raggiunge picchi progressivamente più bassi. Il moto termina quando la fase di ascesa diviene nulla e il corpo rimane in stato di quiete sulla superficie di rimbalzo. Nel caso in cui la forza elastica (o la risultante delle forze dirette verso l'alto, se queste fossero più di una) fosse maggiore di quella di gravità, in ciascun rimbalzo, nella fase di ascesa, il corpo raggiungerebbe invece picchi progressivamente più alti; in questo caso il moto sarebbe perpetuo.

Il movimento che effettua un corpo che rimbalza può essere spiegato secondo le leggi della *meccanica*, branca della fisica che si occupa dello studio del moto, della statica e dell'equilibrio dei corpi. La meccanica si differenzia, a sua volta, in due categorie: la *cinematica* e la *cinetica* (o *dinamica*). La cinematica si occupa di descrivere quantitativamente il moto dei corpi. La cinetica, invece, descrive il moto dei corpi in funzione delle forze agenti. In questo contesto si fa riferimento, rispettivamente, alle leggi della cinematica per spiegare il moto di caduta libera, e alle leggi della cinetica per spiegare la

trasformazione dell'energia che caratterizza lo spostamento del corpo nello spazio e l'urto contro la superficie durante ciascun ciclo di rimbalzo.

2.2 Moto di caduta libera

Consideriamo il movimento che segue una sfera di piombo che viene lasciata cadere da una certa altezza dal suolo, senza che le venga impressa nessuna forza meccanica. Come ci aspetteremmo, questa sfera cadrà perpendicolarmente al suolo con velocità crescente, fino ad impattare con esso. In fisica, un corpo che viene lasciato cadere da una certa altezza, partendo da una posizione di quiete, assume un moto che viene definito di *caduta libera*.

Nella realtà, i corpi, indipendentemente dal movimento che stiano effettuando, si muovono all'interno di un *mezzo* o *fluido*, che può essere una sostanza liquida o gassosa. Durante lo spostamento, inevitabilmente incontrano una forza denominata *resistenza del mezzo* o *resistenza fluidodinamica*, dovuta proprio al mezzo in cui sono immerse e che si oppone al loro movimento. Questa resistenza è causata dalle molecole che costituiscono il mezzo, che esercitano un'azione frenante sui corpi presenti. I parametri da cui dipende la resistenza del mezzo sono la forma e la dimensione del corpo che si muove in esso, la viscosità del mezzo e la velocità relativa del corpo rispetto al mezzo. A causa di queste variabili possiamo notare, ad esempio, come corpi identici che si muovono in caduta libera in mezzi diversi cadono a velocità differenti. Nel caso della sfera di piombo, se questa fosse lasciata cadere su un prato e poi in una piscina colma d'acqua, potremmo osservare infatti come vari la sua velocità a seconda che si muova nell'uno o nell'altro mezzo.

In una condizione ideale si tende a trascurare la resistenza del mezzo, e, di conseguenza, anche le caratteristiche relative alla forma e alla dimensione del corpo in questione. Questo accade, in particolare, quando il movimento del corpo avviene nel vuoto. In questo caso, l'unica forza che agisce su di esso è quella dovuta al campo gravitazionale da cui è investito, che gli imprime un'accelerazione detta, appunto, *di gravità* o

gravitazionale. Se lasciassimo cadere la sfera di piombo nel cosiddetto tubo di Newton¹¹ insieme ad un qualunque altro oggetto, come anche una piuma, entrambi cadrebbero esattamente alla stessa velocità. In questo caso, infatti, i corpi, non attraversando alcun mezzo, cadrebbero in assenza di attrito, e giungerebbero alla base del tubo nello stesso istante.

I corpi presenti sulla Terra, proprio per l'elevata massa che la Terra possiede, sono soggetti al suo campo gravitazionale. Esso genera una forza attrattiva diretta verso il centro della Terra, che imprime in ciascun corpo un'accelerazione di gravità. L'accelerazione di gravità terrestre (g) non ha un valore costante in ogni punto della Terra; varia in funzione della latitudine (e.g. ai poli è maggiore rispetto all'equatore) e dell'altitudine (e.g. sul monte Everest – di quasi 9000 metri – è minore rispetto al livello del mare). Il Sistema internazionale dell'unità di misura (SI) ha tuttavia fissato un valore convenzionale all'accelerazione di gravità, che è il seguente:

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2 \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

Sulla Terra, qualunque corpo in caduta libera dalla medesima altezza in una condizione di vuoto, quindi soggetto esclusivamente all'accelerazione di gravità (considerandola nel suo valore definito dal SI, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$), impiegherà lo stesso tempo per giungere al suolo, indipendentemente dalla massa, dalla forma e dalla dimensione. Se lasciassimo cadere due sfere di volume identico ma di massa diversa – come l'esempio della sfera di piombo e della sfera di legno, presentato all'interno del capitolo 1 – dal terzo piano di un edificio (circa 10 metri), ci accorgeremmo però che questa affermazione non è generalizzabile alla realtà, in quanto le sfere attraverserebbero un mezzo. In questo caso, il moto di caduta libera verrebbe spiegato non più esclusivamente dall'accelerazione di gravità, ma dalla contrapposizione delle forze agenti. Considerando la cinetica del moto di caduta libera, la resistenza dell'aria, definita *resistenza aerodinamica* (F_{res}), si contrappone alla *forza di gravità* o *forza peso* (F_p), che agisce su qualunque corpo spingendolo verso il basso. Nel caso delle due sfere, la resistenza aerodinamica avrebbe la stessa

¹¹ Il tubo di Newton è un apposito strumento cilindrico dalla forma allungata, generalmente di vetro e chiuso alle due estremità da tappi in ottone, al cui interno è possibile generare una condizione di vuoto mediante una pompa pneumatica collegata ad esso.

intensità su di esse, poiché entrambe hanno lo stesso volume¹², ma la forza di gravità, direttamente proporzionale alla massa¹³, sarebbe maggiore nella sfera di massa maggiore, e la farebbe cadere più velocemente; questa, quindi, giungerebbe al suolo per prima – la differenza del tempo impiegato dalle due sfere sarebbe comunque minima da un'altezza di 10 metri. Una raffigurazione di questo fenomeno, con le rispettive forze agenti su ognuna delle due sfere dell'esempio, si può osservare in Figura 3.

Caduta libera di sfere con massa diversa



Figura 3. L'immagine mostra due sfere in caduta libera, una di legno (a sinistra) e una di piombo (a destra), con le rispettive forze agenti. La forza peso (F_p) è diretta verso il basso; la resistenza aerodinamica (F_{res}) è diretta verso l'alto. Poiché la forza peso (F_p) è decisamente maggiore della resistenza aerodinamica (F_{res}), il verso di caduta è analogo a quello della prima, la forza peso (F_p), e le sfere si spostano perpendicolarmente in direzione del suolo terrestre. Tuttavia, poiché la massa della sfera di piombo è maggiore di quella della sfera di legno, la forza peso (F_p) della prima è maggiore della seconda; pertanto, la sfera di piombo cade più velocemente. La dimensione delle frecce, rappresentati le forze agenti, indica a scopo illustrativo la grandezza delle rispettive forze.

Quando la caduta avviene invece nel vuoto, come è stato precisato, la massa e il volume non influiscono sul moto del corpo, e la contrapposizione delle forze presenti diventa irrilevante. La velocità di caduta è quindi solamente in funzione dell'accelerazione di gravità (g) e del tempo (t) impiegato, poiché il corpo, partendo da fermo, ha una velocità iniziale nulla:

¹² Come è stato precisato, la resistenza del mezzo dipende dalla forma e dalla dimensione del corpo e, in particolare, dall'area della sezione frontale esposta alla forza di resistenza. Nel caso di sfere dello stesso volume, l'area della sezione frontale di entrambe soggetta alla resistenza dell'aria è identica.

¹³ La forza peso (F_p) agente su un corpo è data dal prodotto della sua massa per l'accelerazione gravitazionale ($F_p = m g$).

$$v = g t$$

Se quindi un corpo viene lasciato cadere nel vuoto da una certa altezza (h) iniziale, il valore della sua velocità (v) aumenta gradualmente in funzione del tempo trascorso, e il corpo percorre sempre più spazio per unità di tempo. Al momento dell'impatto col suolo il corpo raggiunge quindi la sua massima velocità dall'inizio del moto di caduta. La velocità (v) e il tempo (t) impiegato, essendo a loro volta dipendenti dalla distanza percorsa, possono essere ugualmente determinati in funzione di questa; pertanto, in corrispondenza del punto di impatto, in cui la distanza percorsa corrisponde all'altezza (h) dal quale il corpo è stato lasciato cadere, essi equivalgono a:

$$t = \sqrt{\frac{2 h}{g}}$$

$$v = \sqrt{2 g h}$$

Come possiamo osservare da entrambe le equazioni, durante la caduta il tempo (t) impiegato dal corpo e la sua velocità (v) sono tanto maggiori quanto maggiore è lo spazio che il corpo ha attraversato, e sono massimi in corrispondenza del punto in cui il corpo impatta col suolo, avendo questo percorso l'intera distanza, ovvero l'altezza (h) dalla quale è stato lasciato cadere.

In sostanza, ciò che emerge è che, in condizioni ideali, quindi in assenza di attrito dell'aria, la velocità di un corpo in caduta libera dipende esclusivamente dall'accelerazione di gravità, dal tempo trascorso e dalla distanza percorsa. Come vedremo, queste informazioni (insieme a quelle riportate nel seguente paragrafo) aiuteranno a comprendere meglio la procedura e i parametri impiegati durante la progettazione dei due esperimenti sul movimento di rimbalzo, discussi nel capitolo 5.

2.3 Conservazione dell'energia, urti ed elasticità

Se ci fermiamo al moto di caduta libera di un corpo, le analisi sul suo comportamento fisico possono fermarsi al momento in cui questo impatta contro il suolo. La sfera di piombo che è stata lasciata cadere, una volta raggiunta la superficie, però, non si arresta completamente. Effettuerà una serie di rimbalzi che dipenderanno, tra i vari fattori, dalle proprietà elastiche relative ai materiali che compongono la sfera e la superficie su cui avviene il rimbalzo.

È necessario introdurre in questo contesto il concetto di *energia*, che è una grandezza fisica associata allo stato (o condizione) di un corpo. L'energia può essere trasferita da un corpo ad un altro, e può trasformarsi da una forma ad un'altra – come avviene ad esempio mediante la dinamo, lo strumento capace di convertire energia meccanica in energia elettrica. In meccanica, le tre forme principali di energia sono l'*energia cinetica*, l'*energia potenziale* e l'*energia meccanica*. La prima, l'energia cinetica, è una forma di energia legata al movimento dei corpi, e che i corpi possiedono quando effettuano un movimento. Dipende sia dalla velocità che dalla massa del corpo in movimento. L'energia potenziale è l'energia immagazzinata in un corpo in funzione della sua posizione all'interno di un campo di forze. Ad esempio, un corpo sospeso a mezz'aria, a pochi metri dal suolo terrestre, è soggetto alla forza attrattiva gravitazionale del pianeta, che, nel momento in cui viene lasciato libero di muoversi, lo fa cadere al suolo; proprio questa forza fa sì che il corpo sospeso incapsuli al suo interno un'energia potenziale, detta *gravitazionale*, che, quando il corpo comincia muoversi, si trasforma gradualmente in energia cinetica. Infine, l'energia meccanica è la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale possedute da un corpo.

Consideriamo ora ciò che accade nella situazione in cui la sfera di piombo viene lasciata cadere da una certa altezza, trascurando l'attrito dell'aria, e soffermiamoci solo sulle trasformazioni di energia associate al moto: quando la sfera si trova in posizione iniziale ha un'energia potenziale gravitazionale massima, poiché soggetta alla forza di gravità terrestre, ed un'energia cinetica nulla, poiché si trova in stato di quiete; appena comincia a cadere, acquisendo velocità, l'energia potenziale gravitazione si trasforma gradualmente in energia cinetica. Al momento della collisione col suolo la situazione è inversa: l'energia cinetica raggiunge il suo valore massimo, mentre quella potenziale

diventa nulla; questo avviene in quanto la velocità raggiunge a sua volta il suo valore massimo rispetto alla distanza percorsa, ripercuotendosi proporzionalmente sull'energia cinetica, e la superficie del suolo impedisce alla sfera di cadere ulteriormente, esaurendo la sua energia potenziale. L'energia meccanica, dal punto iniziale al punto finale del movimento della sfera, è rimasta costante, in quanto l'energia potenziale si è progressivamente convertita in energia cinetica, lasciando continuamente inalterata la somma delle due energie. Questo principio, secondo cui la somma dell'energia totale iniziale (E_i) è uguale a quella finale (E_f), viene definito *principio di conservazione dell'energia meccanica*:

$$E_i = E_f \rightarrow U_i + K_i = U_f + K_f$$

U_i rappresenta l'energia potenziale iniziale e U_f quella finale; K_i l'energia cinetica iniziale e K_f quella finale. Un sistema in cui si verifica questa condizione viene detto *isolato*, proprio perché non c'è dispersione di energia.

Quando la sfera raggiunge la superficie, collide con essa. In fisica, questa condizione viene definita *urto*. Si parla di *urti elastici* quando l'energia cinetica viene interamente conservata, allo stesso modo della *quantità di moto*, una grandezza fisica definita dal prodotto tra la massa del corpo e la sua velocità. In questo caso, un corpo che collide con una superficie statica, come può essere quella del suolo, rimbalza con una velocità iniziale pari a quella con cui è avvenuto l'impatto. Nel caso di *urti anelastici*, una parte dell'energia cinetica si disperde sotto altre forme di energie, ad esempio in energia termica, generando calore. In questo caso, il corpo rimbalza con una velocità iniziale inferiore a quella con cui è avvenuto l'impatto, che è tanto minore quanto maggiore è la dispersione di energia cinetica. Se a seguito della collisione il corpo si arrestasse completamente sulla superficie, si parlerebbe invece di *urti perfettamente anelastici*, nei quali la dispersione dell'energia cinetica è totale. Nella realtà gli urti non sono né perfettamente elastici né perfettamente anelastici. Quando la sfera di piombo collide col suolo, parte della sua energia cinetica si dissipa in altre forme di energia, e una parte di essa si trasforma in energia potenziale *elastica*, dovuta allo stato di compressione della sfera al momento dell'impatto. Questa energia imprime alla sfera una forza elastica diretta verso l'alto, che fa sì che la sfera si decomprima e rimbalzi, e cominci a muoversi verso l'alto.

La velocità iniziale di ascesa, in questo caso, risulta inferiore rispetto alla velocità immediatamente precedente alla collisione, a causa proprio della dispersione dell'energia.

Uno dei fattori più importanti implicati nel rimbalzo di un corpo, come abbiamo accennato all'inizio del paragrafo, riguarda le proprietà elastiche dei materiali che costituiscono il corpo stesso e la superficie su cui avviene il rimbalzo. In fisica, l'*elasticità* è la proprietà che permette ad un corpo di ritornare nella sua forma iniziale a seguito di una deformazione. Una misura che permette di stabilire il grado di elasticità di un corpo è il coefficiente di restituzione (e), che, nel caso di un urto tra un corpo e una superficie statica, è dato dalla formula:

$$e = \left| \frac{v}{u} \right|$$

u rappresenta la velocità del corpo subito prima della collisione e v rappresenta invece la velocità del corpo immediatamente dopo la collisione. Se entrambe le velocità (u e v) hanno lo stesso valore, seppur di verso opposto, il coefficiente di restituzione (e) sarà uguale ad 1, e si tratterà di un urto perfettamente elastico. In questo caso, infatti, il corpo raggiungerà la stessa altezza dal quale è stato lasciato cadere. Se invece la velocità successiva alla collisione (v) è pari a 0, quindi, se a seguito della collisione il corpo si arresta, anche il coefficiente di restituzione (e) sarà nullo, e si tratterà di un urto perfettamente anelastico. La velocità successiva alla collisione (v), tuttavia, non può superare quella precedente alla collisione (u), altrimenti si avrebbe una violazione del principio di conservazione dell'energia. Pertanto, possiamo affermare che il coefficiente di restituzione (e) può oscillare in valori compresi tra 0 ed 1.

Per quanto riguarda l'altezza che il corpo può raggiungere a seguito del rimbalzo, se il coefficiente di restituzione (e) è pari ad 1, come abbiamo osservato prima, il corpo raggiungerà la sua altezza iniziale, mentre se è uguale a 0, il corpo si fermerà sulla superficie. Allo stesso modo si può quindi definire il coefficiente di restituzione (e) in funzione dell'altezza di caduta (h) e dell'altezza di rimbalzo (h_m):

$$e = \sqrt{\frac{h_m}{h}}$$

Come sappiamo, durante la fase di ascesa, il corpo decelera in funzione dell'accelerazione di gravità, che è diretta verso il basso. Senza di questa, a seguito del rimbalzo, il corpo raggiungerebbe picchi molto maggiori rispetto all'altezza dal quale è stato lasciato cadere, anche in presenza di valori minimi di velocità iniziale. Pertanto, la velocità (v) di risalita dipende sia dalla velocità iniziale (v_0) del corpo successiva alla collisione, che è diretta verso l'alto, sia dall'accelerazione gravitazionale (g), che è diretta verso il basso:

$$v = v_0 - g t$$

L'altezza massima (h_m) raggiunta dopo il rimbalzo ed il tempo (t_m) impiegato per raggiungerla sono invece determinati dalle seguenti equazioni:

$$h_m = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$t_m = \sqrt{\frac{2h_m}{g}} = \frac{v_0}{g}$$

Osservando le equazioni, si evince come sia l'altezza (h_m), sia il tempo (t_m) impiegato per raggiungerla dipendono dalla velocità iniziale (v_0) del corpo successiva alla collisione. Quindi, quanto maggiore è la velocità iniziale del corpo, tanto maggiore è il coefficiente di restituzione, e questi aspetti si ripercuotono proporzionalmente sull'altezza massima raggiunta dal corpo.

Una volta raggiunto il nuovo picco, il corpo cadrà nuovamente, ripetendo ciclicamente il moto di rimbalzo nelle sue tre fasi di discesa, collisione e ascesa, finché le forze in gioco non si saranno esaurite. Tuttavia, se il coefficiente di restituzione fosse uguale o maggiore di 1, paradossalmente, i rimbalzi raggiungerebbero picchi sempre uguali o progressivamente più alti, rispettivamente, e in questo caso il moto di rimbalzo sarebbe perpetuo. Ovviamente, in tutti questi casi si è trascurata la forza di attrito dell'aria, come anche tutte le altre variabili che influirebbero sul moto in una situazione reale. Non a caso, quando lasciamo cadere un oggetto, seppur di forma sferica, come la stessa sfera di piombo presa precedentemente in considerazione, non rimbalzerà mai seguendo una

traiettoria perfettamente verticale, a prova del fatto che le semplici leggi sopra esposte non bastano a descrivere accuratamente una situazione naturale.

2.4 Plausibilità fisica del rimbalzo

Lo studio di Vicovaro *et al.* (2023) ha recentemente approfondito le caratteristiche attraverso le quali viene giudicata la plausibilità fisica del movimento di rimbalzo di un oggetto (in questo caso di una palla, o più precisamente, di un dischetto nero). Come si potrà notare, ciò che permette di determinare a livello percettivo un rimbalzo come fisicamente plausibile si trova, in alcuni casi, in piena antitesi con le leggi fisiche che nella realtà ne governano il moto. In altre parole, sembra che a volte il sistema percettivo interpreti la naturalezza dei movimenti di rimbalzo in base a criteri parzialmente differenti da quelli che effettivamente ne regolano il moto. Infatti, rimbalzi chiaramente innaturali appaiono in alcuni casi naturali, e, più sorprendentemente, i rimbalzi che conservano in sé le principali caratteristiche dei rimbalzi naturali, appaiono invece innaturali.

Entrando nel dettaglio dello studio, in esso sono state presentate ai partecipanti delle animazioni grafiche mostranti delle simulazioni del movimento di rimbalzo di un disco bidimensionale. In ciascuna di esse, il disco compariva al centro dello schermo e, dopo qualche istante di quiete, cominciava a cadere verso il basso, rimbalzando alla base dello schermo. Il movimento del disco variava secondo determinati parametri preimpostati, e variava da un'animazione all'altra. Lo scopo degli autori era quello di indagare le condizioni attraverso le quali il rimbalzo in questione veniva maggiormente percepito come *fisicamente plausibile*, ovvero come se il disco rimbalzasse in maniera analoga a quanto farebbe un oggetto fisico, o *animato*, cioè come se il disco desse l'impressione di avere vita propria e di essere mosso da una forza interna. Lo studio è stato articolato in quattro esperimenti, ognuno dei quali ha esaminato diverse variabili e condizioni.

Nel primo esperimento sono stati manipolati il numero dei rimbalzi (uno o tre, dopo i quali l'animazione si interrompeva non appena il disco raggiungeva l'ultimo picco), l'elasticità del disco, il valore simulato dell'accelerazione di gravità – che determina la velocità di discesa e di ascesa dell'oggetto – e il *pattern* di movimento (velocità costante o accelerazione uniforme). Da questo primo esperimento è emerso che i rimbalzi nella

condizione con accelerazione uniforme venivano percepiti come più fisicamente plausibili, specialmente nei casi in cui il valore simulato dell'accelerazione gravitazionale era molto minore di quella terrestre. Coerentemente con altri studi, sembra che il valore dell'accelerazione gravitazionale venga spesso sottostimato dai partecipanti (Gravano *et al.*, 2017; Vicovaro *et al.*, 2021). È possibile, come sostengono gli autori, che nella formulazione dei giudizi possa esserci stata un'interferenza del fenomeno per cui un oggetto che cade a lunga distanza dall'osservatore sembra muoversi più lentamente. Quindi, i partecipanti avrebbero preferito i rimbalzi con un'accelerazione minore perché più verosimili al movimento di un oggetto che cade e rimbalza in lontananza. Per quanto riguarda l'elasticità, i rimbalzi meno elastici, i cui picchi erano progressivamente più bassi, o comunque più bassi della posizione di partenza del disco, venivano percepiti come più fisicamente plausibili. I rimbalzi molto elastici, invece, nei quali i picchi raggiungevano o superavano la posizione di partenza, erano percepiti come più animati. I giudizi, tuttavia, variavano in funzione del numero di rimbalzi: nella condizione in cui avvenivano tre rimbalzi, tali giudizi si basavano essenzialmente sul grado di elasticità percepita, mentre nella condizione in cui il rimbalzo era uno solo, questi si basavano maggiormente sul *pattern* di movimento. Questa differenza ha fatto avanzare l'ipotesi che, al variare del numero di rimbalzi, variava anche il tipo di indizi percettivi a cui i partecipanti facevano riferimento per esprimere i propri giudizi. In particolare, nella condizione in cui erano presenti più rimbalzi, e di conseguenza più informazioni sull'altezza relativa – in questo caso si poteva contare su quattro picchi d'altezza – si poteva inferire l'elasticità dell'oggetto in maniera più affidabile, e i partecipanti si sarebbero basati principalmente su questo aspetto per valutare la plausibilità fisica del movimento, in accordo con quanto emerso negli studi precedentemente discussi.

Nel secondo esperimento è stato introdotto un breve ritardo (*delay*) al momento della collisione del disco con la superficie di rimbalzo, prima della sua risalita. Un breve *delay* di 30 ms non sembrava aumentare significativamente la percezione di plausibilità fisica nelle condizioni che già in partenza la favorivano (bassa elasticità e accelerazione uniforme), ma *delay* maggiori di 30 ms tendevano a ridurla progressivamente. In questo senso si evidenzia l'importanza della contiguità temporale per poter giudicare un movimento come più naturale.

Nel terzo esperimento è stata invece valutata la percezione del movimento rimbalzo in assenza di una superficie di rimbalzo: il disco, infatti, durante la discesa, in uno specifico punto dello schermo invertiva il verso di spostamento e proseguiva il moto proprio come se avesse rimbalzato in quel punto. La percezione di plausibilità fisica in questo contesto non cambiava significativamente. Questo ha indotto gli autori a ritenere, in accordo con un precedente studio (Little & Firestone, 2021), che il sistema visivo inferirebbe automaticamente la presenza di una superficie in prossimità del punto dove il moto del disco si inverte.

Infine, nell'ultimo esperimento, è stato indagato il ruolo della percezione di una relazione di causalità nello spiegare i precedenti risultati sulla percezione di plausibilità fisica e di *animacy*. In merito alla percezione di plausibilità fisica, le stesse condizioni che favorivano quest'ultima erano associate all'impressione che il rimbalzo fosse dovuto a cause esterne al disco, ovvero alla presenza della superficie (sia che fosse visibile, sia che fosse "costruita" dal sistema visivo) che ne causava la collisione e quindi il rimbalzo. Come è stato argomentato dagli autori, in linea con le teorie che spiegano la percezione di causalità (queste sono approfondite maggiormente nel capitolo 3) e con l'euristica dell'*impetus* precedentemente incontrata (nel il capitolo 1), il disco, entrando in contatto con la superficie, avrebbe trasmesso ad essa le sue proprietà cinematiche; la superficie, venendo percepita come più massiccia e stazionaria, avrebbe a sua volta ritrasmesso queste proprietà all'oggetto, causandone il rimbalzo – in questo caso si parlerebbe più correttamente di euristica dell'*impetus* bidirezionale, in quanto la superficie avrebbe "reagito" all'*impetus* trasmessogli dal disco (Vicovaro, 2018).

In sostanza, le condizioni ideali per favorire una percezione di plausibilità fisica nel movimento di rimbalzo sembrano essere: un grado di elasticità poco elevato, tale per cui il picco raggiunto a seguito di un rimbalzo sia più basso di quello immediatamente precedente; un movimento uniformemente accelerato con un valore di accelerazione gravitazionale relativamente basso o comunque inferiore a quello terrestre; un *delay* uguale o inferiore a 30 ms; la presenza di un numero di rimbalzi superiore ad uno. Come si può osservare, il ruolo dell'elasticità nel giudicare la plausibilità fisica (o tipicità) dei rimbalzi è stato confermato anche da precedenti studi, discussi nel capitolo 1 (e.g. Paulun & Fleming, 2020). La facilità con cui si può ricavare questo parametro in funzione dell'altezza relativa dei rimbalzi può essere certamente una prova a favore della sua centralità nella

formulazione di tali giudizi. Tuttavia, altri aspetti, come la grandezza dell'accelerazione gravitazionale che regola il movimento, non sembrano essere altrettanto importanti per stabilire la naturalezza del movimento di rimbalzo.

Sono stati ora esposti con maggior dettaglio i principali aspetti che caratterizzano la fisica e la fisica ingenua del rimbalzo. In questo capitolo si è infatti discusso, in un primo momento, delle principali leggi della meccanica che descrivono le tre fasi del moto di rimbalzo di un corpo: 1) la fase di discesa, corrispondente alla caduta libera; 2) la fase di collisione, in cui il corpo impatta col suolo e avviene la trasformazione di energia cinetica in energia potenziale elastica; 3) la fase di ascesa, in cui l'altezza raggiungibile dal corpo è determinata dalla sua elasticità, definita dal coefficiente di restituzione. Successivamente, nell'ultimo paragrafo, si è discusso degli aspetti che caratterizzano la fisica ingenua del rimbalzo attraverso lo studio di Vicovaro *et al.* (2023), in cui sono state approfondite diverse variabili interconnesse alla formulazione dei giudizi di plausibilità fisica del rimbalzo. Questo studio, come si è potuto notare, ha preso in considerazione anche la percezione di *animacy* (la percezione del movimento animato) e ciò che la favorisce all'interno di una situazione di rimbalzo. La percezione di *animacy* viene approfondita all'interno del capitolo seguente. In esso viene inoltre ripreso, al termine dell'ultimo paragrafo, lo studio di Vicovaro *et al.* (2023) e, allo stesso modo, esaminato nelle sue conclusioni relative al movimento animato.

3. Percezione di *animacy*

Nel precedente capitolo, relativo sia alla fisica, che alla fisica ingenua del rimbalzo, si è introdotto il concetto di *animacy*. Questo aspetto è strettamente connesso alla percezione degli eventi fisici. Possiamo certamente valutare le caratteristiche di un oggetto che rimbalza e prevedere la sua traiettoria sulla base delle informazioni visive che ricaviamo dai primi istanti del suo movimento. Ma non soltanto gli oggetti materiali possono trovarsi in una condizione di movimento. Siamo costantemente immersi in un mondo ricco di stimoli visivi riconducibili ad entità animate. Pensiamo ad esempio a quante persone possiamo individuare passeggiando di giorno per le strade centrali di una città, o alle innumerevoli forme di vita che potremmo distinguere in un bosco o andando al largo in una località di mare. Pertanto, ciò che si trova in movimento, può essere sì un oggetto mosso da una qualche forza esterna agente su di esso, ma può essere allo stesso modo un essere vivente. Saper distinguere efficacemente le due entità faciliterebbe molto la nostra capacità interattiva con l'ambiente, e potrebbe anche ammonirci di una imminente situazione di pericolo.

Potremmo ritenere di non avere particolari difficoltà nel differenziare un essere animato da uno inanimato. Eppure, in alcuni casi, il confine che separa la distinzione di un movimento animato da uno inanimato non è così netto. La capacità di rilevare *animacy*, o qualità riferibili ad entità animate, per quanto rapida e istantanea, si basa su innumerevoli variabili, talune anche difficilmente avvertibili. Come si vedrà in seguito, queste variabili possono riguardare sia le caratteristiche cinematiche del movimento, sia quelle psicologiche dell'entità in movimento. Ovviamente, queste variabili sono riscontrabili anche all'interno del movimento di rimbalzo. Lo studio di Vicovaro *et al.* (2023), già citato precedentemente, ha analizzato non solo le variabili che influiscono sulla percezione di plausibilità fisica all'interno del movimento di rimbalzo, ma anche quelle che influenzano la percezione di *animacy*. Alcune di queste, ad esempio, possono determinare effetti diametralmente opposti a livello percettivo a seconda che il movimento venga percepito come più animato o come più fisicamente plausibile. I risultati ottenuti da Vicovaro *et al.* (2023), che quindi estendono lo studio della percezione di *animacy* all'interno del

contesto di rimbalzo, sono ripresi anche in seguito, in relazione agli esperimenti discussi nel capitolo 5.

Il presente capitolo verte quindi sul tema dell'*animacy*, che, come è stato detto, è anche uno degli argomenti portanti del presente lavoro. Ne viene fornita inizialmente una contestualizzazione all'interno di un ambito più generale, e ne viene spiegata l'origine evolutiva. Viene poi discussa la stretta relazione che lega la percezione di *animacy* al concetto di causalità e, successivamente, sono esposte le principali variabili che concorrono nel definire un'entità come animata. Infine, riproponendo lo studio di Vicovaro *et al.* (2023), vengono discussi i risultati relativi alla percezione di *animacy* all'interno del movimento di rimbalzo.

3.1 Origini evolutive della percezione di *animacy*

Lo studio dell'*animacy* può avvenire sotto molte sfaccettature. Essa può essere certamente studiata come un fenomeno percettivo, ma allo stesso tempo anche dal punto di vista linguistico (e.g. Vihman & Nelson, 2019) o per i suoi effetti sulla memoria. A livello percettivo, con il termine *animacy* si fa riferimento alla “misura in cui un'entità è vivente o non vivente secondo determinati criteri biologici” (Trompenaars *et al.*, 2021), e la percezione di *animacy* può essere definita come la “capacità di discriminare stimoli visivi animati da quelli inanimati” (Kuhlmiere & Rutherford, 2013).

Come possiamo facilmente constatare, l'essere umano possiede una notevole capacità di riconoscere e distinguere entità animate da quelle non animate. Questa capacità si è dimostrata indubbiamente di vitale importanza per garantirne la sopravvivenza in un ambiente pieno di rischi e pericoli, quale è stato quello dei suoi antenati. È emerso che la nostra mente ci permette di ricordare più facilmente parole riconducibili alla sopravvivenza, come se il nostro sistema di memoria fosse maggiormente “sintonizzato” sulle informazioni rilevanti alla risoluzione dei problemi adattivi (Nairne *et al.*, 2007). Allo stesso modo, ricordiamo meglio le parole che fanno riferimento ad entità animate piuttosto che parole che fanno riferimento ad oggetti inanimati (Nairne *et al.*, 2013). Possiamo facilmente ipotizzare che i due effetti siano strettamente in collegamento tra loro; ricordare informazioni riconducibili al riconoscimento di entità animate ci permette allo stesso

tempo, in funzione della nostra sopravvivenza, di rilevare potenziali predatori, compagni di accoppiamento, prede e competitori per le risorse disponibili (Nairne *et al.*, 2017). Quindi, appare logico come la percezione di *animacy* possa avere un potente effetto sulla memoria, ed è evidente la funzione adattiva che risiede alla base di questa capacità. Quello che viene definito *animacy effect* – effetto per cui le informazioni relative alle entità animate, ovvero parole che si riferiscono direttamente ad entità animate o che sono associate a proprietà riconducibili esse, sono ricordate più facilmente di parole facenti riferimento o associate a entità inanimate (Leding, 2022) – può essere una prova per ritenere che le informazioni collegate al concetto di *animacy* siano prioritizzate ed elaborate attraverso processi cognitivi differenti.

È stato ipotizzato, infatti, che attraverso l'evoluzione si sarebbero formati dei meccanismi non specie-specifici predisposti a canalizzare l'attenzione verso specifici indizi tipici delle entità animate (Lemaire & Vallortigara, 2022). Naturalmente, questa non sarebbe una capacità presente esclusivamente negli esseri umani. Diversi studi hanno esaminato questo effetto negli animali, dimostrando come diverse specie siano altrettanto in grado di riconoscere configurazioni riconducibili al movimento di entità animate (Blake, 1993; Brown *et al.*, 2010; MacKinnon *et al.*, 2010; Regolin *et al.*, 2000). L'ipotesi dell'esistenza negli esseri umani – e più genericamente negli invertebrati – di una predisposizione genetica che comporti un'elevata sensibilità nel riconoscere le caratteristiche legate alle entità animate è tuttora supportata da alcuni studi (Di Giorgio *et al.*, 2016; Lemaire & Vallortigara, 2022).

Premesso quindi che la capacità di distinguere gli esseri animati da quelli inanimati sia una qualità ben radicata nell'essere umano e dalle profonde radici evolutive, occorre chiarire quali caratteristiche percettive permettono al nostro sistema cognitivo di effettuare tale distinzione. Possiamo certamente affermare che la percezione di *animacy* dipenda notevolmente dalla capacità del sistema visivo di percepire il movimento e le sue proprietà cinematiche, ma è altrettanto noto che anche il canale uditivo abbia un ruolo importante in essa (Nielsen *et al.*, 2015). Inoltre, la percezione di *animacy* può dipendere anche da proprietà in apparenza trascurabili, come le caratteristiche della superficie dell'entità persa in esame (Guajardo & Woodward, 2004) e, come mostrato più avanti, dalle attribuzioni di intenzionalità. Infine, un ruolo cruciale è svolto dalla capacità di rilevare relazioni di causa ed effetto nei movimenti osservati, come è esposto di seguito.

3.2 Percepire causalità

La percezione di *animacy*, come è stato accennato, dipende da un complesso processo di elaborazione percettiva, capace di discriminare molteplici caratteristiche che contraddistinguono gli esseri animati da quelli inanimati. Una di quelle che sicuramente non permette di ritenere un'entità come animata è l'incapacità di generare autonomamente, in assenza di forze esterne, movimento. Infatti, le entità inanimate si contraddistinguono per la loro stanzialità e immutabilità. Se anche fossero in movimento o cambiassero forma, avverrebbe esclusivamente per cause esterne (e.g. a seguito di un urto). Pertanto, riconoscere una relazione di causalità tra il movimento di un'entità e una forza esterna applicata ad essa potrebbe essere un indizio determinante per escludere che quell'entità sia animata. Quotidianamente, però, sono molteplici i fattori che determinano la percezione di *animacy*, e non basta solamente escludere che ci sia una relazione di causalità per giudicare un'entità come animata – si pensi ad esempio alla capacità distinguere adeguatamente volti statici di esseri animati rispetto a volti di bambole o a volti generati artificialmente (Balas & Auen, 2019; Balas & Koldewyn, 2013; Balas & Horski 2012; Farid & Bravo, 2012). In situazioni ambigue, tuttavia, come spesso avviene nei *setting* sperimentali, difficilmente si potrebbe percepire *animacy* senza una previa percezione (o mancata percezione) di causalità. Immaginiamo i seguenti scenari: a) un triangolo equilatero si trova al centro della scena. Poco dopo, vediamo comparire un cerchio che si muove in direzione del triangolo, fino ad urtarlo in uno dei suoi vertici. Subito dopo il contatto, il triangolo comincia a roteare su se stesso, con un senso di rotazione coerente al verso e alla direzione di spostamento del cerchio. b) Un altro triangolo equilatero, uguale al precedente, si trova al centro di un'altra scena. Vediamo comparire nuovamente un cerchio che si muove, ma questa volta non si avvicina al triangolo. Improvvisamente il triangolo comincia a roteare su se stesso, anche in questo caso nel verso e nella direzione seguiti dal cerchio. In quale delle due situazioni considereremmo con più probabilità il triangolo come un'entità animata? Ciò che differenzia i due scenari è che nel primo il cerchio e il triangolo sono entrati in contatto, mentre nel secondo questo non è avvenuto. Se dovessimo ipotizzare il motivo per cui nel primo caso il triangolo ha cominciato a roteare, sicuramente penseremmo che sia stato a causa dell'urto col cerchio. Se dovessimo ipotizzarlo nel secondo, dedurremmo probabilmente che il triangolo l'abbia fatto a causa

di un motivo più intrinseco. In sostanza, percependo un nesso di causalità, potremmo aver imputato ad esso la causa del movimento del triangolo. Attraverso questo esempio, possiamo dedurre che comprendere i processi cognitivi alla base della percezione di causalità ci permetterebbe di comprendere più facilmente quelli relativi alla percezione di *animacy*. Percepire relazioni di causalità tra più eventi non implica esclusivamente dover distinguere entità animate da quelle inanimate; è, a prescindere da questo, una capacità cruciale per un adattamento funzionale e di successo all'ambiente circostante (Hubbard, 2013b).

Il primo ad essersi occupato dello studio della percezione di causalità (a volte riportata come *phenomenal causality*) fu lo psicologo belga Michotte (1946/1963), presentando due principali esperimenti dai quali hanno tratto spunto numerose ricerche successive. In entrambi venivano mostrate due animazioni in cui, al centro della scena, vi erano due quadrati; uno nero, chiamato oggetto "A", e l'altro rosso, chiamato oggetto "B". A era posizionato a sinistra di B e poco lontano da esso, entrambi alla stessa altezza. Nel primo esperimento, A cominciava a muoversi verso destra, in direzione di B, e si arrestava subito dopo averlo raggiunto. Immediatamente dopo il contatto, B cominciava a muoversi anch'esso verso destra, allontanandosi da A. Nel secondo esperimento, A cominciava a muoversi verso B, come nella situazione precedente, ma questa volta senza arrestarsi. B, subito dopo esser stato raggiunto, cominciava a muoversi a sua volta nella stessa direzione e con la stessa velocità di A, formando con quest'ultimo un unico blocco nero e rosso che si muoveva uniformemente. Una rappresentazione di alcuni *frames* degli stimoli utilizzati nei due esperimenti è mostrata in Figura 4. Ciò che Michotte intendeva dimostrare, nel primo e nel secondo esperimento, è la presenza di quelli che ha poi definito, rispettivamente, *launching effect*, l'effetto percettivo per cui B sembra essere spinto via dall'urto con A, ed *entraining effect*, l'effetto percettivo per cui B sembra venir trasportato da A; entrambi effetti che mostrano come il nostro sistema percettivo ci permetterebbe di inferire immediatamente un'impressione di causa ed effetto attraverso l'esperienza visiva.

Sebbene lo studio di Michotte sia stato nel tempo sottoposto a numerose critiche per aver utilizzato una metodologia inappropriata nei suoi esperimenti e per la limitata replicabilità dei suoi risultati (Joynson, 1971), ha attirato considerevolmente l'attenzione della ricerca sul tema della causalità, ponendo le basi per il suo successivo sviluppo e approfondimento. Sono infatti stati studiati i numerosi casi in cui avviene la percezione di causalità e le variabili ad essa connesse, come la velocità e la massa dei due oggetti, le

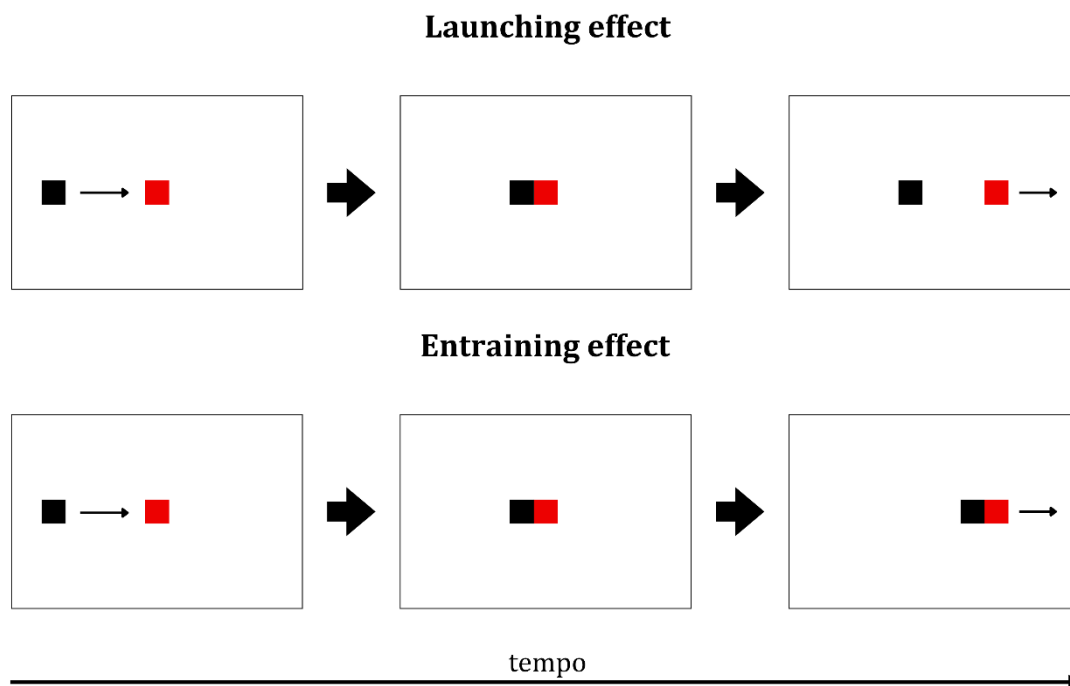


Figura 4. Ricostruzione dei due esperimenti di Michotte (1946/1963). Ciascuna animazione è raffigurata mediante tre *frames* in successione. In alto, il quadrato nero (oggetto “A”) si muove in direzione del quadrato rosso (oggetto “B”); appena i due quadrati entrano in contatto, quello nero si arresta e quello rosso comincia a muoversi nella stessa direzione del primo (*launching effect*). In basso, il quadrato nero si muove in direzione di quello rosso; appena entrano in contatto, quello rosso comincia a muoversi nella stessa direzione del nero, formando con esso un unico blocco che si muove uniformemente (*entraining effect*).

lunghezze complessive del percorso e la presenza di *spatial* o *temporal gap*¹⁴ (Scholl & Tremoulet, 2000). Inoltre, l’ipotesi di Michotte (1946/1963) secondo cui la percezione di causalità deriverebbe da un processo innato e specifico, non è sostenuta tuttora da sufficienti evidenze per essere confermata (Saxe & Carey, 2006). In più, si hanno prove di come la percezione di causalità, in determinati casi, possa risentire di fattori come l’esperienza e l’apprendimento, che comporterebbero la variazione della soglia percettiva necessaria a dare origine all’impressione di causalità stessa (Gruber *et al.*, 1957; Powesland, 1959; Schlottmann *et al.*, 2006). Infine, in merito all’ipotesi che la percezione di causalità sia di carattere universale e che non sia subordinata alle radici culturali, è risultato che

¹⁴ Con il termine *spatial gap*, nel caso di due oggetti che entrano in collisione, si fa riferimento alla presenza di una distanza spaziale variabile che impedisce ai due oggetti di entrare direttamente in contatto tra loro (l’urto avverrebbe “a distanza”). Allo stesso modo, con *temporal gap* si fa riferimento alla durata dell’intervallo temporale, dopo l’avvenuta collisione, a seguito del quale si possono osservare gli effetti di quest’ultima (gli effetti dell’urto verrebbero ritardati).

non sembrano esserci particolari differenze tra partecipanti di cultura occidentale e partecipanti di cultura orientale; entrambi sembrano percepire allo stesso modo se l'impressione di causalità, in animazioni simili a quelle presentate da Michotte (1946/1963), derivi maggiormente da fattori contestuali (e.g. da una collisione) o disposizionali (e.g. da un'energia interna) (Morris & Peng, 1994). Tuttavia, in alcuni casi, ad esempio quando si chiede di fornire una spiegazione della propria impressione di causalità, emerge come la cultura di appartenenza (individualista o collettivista) possa avere invece un certo impatto sulle motivazioni relative ai giudizi di causalità espressi (Peng & Knowles, 2003).

Tornando al lavoro di Michotte (1946/1963), i due principali tipi di *phenomenal causality* proposti dall'autore sono il *launching effect* e l'*entraining effect*, come abbiamo visto. Nel corso della sua trattazione, in realtà, ha esposto numerosi altri esempi in cui si percepirebbe una relazione di causalità tra gli elementi presenti. Utilizzando dinamiche parzialmente differenti rispetto a quelle dei due esperimenti citati, ha specificato ulteriormente le condizioni attraverso le quali questo fenomeno percettivo si verifica. Infatti, determinate caratteristiche visive all'interno di una configurazione di stimoli in movimento possono non solo generare l'impressione di spinta o di trasporto, ma anche effetti percettivi ben più variegati e complessi, finanche dare l'impressione che gli oggetti in movimento siano animati (si veda oltre). Ad esempio, uno dei più noti effetti mostrati successivamente da Michotte (1951/1991) che suscitano una diversa impressione di causalità è il *tool effect*, simile al *launching effect*, ma con la presenza di un oggetto intermedio tra gli altri due che, urtato da uno di essi, urta a sua volta l'altro oggetto, dando l'impressione di essere lo "strumento" attraverso il quale il primo oggetto spinge l'ultimo. Negli anni successivi altri studi hanno riesaminato l'argomento, andando a definire nuovi effetti che danno origine ad altre forme diverse di questo fenomeno percettivo, come il *traction effect*¹⁵ (White & Milne, 1997), il *penetration effect*¹⁶ (White & Milne, 2003) e il *bursting effect*¹⁷ (White & Milne, 1999). Hubbard (2013b; 2013c), nella sua estesa analisi delle

¹⁵ Il *traction effect* è l'effetto per cui, in una serie di elementi raggruppati, il movimento di uno di essi è seguito gradualmente dal movimento degli altri a distanza di brevi intervalli temporali, nello stesso verso e nella stessa direzione del primo, come se quest'ultimo tirasse a sé tutti gli altri elementi.

¹⁶ Il *penetration effect* è l'effetto in cui un elemento si sposta in direzione di un altro generalmente più grande e, al momento del contatto, il primo viene parzialmente o interamente occluso dal secondo, generando un'impressione di penetrazione o perforazione.

¹⁷ Il *bursting effect* è l'effetto in cui uno tra due elementi, subito dopo che questi sono entrati in contatto, si divide in frammenti che si sparpagliano in numerose direzioni, e la velocità di movimento di questi

numerose pubblicazioni scientifiche sull'argomento, descrive dodici potenziali tipologie differenti di impressioni di causalità che sono state proposte nel corso del tempo. In più, espone un'esaustiva trattazione delle numerose variabili che incidono nella percezione di causalità (come le caratteristiche degli stimoli e dei partecipanti) e presenta molteplici fattori contingenti ad essa connessi. Infatti, a modificare la probabilità che si riscontri una percezione di causalità tra due o più elementi, in una configurazione dinamica di movimento, possono intervenire fattori individuali come il livello di attenzione e l'età dei partecipanti, ma anche fattori contestuali come la presenza di stimoli sonori (e.g. un suono grave e immediato al momento del contatto tra due elementi).

Due variabili che giocano un ruolo centrale nella percezione di causalità sono certamente la prossimità spaziale e la contiguità temporale. Michotte (1946/1963) ha riportato, attraverso alcune varianti del primo esperimento, che il *launching effect* si riduceva se (1) A (il quadrato nero) non entrava mai in contatto con B (il quadrato rosso), quindi in presenza di un cosiddetto *spatial gap* tra A e B, e (2) quando l'intervallo temporale tra il momento in cui A si arrestava e il momento in cui B cominciava a muoversi superava una certa durata, ovvero in presenza di un determinato *temporal gap*. In sostanza, secondo l'autore, si avrebbe una ridotta percezione di causalità tra i due oggetti se questi non si toccano – si ridurrebbe l'impressione che A spinge B – e se passa troppo tempo prima che B cominci a muoversi – si penserebbe che B si muova individualmente e non a causa della collisione avvenuta con A. Sebbene non ci sia una chiara definizione della soglia ottimale del *temporal gap* oltre la quale si ha un'evidente diminuzione della percezione di causalità, diversi studi mostrano come quest'ultima in presenza di *temporal gap* superiori a 100 ms si riduca gradualmente (Guski & Troje, 2003; Rye & Oh, 2018; Schlottmann & Shanks, 1992). Per quanto riguarda lo *spatial gap*, si hanno evidenze di come all'aumentare di esso si riduca la percezione di causalità, ma vi sono anche casi nei quali si percepisce una relazione di causalità in assenza di contatto diretto tra gli oggetti (Yela, 1952; Young & Falmier, 2008). In questo caso si parla di *launching at a distance* (Hubbard, 2013b).

In sostanza, la percezione di *animacy* richiede necessariamente la capacità di percepire causalità, e il nostro sistema percettivo, attraverso variabili come la prossimità

frammenti è maggiore della velocità iniziale dell'elemento da cui sono originati, dando l'impressione che l'elemento sia esploso.

spaziale e la contiguità temporale, può riconoscere in numerosi contesti una relazione di causalità tra gli elementi. Nessi di causalità si possono percepire tanto all'interno di interazioni fisiche o meccaniche tra oggetti privi di intenzionalità, quanto nelle interazioni dinamiche tra elementi animati e dotati di intenzionalità (Hubbard, 2013b). Ciò che comunque caratterizza questi due processi percettivi è che sembrano essere piuttosto indipendenti dai processi cognitivi di più alto livello, nonostante i giudizi di causalità e di *animacy* siano proprietà comunemente associate ad elaborazioni di ordine superiore (School & Tremoulet, 2000).

3.3 Proprietà percettive dell'*animacy*

Una caratteristica centrale, dal punto di vista meccanico, che permette di definire un'entità come animata è proprio la capacità di percepire che il movimento che la caratterizza sia di natura autonoma e volontaria. Già a partire dagli anni '40 del secolo scorso si è avuta una dimostrazione di questo fenomeno. Heider e Simmel (1944), nel loro noto esperimento, mostrarono ai partecipanti un'animazione in cui delle figure geometriche, quali due triangoli di diverse dimensioni, un cerchio e un rettangolo, si muovono e interagiscono tra loro. Alcuni *frames* di questa animazione si possono osservare in Figura 5. Quello che è emerso è che queste figure, proprio in funzione delle caratteristiche dei loro movimenti, venivano unanimemente percepite come animate. Nell'animazione si poteva vedere, infatti, come i triangoli e il cerchio si inseguono, si scontrano o entrano ed escono dal rettangolo (quest'ultimo di dimensioni notevolmente più grandi delle altre figure, e avente un segmento che si apre proprio come se fosse una porta, come mostrato in Figura 5). I partecipanti potevano attribuire alle figure tratti temperamentali, intenzioni ed emozioni, e descrivevano i movimenti di esse come vere e proprie azioni dirette ad uno scopo (e.g. la scena in cui il triangolo grande urtava ripetutamente quello piccolo veniva generalmente interpretata come se il primo stesse volontariamente picchiando il secondo). Secondo gli autori, queste attribuzioni derivavano prima di tutto dalla percezione di una relazione di causalità in quei movimenti che presentavano una certa prossimità spaziale e una certa contiguità temporale. Individuarono infatti quattro combinazioni di movimenti: 1) *movimenti successivi con contatto momentaneo*; 2) *movimenti simultanei con contatto*

prolungato; 3) *movimenti simultanei con assenza di contatto*; 4) *movimenti successivi con assenza di contatto*. Ognuna di queste combinazioni poteva dare origine ad una diversa percezione di causalità e quindi ad una diversa interpretazione della situazione. Ad esempio, nel caso di *movimenti simultanei con assenza di contatto*, nella situazione in cui una figura si avvicinava ad un'altra e quest'ultima simultaneamente si allontanava dalla prima, senza che queste si toccassero, i movimenti delle figure venivano comunemente percepiti in stretta relazione causale tra loro, e l'episodio ritenuto una scena di inseguimento.

Animazione di Heider e Simmel (1944)

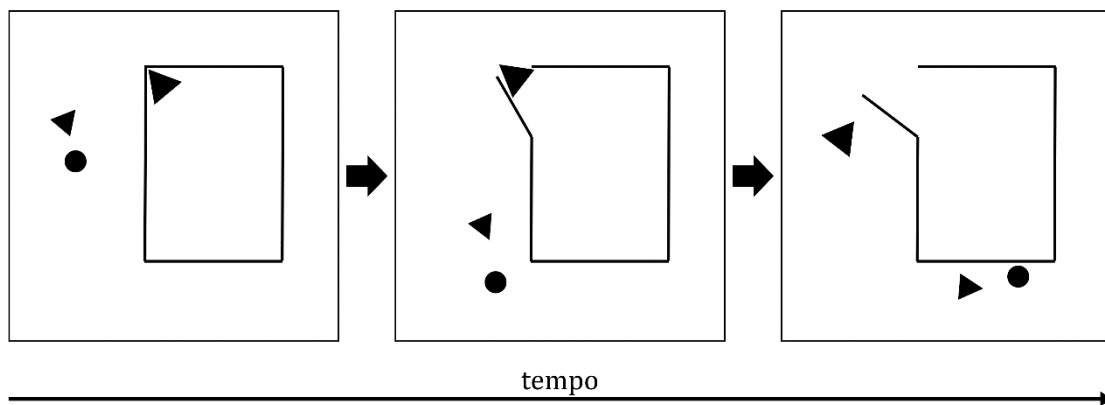


Figura 5. Raffigurazione di alcuni *frames* di una ricostruzione dell'animazione utilizzata da Heider e Simmel (1944) nel loro noto esperimento.

Numerosi studi successivi si sono interrogati su quali fossero le caratteristiche cinematiche di un oggetto che potessero dare origine ad una percezione di *animacy*. Lo stesso Michotte (1946/1963), studiando la locomozione animale, creò un'animazione rappresentante un rettangolo che, spostandosi e modificandosi in lunghezza, poteva dare l'impressione di muoversi esattamente come un bruco. La sua animazione era simile alla seguente: un rettangolo, avente la base tre volte più lunga dell'altezza, comincia a muoversi all'interno di una scena – per maggior chiarezza chiamiamo la sua estremità sinistra “S” e la sua estremità destra “D”. Il suo movimento consiste in due fasi, che si ripetono ciclicamente: 1) D si sposta allontanandosi da S, che rimane stazionario, facendo allungare il rettangolo fino a raddoppiare la sua lunghezza; 2) D si arresta, e S si sposta in direzione di D, facendo accorciare la figura e riportandola alla sua lunghezza iniziale.

Questa animazione evocava nei partecipanti l'impressione di osservare un bruco che stesse strisciando (Michotte, 1946/1963). Il fatto che il rettangolo in questione si stesse muovendo autonomamente, senza subire interazioni con altre figure, ha dato l'impressione che fosse animato, facendo così avanzare l'ipotesi che un oggetto che si muove da sé, in assenza di forze esterne, possa venir percepito come animato. Altri studi concordano nel ritenere la semovenza un importante indizio percettivo che veicola la percezione di *animacy* (Di Giorgio *et al.*, 2016; Mascialoni *et al.*, 2010; Parovel, 2023). Si è ipotizzato, inoltre, che il riconoscimento visivo di caratteristiche come la semovenza derivi da specializzati processi cognitivi dominio-specifici, presenti sin dalla nascita (Caramazza & Shelton, 1998; Leslie, 1984; Premack, 1990).

Considerando ora il movimento di una determinata entità animata, a differenza di quello di un oggetto inanimato, che è dipendente da fattori esterni, è caratterizzato prevalentemente da variazioni intrinseche di velocità e da cambiamenti indipendenti di traiettoria. Tuttavia, queste non sono proprietà necessarie per percepire *animacy*; anche movimenti uniformi che seguono traiettorie rettilinee possono essere effettuati da entità animate, e il nostro sistema visivo è in egual modo capace di percepire tali sfumature. Ad esempio, è emerso che, mantenendo la velocità costante e la traiettoria rettilinea, elementi che si muovono a velocità maggiore vengono generalmente considerati come più animati (Szego & Rutherford, 2007). Inoltre, vengono percepiti più animati anche quegli elementi che si muovono a velocità costante dal basso verso l'alto, piuttosto che nel verso opposto (Szego & Rutherford, 2008). Una possibile spiegazione di quest'ultimo effetto potrebbe essere dovuta al fatto che gli elementi che si muovono verso l'alto, a differenza di quelli che si muovono verso il basso (in entrambi i casi alla stessa velocità costante), sembrano contrastare attivamente gli effetti della gravità, risultando quindi più animati (*ibidem*). Generalmente, possedere una bassa soglia percettiva per rilevare le entità animate, anche sulla base di semplici indizi come la velocità o la direzione verso cui si spostano, può essere certamente un vantaggio evolutivo, in quanto implica poter riconoscere rapidamente potenziali prede o predatori in funzione del loro movimento (Barrett, 2005; Szego & Rutherford, 2007). Per quanto riguarda la traiettoria, movimenti che seguono traiettorie il cui percorso è riconducibile ad una "C" o ad una "S" possono essere validi indizi percettivi associabili al movimento di un'entità animata (Parovel, 2023). Inoltre, è stato dimostrato come i cambiamenti nella direzione del movimento sono associati ad una

maggior percezione di *animacy*, specialmente se sono accompagnati da simultanei cambiamenti nella velocità (Tremoulet & Feldman, 2000). Congiuntamente, cambiamenti nella velocità e nella direzione in un movimento evocano più facilmente un'impressione di semovenza, che, come è stato mostrato, si rivela un importante indicatore che contribuisce alla percezione di *animacy* (Schultz & Bühlhoff, 2013). A livello più generale, il valore percettivo che questi cambiamenti possiedono, in relazione alle caratteristiche che connotano gli esseri animati, è sostenuto dall'ipotesi della violazione della conservazione dell'energia (si veda il capitolo 2). Secondo questa ipotesi, un'entità che muovendosi viola il principio Newtoniano di conservazione dell'energia meccanica, quindi che varia la direzione e la velocità del suo spostamento in assenza di forze esterne, può suscitare maggiormente l'impressione che sia animata (Gelman *et al.*, 1995; Parovel, 2023; Tremoulet & Feldman, 2000).

Le proprietà precedentemente descritte, quali la velocità e la traiettoria, ma anche la stessa semovenza, riguardano essenzialmente le caratteristiche cinematiche del moto. Tuttavia, le entità animate sono caratterizzate non solo da autonomia nei movimenti, ma anche da intenzionalità. Un esempio che dimostra che possediamo una certa capacità nel dedurre se un movimento osservato sia mosso da precise intenzioni è lo studio effettuato da Kanizsa e Vicario (1968). In questo studio gli autori hanno realizzato un'animazione molto simile a quelle utilizzate da Michotte (1946/1963): in una scena sono presenti due quadrati, chiamati, allo stesso modo, oggetto "A" e oggetto "B"; A si trova a sinistra di B, lontano da esso, e si muove lentamente verso B, mentre quest'ultimo resta stazionario. Appena A arriva in prossimità di B, prima di entrare in contatto con esso, B comincia a muoversi molto più velocemente nella stessa direzione e nello stesso verso di A, fermandosi dopo averlo distanziato. A, nel frattempo, si arresta pochi istanti dopo che B ha cominciato a muoversi. Una rappresentazione di questa scena si può osservare in Figura 6. In questo caso, B non viene generalmente interpretato solo come un oggetto che si sposta lontano da A. Esso viene interpretato piuttosto come un oggetto che "fugge" da A, con la chiara intenzione di evitarlo. Si percepisce una relazione di causalità tra l'avvicinarsi di A e lo scatto immediato di B, e questo scatto viene considerato volontario. Questo effetto percettivo è noto come *intentional reaction effect*, proprio perché suscita una reazione di fuga intenzionale dell'oggetto. Vari studi hanno mostrato evidenze di come i neonati, già a partire da 9-12 mesi di vita, siano in grado di riconoscere se delle figure in movimento

possiedano intenzionalità e si muovano in direzione di un obiettivo, facendo intuire che questa capacità si sviluppi proprio a partire dagli ultimi mesi del primo anno di vita (Csibra *et al.*, 1999; Gergely & Csibra, 2003; Gergely *et al.*, 1995). Numerosi altri studi concordano nel ritenere che avvertire intenzionalità e captare che un movimento sia orientato verso un obiettivo siano importanti informazioni che favoriscono la percezione di *animacy* (Dittrich & Lea, 1994; Opfer, 2002; Van Buren *et al.*, 2015; Tremoulet & Feldman, 2006). In generale, intuire che ci possa essere uno scopo o un'intenzione alla base di un movimento può essere una fonte di informazioni decisamente più attendibile rispetto a più generici indizi di natura meccanica per percepire *animacy* (Parovel, 2023)

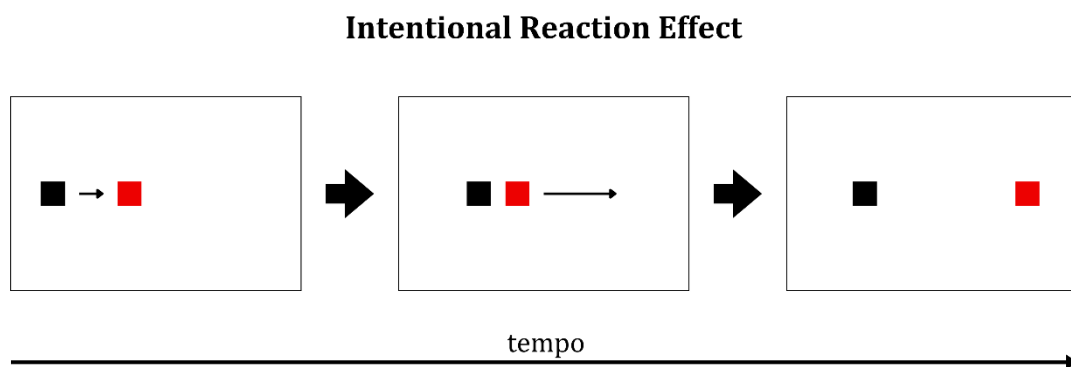


Figura 6. Ricostruzione dell’esperimento di Kanizsa e Vivario (1968). L’animazione è raffigurata mediante tre *frames* in successione; inizialmente, il quadrato nero (oggetto “A”) si muove in direzione del quadrato rosso (oggetto “B”), che rimane stazionario poco lontano dal primo. Appena il quadrato nero giunge in prossimità di quello rosso, quest’ultimo comincia a muoversi allontanandosi rapidamente da quello nero, il quale si ferma pochi istanti dopo il movimento del quadrato rosso.

Come accennato in precedenza, lo studio di Vicovaro *et al.* (2023) ha affrontato il tema della percezione di *animacy* nel movimento di rimbalzo. In esso, infatti, oltre ad esser state valutate le condizioni che favorivano la percezione di plausibilità fisica all’interno di diverse animazioni simulanti il movimento di rimbalzo di un disco, sono state valutate anche le condizioni attraverso le quali tale movimento veniva maggiormente percepito come animato – come se il disco “saltasse” anziché rimbalzare o comunque sembrasse dotato di vita propria. Tra i risultati emersi, un particolare aspetto che sembra caratterizzare la percezione di *animacy* è il *pattern* di movimento con velocità costante. Infatti, in linea con l’ipotesi della violazione della conservazione dell’energia, la brusca

variazione del verso di spostamento del disco, in corrispondenza del picco di rimbalzo, darebbe l'impressione che questa inversione sia di natura volontaria. Un altro fattore, risultato centrale nel favorire la percezione di *animacy*, è l'altezza relativa dei rimbalzi, strettamente connessa con l'elasticità percepita del disco. Rimbalzi i cui picchi superavano l'altezza di partenza del disco davano maggiormente l'impressione che il movimento fosse animato. Inoltre, la presenza di un *delay* maggiore di 30 ms al momento della collisione – quindi la presenza di un *temporal gap* tra l'impatto e la risalita – aumentava anch'essa la percezione di *animacy*. L'aumento del *delay* era seguito da una quasi simmetrica riduzione della percezione di plausibilità fisica. Infine, in merito alla percezione di causalità, questa scompariva nelle condizioni in cui il rimbalzo veniva percepito come animato (i.e. con elevata elasticità). In questi casi, il rimbalzo non veniva percepito come causato dalla superficie contro la quale il disco collideva – come invece avveniva per i rimbalzi percepiti come più fisicamente plausibili. La superficie, al contrario, sarebbe stata percepita come il mezzo utilizzato dal disco per “saltare”; non a caso, l'origine di questo movimento veniva attribuita a cause psicologiche interne al disco stesso, ovvero alla presenza di una forza propria o di un'energia interna che ne causasse il movimento.

In sostanza, percepire un'entità come animata, o semplicemente attribuire ad un oggetto evidentemente inanimato caratteristiche appartenenti ad entità animate – si pensi alle figure geometriche nell'esperimento di Heider e Simmel (1944) – deriva sia dalle proprietà cinematiche del movimento che questa entità mette in atto, sia dalla sensazione che essa possa essere mossa da scopi ed intenzioni. La stessa definizione di *animacy* può avere molte sfumature, comprendendo al suo interno la percezione di stati d'animo, bisogni e reazioni comportamentali, e questa variegata combinazione di fattori distinguibili, talvolta anche nell'immediato, non fa che contribuire a riconoscere la notevole complessità di questo fenomeno percettivo. Nell'ultimo studio descritto (di Vicovaro *et al.*, 2023) si è mostrato che caratteristiche come la netta violazione della legge di conservazione dell'energia e un *pattern* di movimento con velocità costante sembrano favorire la percezione che l'oggetto stesso sia animato. Tuttavia, come gli stessi autori sostengono, le semplici violazioni dei principi della fisica Newtoniana non bastano globalmente a provocare questa impressione. Infatti, nei casi in cui il disco presentato all'interno degli esperimenti

effettuava un solo rimbalzo, le valutazioni di *animacy* da parte dei partecipanti erano più incerte. In conclusione, sarebbe più corretto affermare, parallelamente a quanto fatto da Vicovaro *et al.* (2023), che la percezione di *animacy* sia ad uno dei due estremi di un *continuum* al cui opposto vi risiede la percezione di plausibilità fisica. Infatti, non è così netto il confine che separa le due percezioni.

Il seguente capitolo introduce, infine, il tema delle preferenze estetiche. Esso costituisce il terzo argomento centrale del presente lavoro. Seppur si tratta di un tema parzialmente estraneo alla percezione del movimento in generale, gli studi che approfondiscono i giudizi estetici sui diversi tipi di movimento si stanno via via accrescendo. Il presente lavoro, sulla scia di questi, intende analizzare gli effetti del movimento di rimbalzo proprio sui giudizi di piacevolezza relativi ad esso. Negli esperimenti sul rimbalzo, discussi più avanti nel capitolo 5, i giudizi di piacevolezza costituiscono infatti una delle principali variabili prese in esame. Il seguente capitolo, di conseguenza, ne presenta l'argomento e fornisce alcuni concetti utili alla comprensione di questo fenomeno percettivo, ai fini delle valutazioni finali relative ai due esperimenti.

4. Estetica dei giudizi

Nei precedenti capitoli sono state discusse le principali variabili relative ai processi percettivi implicati nella rilevazione del movimento, nelle condizioni in cui esso venga attribuito a cause fisiche o venga percepito come animato. Sono state poi approfondite tali variabili all'interno del movimento di rimbalzo, e sono state definite in maniera più dettagliata quelle che in esso contribuiscono alla percezione di plausibilità fisica e di *animacy*. Nel presente capitolo, invece, viene introdotto un ulteriore fattore che, pur non risultando connesso in modo diretto ai processi percettivi che danno origine ad inferenze di causalità o di *animacy*, può comunque variare in funzione di esse. Si tratta della percezione di piacevolezza scaturita dall'osservazione di un movimento, intesa come l'insieme delle sensazioni e dei giudizi percettivi che permettono di preferire, sul piano estetico, uno specifico movimento piuttosto che un altro. Spostando l'attenzione sul nostro ambiente circostante, potremmo esserci più volte soffermati ad osservare il volo composto e ordinato di uno stormo di rondini intente a migrare o quello placido e leggiadro di due farfalle che si inseguono, ed averne apprezzato l'eleganza. Allo stesso modo, potremmo aver apprezzato la costanza e l'armonia del movimento dinamico e ripetitivo del pendolo di un orologio. La percezione di piacevolezza o estetica di un movimento, infatti, può essere perfettamente legata anche al tipo di entità, animata o inanimata, che lo mette in atto. Le nostre preferenze, inoltre, possono derivare sia dai processi percettivi che codificano i movimenti, sia scaturire da elaborazioni cognitive di ordine superiore ben più elaborate. L'intersezione di tali fattori rende quindi la percezione estetica un tema complesso e articolato, e non è un caso che nei secoli si siano spese molte considerazioni teoriche su di esso, sotto svariate prospettive.

La percezione estetica, come già menzionato in precedenza, costituisce uno degli argomenti centrali del presente lavoro, insieme alla percezione di *animacy* e alla percezione di plausibilità fisica. Si entra ulteriormente nel merito dei giudizi di piacevolezza nel seguente ed ultimo capitolo, in cui questi sono valutati all'interno dei due esperimenti inerenti al movimento di rimbalzo. I concetti qui presentati costituiscono quindi una traccia di riferimento, con la quale poi confrontare i risultati emersi dagli esperimenti.

Il presente capitolo si concentra, pertanto, su ciò che influenza i giudizi estetici a livello percettivo. All’inizio viene introdotto il concetto stesso di estetica e viene approfondito lo studio della percezione estetica, definendone il campo di indagine e fornendo una definizione di ciò a cui si fa riferimento con “giudizi estetici” nella ricerca. Successivamente, sono discusse alcune delle teorie che offrono una spiegazione dei fattori che determinano e modulano l’esperienza estetica. Infine, sono esposte alcune variabili che appaiono avere un ruolo diretto sulle preferenze estetiche del movimento all’interno di stimoli dinamici.

4.1 Percezione estetica tra arte, filosofia e scienza

Per avere una chiara concettualizzazione di ciò a cui si fa riferimento con i termini *giudizi di piacevolezza* o *preferenze estetiche* occorre dapprima fare chiarezza su ciò che riguarda, a livello più generale, la percezione estetica. La stessa etimologia della parola¹⁸ riconduce il suo significato ad un’esperienza interna e soggettiva, spesso associata alla sensazione stessa di piacere suscitata dalla percezione del bello. Non a caso, lo studio della percezione estetica chiama a sé prima di tutto la grande tradizione filosofica. Pensatori di tutti i tempi, dall’antica Grecia all’età contemporanea, si sono espressi sul tema della bellezza e ciò che la caratterizza. Platone parlava dell’Idea di Bellezza, non percepibile coi sensi ma afferrabile esclusivamente con l’intelletto; Tommaso d’Aquino vedeva nella bellezza “integrità o perfezione”, “dovuta proporzione o armonia” e “splendore”; Kant associava e contrapponeva il Bello al Sublime, entrambi di carattere universale, ma il primo confinato nella forma, il secondo illimitato e trascendentale (Beardsley, 1966). Anche Fechner, il pioniere della psicofisica e della psicologia sperimentale, diede il suo contributo al dibattito sull’esperienza estetica. Con quello che definiva il *principio di associazione estetica*, avanzava e argomentava l’ipotesi secondo la quale le scelte e i giudizi estetici dipendono da fattori associativi relativi alla storia di apprendimento dell’osservatore, anziché dalle proprietà formali dell’oggetto di osservazione (Fechner, 1866, citato in Ortlieb *et al.*, 2020).

¹⁸ Il termine estetica deriva dal greco αἰσθητικός (aisthētikós) il cui significato è traducibile con “sensazione” o “ciò che riguarda i sensi”.

L'estetica, poi, si può manifestare e cogliere nell'espressione artistica. La capacità creativa è proprio ciò che permette all'artista di realizzare le sue opere d'arte. Ma l'osservazione, l'immaginazione, l'astrazione e la modellazione, tutte capacità implicate nel pensiero creativo, possono accomunare tanto gli artisti quanto gli scienziati (Root-Bernstein & Root-Bernstein, 1999). Arte e scienza sono entrambe interessate allo studio e alla comprensione della natura e dei fenomeni che la riguardano, e così artisti e scienziati interpretano la natura e gli eventi naturali, ognuno traendo le proprie conclusioni (Jho, 2018). "I più grandi scienziati sono sempre anche artisti" affermava Einstein (Calaprice, 2000, 245). Un recente studio (Jho, 2018), attraverso una revisione della letteratura, ha accostato ancora di più l'estetica alle scienze, mostrando come numerosi concetti riferibili alla prima possano espandersi alla seconda, in particolare alla fisica. Ad esempio, come gli oggetti e i fenomeni possono essere determinati per le loro proprietà intrinseche, relative alla forma e all'apparenza (e.g. simmetria, unità e armonia), ed estrinseche, pertinenti alle sensazioni emotive e cognitive che suscitano (e.g. meraviglia, eleganza), allo stesso modo può avvenire per le leggi fisiche che descrivono e governano il funzionamento dell'universo, riconducibili all'espressione della bellezza e della perfezione matematica. Filosofia e scienze, pertanto, risultano in qualche modo connesse nel campo dell'estetica, e non a caso si può percepire piacevolezza nell'osservazione del moto e ciò che lo caratterizza.

Oltre ai numerosi dibattiti sulla natura ontologica ed epistemologica dell'estetica, lo studio della disciplina, nel tempo, si è spostato anche sul piano scientifico, in parte anche per merito dello stesso Fechner, che per primo ha studiato i giudizi estetici e ciò che determina la piacevolezza attraverso il metodo sperimentale (Fechner, 1876, citato in Höge, 1995). Nel suo progressivo sviluppo, lo studio della percezione estetica ha subito l'influenza di numerose prospettive teoriche, tra cui quella della psicologia della Gestalt, emersa nella prima metà del '900. Koffka, uno dei suoi principali sostenitori, ha suggerito che l'esperienza estetica si concretizzasse nella relazione che connette gli stati intenzionali dell'osservatore con l'oggetto fenomenico (Spehar & van Tonder, 2017). Quindi, l'oggetto fenomenico resterebbe tale e continuerebbe a mantenere la sua essenza, ma la rappresentazione di esso nell'osservatore dipenderebbe dallo stato emotivo di quest'ultimo, che può organizzare gli stimoli sensoriali in differenti strutture di sentimenti e significato (*ibidem*). L'approccio di Koffka rientra proprio nelle concezioni più moderne

dell'esperienza estetica, secondo le quali essa deriva da un'interazione tra le proprietà dell'oggetto e l'elaborazione cognitiva e affettiva del soggetto (Reber *et al.*, 2004). Al contrario, il dibattito filosofico si è per lungo tempo concentrato sulla contrapposizione tra una visione soggettivista da un lato e una visione oggettivista dall'altro (Tatarkiewicz, 1963). Secondo la prima, le qualità estetiche esisterebbero solo in funzione dei soggetti che le rilevano; per la seconda, queste qualità apparterebbero all'oggetto, alle sue proprietà fisiche, e sarebbero indipendenti dalla mente che le valuta (Rantalla, 1999). Oggi-giorno la percezione estetica viene studiata combinando sia elementi della tradizione soggettivista che elementi di quella oggettivista.

Un'interessante teoria che spiega la funzione dell'esperienza estetica emerge dalla prospettiva naturalistica, secondo cui la percezione estetica risulterebbe funzionale a migliorare l'interazione con l'ambiente fisico e socioculturale (Xenakis & Arnellos, 2014). In questa prospettiva, le interazioni con l'ambiente avverrebbero in funzione delle *affordances*, ovvero delle potenziali modalità di interazione che un oggetto o una situazione suggeriscono, presenti nell'ambiente. L'incertezza dell'esito di tali interazioni verrebbe però ridotta dall'esperienza estetica di piacevolezza o spiacevolezza suscitata dall'aspettativa di successo o fallimento nell'interazione (*ibidem*). Tali risposte emotive dipenderebbero da un insieme di fattori sia esterni che interni all'agente, e avverrebbero anche in relazione alle norme e agli obiettivi a cui l'agente stesso si atterrebbe (*ibidem*). In sostanza, l'esperienza estetica e percettiva si svolgerebbe all'interno di una relazione dinamica tra l'agente e le proprietà dell'ambiente, in accordo con la prospettiva interazionista della percezione estetica (Reber *et al.*, 2004), e il suo scopo sarebbe proprio quello di facilitare l'interazione del primo con il secondo.

Da quanto detto finora, si evince che lo studio dei giudizi estetici non ha a che fare esclusivamente con l'arte. Si possono avere infatti esperienze estetiche significative sia osservando oggetti, sia assistendo a scene od eventi, e queste possono riguardare tanto le sensazioni di piacevolezza e bellezza quanto quelle più spiacevoli e negative (Palmer *et al.*, 2013). Lo scopo, comunque, è quello di individuare regolarità e consistenza nei giudizi percettivi dell'essere umano. In questo contesto sono quindi impiegati i termini *giudizi di piacevolezza* o *preferenza estetica* in riferimento al grado con cui un determinato stimolo piace o non piace, a quanto viene preferito rispetto ad un altro e a quanto viene ritenuto bello (McWhinnie, 1968, citato in Roberts, 2007).

4.2 Studio dei giudizi estetici

Comunemente si ritiene che la bellezza percepita nei paesaggi, nei fenomeni naturali e nelle opere d'arte possa suscitare variegata sensazioni ed emozioni, riconducibili molto spesso ad un'esperienza di piacere sensoriale. L'associazione tra l'esperire bellezza e la capacità di provare un piacere connesso alla percezione dei sensi è stata ampiamente affrontata in passato (e.g. Kant, 1790/1987; Fechner, 1876/1978; Santayana, 1896/1955). Vi sono evidenze di come l'espressione di giudizi relativi alla bellezza di fotografie e la capacità di provare piacere correlino tra loro, e la presenza di una condizione di anedonia riduce proprio la valenza dei giudizi sulla bellezza (Brielmann & Pelli, 2019). La relazione tra l'estetica e la sensazione di piacevolezza che ne deriva è perciò ben definita.

Gli studi sulla percezione estetica, relativi quindi a ciò che favorisce preferenza, piacevolezza, bontà e/o bellezza, si sono concentrati sia sulle proprietà oggettive degli stimoli che su quelle intrinseche degli osservatori (Palmer *et al.*, 2013). Tuttavia, un aspetto cruciale nella comprensione di questo fenomeno percettivo consiste nell'individuare i principali fattori soggettivi comunemente implicati alla base dei giudizi estetici. Questa necessità ha indotto la ricerca ad individuare o intuire numerosi modelli teorici che possano quantomeno fornire una struttura interpretativa che guidi la comprensione di tali giudizi.

Una di queste teorie, tra l'altro molto influente nello studio della psicologia sociale, afferma l'esistenza del cosiddetto *effetto della mera esposizione*, effetto percettivo e cognitivo per il quale l'esposizione ripetuta ad un particolare stimolo favorirebbe un atteggiamento positivo verso di esso (Zajonc, 1968). In altre parole, rendere un determinato stimolo più accessibile a livello percettivo, creando le condizioni affinché lo stimolo entri maggiormente in contatto con l'osservatore, ne aumenterebbe la familiarità e, di conseguenza, la positività dei giudizi rivolti ad esso. L'esposizione ripetuta a stimoli già familiari, infatti, non comporterebbe lo stesso risultato (*ibidem*). Questo effetto si è dimostrato valido utilizzando svariate tipologie di stimoli, sia relativamente semplici ed elementari come ideogrammi, parole (sia di senso compiuto che prive di significato), figure geometriche, fotografie e stimoli uditivi (Bornstein, 1989), sia con caratteristiche ben più complesse, come quelli inerenti alle preferenze alimentari, ai messaggi politici e all'attrazione interpersonale (Miller, 1976; Pliner, 1982; Saegert *et al.*, 1973). Vi sono al contempo

dimostrazioni della sua efficacia anche nel promuovere un atteggiamento positivo (in funzione del livello di attenzione prestato) verso marchi e prodotti di consumo per mezzo di annunci pubblicitari (Yagi & Inoue, 2018; Yoo, 2008). Questo effetto è stato indagato anche nel mondo dell'arte: è stata riscontrata una tendenza a preferire maggiormente i dipinti che appaiono più frequentemente – il confronto è avvenuto nei dipinti impressionisti, tra quelli conservati in musei pubblici, come il Musée d'Orsay, e quelli appartenenti a collezioni private – e che, a loro volta, i dipinti che appaiono più frequentemente (e.g. nei musei, nei fascicoli e manuali d'arte, nelle mostre) tendono a definire i canoni artistici del proprio tempo (Cutting, 2003; 2006). Pertanto, in questo caso, i giudizi estetici sui dipinti non dipenderebbero solo dalla qualità percepita dei dipinti stessi, ma, a livello più inconscio, anche dalla frequenza con cui questi appaiono in pubblico (*ibidem*).

Una teoria simile sostiene invece che uno stimolo verrebbe percepito tanto più esteticamente piacevole quanto più è vasta l'attivazione della rappresentazione cognitiva che lo codifica (Martindale, 1984; Martindale & Moore, 1988). Questa teoria si basa su un modello cognitivo che prevede la presenza di numerose unità cognitive dedicate al riconoscimento delle caratteristiche percettive e concettuali degli stimoli, molte delle quali connesse tra loro; durante la percezione di uno stimolo, oltre ad essere attivate le unità cognitive imputate al suo riconoscimento, si attiverebbero conseguentemente tutte le altre unità maggiormente connesse ad esse. In questo modo, stimoli che comportano un'attivazione cognitiva più estesa, come ad esempio gli elementi prototipici di una categoria, verrebbero a loro volta preferiti (Martindale & Moore, 1988). Questa teoria è riscontrabile in numerosi giudizi di preferenza. Ad esempio, sono state riscontrate preferenze per tipologie di arredamento più prototipiche, per dipinti ritenuti più prototipici all'interno del Cubismo e del Surrealismo e persino per volti considerati più prototipici di altri, e quest'ultimo aspetto è risultato valido anche all'interno di altre specie (Damon *et al.*, 2017; Farkas, 2002; Hekkert & Wieringen, 1990; Langlois & Roggman, 1990; Whitfield & Slatter, 1979). Un limite di questa teoria, tuttavia, è la sua incapacità di spiegare questa preferenza per i prototipi, al di là del grado di attivazione cognitiva (Palmer *et al.*, 2013).

Una teoria più recente, che si connette anche all'effetto della mera esposizione e alla teoria dei prototipi, sostiene che i giudizi estetici su un determinato stimolo dipenderebbero dalla "fluidità" (o facilità) con cui lo stimolo stesso viene elaborato (Reber *et al.*, 1998; 2004). In questo senso, uno stimolo elaborato in maniera fluida, ovvero rapida,

accura e con poco sforzo, verrebbe percepito come più piacevole. La *fluidità di elaborazione* racchiude in sé sia la *fluidità percettiva*, la facilità con cui si identifica l'identità fisica di uno stimolo, sia la *fluidità concettuale*, la facilità con cui si elabora il significato di uno stimolo e le sue relazioni con le strutture della conoscenza semantica (Reber *et al.*, 2004). Ciò che permetterebbe ad un'elevata fluidità di elaborazione di essere associata a sensazioni piacevoli è il progresso che condurrebbe al riconoscimento e al processamento di uno stimolo efficacemente e in assenza di errori (Reber *et al.*, 2004; Winkielman *et al.*, 2003). Queste sensazioni piacevoli, traducibili in un più generico stato affettivo positivo, verrebbero impiegate come base di partenza per effettuare il giudizio, che risulterebbe appunto più positivo (Reber *et al.*, 2004). Pertanto, i fattori che facilitano l'elaborazione, comportando un'elaborazione più rapida ed efficace, indurrebbero essi stessi uno stato affettivo positivo, e questo stato affettivo si riverserebbe nei giudizi sugli stimoli. Stimoli caratterizzati da familiarità, simmetria e tipicità, infatti, facilitando l'elaborazione percettiva, verrebbero percepiti come più piacevoli (Reber *et al.*, 2004). Allo stesso modo, i giudizi di piacevolezza sarebbero favoriti anche da *priming* percettivi e concettuali inerenti allo stimolo, da un contrasto ottimale tra lo stimolo e lo sfondo, e da una durata maggiore del tempo di presentazione dello stimolo (Reber *et al.*, 1998). In sostanza, tutto ciò che semplifica il processo di elaborazione dello stimolo aumenterebbe i giudizi di piacevolezza dello stimolo stesso. Questo effetto, come abbiamo detto, è in parte connesso all'effetto della mera esposizione (Zajonc, 1968). Gli autori della teoria della fluidità di elaborazione sostengono infatti che gli stimoli, quando divengono più familiari, ad esempio mediante l'esposizione ripetuta, sono processati più velocemente, richiedono minori processi attentivi e vengono elaborati in maniera più organizzata all'interno delle reti neurali (Reber *et al.*, 2004). In modo simile, la fluidità di elaborazione potrebbe spiegare anche la preferenza per i prototipi, in quanto essi rappresentano un altro dei fattori che facilitano l'elaborazione (*ibidem*).

Un fenomeno percettivo che la teoria della fluidità di elaborazione non riesce a spiegare è l'effetto per cui in molti contesti sarebbero la novità e la complessità – che secondo la teoria ostacolerebbero l'elaborazione – a favorire le preferenze estetiche (Palmer *et al.*, 2013; Sammartino & Palmer, 2012). Nell'arte, infatti, sono state proprio la complessità e la rottura degli schemi ad aver fatto progredire nei secoli la produzione artistica. A tenere conto di questi aspetti è invece la teoria psicobiologica dell'*arousal*

(Berlyne, 1960; 1971). Secondo questa teoria, in presenza di uno stimolo, all'aumentare dell'*arousal* (lo stato di attivazione e reattività del sistema nervoso, avente quindi effetti psicofisiologici sull'organismo) aumenterebbe anche la piacevolezza percepita. Tuttavia, oltre un certo valore-limite di *arousal* prodotto, la piacevolezza tenderebbe a diminuire. In altre parole, la relazione tra *arousal* e piacevolezza seguirebbe un andamento a forma di "U" rovesciata (Figura 7). Il livello di *arousal* sarebbe determinato da vari fattori collegati allo stimolo, riassunti in tre categorie (Berlyne, 1971): a) le *variabili psicofisiche*, ovvero le proprietà osservabili che caratterizzano lo stimolo, come la rumorosità, la spigolosità o la tonalità; b) le *variabili ecologiche*, cioè quelle dovute al significato che assume lo stimolo o alle associazioni che esso richiama, come i ricordi legati ad esso; c) le *variabili collative*, che sono le proprietà valutative conferite allo stimolo, e tra queste rientrano, oltre alla novità e alla complessità, anche l'ambiguità, l'incongruità e la sorpresa, ad esempio. Le variabili collative sono quelle che più delle altre determinerebbero il livello di *arousal* (*ibidem*). In linea con questa ipotesi, alcuni studi di neuroscienze confermano la relazione tra le variabili collative e la piacevolezza percepita; ad esempio, il grado di sorpresa suscitato dall'ascolto di un brano musicale si riverserebbe in una connessa sensazione di piacevolezza (Shany *et al.*, 2019). Tuttavia, come abbiamo detto, la relazione che lega la piacevolezza all'*arousal* si riduce oltre una certa soglia. La relazione non monotona tra *arousal* e piacevolezza sarebbe legata a due meccanismi biologici contrapposti: il *sistema di ricompensa* e il *sistema di avversione* (Berlyne, 1969). In un primo momento, all'aumentare dell'*arousal* generato dallo stimolo, il sistema di ricompensa indurrebbe nell'osservatore uno stato affettivo positivo. Tuttavia, oltre un certo livello di *arousal*, interverrebbe il sistema di avversione, che, al contrario, indurrebbe uno stato affettivo negativo. Infatti, livelli elevati di attivazione psicofisiologica, tipicamente associati alla presenza di un pericolo imminente, darebbero origine ad un concomitante stato affettivo negativo funzionale alla risposta dell'individuo. La teoria dell'*arousal*, tuttavia, non prevede una relazione lineare tra il numero di esposizioni ad uno stimolo e il grado di piacevolezza percepito, come invece mostrano gli studi facenti riferimento alla teoria della mera esposizione e dei prototipi (Chmiel & Schubert 2017). È anche vero, però, che ipotetiche infinite esposizioni non potrebbero accrescere proporzionalmente la piacevolezza percepita, ed è possibile che si raggiunga un picco di piacevolezza oltre il quale

Teoria dell'*arousal*

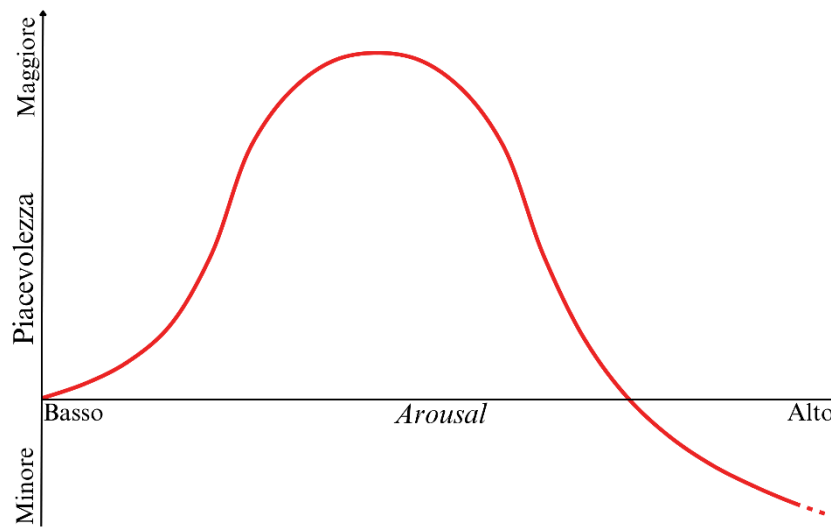


Figura 7. Rappresentazione della curva ad “U” rovesciata che mette in relazione il grado di piacevolezza percepito in uno stimolo e il livello di *arousal* suscitato dallo stimolo stesso. Sull’ascissa è indicato il livello di *arousal*, mentre sull’ordinata il grado di piacevolezza o preferenza estetica. Come si può notare, la piacevolezza percepita è massima in corrispondenza di un livello di *arousal* intermedio. Oltre un certo livello, lo stimolo verrebbe percepito come spiacevole.

quest’ultima non può che decrescere o, al più, mantenersi stabile. Questa questione, pertanto, resta ancora aperta (*ibidem*).

Le teorie precedentemente esposte, come mostrato, non riescono a chiarire tutti gli aspetti relativi alla percezione estetica, e presentano numerose contraddizioni interne. Nonostante ciò, costituiscono buoni punti di partenza per comprendere i giudizi di piacevolezza. Nel corso degli anni sono stati proposti vari modelli, con l’intento di offrire soluzioni alternative alla comprensione della percezione estetica (per un approfondimento si veda Liu *et al.*, 2017). I giudizi estetici, infatti, dipendono da numerose variabili, difficilmente riassumibili con coerenza in un unico modello teorico. Per questo motivo, le conclusioni fornite richiedono spesso revisioni, e i modelli proposti, talvolta, di essere aggiornati.

3.3 Giudizi estetici sul movimento

Nel corso del tempo sono state numerose le ricerche che si sono cimentate nello studio delle proprietà fisiche connesse alla piacevolezza estetica. Tra queste, sono state esaminate variabili come la complessità, la simmetria o il grado di curvatura dei contorni all'interno di frattali, figure piane e figure tridimensionali (Bies *et al.*, 2016; Clemente *et al.*, 2023; Street *et al.*, 2016; Sugihara & Pinna, 2022). Tuttavia, la maggior parte degli studi sulle preferenze estetiche presenti in letteratura si è concentrata per lo più su stimoli di natura statica. Da questi, comunque, sono emerse generali preferenze per stimoli caratterizzati da simmetria, semplicità e armonia (nel colore, nella forma, nella composizione spaziale) (Bertamini *et al.*, 2013; Gartus & Leder, 2013; Palmer & Griscom, 2012; Sun & Ying, 2023). Queste preferenze validano la teoria della fluidità di elaborazione (Reber *et al.*, 2004), ma in alcuni casi, in accordo con quella dell'*arousal* (Berlyne, 1971), la graduale variazione di complessità degli stimoli sembra in un primo momento accrescere i giudizi di preferenza, per poi farli decrescere oltre un certo limite (Friedenberg & Liby, 2016). Ciò suggerisce che le conclusioni inerenti ai giudizi di piacevolezza sulla semplicità e la complessità non possono essere considerate definitive. Inoltre, non si può escludere che possano essere implicate altre variabili in tali valutazioni, come anche la possibilità che i due stessi costrutti di semplicità e complessità esaminati in studi differenti non siano diametralmente opposti.

Gli studi che hanno valutato le preferenze estetiche all'interno di stimoli dinamici dimostrano come anche questi possono determinare giudizi estetici differenziati in base alla fluidità, all'uniformità e alla coerenza del movimento all'interno di uno spazio (Zeki & Stutters, 2012). Come mostrato in precedenza, si assume che la simmetria, all'interno di configurazioni di stimoli statici, sia una variabile che favorisce i giudizi di piacevolezza. Questo stesso effetto è risultato vero anche attraverso stimoli dinamici: raggruppamenti di elementi in movimento coordinato (e.g. rotazione o traslazione) erano preferiti se gli elementi che li costituivano erano disposti in configurazioni simmetriche rispetto a configurazioni casuali (Wright & Bertamini, 2015). Inoltre, dal medesimo studio, è emersa una preferenza per gli stimoli presentati in una configurazione dinamica rispetto agli stessi stimoli presentati nella loro variante statica, in cui ciascun elemento presente rimaneva stazionario (*ibidem*). Pertanto, sembra esserci una generale preferenza, almeno

in certi contesti, per stimoli dinamici rispetto a quelli statici. Questa preferenza è stata riscontrata anche all'interno di stimoli illusori che, seppur statici, provocano un'illusione sensoriale tale per cui lo stimolo sembra essere in movimento. In questo caso, maggiore era l'illusione di movimento che lo stimolo provocava, maggiore era la piacevolezza percepita (Stefanov *et al.*, 2012). Per questi stimoli è possibile che un maggior effetto illusorio comporti, in linea con la teoria dell'*arousal* (Berlyne, 1971), sensazioni di novità, sorpresa o interesse, che a loro volta accrescerebbero la piacevolezza percepita (*ibidem*).

Un recente studio ha analizzato proprio i giudizi di piacevolezza di alcuni oggetti in funzione della fluidità dei loro movimenti (Flavell *et al.*, 2019). In esso gli stimoli consistevano, appunto, in alcune tipologie di oggetti (prodotti di consumo come piatti e lattine o figure geometriche) in movimento all'interno di animazioni grafiche. Ciascun'animazione mostrava un singolo oggetto che si muoveva o in modo fluido (spostandosi con traiettorie regolari e prevedibili o effettuando una rotazione costante ed uniforme) o in modo non-fluido (spostandosi con traiettorie irregolari e imprevedibili o effettuando una rotazione frammentata e discontinua). Ogni oggetto veniva ripetuto più volte in diverse animazioni, alternandosi con gli altri oggetti, ma ogni volta che compariva manteneva un *pattern* di movimento coerente ai precedenti (o si muoveva sempre in modo fluido o sempre in modo non-fluido). I risultati mostrano che gli oggetti che si muovevano in modo fluido erano ritenuti più piacevoli, mentre gli oggetti che si muovevano in modo non-fluido erano ritenuti significativamente meno piacevoli. In sintesi, la fluidità del movimento veniva associata all'identità dell'oggetto, suggerendo che, attraverso l'apprendimento per mezzo di numerose animazioni coerenti, la piacevolezza percepita nel movimento si fosse trasferita all'oggetto che lo aveva messo in atto. Al di là degli scopi degli autori, relativi prevalentemente allo studio dell'apprendimento e della memoria, emerge che i movimenti fluidi, quindi ininterrotti, regolari e uniformi, risulterebbero più piacevoli. Si potrebbe ipotizzare che il ruolo della fluidità dei movimenti nelle preferenze estetiche possa esser mediato proprio dalla maggior prevedibilità di questi movimenti, che risulterebbero, in questo caso, più facili da seguire.

Una discreta mole di ricerca si è concentrata sulle preferenze estetiche in contesti di danza. La danza, infatti, presenta movimenti spesso rapidi, fluidi ed eleganti, ed individuare gli aspetti percettivi che la caratterizzano a livello estetico può fornire uno spunto per comprendere la percezione estetica del movimento in contesti differenti. In questo

ambito, è emerso che, a livello generale, i movimenti con uno spostamento esteso del corpo nello spazio (e.g. il *grand jeté*¹⁹) sono preferiti rispetto a movimenti con spostamenti del corpo più limitati (e.g. movimenti di singoli arti o spostamenti del busto contenuti) (Calvo-Merino *et al.*, 2008). Questi risultati sono coerenti con quelli ottenuti da alcuni studi successivi, nei quali si è mostrato che maggior ampiezza, varietà e velocità dei movimenti della testa, del busto e degli arti sono maggiormente preferiti, insieme a maggior ampiezza dei salti, velocità di rotazione e durata delle posizioni di equilibrio (e.g. nell'*arabesque penchée*²⁰) (Neave *et al.*, 2010; Torrents *et al.*, 2013). In base a questi studi, pertanto, sembra esserci una certa relazione tra i movimenti maggiormente dinamici, caratterizzati da ampiezza e rapidità (e alcune posizioni statiche, ma comunque in una posa per certi aspetti dinamica, come l'*arabesque penchée*) e la piacevolezza percepita. Uno studio che ha invece utilizzato il movimento apparente, ovvero una sequenza di immagini con minime variazioni che venendo presentate in successione danno origine ad una percezione di movimento, ha mostrato che i movimenti simmetrici (movimenti la cui esecuzione consiste in due sequenze di movimenti, in cui la seconda avviene in maniera inversa rispetto alla prima) e caratterizzati da “buona continuazione” (movimenti le cui sequenze si susseguono in modo continuativo e non presentano brusche variazioni) vengono preferiti rispetto a quelli asimmetrici e con una sequenzialità discontinua e frammentata (Orgs *et al.*, 2013). Anche in questo caso, quindi, la percezione di fluidità nei movimenti sembra avere un ruolo nelle preferenze estetiche. Non a caso, ballerini più esperti, giudicati con maggior competenza estetica, sono in grado di eseguire passi di danza in una maniera valutata come più fluida rispetto a quelli meno esperti (Bronner & Shippen, 2015). Un recente studio, infine, ha studiato la relazione tra le preferenze estetiche e la velocità, lo sforzo e la riproducibilità dei movimenti all'interno di una sequenza di passi più o meno complessi (Orlandi *et al.*, 2020). Da esso è emerso che sono preferite le sequenze meno riproducibili, quindi, quelle che richiedono più sforzo e che presentano movimenti più veloci, seppur prevedibili. Gli autori, pertanto, concludono che in questo caso risulta essere la varietà piuttosto che l'uniformità, all'interno della coreografia, a

¹⁹ Il *grand jeté* è un passo di danza consistente in un salto nel quale una gamba viene tesa in avanti e l'altra distesa all'indietro, a formare una spaccata a mezz'aria.

²⁰ L'*arabesque penchée* è una posizione assunta nella danza, in cui una gamba e il braccio omolaterale ad essa si distendono all'indietro, mentre il corpo e il braccio opposto si allungano in avanti, a formare una linea retta con la gamba alzata.

suscitare maggior piacevolezza. In sintesi, dagli studi presentati all'interno di quest'ambito, sembra che vi sia una generale preferenza per la rapidità, la varietà, e l'ampiezza dei movimenti, purché questi risultino ben collegati tra loro in termini di continuità, e quindi prevedibili e facili da seguire.

Un altro aspetto che può incidere sui giudizi estetici è la naturalezza dei movimenti. Ad esempio, all'interno di animazioni simulate al computer in cui venivano effettuati passo dopo passo alcuni segni grafici, i disegni in cui i movimenti erano più assimilabili ai movimenti che vengono fatti nel disegno a mano (più rapidi nei tratti rettilinei, più lenti in quelli curvilinei e con brevi interruzioni nei cambi improvvisi di direzione, con anche variazioni nello spessore del tratto dovuto ai cambi di velocità) erano preferiti rispetto a quelli effettuati con velocità costante o a quelli considerati poco naturali (più lenti nei tratti rettilinei e più rapidi in quelli curvilinei, con spessore del tratto uniforme) – anche se gli autori precisano che l'effetto era maggiormente evidente nei partecipanti più esperti nel disegno, probabilmente per la maggior sensibilità acquisita con la pratica (Chamberlain *et al.*, 2021).

Alcuni interessanti studi hanno riguardato le preferenze per il cosiddetto movimento biologico, un tipo di movimento rappresentato per mezzo di animazioni, per lo più stilizzate, che colgono le caratteristiche principali del movimento che effettuano gli organismi viventi (e.g. Chen, Pollick & Lu, 2022; 2023). Il suo utile impiego nella ricerca scaturisce dal fatto che questo movimento, spesso rappresentato mediante punti luminosi – queste animazioni vengono infatti definite *point-light displays* – corrispondenti alle articolazioni di una figura in movimento, può essere estrapolato e valutato indipendentemente dalle caratteristiche del corpo (e.g. forma, aspetto) che lo mette in atto. Queste caratteristiche, infatti, potrebbero interferire nelle valutazioni percettive (Johansson, 1973). Tali animazioni, attraverso il movimento coordinato di anche solo una decina di questi punti, possono dare l'impressione di una figura umana che cammina, corre o danza (*ibidem*). Parte degli studi esaminati in precedenza sulla percezione estetica nella danza ha infatti utilizzato questa modalità di stimoli visivi (e.g. Torrents *et al.*, 2013). Un recente studio sul movimento biologico ha valutato i giudizi di piacevolezza dei partecipanti in diversi tipi di movimenti rappresentati in *point-light display*, in relazione alla percezione di *animacy* (tema centrale del precedente capitolo) (Chen *et al.*, 2022). Da questo è emerso come i giudizi di piacevolezza fossero più elevati quanto più elevata era la

percezione di *animacy* negli stimoli. Quest'ultima era favorita sia da movimenti congruenti con il verso di spostamento della figura – un movimento incongruente sarebbe ad esempio il celebre passo di danza *moonwalk*²¹ – sia da caratteristiche riconducibili alla presenza di un'accelerazione di gravità coerente con quella terrestre. I risultati, pertanto, suggeriscono l'esistenza di un meccanismo specializzato nella percezione estetica in grado di riconoscere il movimento biologico, giudicando quest'ultimo come più piacevole rispetto a movimenti considerati meno biologici (*ibidem*). Inoltre, separando la percezione di *animacy* dai giudizi di piacevolezza, i movimenti congruenti con il verso di spostamento della figura e coerenti con l'accelerazione di gravità terrestre erano ritenuti più piacevoli rispetto a quelli incongruenti nel verso ed incoerenti con la gravità terrestre. Questo risultato suggerirebbe che le preferenze estetiche possono emergere anche in relazione a processi percettivi più generici e non direttamente collegati alla percezione di *animacy* (*ibidem*). In sostanza, l'esperienza estetica dipenderebbe sia da meccanismi percettivi specializzati nel rilevamento del movimento biologico, sia da meccanismi percettivi deputati alla captazione del movimento in generale. Gli stessi autori, in uno studio successivo, utilizzando nuovamente *point-light displays*, hanno valutato il ruolo della tipicità (intesa nella misura in cui un movimento si avvicina al prototipo della propria categoria di movimenti) in relazione ai giudizi di naturalezza e piacevolezza (Chen *et al.*, 2023). In generale i risultati mostrano una preferenza estetica per i movimenti più prototipici, e questa preferenza è in parte mediata dalla tipicità percepita soggettivamente dai partecipanti (mediante i giudizi di naturalezza). Inoltre, prendendo in esame lo stato emotivo che ciascun movimento trasmetteva all'interno dell'animazione (e.g. felicità, rabbia), i movimenti caratterizzati da stati emotivi positivi erano associati a giudizi di piacevolezza più elevanti, sottintendendo che la valenza emotiva trasmessa dagli stimoli possa avere un impatto sulle preferenze estetiche (*ibidem*). Altri studi si sono cimentati nello studio del movimento biologico nei neonati, per valutare l'eventuale presenza di una predisposizione genetica nel riconoscimento di questo tipo di movimento. I risultati emersi, utilizzando animazioni in *point-light displays*, dimostrano una preferenza per il movimento biologico rispetto a quello non biologico, a supporto dell'ipotesi per cui il

²¹ Il *moonwalk* è un passo di danza consistente in un movimento fluido all'indietro tale da dare l'illusione di sembrare un movimento in avanti (si avrebbe l'impressione che l'esecutore, pur spostandosi all'indietro, effettui dei movimenti coerenti con quelli di uno spostamento in avanti).

riconoscimento del movimento biologico sia una capacità intrinseca del sistema visivo dell'essere umano, presente sin dalla nascita (Bardi *et al.*, 2010; Simion *et al.*, 2008). A corroborare questa ipotesi, uno studio effettuato su pulcini appena nati ha dimostrato come questi mostrassero una spontanea predilezione per *point-light displays* con movimento biologico, anche nei casi in cui questi erano riconducibili al movimento di potenziali predatori (Vallortigara *et al.*, 2005). Tuttavia, uno studio successivo precisa che nei neonati la preferenza per il movimento biologico passerebbe in secondo piano se si considera il movimento di traslazione, ovvero lo spostamento laterale; sarebbe infatti quest'ultimo aspetto a guidare principalmente le preferenze che riguardano il movimento, e, secondo gli autori, le preferenze per il movimento biologico potrebbero svilupparsi proprio a partire da esso (Bidet-Ildei *et al.*, 2014).

In breve, sembra che la naturalezza percepita nei movimenti abbia un concreto impatto sull'esperienza estetica, e questo è evidente anche all'interno del movimento biologico, quando quest'ultimo è valutato come più prototipico. La percezione di entità animate dietro a tale movimento sembra favorire ulteriormente l'esperienza estetica. Tale fenomeno può essere spiegato prendendo in considerazione la teoria della fluidità dell'elaborazione (Reber 2004), in quanto i movimenti di natura animata potrebbero essere, per ragioni evolutive, elaborati in maniera più ottimizzata, venendo di conseguenza preferiti (Chen *et al.*, 2022).

Il presente capitolo ha introdotto il tema della percezione estetica, mostrando come esso sia a lungo stato oggetto di dibattito nei secoli e come possa esser studiato all'infuori della percezione artistica. Si è discusso della ricerca sulle preferenze estetiche in vari ambiti e sono state esposte alcune delle principali teorie che spiegano come si originano e come variano tali preferenze. Sono state infine valutate alcune variabili che incidono sui giudizi di piacevolezza all'interno di stimoli dinamici, come quelli relativi alla danza o al movimento biologico. Da quanto detto si evince la complessità di questo tema, nonché la difficoltà nel costruire principi teorici che possano tenere conto della variabilità di tale fenomeno percettivo.

Lo studio sulla percezione estetica non sembra aver ancora riguardato il movimento di rimbalzo. Le teorie e gli studi presentati, tuttavia, possono essere un importante spunto

per estendere le valutazioni dei giudizi anche in questo ambito. Questi concetti, infatti, sono stati ripresi al termine del seguente capitolo, in cui vengono presentati e discussi i due esperimenti relativi ai giudizi di plausibilità fisica, di *animacy* e di piacevolezza sul movimento di rimbalzo. I risultati ottenuti dagli studi esposti possono fornire un termine di paragone con cui valutare quelli dei due esperimenti. Inoltre, le teorie sulle preferenze estetiche trattate possono estendersi al movimento di rimbalzo, spiegando le eventuali differenze dei giudizi in funzione delle caratteristiche dinamiche di questo tipo di movimento. L'intento è quello di valutare la presenza di eventuali somiglianze tra quanto emerso all'interno dello studio della percezione estetica e gli esiti ottenuti all'interno di un contesto di rimbalzo, nonché la misura con cui la percezione estetica sia in relazione con quella di plausibilità fisica e di *animacy*.

5. Esperimenti sul rimbalzo

Finora sono stati discussi i principali fattori sottostanti alla percezione di plausibilità fisica, alla percezione di *animacy* e alle preferenze estetiche in relazione alle caratteristiche del movimento osservato. Nel caso della plausibilità fisica e dell'*animacy*, tali fattori sono stati indagati anche all'interno dello specifico movimento di rimbalzo. Le ragioni che hanno indotto ad accostare i tre temi sopraccitati al movimento di rimbalzo, nel presente lavoro, sono legate esclusivamente a scopi di ricerca. Si vuole infatti studiare la relazione tra esse in un contesto preciso, quello del movimento di rimbalzo di un oggetto. Le conclusioni ottenute in merito alla percezione di plausibilità fisica e di *animacy* sono quindi estese al tema delle preferenze estetiche, col fine di valutare se quest'ultimo possa esser legato in qualche modo ai primi due. I punti centrali dello studio di tali relazioni possono essere riassunti in quattro interrogativi: 1) Quali caratteristiche permettono di definire fisicamente plausibile (o naturale) il movimento di un oggetto che rimbalza? 2) Quali invece permettono di definirlo animato, come se l'oggetto rimbalzante sembrasse dotato di energia e vita propria? 3) Cosa influenza le preferenze estetiche del movimento di rimbalzo? 4) Cosa distingue sul piano estetico i movimenti di rimbalzo ritenuti naturali da quelli ritenuti animati? È intorno a queste domande che verte il presente lavoro, alle quali intende fornire delle risposte sulla base dei risultati dei due esperimenti mostrati di seguito e della congruenza di questi risultati con quelli della ricerca precedente.

Come mostrato nel capitolo 1, alcuni studi sembrano aver intuito che l'elasticità dell'oggetto rimbalzante possa avere un ruolo centrale nelle inferenze di naturalezza sul movimento di rimbalzo (e.g. Paulun & Fleming, 2020). In più, il lavoro di Vicovaro *et al.* (2023), discusso nei capitoli 2 e 3, sembra aver già fornito delle risposte piuttosto esauritive ai primi due interrogativi. Gli autori, infatti, studiando la percezione di plausibilità fisica e di *animacy* nel rimbalzo, hanno dimostrato come tali percezioni possono variare in base a specifiche caratteristiche del movimento effettuato dall'oggetto rimbalzante. Di seguito, si riassumono in cinque punti le principali conclusioni alle quali essi sono giunti, in modo da fornire il contesto che ha veicolato le scelte sull'impostazione degli esperimenti discussi nel presente capitolo.

- 1) *Pattern* di movimento: i movimenti con velocità costante appaiono più indicativi del movimento animato, a differenza di quelli con accelerazione uniforme, che sembrano suscitare una maggiore impressione di plausibilità fisica. Tuttavia, quest'ultimo aspetto si rivela vero nei casi in cui l'accelerazione gravitazionale è ben inferiore di quella terrestre.
- 2) *Delay*: un *delay* di 30 ms al momento della collisione non sembra affatto ridurre la plausibilità fisica percepita, ma *delay* maggiori, da 60 ms in poi, tendono a comprometterla progressivamente. Al contrario, la percezione di *animacy* tende a crescere gradualmente all'aumentare del *delay*.
- 3) Coefficiente di restituzione: l'elasticità dell'oggetto sembra essere il punto nodale della distinzione delle due tipologie di impressioni: quando il coefficiente di restituzione (o elasticità) dell'oggetto è inferiore ad 1 (l'oggetto rimbalzante raggiunge picchi progressivamente più bassi), l'impressione di plausibilità fisica tende ad essere generalmente alta, e maggiore rispetto a quella di *animacy*; quando invece tale coefficiente è superiore ad 1 (l'oggetto rimbalzante raggiunge picchi progressivamente più alti), al contrario, è l'impressione di *animacy* ad essere prevalentemente alta, e maggiore rispetto a quella di plausibilità fisica.
- 4) Numero di rimbalzi: il numero di rimbalzi sembra avere un effetto modulante degli effetti delle variabili discussi ai punti 1-3. Nelle animazioni con un solo rimbalzo, infatti, aumentava l'intervallo del coefficiente di restituzione entro il quale il rimbalzo veniva percepito come fisicamente plausibile (finanche ad un coefficiente di restituzione pari a 1,75), un risultato nettamente in contrasto con quello delle animazioni con tre rimbalzi. In più, in esse, il ruolo del *pattern* di movimento sembrava passare in primo piano nella distinzione dei movimenti animati da quelli fisicamente plausibili, a scapito dell'elasticità.
- 5) Superficie di rimbalzo: infine, l'assenza di una superficie di rimbalzo – o meglio, la presenza di una superficie di rimbalzo non visibile – sembra avere effetti minimi sui giudizi di plausibilità e *animacy*. Infatti, i risultati ottenuti nella condizione in cui la superficie non era visibile sono in buona parte sovrapponibili a quelli ottenuti nella condizione in cui era chiaramente visibile.

Gli esiti sopra esposti hanno permesso di individuare abbastanza chiaramente le variabili e la misura con cui tali variabili possono influire sulla percezione di plausibilità fisica e di *animacy* in un contesto di rimbalzo. Gli esperimenti presentati di seguito riguardano anch'essi delle animazioni di rimbalzo, e per la generazione di queste sono stati selezionati proprio gli aspetti più significativi tra quelli appena menzionati. Le animazioni sono state realizzate utilizzando lo stesso programma e dei parametri molto simili a quelli utilizzati da Vicovaro *et al.* (2023). Molte di queste animazioni, quindi, potrebbero risultare quasi identiche alle precedenti. In questo caso, però, è stata utilizzata una quantità meno consistente di animazioni, e quelle utilizzate non hanno preso in considerazione tutte le variabili usate in precedenza. Infatti, a differenza dello studio di Vicovaro *et al.* (2023), non è stata inclusa né quella relativa al numero di rimbalzi, né quella relativa alla presenza/assenza della superficie di rimbalzo. In questo caso, ogni animazione presenta tre rimbalzi, e la superficie di rimbalzo è sempre visibile. La motivazione legata all'esclusione della condizione con un solo rimbalzo risiede nel fatto che quest'ultima tende a dare origine ad impressioni di plausibilità fisica e di *animacy* più inverosimili rispetto alla condizione con tre rimbalzi, come è stato detto. È possibile, infatti, che un solo rimbalzo non convogli una quantità di informazione sufficiente per effettuare un giudizio accurato. Del resto, siamo soliti osservare un numero di rimbalzi generalmente maggiore ad uno nelle situazioni reali; pertanto, quella con tre rimbalzi si dimostra essere anche una condizione più valida a livello ecologico. Per quanto riguarda la superficie di rimbalzo, è stato mostrato che il sistema visivo sembra "ricostruire" la presenza di quest'ultima qualora non fosse visibile, e di fatto non emergono variazioni significative a livello percettivo. Un altro aspetto che differenzia gli esperimenti qui presentati da quelli di Vicovaro *et al.* (2023) riguarda la modalità di risposta dei partecipanti. I partecipanti dello studio di Vicovaro *et al.* (2023) fornivano i propri giudizi scegliendo una tra tre categorie di risposta, indicando se l'animazione osservata corrispondeva in modo maggiore ad un movimento fisicamente plausibile, animato o a nessuno dei due. In questo caso, invece, le risposte vengono fornite all'interno di scale continue, ognuna per ciascuna condizione, e, a differenza dello studio precedente, è presente anche una scala relativa ai giudizi di piacevolezza. La scelta di utilizzare scale quantitative, rispetto a quelle categoriali, è più indicata ai fini qui preposti, poiché in questo modo è possibile verificare anche il grado di correlazione che hanno tra loro i giudizi di plausibilità fisica, di *animacy* e di

piacevolezza. Al di là di queste differenze, le animazioni utilizzate mostrano comunque un elevato grado di somiglianza con quelle di Vicovaro *et al.* (2023); uno scopo secondario, pertanto, può essere anche quello di verificare la replicabilità dei risultati ottenuti in precedenza all'interno delle stesse condizioni.

In letteratura non sembrano ancora essere presenti studi che indagano la percezione di piacevolezza nel movimento di rimbalzo, e fino allo scorso anno anche la percezione di *animacy* non sembrava esser mai stata affrontata in questo contesto. Lo studio di Vicovaro *et al.* (2023) sarebbe stato il primo ad aver integrato la percezione di *animacy* con quella di naturalezza nel movimento di rimbalzo. La questione riguardante i giudizi di piacevolezza, invece, resterebbe ancora aperta. Gli esperimenti discussi in questo capitolo si affacciano quindi su un terreno ancora poco battuto. In essi si intrecciano tematiche relative alla fisica ingenua, al movimento animato e alla percezione estetica, e non sono ancora chiare le relazioni che intercorrono tra esse in un contesto di rimbalzo. Risulta pertanto complesso effettuare delle previsioni accurate sui possibili esiti degli esperimenti. Per esempio, facendo riferimento a quanto esposto nel capitolo 4, emerge da un lato una preferenza per ciò che appare più familiare e prototipico, e questo suggerirebbe che possano essere i movimenti più fisicamente plausibili ad esser ritenuti più piacevoli; dall'altro una preferenza per ciò che suscita novità o sorpresa (aumentando l'*arousal*), suggerendo che possano esserlo invece i movimenti animati, nei quali la violazione delle leggi fisiche potrebbe risultare inaspettata. Sei poi si includono anche le conclusioni ottenute in merito alle specifiche caratteristiche dei movimenti, le ipotesi si complicherebbero ulteriormente. Tuttavia, su un aspetto sembra esserci maggior accordo: nel ritenere che i movimenti che appaiono in generale più fluidi e prevedibili suscitino maggior piacevolezza. Limitandoci a questo, si potrebbe quindi ipotizzare che i movimenti caratterizzati da accelerazione/decelerazione uniforme possano esser giudicati come più piacevoli rispetto a quelli con velocità costante. Al di là dei possibili esiti riscontrabili, ciò che possiede maggior rilevanza in questo studio sono proprio i risultati ottenuti in merito alle preferenze estetiche, l'argomento che è stato introdotto nello studio della percezione del movimento di rimbalzo. I risultati complessivi, pertanto, oltre ad essere discussi in relazione alla percezione di plausibilità fisica e di *animacy*, sono interpretati in particolare modo in funzione della percezione estetica, e della relazione che intercorre tra la piacevolezza di un movimento e la relativa percezione di plausibilità fisica e di *animacy*.

In questo capitolo sono quindi trattati i due esperimenti inerenti a quanto appena esposto. Essi sono preceduti da una parte introduttiva relativa agli aspetti metodologici che li accomunano. I risultati di ciascuno di essi sono mostrati all'interno dei rispettivi paragrafi, accompagnati da alcuni commenti. Infine, attraverso una discussione più ampia, questi risultati vengono integrati con quelli ottenuti dagli studi discussi nei capitoli precedenti e sono posti in relazione alle principali prospettive teoriche sulle preferenze estetiche previamente trattate.

5.1 Metodi generali

In questa sezione sono descritti gli elementi che i due esperimenti hanno in comune dal punto di vista metodologico. Gli esperimenti, infatti, riguardano entrambi il movimento di rimbalzo ed utilizzano le medesime animazioni, ma con alcune sottili variazioni nelle variabili utilizzate. Inoltre, indagano nella stessa misura i giudizi sulla plausibilità fisica, sulla percezione di *animacy* e sul grado di piacevolezza percepito nei movimenti di rimbalzo. I dettagli relativi a ciascun esperimento sono descritti all'interno degli appositi paragrafi dedicati ad ognuno di essi. Di seguito, invece, sono presentati i dati relativi al campione di partecipanti che ha preso parte alla ricerca, viene fatta una descrizione dell'apparato strumentale e degli stimoli utilizzati, sono mostrate le procedure con cui sono stati svolti gli esperimenti e sono sintetizzate le modalità attraverso le quali è avvenuta l'analisi delle risposte fornite dai partecipanti.

5.1.1 Partecipanti

All'interno della ricerca, due campioni diversi di 30 partecipanti hanno preso parte a ciascun esperimento, per un totale di 60 partecipanti. La numerosità del campione è analoga a quella del precedente studio sul rimbalzo di Vicovaro *et al.* (2023), che a sua volta è la stessa utilizzata all'interno di precedenti studi sulla percezione visiva (e.g. White, 2015). I partecipanti erano tutti studenti dell'Università degli Studi di Padova, ed hanno preso parte alla ricerca su base volontaria. Ognuno di essi era all'oscuro degli scopi

della ricerca. Inoltre, ognuno di essi aveva un'acuità visiva normale o normalizzata con lenti correttive.

5.1.2 Appartato strumentale e stimoli

Gli stimoli e il programma dell'esperimento sono stati generati con PsychoPy3²² (Peirce *et al.*, 2022). Ciascuno stimolo corrisponde ad una singola animazione rappresentante un disco che si muove verticalmente dall'alto verso il basso e viceversa contro una superficie. Ognuna di queste animazioni è stata presentata su uno schermo LCD da 20 pollici (43.2 cm × 27 cm), con una frequenza di aggiornamento di 60 Hz. I partecipanti sedevano ad una scrivania alla distanza di circa 50 cm dallo schermo, all'interno di un ambiente silenzioso e privo di distrazioni. Sulla scrivania erano presenti una tastiera ed un mouse, utilizzati dai partecipanti per dare avvio alla serie di animazioni (premendo il tasto "barra spaziatrice") e per esprimere i propri giudizi cliccando su un'apposita scala di valutazione. All'interno di ciascuna animazione comparivano un disco nero, dal diametro di 1 cm, posizionato inizialmente a 4 cm al di sotto del centro dello schermo, e una barra nera, avente un'altezza di 0,5 cm ed una larghezza pari a quella dello schermo, posizionata immediatamente sopra rispetto al margine inferiore dello schermo. Il disco e la barra raffiguravano rispettivamente l'oggetto rimbalzante e la superficie di rimbalzo (Figura 8). Lo sfondo presentava una tonalità grigia uniforme, con un contrasto ottimale e tale da rendere chiaramente visibili il disco e la barra, e il suo colore si manteneva inalterato per tutta la durata dell'animazione. Ogni animazione cominciava con una schermata grigia vuota dalla durata di 500 ms, dopodiché comparivano la superficie di rimbalzo e il disco, il quale rimaneva stazionario per 500 ms. Trascorso questo intervallo temporale, il disco cominciava a muoversi verticalmente verso il basso, in direzione della barra. Il movimento verso il basso simulava la caduta dell'oggetto e il suo successivo rimbalzo sulla superficie (la barra). Come è stato spiegato nel capitolo 2, il movimento di rimbalzo si articola in 3 fasi: una fase di discesa, una fase di collisione ed una fase di

²² PsychoPy3 è un'applicazione *open source* che utilizza Python come linguaggio di programmazione, usato per eseguire un'ampia gamma di esperimenti nelle scienze comportamentali (neuroscienze, psicologia, psicofisica, linguistica...) (Peirce *et al.*, 2022).

ascesa. La ripetizione ciclica di queste tre fasi costituisce più movimenti di rimbalzo consecutivi. Le caratteristiche del movimento del disco sono state definite da differenti parametri, che sono discussi all'interno della sezione dedicata a ciascun esperimento. Al di là dei parametri impostati, ciascun'animazione proseguiva allo stesso modo: il disco, dopo aver percorso l'intero spazio che lo separava dalla superficie ed esser entrato in contatto con essa (fase di collisione), cominciava a muoversi verticalmente verso l'alto nella sua fase di ascesa, fino a raggiungere uno specifico punto di quiete, variabile in funzione dei parametri prestabiliti. Queste tre fasi di discesa, collisione e ascesa costituivano il primo ciclo di rimbalzo. A seguito di questo, venivano ripetuti altri due cicli, per un totale di tre cicli di rimbalzo. Infatti, il disco, raggiunto il punto di quiete sopraindicato, invertiva immediatamente il verso di spostamento, incominciando una nuova fase di discesa e quindi un nuovo ciclo di rimbalzo. Al termine del terzo ed ultimo ciclo, quindi al termine della terza fase di ascesa, quando il disco raggiungeva l'ultimo punto di quiete, l'animazione si interrompeva e compariva una diversa schermata, detta di valutazione. Una raffigurazione di alcuni *frames* iniziali dell'animazione si può osservare in Figura 8.

Animazione del movimento di rimbalzo

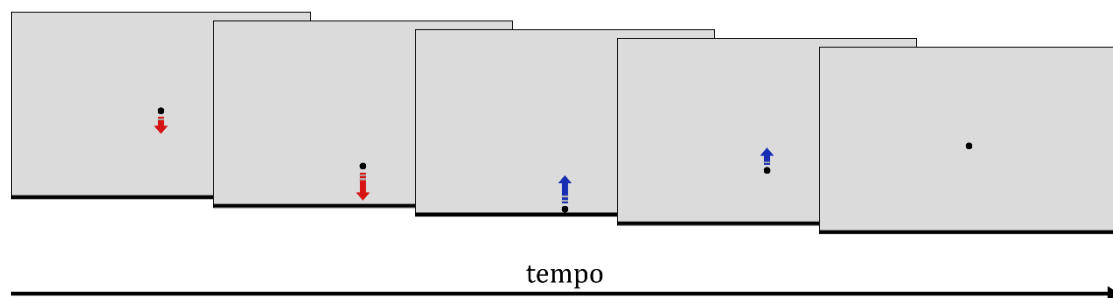


Figura 8. L'immagine ritrae alcuni *frames* di un esempio delle animazioni presentate durante gli esperimenti. In essa si possono distinguere la fase di discesa (nei primi due *frames*), la collisione (nel terzo *frame*) e la fase di ascesa (negli ultimi due *frames*) del disco. Le frecce sono state inserite a scopo indicativo del verso e della velocità di spostamento in un'ipotetica condizione di movimento con accelerazione uniforme.

All'interno della schermata di valutazione il partecipante avrebbe potuto inserire il proprio giudizio sull'animazione immediatamente precedente, a seconda che si trattasse di valutare la plausibilità fisica, l'*animacy* o la piacevolezza del movimento appena

osservato. L'esperimento era suddiviso in blocchi, e ciascun blocco era inerente alla valutazione di una sola delle tre condizioni sopra esposte (plausibilità fisica, *animacy* e piacevolezza). In altre parole, in ciascun blocco veniva chiesto al partecipante di valutare solo la plausibilità fisica, solo l'*animacy*, oppure solo la piacevolezza dell'animazione appena presentata. All'interno di ciascun blocco, tutte le animazioni previste per quello specifico esperimento venivano presentate in ordine casuale. L'ordine di presentazione dei blocchi veniva controbilanciato tra i partecipanti (cinque partecipanti per ciascuno dei sei ordini possibili).

5.1.3 Procedura

Prima di ciascun esperimento, i partecipanti venivano informati sulla tipologia di stimoli che sarebbero stati presentati loro e sulle modalità di svolgimento dell'esperimento stesso. Le stesse informazioni venivano fornite successivamente in maniera dettagliata per iscritto all'inizio dell'esperimento, e all'inizio di ciascuno dei tre blocchi. In esse veniva specificato che sarebbero state presentate delle animazioni "*che mostrano un disco nero che si muove e viene ripetutamente a contatto con una superficie*", e che il compito di ciascun partecipante sarebbe stato quello di osservarle attentamente e valutare la misura in cui il movimento messo in scena in ciascuna animazione, a seconda della condizione, sembrasse: a) "*il rimbalzo fisico di un oggetto inanimato (es. una palla) contro una superficie*" – nella condizione di plausibilità fisica; b) "*il movimento di un essere dotato di vita e di forza propria. Ad esempio, il movimento di un essere che salta su una superficie, o il movimento di un essere che si muove 'avanti e indietro'*" – nella condizione di *animacy*; c) "*visivamente piacevole (cioè, bello da vedere)*" – nella condizione di piacevolezza percepita. Veniva precisato che non vi erano risposte giuste o sbagliate, e si suggeriva, nel fornire il proprio giudizio, di far affidamento sulla prima impressione che il movimento suscitava.

I giudizi venivano espressi attraverso tre scale continue differenti (*visual analogue scale*, abbreviato in VAS), ognuna per ciascuna dimensione valutata (una per la plausibilità fisica, una per l'*animacy* e una per la piacevolezza). Ogni scala era rappresentata da un *continuum*, una linea orizzontale finita i cui estremi indicavano i poli opposti di

ciascuna delle tre condizioni. Per rispondere, il partecipante doveva cliccare e/o trascinare il cursore sul punto del *continuum* ritenuto più affine alla propria preferenza. Il partecipante era invitato a cliccare sull'estremità sinistra del *continuum* se secondo la propria impressione il movimento osservato non rispecchiava per nulla la condizione valutata, e sull'estremità destra se la rispecchiava del tutto. Il partecipante era inoltre invitato a cliccare su un punto intermedio del *continuum* in proporzione a quanto l'animazione rispecchiasse la condizione valutata. Ad esempio, all'interno della condizione di plausibilità fisica, si invitava il partecipante a cliccare sull'estremità sinistra se il movimento di rimbalzo presentato non fosse ritenuto per nulla plausibile, su quella destra se fosse ritenuto completamente plausibile, e in un punto intermedio se non fosse ritenuto né completamente plausibile, né completamente non plausibile. I partecipanti potevano effettuare una singola scelta per ciascun'animazione, e non potevano ritornare su di essa una volta effettuata.

Ciascuna scala compariva all'interno della schermata di valutazione. Nella parte superiore di questa schermata si ripetevano brevemente le istruzioni relative alla sottostante scala, posizionata nella parte inferiore. Ogni schermata di valutazione riguardava un singolo tipo di giudizi, il quale era in funzione del blocco di animazioni di appartenenza. Ad esempio, all'interno del blocco relativo ai giudizi di piacevolezza percepita, a seguito di ciascun'animazione, apparivano schermate di valutazione relative esclusivamente alla piacevolezza percepita nel movimento dell'animazione precedente. Per quanto riguarda le istruzioni inerenti a ciascuna scala, nella schermata erano presenti, a seconda della condizione, le seguenti indicazioni: a) *“In che misura l'animazione assomigliava al rimbalzo fisico di un oggetto inanimato?”* – nella condizione di plausibilità fisica; b) *“In che misura l'animazione assomigliava al movimento di un essere dotato di vita e di forza propria? (salto o movimento ‘avanti e indietro’)”* – nella condizione di *animacy*; c) *“In che misura il movimento ti sembrava visivamente piacevole (bello da vedere)?”* – nella condizione relativa ai giudizi di piacevolezza. In corrispondenza dell'estremità sinistra del *continuum* era presente l'indicazione *“Per nulla”*, mentre in corrispondenza di quella destra *“Del tutto”*, per facilitare l'espressione dei giudizi. Una volta cliccato sul *continuum*, quindi una volta fornito il proprio giudizio, la schermata di valutazione scompariva e appariva l'animazione seguente.

Gli esperimenti si componevano di una prima parte di prova, in cui i partecipanti potevano acquisire familiarità col compito, e una seconda parte, suddivisa nei tre blocchi sopra menzionati, che andava a costituire l'esperimento vero e proprio. Come specificato, ogni blocco comprendeva diverse animazioni del rimbalzo e le corrispondenti schermate di valutazione. Al termine di ogni animazione, compariva immediatamente la schermata di valutazione corrispondente, e, una volta fornita la risposta, essa scompariva e appariva l'animazione successiva, e così di seguito, fino al termine delle animazioni contenute in ciascun blocco. Le animazioni del blocco iniziavano non appena il partecipante, dopo aver letto le istruzioni ed essere pronto a cominciare, premeva il tasto "barra spaziatrice". La durata complessiva di ciascuno dei due esperimenti era di 20 minuti circa.

5.1.4 Analisi

I dati dei due esperimenti sono stati analizzati mediante il software R (un linguaggio di programmazione per il calcolo statistico e la grafica), nella sua versione 4.1.2 (R Core Team, 2021). I test statistici sono stati valutati con un valore di $\alpha = 0,05$.

5.2 Esperimento 1

Come affermato precedentemente, le animazioni in questo contesto mettono in scena tre rimbalzi consecutivi, e non prevedono la condizione con un singolo rimbalzo. In questo primo esperimento si è deciso di escludere il *pattern* di movimento con velocità costante; pertanto, le animazioni utilizzate presentavano esclusivamente movimenti con accelerazione uniforme. Si è scelto di utilizzare come variabili il coefficiente di restituzione (e), il valore dell'accelerazione gravitazionale (a) e il *delay*. Di seguito, sono prima esaminati i parametri delle variabili prese in considerazione e poi, separatamente, esposti i risultati che hanno prodotto. Ciascun risultato è stato brevemente commentato.

5.2.1 Stimoli e procedure

In base a quanto impostato, il coefficiente di restituzione (e) del rimbalzo poteva assumere uno dei seguenti valori: 0,70; 0,85; 1,00; 1,15; 1,30. Come si può osservare, si tratta di 5 livelli distribuiti tra loro ad intervalli regolari di 0,15. Rispetto allo studio di Vicovaro *et al.* (2023) sono presenti meno livelli di e , e sono distribuiti all'interno di un intervallo più ristretto. In tale studio si è infatti dimostrato che l'intervallo critico entro il quale si invertivano le impressioni di plausibilità fisica e di *animacy* (la prima decresceva e la seconda aumentava) era proprio quello di e compreso tra 0,75 e 1,25.

Per quanto riguarda l'accelerazione gravitazionale (a), che determina la velocità di movimento del disco, questa poteva essere di 0,15, 0,61, 2,45 o 9,81 m/s². Si ricorda che l'accelerazione gravitazionale terrestre (g) assume un valore di $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, e i valori impostati sono rispettivamente, da sinistra a destra, $g/64$, $g/16$, $g/4$ e g . In questo caso si è deciso di aggiungere il valore di $g/64$, ovvero di 0,15 m/s², valore non presente nel precedente studio di Vicovaro *et al.* (2023). Nello studio è emerso che un'accelerazione gravitazionale pari a $g/16$ (0,61 m/s²) o $g/4$ (2,45 m/s²) comportava giudizi di plausibilità fisica molto elevati; pertanto, si è voluto valutare se questo effetto si riscontrasse anche con valori di a ancora più bassi. La velocità (v) del movimento, come è stato spiegato nel capitolo 2, è direttamente proporzionale alla grandezza dell'accelerazione che ne descrive il movimento (assumeva quindi un valore massimo nella condizione in cui $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ e minimo in quella in cui $a = 0,15 \text{ m/s}^2$), ed era uguale, per ciascuna animazione, a $v = \sqrt{2 a h}$. Poiché il valore di v è anche in funzione dello spostamento percorso (in questo caso dell'altezza h), la velocità era minima in prossimità del punto di quiete del disco (all'inizio di ciascuna animazione e in corrispondenza dei picchi raggiunti al termine di ciascuna fase di ascesa) e massima in prossimità della superficie di rimbalzo. In relazione al tempo trascorso, la velocità in fase di discesa era data da $v = a * t$, mentre in fase di discesa da $v = v_0 - a * t$, dove v_0 è la velocità iniziale a seguito della collisione.

Infine, in alcune animazioni è stato introdotto un *delay* al momento della collisione pari a 30 o a 60 ms. Come affermato in precedenza, un *delay* di 30 ms non comprometterebbe le impressioni di plausibilità fisica, mentre quello di 60 ms avrebbe un effetto minimo nella riduzione di esse.

In conclusione, il primo esperimento ha presentato un disegno fattoriale $5 e (0,70; 0,85; 1,00; 1,15; 1,30) \times 4 a (0,15 \text{ m/s}^2; 0,61 \text{ m/s}^2; 2,45 \text{ m/s}^2; 9,81 \text{ m/s}^2) \times 3 \text{ delay} (0 \text{ ms}; 30 \text{ ms}; 60 \text{ ms})$, per un totale di 60 diverse animazioni, comprendenti tutte le possibili combinazioni dei sopraccitati parametri. Ogni blocco era costituito da ognuna di queste 60 animazioni; pertanto, all'interno dell'esperimento, ognuna di queste animazioni è stata presentata una volta in ciascun blocco (in funzione di ciascun tipo di giudizi).

5.2.2 Risultati commentati

In primo luogo, è stata effettuata un'analisi preliminare per verificare se i partecipanti avessero utilizzato la scala di valutazione in tutta la sua lunghezza. Questo può essere un indice di buona comprensione delle istruzioni del compito, e può essere utile anche per verificare l'eventuale presenza di giudizi completamente polarizzati. Successivamente è stata effettuata una MANOVA per verificare se i tre tipi di giudizi (di plausibilità fisica, di *animacy* e di piacevolezza) fossero tra loro indipendenti, e si è poi valutata la forma delle distribuzioni dei tre tipi di giudizi per ciascuna combinazione dei livelli dei fattori (e quindi per ciascuna animazione). Si è proceduto con un'ANOVA per misure ripetute con la correzione di Huynh-Feldt per ciascuno dei tre tipi di giudizi, valutando così gli effetti dei fattori coefficiente di restituzione (*e*), accelerazione (*a*) e *delay* su ogni tipo di giudizi. Sono stati poi effettuati i confronti *post-hoc* col metodo di correzione "Hochberg" per ciascun fattore risultato significativo dai risultati dell'ANOVA. Infine, è stato valutato il grado di correlazione per ciascuna coppia di giudizi (plausibilità fisica e *animacy*, piacevolezza e plausibilità fisica, piacevolezza e *animacy*). Ciascuna analisi, eccetto quella preliminare, è stata effettuata sui punteggi standardizzati dei tre tipi di giudizi. I risultati dell'ANOVA sono mostrati in Tabella 1, mentre quelli dei confronti *post-hoc* (valori *p*) in Tabella 2. In Figura 9 sono mostrate, attraverso 12 grafici a linee, le medie dei punteggi non standardizzati di ciascun tipo di giudizi al variare di *e*, in ciascuna combinazione di $a \times \text{delay}$. In Figura 10 sono mostrate, mediante 3 grafici a barre, le medie dei punteggi non standardizzati dei tre tipi di giudizi in funzione, rispettivamente, dell'accelerazione (*a*), del coefficiente di restituzione (*e*) e del *delay*. I risultati sono

suddivisi all'interno dei seguenti sottoparagrafi, ognuno dei quali si focalizza su alcuni specifici aspetti analizzati

5.2.2.1 Analisi preliminari

Dall'analisi preliminare è emerso che la maggior parte dei partecipanti ha fornito giudizi distribuiti lungo tutta la scala di valutazione, compresi gli estremi, suggerendo quindi che vi sia stata una buona comprensione delle istruzioni del compito. Dalla MANOVA è emerso che tutti i tipi di giudizi sono tra loro indipendenti e separati, e da successive analisi che le distribuzioni dei tre tipi di giudizi all'interno di ciascun'animazione si approssimano alla distribuzione normale.

5.2.2.2 Giudizi di plausibilità fisica

Per quanto riguarda i giudizi di plausibilità fisica, si può osservare che gli effetti principali dei fattori e , a e $delay$ sono tutti statisticamente significativi (Tabella 1). Ciò non sorprende se si fa riferimento al precedente studio di Vicovaro *et al.* (2023). In esso, infatti, si è riscontrato un graduale abbassamento dei giudizi di plausibilità fisica all'aumentare del coefficiente di restituzione, e quando l'accelerazione corrispondeva a $9,81 \text{ m/s}^2$ i giudizi di plausibilità fisica erano significativamente inferiori rispetto a quando corrispondeva a $2,45$ o $0,61 \text{ m/s}^2$. Allo stesso modo, anche la condizione con un $delay$ di 60 ms cominciava a mostrare i primi segni del calo della plausibilità fisica percepita, che sarebbe stato via via più evidente con l'aumentare del $delay$. Tornando ai risultati dell'esperimento, si può osservare come anche l'interazione $e \times a$ risulti significativa (Tabella 1), indicando che, indipendentemente dal $delay$, l'impatto dell'elasticità del rimbalzo sui giudizi di plausibilità fisica varia in funzione dell'accelerazione gravitazionale. Anche in questo caso, nello studio di Vicovaro *et al.* (2023) è stato riscontrato un effetto simile, in quanto anche in esso la differenza tra gli effetti di e in funzione di a , per quanto riguarda i giudizi di plausibilità fisica, era molto pronunciata: nei casi in cui a era uguale a $0,61$ o $2,45 \text{ m/s}^2$, tali giudizi mostravano un andamento negativo

Tabella1: Risultati ANOVA (Esperimento 1)

Plausibilità fisica						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
<i>e</i>	4	116	0.43	47.96	< .001	.353
<i>a</i>	3	87	0.63	13.96	< .001	.080
<i>delay</i>	2	58	0.76	5.29	.015	.005
<i>e : a</i>	12	348	0.64	2.14	.036	.011
<i>e : delay</i>	8	232	0.91	1.53	.154	.003
<i>a : delay</i>	6	174	1.00	0.92	.484	.001
<i>e : a : delay</i>	24	696	0.62	0.80	.733	.006
Animacy						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
<i>e</i>	4	116	0.35	2.60	.103	.043
<i>a</i>	3	87	0.60	6.51	.004	.031
<i>delay</i>	2	58	0.96	1.04	.356	.001
<i>e : a</i>	12	348	0.63	2.05	.046	.007
<i>e : delay</i>	8	232	0.99	1.27	.261	.003
<i>a : delay</i>	6	174	1.05	0.90	.494	.001
<i>e : a : delay</i>	24	696	0.84	0.96	.505	.005
Piacevolezza						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
<i>e</i>	4	116	0.50	1.75	.182	.013
<i>a</i>	3	87	0.52	33.85	< .001	.234
<i>delay</i>	2	58	0.84	4.50	.021	.007
<i>e : a</i>	12	348	0.88	1.76	.063	.010
<i>e : delay</i>	8	232	0.92	47.11	.863	.003
<i>a : delay</i>	6	174	1.03	2.27	.039	.001
<i>e : a : delay</i>	24	696	0.86	0.49	.974	.003

Note: df_n = gradi di libertà al numeratore della statistica F ; df_d = gradi di libertà al denominatore della statistica F ; HF_ε = coefficiente di Huynh-Feldt per la correzione dei gradi di libertà; F = valore della statistica F ; p = valori p a seguito della correzione di Huynh-Feldt; η_G^2 = eta al quadrato generalizzato.

Tabella 2. Valori p dei confronti *post-hoc* (Esperimento 1)

Plausibilità fisica – Fattore e					Plausibilità fisica – Fattore a			
e	0.70	0.85	1.00	1.15	a (m/s ²)	0.15	0.61	2.45
0.85	< .001	-	-	-	0.61	.009	-	-
1.00	< .001	< .001	-	-	2.45	.888	.009	-
1.15	< .001	< .001	< .001	-	9.81	< .001	< .001	< .001
1.30	< .001	< .001	< .001	.009				

Plausibilità fisica – Fattore $delay$			Animacy – Fattore a			
$delay$ (ms)	0.00	0.30	a (m/s ²)	0.15	0.61	2.45
0.30	.819	-	0.61	.001	-	-
0.60	.091	.116	2.45	.111	.062	-
			9.81	.005	< .001	< .001

Piacevolezza – Fattore $delay$			Piacevolezza – Fattore a			
$delay$ (ms)	0.00	0.30	a (m/s ²)	0.15	0.61	2.45
0.30	.842	-	0.61	< .001	-	-
0.60	.016	.031	2.45	.015	< .001	-
			9.81	< .001	< .001	< .001

all'aumentare di e ; quando invece a era di 9,81 m/s², i giudizi rimanevano pressoché minimi in tutti i livelli di e . Tale significatività potrebbe quindi essere spiegata anche qui dai ridotti effetti di e nella condizione in cui $a = 9,81$ m/s², come si può osservare dai grafici in Figura 9 e 10. Infatti, rimuovendo questo livello di a e ripetendo l'ANOVA, l'interazione $e \times a$ scompare ($F(8,232) = 1.02$, $HF_e = 0.89$, $p = .418$, $\eta_G^2 = .004$), suggerendo che sia proprio un'accelerazione di gravità di 9,81 m/s² a spiegare l'effetto di interazione.

In merito ai confronti *post-hoc* (Tabella 2), tutti i confronti all'interno del fattore e risultano significativi, ad indicare, in particolare, come i giudizi per ciascun livello di e erano significativamente più bassi di quelli relativi ad ognuno dei suoi livelli precedenti. I confronti all'interno fattore a (inclusi quelli con $a = 9,81$ m/s²) risultano anch'essi

tutti significativi, ad eccezione di quelli tra $a = 0,15 \text{ m/s}^2$ e $a = 2,45 \text{ m/s}^2$. Emerge quindi che il livello in cui $a = 0,61 \text{ m/s}^2$ tende ad essere ritenuto come quello più fisicamente plausibile, a differenza di quello in cui $a = 9,81 \text{ m/s}^2$, che appare come quello meno plausibile. I livelli di $a = 0,15 \text{ m/s}^2$ e $a = 2,45 \text{ m/s}^2$ sono risultati invece ugualmente plausibili. Infine, nessun confronto inerente al fattore *delay* è significativo.

5.2.2.3 Giudizi di *animacy*

Nei giudizi di *animacy* risultano statisticamente significativi gli effetti del fattore a e quelli dell'interazione $e \times a$, come in precedenza (Tabella 1). Come avviene con i giudizi di plausibilità fisica, rimuovendo $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ e ripetendo l'ANOVA, l'effetto scompare ($F(8,232) = 0.87$, $HF_e = 0.72$, $p = .516$, $\eta_G^2 = .003$), indicando che, anche in questo caso, tale livello sembra influire sui giudizi di *animacy*, in funzione di e , in maniera diversa rispetto a quanto avviene negli altri livelli di a . Non si riscontrano effetti significativi né del fattore *delay*, né del fattore e in questo caso.

Nei confronti *post-hoc* (Tabella 2), i confronti all'interno del fattore a risultano tutti statisticamente significativi, tranne quelli di $a = 2,45 \text{ m/s}^2$ con $a = 0,15 \text{ m/s}^2$ e $a = 0,61 \text{ m/s}^2$. Si evidenzia una tendenza a fornire anche in questo caso dei giudizi notevolmente più bassi quando $a = 9,81 \text{ m/s}^2$, e più alti quando $a = 0,61 \text{ m/s}^2$. Quindi, confrontando i giudizi di *animacy* con quelli di plausibilità fisica, emerge che nei movimenti di rimbalzo che avvengono con un'accelerazione gravitazionale pari a $9,81 \text{ m/s}^2$, equivalente a quella terrestre (g), entrambi i tipi di giudizi sono più bassi, al contrario di quanto accade nei movimenti in cui l'accelerazione è pari a $0,61 \text{ m/s}^2$, dove invece sono entrambi più alti. Sembra infatti che i movimenti effettuati con un'accelerazione gravitazionale di $9,81 \text{ m/s}^2$ non siano percepiti né particolarmente naturali, né particolarmente animati; all'opposto, i movimenti con un'accelerazione gravitazionale pari a $0,61 \text{ m/s}^2$ sembrano esser ritenuti, tra tutti, quelli più naturali e animati – in quest'ultimo caso, tuttavia, la differenza all'interno dei giudizi di *animacy* tra $a = 0,61 \text{ m/s}^2$ e $a = 2,45 \text{ m/s}^2$ non è significativa, ma è molto vicina ai livelli di significatività statistica. Inoltre, rimuovendo $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ dall'ANOVA relativa ai giudizi di *animacy*, oltre a far scomparire l'effetto dell'interazione $e \times a$, il fattore e si avvicina molto al livello di significatività,

Combinazioni $a \times \text{delay}$ in funzione del coefficiente di restituzione (e)

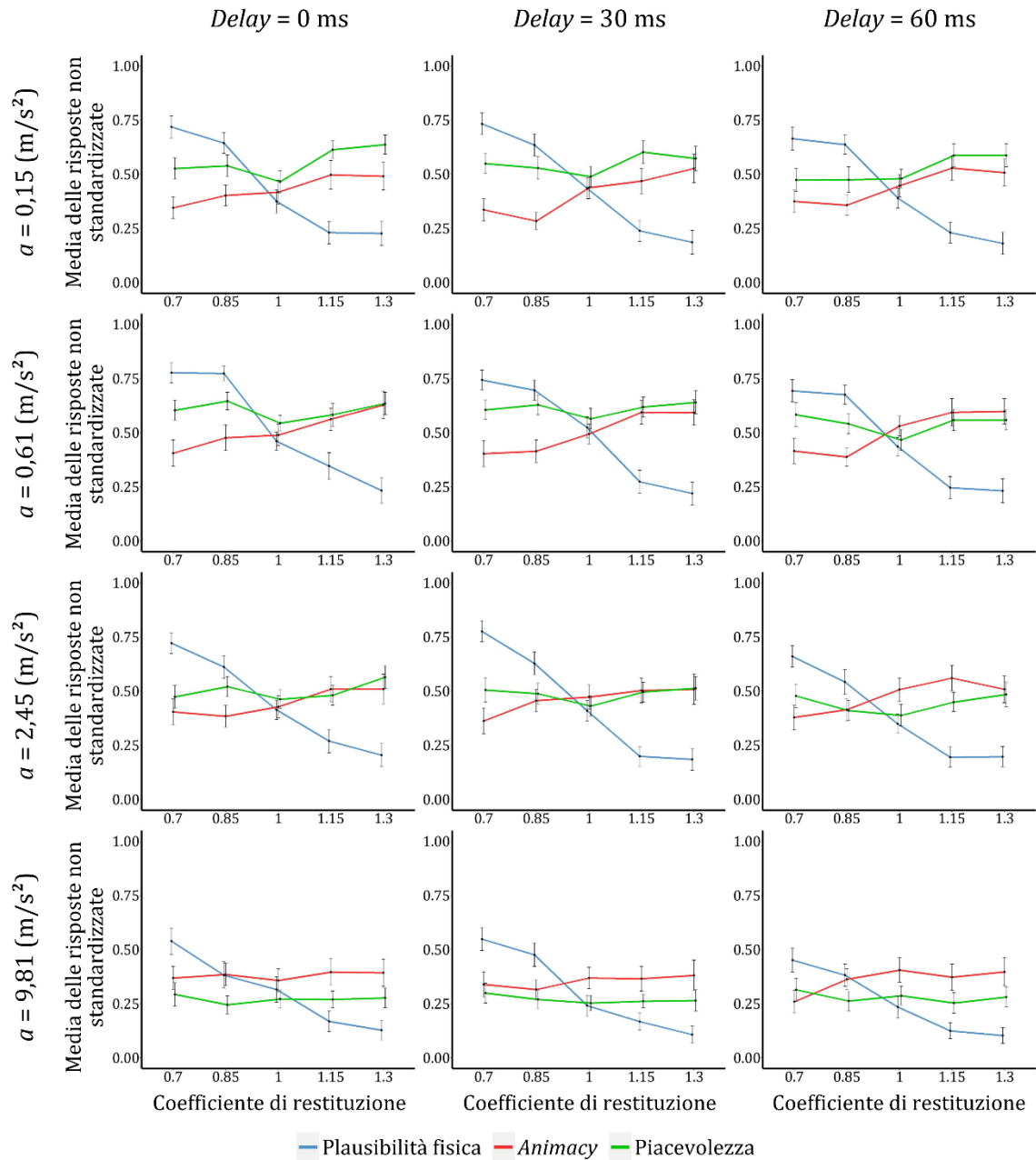


Figura 9. I grafici a linee rappresentano le medie dei punteggi non standardizzati per ciascun tipo di giudizi, rappresentati mediante colori diversi (blu per i giudizi plausibilità fisica, rosso per quelli di animacy e verde per quelli di piacevolezza), in funzione del coefficiente di restituzione, in ciascuna delle 12 combinazioni di $a \times \text{delay}$. Nei grafici sono riportate le barre di errore delle medie dei punteggi.

enfattizzando un sottile andamento crescente della percezione di *animacy* all'aumentare di *e*. In riferimento a questo aspetto, all'aumentare dell'elasticità, si può notare come al decrescere dei giudizi di plausibilità fisica si contrapponga un andamento crescente dei giudizi di *animacy*, seppur minimo (Figura 10 e 11). Questa duplice tendenza, dell'aumentare degli uni e del diminuire degli altri in funzione dell'elasticità, è stato uno degli effetti principali riscontrati da Vicovaro *et al.* (2023).

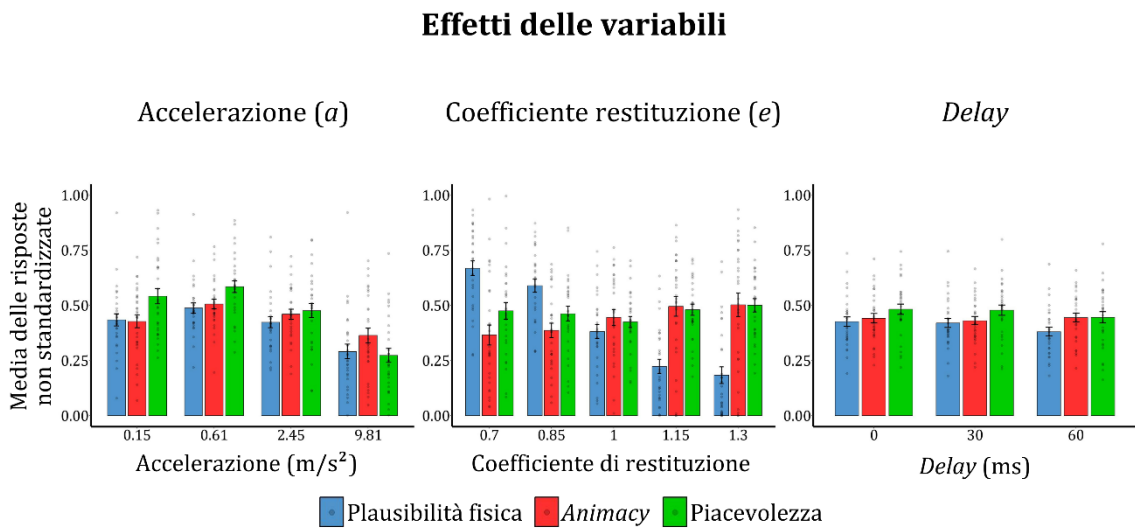


Figura 10. I grafici a barre rappresentano le medie dei punteggi non standardizzati di ciascun tipo di giudizi, rappresentati mediante colori diversi (blu per i giudizi plausibilità fisica, rosso per quelli di *animacy* e verde per quelli di piacevolezza), in funzione, rispettivamente, dell'accelerazione, del coefficiente di restituzione e del *delay*. Nei grafici sono riportate le barre di errore delle medie dei punteggi e le medie dei punteggi individuali per ogni livello dell'accelerazione, del coefficiente di restituzione e del *delay*.

5.2.2.4 Giudizi di piacevolezza

Per quando riguarda i giudizi di piacevolezza, gli effetti dei fattori *a* e *delay* risultano statisticamente significativi (Tabella 1). Anche l'interazione *delay* × *a* è significativa, suggerendo che, indipendentemente dall'elasticità, gli effetti del *delay* sui giudizi di piacevolezza variano in base ai valori assunti dall'accelerazione gravitazionale. Tuttavia, anche in questo caso, l'effetto scompare escludendo $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ e ripetendo l'ANOVA ($F(4,116) = 0.60$, $HF_e = 0.97$, $p = .656$, $\eta_G^2 = .001$), suggerendo che gli

effetti del *delay* sui giudizi di piacevolezza sono più pronunciati proprio all'interno di questo livello.

I confronti *post-hoc* (Tabella 2) all'interno del fattore *a* risultano tutti statisticamente significativi (inclusi quelli con $a = 9,81 \text{ m/s}^2$). In particolare, emerge che quando l'accelerazione corrisponde a $0,61 \text{ m/s}^2$ i giudizi di piacevolezza sono più elevati, mentre quando corrisponde a $9,81 \text{ m/s}^2$ questi sono minimi. Come si può notare, questi risultati sono simili a quelli ottenuti nei giudizi di plausibilità fisica e di *animacy*, e sembrano indicare che i movimenti percepiti come meno naturali e meno animati (con $a = 9,81 \text{ m/s}^2$) siano anche meno piacevoli, mentre quelli percepiti come più naturali e più animati (con $a = 0,61 \text{ m/s}^2$), coerentemente, siano anche più piacevoli. Per quanto riguarda il fattore *delay*, sono solo i confronti con la condizione in cui il *delay* è pari a 60 ms ad essere significativi (Tabella 2). Allo stesso modo di come avviene con i giudizi di plausibilità fisica, un *delay* di 60 ms determina una riduzione dei giudizi di piacevolezza. Si potrebbe quindi ipotizzare che un *delay* crescente, oltre a compromettere progressivamente la percezione di naturalezza nel rimbalzo (Vicovaro *et al.*, 2023), possa avere effetti proporzionati anche sulla piacevolezza percepita, proprio perché interromperebbe in maniera sempre più incisiva la continuità del movimento.

5.2.2.5 Correlazioni

Esaminando le correlazioni tra i tre tipi di giudizi, queste risultano inizialmente inattese: i giudizi di plausibilità fisica e di *animacy* presentano una moderata correlazione negativa ($r = -0.46$, $p < .001$), ma entrambi mostrano una correlazione positiva con quelli di piacevolezza (rispettivamente $r = 0.31$, $p = .015$ e $r = 0.52$, $p < .001$). Si presuppone che tali effetti siano imputabili al livello con l'accelerazione gravitazionale pari a $9,81 \text{ m/s}^2$, che, come si può notare anche all'interno dei grafici (Figura 9 e 10), comporta un generale appiattimento di tutti gli effetti mostrati negli altri livelli di *a*. Infatti, rimuovendo questo livello, la correlazione tra i giudizi di plausibilità fisica e quelli di *animacy* viene estremizzata, risultando fortemente negativa ($r = -0.80$, $p < .001$), mentre le altre due inerenti ai giudizi di piacevolezza, coerentemente, si annullano o

perdono di significatività statistica (rispettivamente $r = -0.01$, $p = .963$ e $r = 0.23$, $p = .130$).

5.2.3 Conclusioni

I risultati di questo primo esperimento sembrano prima di tutto rimarcare il ruolo dell'accelerazione nel determinare i tre tipi di giudizi. Infatti, mentre i giudizi forniti nelle condizioni in cui $a = 0,15$, $0,61$ e $2,45 \text{ m/s}^2$ appaiono relativamente simili, quelli forniti nella condizione in cui $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ si discostano eccessivamente dagli altri, come se quest'ultima condizione sia significativamente diversa da quelle precedenti. In altre parole, lo scarto percepito tra $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ e $a = 2,45 \text{ m/s}^2$ sembra essere molto maggiore di quello percepito tra $a = 2,45 \text{ m/s}^2$ e $a = 0,61 \text{ m/s}^2$, ad esempio, e questa differenza potrebbe essere all'origine dei risultati divergenti di $a = 9,81 \text{ m/s}^2$ dagli altri livelli di a . In, più emerge che il valore di $a = 0,61 \text{ m/s}^2$ non solo sembra essere quello più adatto a favorire una maggior percezione di naturalezza e *animacy* nel movimento di rimbalzo, ma appare anche come quello più gradevole a livello visivo.

Per quanto riguarda l'elasticità, questa sembra essere una variabile determinante nello spiegare le differenze tra la percezione di plausibilità fisica e la percezione di *animacy*, ma non sembra invece determinare delle differenze significative all'interno dei giudizi di piacevolezza. Tuttavia, prima di escludere che l'elasticità possa avere degli effetti sulla piacevolezza percepita, potrebbe essere utile rivalutarne gli effetti all'interno di un contesto che non tenga conto della variabilità dei giudizi dovuta alle differenti condizioni di accelerazione gravitazionale. Ad esempio, si potrebbero rivalutare i giudizi mantenendo costante il valore dell'accelerazione a $a = 0,61 \text{ m/s}^2$, che risulta essere il valore ottimale per esaltare le differenze tra i tre tipi di giudizi, riducendo al minimo il rumore statistico. In questo caso, inoltre, potrebbe risultare interessante anche rivalutare il grado di correlazione tra i giudizi di piacevolezza con quelli di plausibilità fisica e di *animacy*, che in questo primo esperimento sono risultati nulli. Questa ipotesi è stata valutata nel secondo esperimento, nel quale, quindi, si è voluto valutare se i giudizi di piacevolezza potessero assumere un andamento più chiaramente correlato con l'elasticità e con i giudizi di plausibilità fisica o di *animacy*, nel caso in cui $a = 0,61 \text{ m/s}^2$.

5.3 Esperimento 2

Il secondo esperimento, come accennato, presenta un solo livello di accelerazione gravitazionale ($a = 0,61 \text{ m/s}^2$). Questo sembra essere il livello ottimale per favorire elevati punteggi all'interno di ciascun tipo di giudizi. Tra le variabili manipolate è stato mantenuto il coefficiente di restituzione (e) ed è stato aggiunto il *pattern* di movimento (abbreviato di seguito in P_m), che confronta il *pattern* con accelerazione uniforme con quello con velocità costante. Il P_m con velocità costante sembra favorire l'impressione di *animacy*, oltre che a sfavorire quella di plausibilità fisica (Vicovaro *et al.*, 2023); in questo caso, quindi, ci si potrebbe aspettare una differenza più pronunciata tra i due tipi di giudizi sotto questo aspetto. Oltre all'accelerazione (a), che veniva mantenuta costante, è stata rimossa anche la variabile del *delay*, ed ogni animazione presentava un *delay* di 30 ms. Di seguito, come nel primo esperimento, sono descritti i parametri utilizzati per la creazione delle animazioni e poi mostrati i risultati, accompagnati da una breve discussione.

5.3.1 Stimoli e procedure

Come già affermato, all'interno dell'esperimento è stato manipolato il coefficiente di restituzione (e), ed esattamente come nel primo esperimento questo poteva assumere i valori 0,70, 0,85, 1,00, 1,15 e 1,30. Questo intervallo si è dimostrato utile per cogliere distintamente le variazioni nei giudizi di plausibilità fisica ma non in quelli di *animacy*, le cui le variazioni sono risultate più deboli. Si è deciso pertanto di lasciare inalterato il presente intervallo, e di rivalutare gli effetti dell'elasticità sui tre tipi di giudizi non più all'interno di diverse condizioni con accelerazione gravitazionale, ma tra una condizione con accelerazione uniforme e una con velocità costante.

Il *pattern* di movimento (P_m), invece, che determina il tipo di movimento del disco, poteva essere, come è stato detto, o uniformemente accelerato (a_u) o con velocità costante (v_c). Per quando riguarda il movimento con accelerazione uniforme, esattamente come nel primo esperimento, la velocità (v) del disco, determinata dall'equazione $v = \sqrt{2 a h}$, è in funzione dello spostamento percorso (h), e quindi era massima quando il disco si trovava in prossimità della superficie di rimbalzo e minima quando si trovava in prossimità

del suo punto di quiete. Essa variava in funzione di un unico valore di $a = 0,61 \text{ m/s}^2$. Come già detto per l'esperimento 1, la velocità, in funzione del tempo, era data da $v = a * t$ in fase di discesa e da $v = v_0 - a * t$ in fase di ascesa. Per quanto riguarda il movimento con velocità costante, la velocità (v) del disco, in questo caso, era identica per tutto lo spostamento effettuato. Il valore attribuito ad essa, per equipararla alla condizione con accelerazione uniforme, era dato dalla formula $v = \sqrt{2 a h_0} / 2$, sia per la fase di discesa che per la fase di ascesa (in quest'ultima il verso di spostamento era però opposto), dove l'accelerazione corrisponde anche qui a $a = 0,61 \text{ m/s}^2$ e h_0 all'altezza di partenza del disco da ciascun punto di quiete. In sostanza, essa corrispondeva alla velocità media del disco nella condizione in cui si muoveva con accelerazione uniforme, in ciascuna delle due fasi di discesa e ascesa. In entrambi i casi, pertanto, il tempo per completare il medesimo spostamento era lo stesso; quindi, a parità di coefficiente di restituzione, un'animazione caratterizzata da accelerazione uniforme e una caratterizzata da velocità costante avevano la stessa durata.

Questo esperimento ha presentato quindi un disegno fattoriale $5 e (0,70; 0,85; 1,00; 1,15; 1,30) \times 2 P_m$ (accelerazione uniforme o a_u ; velocità costante o v_c). Le animazioni, per ciascuna combinazione dei due fattori, erano in tutto 10, ed ognuna di esse è stata ripetuta tre volte all'interno di ciascun blocco (in funzione di ciascun tipo di giudizi); pertanto, in ogni blocco sono state mostrate 30 animazioni.

5.3.2 Risultati commentati

Esattamente come nel primo esperimento, è stata effettuata un'analisi preliminare per verificare se i partecipanti avessero utilizzato tutto l'intervallo disponibile nel fornire i propri giudizi. Successivamente è stata effettuata una MANOVA per controllare se i tre tipi di giudizi fossero tra loro indipendenti, e si è valutata anche qui la forma delle distribuzioni dei tre tipi di giudizi per ciascun tipo di animazione. È stata poi effettuata un'ANOVA per misure ripetute con la correzione di Huynh-Feldt per ciascuno dei tre tipi di giudizi, valutando gli effetti dei fattori coefficiente di restituzione (e) e *pattern* di movimento (P_m). Sono stati poi eseguiti i confronti *post-hoc* col metodo di correzione "Hochberg" per i fattori risultati significativi. Infine, è stato analizzato il grado di correlazione

tra ciascuna coppia di giudizi (plausibilità fisica e *animacy*, piacevolezza e plausibilità fisica, piacevolezza e *animacy*). Le analisi sono state effettuate sui punteggi standardizzati dei tre tipi di giudizi, ad eccezione dell'analisi relativa all'ampiezza dell'intervallo delle scale utilizzata. I risultati dell'ANOVA sono mostrati in Tabella 3, e quelli dei confronti *post-hoc* (valori p) in Tabella 4. In Figura 11 sono mostrate, all'interno di tre grafici a linee, le medie dei punteggi non standardizzati per ciascun *pattern* di movimento (P_m) al variare del coefficiente di restituzione (e), per ciascuno dei tre tipi di giudizi. In Figura 12 sono mostrati infine i modelli di regressione lineare che descrivono la relazione tra i giudizi di piacevolezza e quelli di *animacy* in funzione del *pattern* di movimento.

5.3.2.1 Analisi preliminari

Dalle analisi preliminari si è accertato che buona parte dei partecipanti avesse utilizzato tutto l'intervallo della scala, compresi gli estremi. I risultati della MANOVA permettono anche qui di poter considerare i tre tipi di giudizi come variabili tra loro indipendenti e separate. Per quanto riguarda la forma delle distribuzioni dei tre tipi di giudizi per ciascuna delle 10 animazioni, quelle dei giudizi di plausibilità fisica tendono ad essere leptocurtiche, mentre quelle dei giudizi di *animacy* e di piacevolezza si approssimano alla normale. La forma leptocurtica delle distribuzioni dei giudizi di plausibilità fisica potrebbe indicare una bassa dispersione dei giudizi in alcune animazioni, specialmente quelle in cui il coefficiente di restituzione (e) corrisponde a 0.70 e 0.85, livelli che generalmente suscitano impressioni di plausibilità fisica molto elevate.

5.3.2.2 Giudizi di plausibilità fisica

All'interno dei giudizi di plausibilità fisica, dai risultati dell'ANOVA emerge un effetto significativo sia del fattore e che del fattore P_m , come anche dell'interazione $e \times P_m$ (Tabella 3). In questo caso sembra quindi che l'elasticità abbia un impatto diverso sui giudizi di plausibilità fisica a seconda che il movimento avvenga con accelerazione uniforme o con velocità costante. I giudizi di plausibilità fisica risultano mediamente più alti

nella condizione con accelerazione uniforme rispetto a quella con velocità costante (a_u : $M = 1.61, SD = 0.331$; v_c : $M = 1.29, SD = 0.294$).

Tabella 3: Risultati ANOVA (Esperimento 2)

Plausibilità fisica						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
e	4	116	0.58	36.67	< .001	.297
P_m	1	29	-	29.24	< .001	.320
$e : P_m$	4	116	0.81	11.46	< .001	.074
Animacy						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
e	4	116	0.51	27.60	< .001	.283
P_m	1	29	-	2.20	.149	.034
$e : P_m$	4	116	0.76	15.21	< .001	.061
Piacevolezza						
Fattori	df_n	df_d	HF_ε	F	p	η_G^2
e	4	116	0.79	16.79	< .001	.225
P_m	1	29	-	149.37	< .001	.525
$e : P_m$	4	116	0.84	1.41	.241	.014

Note: df_n = gradi di libertà al numeratore della statistica F ; df_d = gradi di libertà al denominatore della statistica F ; HF_ε = coefficiente di Huynh-Feldt per la correzione dei gradi di libertà; F = valore della statistica F ; p = valori p a seguito della correzione di Huynh-Feldt; η_G^2 = eta al quadrato generalizzato.

In merito ai valori p dei confronti *post-hoc* relativi all'interazione $e \times P_m$ (Tabella 4), nel caso dell'accelerazione uniforme, si evidenzia un andamento chiaramente decrescente dei giudizi in funzione dell'elasticità. Esaminando alcuni di questi confronti, emerge che i livelli di $e = 0.75$ e 0.85 danno origine a giudizi di plausibilità fisica simili tra loro, ma significativamente più alti rispetto a tutti gli altri livelli di e . I giudizi in corrispondenza di $e = 1.00$ e 1.15 sono entrambi maggiori di quelli in cui $e = 1.30$. Per quanto riguarda la velocità costante, l'andamento dei giudizi di plausibilità fisica, seppur

Tabella 4. Valori *p* dei confronti *post-hoc* (Esperimento 2)

Plausibilità fisica – Interazione <i>pattern</i> di movimento × <i>e</i>									
<i>e; a_u/v_c</i>	0.70; <i>a_u</i>	0.85; <i>a_u</i>	1.00; <i>a_u</i>	1.15; <i>a_u</i>	1.30; <i>a_u</i>	0.70; <i>v_c</i>	0.85; <i>v_c</i>	1.00; <i>v_c</i>	1.15; <i>v_c</i>
0.85; <i>a_u</i>	.794	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00; <i>a_u</i>	<.001	.001	-	-	-	-	-	-	-
1.15; <i>a_u</i>	<.001	<.001	.794	-	-	-	-	-	-
1.30; <i>a_u</i>	<.001	<.001	.019	.004	-	-	-	-	-
0.70; <i>v_c</i>	<.001	<.001	.794	.794	.794	-	-	-	-
0.85; <i>v_c</i>	<.001	<.001	.406	.794	.794	.794	-	-	-
1.00; <i>v_c</i>	<.001	<.001	.069	.381	.794	.577	.794	-	-
1.15; <i>v_c</i>	<.001	<.001	.008	.052	.794	.048	.381	.794	-
1.30; <i>v_c</i>	<.001	<.001	<.001	.001	.141	.004	.024	.041	.069

<i>Animacy</i> – Interazione <i>pattern</i> di movimento × <i>e</i>									
<i>e; a_u/v_c</i>	0.70; <i>a_u</i>	0.85; <i>a_u</i>	1.00; <i>a_u</i>	1.15; <i>a_u</i>	1.30; <i>a_u</i>	0.70; <i>v_c</i>	0.85; <i>v_c</i>	1.00; <i>v_c</i>	1.15; <i>v_c</i>
0.85; <i>a_u</i>	.083	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00; <i>a_u</i>	<.001	<.001	-	-	-	-	-	-	-
1.15; <i>a_u</i>	<.001	<.001	.908	-	-	-	-	-	-
1.30; <i>a_u</i>	<.001	.001	.908	.908	-	-	-	-	-
0.70; <i>v_c</i>	.908	.908	<.001	<.001	.001	-	-	-	-
0.85; <i>v_c</i>	.908	.908	<.001	<.001	.003	.908	-	-	-
1.00; <i>v_c</i>	.065	.424	.532	.356	.563	.001	.003	-	-
1.15; <i>v_c</i>	.073	.627	.408	.073	.117	.027	.073	.908	-
1.30; <i>v_c</i>	.072	.627	.596	.073	.073	.073	.259	.908	.908

Piacevolezza – Fattore <i>e</i>				
<i>e</i>	0.7	0.85	1.00	1.15
0.85	.744	-	-	-
1.00	<.001	<.001	-	-
1.15	<.001	<.001	.089	-
1.3	<.001	<.001	.218	.744

ugualmente decrescente, è meno deciso rispetto a quello della condizione con accelerazione uniforme. In questo caso, i giudizi corrispondenti ad $e = 0.75, 0.85$ e 1.00 non differiscono tra loro, ma sono significativamente più alti di quelli in cui $e = 1.30$; rispetto a $e = 1.15$, poi, solamente $e = 0.75$ dà origine a giudizi maggiori. Questo andamento decrescente, già ritrovato nel precedente esperimento, anche all'interno dei movimenti con accelerazione pari a $0,15$ e $2,45 \text{ m/s}^2$, riconferma la tendenza a percepire come più fisicamente plausibili i rimbalzi con un coefficiente di restituzione inferiore ad 1. Se si confrontano poi i giudizi tra i due *pattern* di movimento, quelli relativi ai movimenti con accelerazione uniforme sono quasi tutti significativamente più elevati di quelli relativi ai movimenti con velocità costante (in particolare, per ciascun livello di e , i giudizi nella condizione con a_u sono significativamente maggiori di quelli con v_c), e questa differenza è massima proprio all'interno di quei livelli del coefficiente di restituzione che suscitano la massima impressione di plausibilità fisica ($e = 0.70$ e 0.85). In sostanza, questi risultati sembrano avvalorare quelli di Vicovaro *et al.* (2023), dimostrando come un *pattern* con velocità costante sia sostanzialmente incompatibile con una buona impressione di plausibilità fisica.

Effetti del *pattern* di movimento

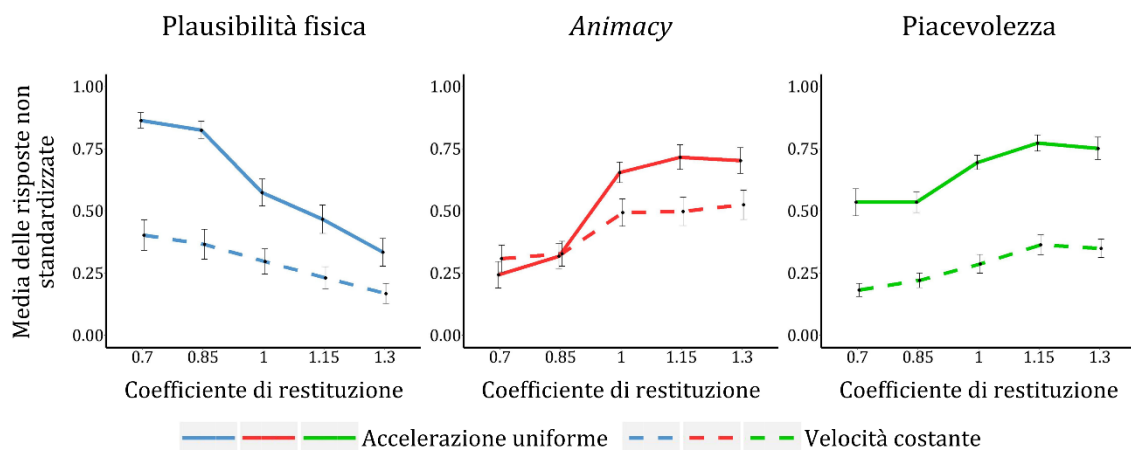


Figura 11. I grafici a linee rappresentano le medie dei punteggi non standardizzati per ciascuna condizione di *pattern* di movimento (l'accelerazione uniforme è rappresentata dalle linee continue e la velocità e da quelle tratteggiate), in funzione del coefficiente di restituzione, per ciascuno dei tre tipi di giudizi. Nei grafici sono riportate le barre di errore delle medie dei punteggi.

5.3.2.3 Giudizi di *animacy*

Per quanto riguarda i giudizi di *animacy*, dall'ANOVA risultano statisticamente significativi gli effetti del fattore e e dell'interazione $e \times P_m$ (Tabella 3). La differenza dei giudizi all'interno del fattore P_m non è significativa, seppure i giudizi nella condizione con accelerazione uniforme siano leggermente più alti di quelli nella condizione con velocità costante (a_u : $M = 1.53$, $SD = 0.338$; v_c : $M = 1.43$, $SD = 0.311$).

In merito ai confronti *post-hoc* (Tabella 4), nella condizione con accelerazione uniforme, i livelli di $e = 0.70$ e 0.85 provocano giudizi significativamente minori rispetto a quelli in cui $e = 1.00$, 1.15 e 1.30 ; si verifica un effetto simile nella condizione con velocità costante, in cui i livelli in cui $e = 0.70$ e 0.85 danno origine a giudizi significativamente minori rispetto a quelli di $e = 1.00$. Pertanto, i giudizi di *animacy*, in entrambe le condizioni di P_m , sembrano aumentare in corrispondenza di $e = 1.00$, per poi rimanere costanti. Come si può notare in Figura 11, mentre all'interno dei giudizi di plausibilità fisica i livelli del coefficiente di restituzione corrispondenti ad $e = 1.00$, 1.15 e 1.30 comportano un calo progressivo dei giudizi, all'interno dei giudizi di *animacy* sono proprio questi valori a favorire un aumento dei giudizi. Gli andamenti dei due tipi di giudizi risultano pertanto opposti, specialmente nella condizione con accelerazione uniforme. In quest'ultima, infatti, l'aumento dei giudizi di *animacy* è leggermente più marcato rispetto alla condizione con velocità costante – anche se dai risultati dell'ANOVA non è emerso un effetto significativo del fattore P_m , come già specificato. A differenza del primo esperimento, l'effetto dell'elasticità sui giudizi di *animacy* è bene evidenziato, e questo risultato si trova in accordo con quanto emerso in Vicovaro *et al.* (2023). Tuttavia, contrariamente alle aspettative, in questo caso il *pattern* con velocità costante non sembra essere particolarmente indicativo del movimento animato, come era stato invece riportato da Vicovaro *et al.* (2023). Ciò che più favorisce l'impressione di *animacy* sembra essere, piuttosto, la combinazione tra un *pattern* con accelerazione uniforme e un coefficiente di restituzione pari o superiore ad 1. Si precisa, comunque, che seppur la velocità costante tende a ridurre la percezione di *animacy*, non ha un effetto così pronunciato come avviene all'interno dei giudizi di plausibilità fisica.

5.3.2.4 Giudizi di piacevolezza

Infine, considerando i giudizi di piacevolezza, dall'ANOVA entrambi i fattori e e P_m raggiungono il livello di significatività statistica, ma non la loro interazione (Tabella 3). I giudizi sono decisamente più elevati nella condizione con accelerazione uniforme (a_u : $M = 1.66$, $SD = 0.248$; v_c : $M = 1.28$, $SD = 0.199$), dimostrando come questo tipo di movimento sembra esser ritenuto di gran lunga più piacevole rispetto a quello con velocità costante.

I confronti *post-hoc* all'interno del fattore e (Tabella 4) mostrano che i giudizi di piacevolezza in corrispondenza di $e = 0.70$ e 0.85 sono significativamente minori di tutti gli altri. I giudizi in corrispondenza di $e = 1.00$, 1.15 e 1.30 tendono a rimanere simili tra loro, come anche quelli tra $e = 0.70$ e 0.85 . Pertanto, si evidenzia una crescita significativa della piacevolezza percepita in corrispondenza di $e = 1.00$, un effetto molto simile a quello che si riscontra nei giudizi di *animacy*, in cui a partire dal medesimo livello di e i giudizi cominciano a diventare significativamente più alti. Sembra quindi che i giudizi di piacevolezza condividano con quelli di *animacy* l'assunto della violazione della conservazione dell'energia; in tutti e due i casi, infatti, in corrispondenza di quei livelli del coefficiente di restituzione che sottintendono la violazione di questo principio ($e > 1.00$), i giudizi appaiono più alti. Allo stesso tempo, i giudizi di piacevolezza sembrano condividere con i giudizi di plausibilità fisica un ridimensionamento significativo dei giudizi in corrispondenza del *pattern* con velocità costante. Dall'ANOVA, però, a differenza di entrambi gli altri due tipi di giudizi, nei giudizi di piacevolezza non risultano significativi gli effetti dell'interazione $e \times P_m$, ed infatti questi giudizi nei due *pattern* di movimento seguono due andamenti quasi perfettamente sovrapponibili. Al di là di quest'ultimo aspetto, dai risultati di queste analisi sembra che i movimenti più piacevoli siano quindi caratterizzati da una forte elasticità ($e \geq 1.00$) e da movimenti uniformemente accelerati.

5.3.2.5 Correlazioni

Analizzando infine la correlazione tra i diversi tipi di giudizi, emerge anche qui una moderata correlazione negativa tra giudizi di plausibilità fisica e di *animacy* ($r = -0.46$, $p = .183$), coerentemente a quanto è emerso nell'esperimento precedente. In questo caso, il *p-value* non risulta significativo; tuttavia, occorre precisare che trattandosi di solo 10 animazioni, quindi di un campione di dati molto limitato, è molto improbabile che il *p-value* raggiunga la significatività statistica. Pertanto, in queste circostanze questo risultato può passare in secondo piano. Le correlazioni tra i giudizi di piacevolezza e quelli di plausibilità fisica e di *animacy* sono rispettivamente debole e positiva ($r = 0.31$, $p = .386$) e relativamente forte e positiva ($r = 0.65$, $p = .043$). Per quanto riguarda l'assenza di significatività statistica di quella tra i giudizi di piacevolezza e quelli di plausibilità fisica, anche in questo caso questo risultato è poco informativo, per lo stesso discorso fatto pocanzi. In merito ai giudizi di plausibilità fisica e di *animacy*, la presenza del *pattern* con velocità costante sembra ridurre significativamente la forza della correlazione. Se infatti si correlano i due tipi di giudizi all'interno della sola condizione con accelerazione uniforme, la forza della correlazione aumenta significativamente, a tal punto da essere quasi perfetta ($r = -0.96$, $p = .015$). Per quanto riguarda la correlazione tra i giudizi di piacevolezza e di plausibilità fisica, se ci si limitasse a guardare gli andamenti dei giudizi (Figura 11), apparirebbe controintuitivo che essi risultino positivamente correlati, dato che seguono un'evoluzione opposta (quelli di plausibilità fisica decrescono in funzione dell'elasticità, mentre quelli di piacevolezza crescono con l'elasticità); tuttavia, in entrambi i casi i giudizi sono più alti nella condizione con accelerazione uniforme, e potrebbe essere proprio questo aspetto a spiegare la positività della correlazione. Infine, come è stato detto, la correlazione tra i giudizi di piacevolezza e quelli di *animacy* risulta essere abbastanza forte, oltre che positiva. In entrambi i tipi di giudizi, infatti, l'andamento in funzione del coefficiente di restituzione risulta crescente, e potrebbe essere proprio questa variabile a spiegare l'elevata correlazione. Ciò che li distingue, invece, è che all'interno dei giudizi di piacevolezza l'effetto del *pattern* di movimento è risultato significativo, mentre all'interno di quelli di *animacy* è l'effetto del coefficiente di restituzione in funzione del *pattern* di movimento ad essere significativo (interazione $e \times P_m$) (Tabella 3). A spiegarne le differenze sembra però essere principalmente il *pattern* di movimento.

Nei giudizi di *animacy* la condizione con accelerazione uniforme presenta tratti chiaramente sovrapponibili con quella con velocità costante; in quelli di piacevolezza le due condizioni presentano invece delle differenze particolarmente ampie. Pertanto, mentre la condizione con velocità costante sembra comunque caratterizzare parzialmente la percezione di *animacy* nel movimento di rimbalzo, di sicuro non caratterizza la piacevolezza percepita in esso.

5.2.3 Conclusioni

I risultati ottenuti dal secondo esperimento consentono, in prima analisi, di confermare l'esistenza di una relazione negativa tra i giudizi di plausibilità fisica e quelli di *animacy*, effetto già evidenziato da Vicovaro *et al.* (2023). In più, si è avuta evidenza di come gli effetti dell'elasticità sui giudizi di piacevolezza siano ora diventati significativi. Aver limitato la variabile dell'accelerazione uniforme ad un solo livello ($a = 0,61 \text{ m/s}^2$), ed averla confrontata con una condizione a velocità costante, è risultato funzionale a rivalutarne gli effetti, come previsto. Questo risultato può essere considerato a supporto dell'ipotesi per cui, in presenza di condizioni che sfavoriscono particolarmente sia i giudizi di piacevolezza che quelli di plausibilità fisica e di *animacy* (in corrispondenza di $a = 9,81 \text{ m/s}^2$), vi possano essere delle ripercussioni significative sui tre tipi di giudizi in tutte le altre condizioni esaminate. La condizione con $a = 0,61 \text{ m/s}^2$ si è pertanto rivelata significativa nell'esaltare le differenze nei tre tipi di giudizi, a sostegno del fatto che determinati effetti percettivi si possono riscontrare prevalentemente in condizioni repute "ottimali".

Un interessante aspetto emerso dalle analisi è l'elevata correlazione positiva tra i giudizi di piacevolezza e quelli di *animacy*. Questo implica che i movimenti di rimbalzo percepiti come più animati sembrano essere associati anche ad una maggior piacevolezza percepita, e si potrebbe ipotizzare che la percezione di *animacy* possa essere essa stessa un fattore che veicola la piacevolezza in questo contesto. Analizzando il grafico in Figura 12, che mostra le rette di regressione relative ai due tipi di giudizi in funzione del *pattern* di movimento, si può osservare infatti come la variabilità dei giudizi di piacevolezza sia in parte spiegata dalla percezione di *animacy*, sia nella condizione con accelerazione

uniforme, sia in quella con velocità costante. Tuttavia, la differenza tra le due condizioni del *pattern* di movimento nei giudizi di piacevolezza è piuttosto elevata (la distanza tra le due rette è infatti molto evidente), e questo induce a ritenere che questa variabile possa costituire un ulteriore aspetto determinante nello spiegare la variabilità di tali giudizi. Il *pattern* di movimento, come è stato precisato, non è un fattore rilevante all'interno dei giudizi di *animacy*, e questo aspetto sembra aver influito sulla correlazione tra i due tipi di giudizi, riducendone la grandezza (che è ben lontana dall'approssimarsi a 1). Pertanto, si può concludere affermando che la piacevolezza di un movimento di rimbalzo sembra essere legata in parte alla misura in cui esso viene percepito come animato, in parte al modo con cui avviene il movimento stesso. Andando più a fondo all'interno di questo secondo aspetto, si può notare come i movimenti con accelerazione/decelerazione uniformi comportino variazioni caratterizzate da maggior gradualità e continuità rispetto a quelli con velocità costante. Si potrebbe quindi pensare, coerentemente a quanto ci si aspettava, che possa esser stata proprio la fluidità del movimento ad aver modulato tali differenze.

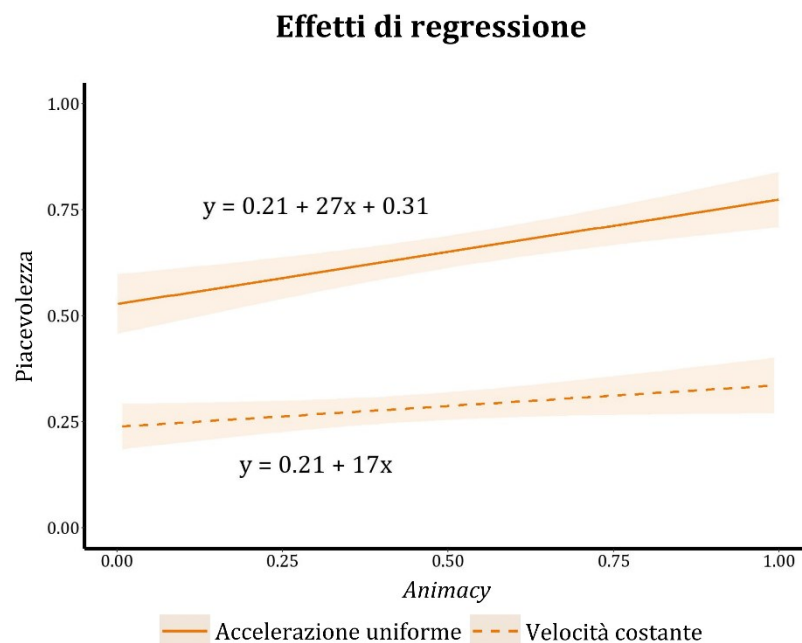


Figura 12. Il grafico mostra le rette di regressione in relazione alle medie dei punteggi non standardizzati dei giudizi di piacevolezza (indicate sull'ordinata) e dei giudizi di *animacy* (indicate sull'ascissa), per ciascuna condizione del *pattern* di movimento (l'accelerazione uniforme è rappresentata dalla linea continua e la velocità e da quella tratteggiata).

5.4 Discussione generale

Sintetizzando quanto è stato detto finora, sono stati condotti due esperimenti, nei quali sono state mostrate ai partecipanti diverse animazioni che simulavano ciascuna tre rimbalzi consecutivi di un disco nero. Il compito dei partecipanti era quello di valutare, per ciascuna animazione, la misura in cui il movimento appariva fisicamente plausibile, animato e piacevole, all'interno di entrambi gli esperimenti. I due esperimenti differivano per alcune variabili prese in considerazione nella realizzazione delle animazioni di rimbalzo. Nel primo venivano manipolate tre variabili, quali l'elasticità dei rimbalzi, l'accelerazione gravitazionale e il *delay*, mentre nel secondo ne venivano manipolate due, l'elasticità dei rimbalzi e il *pattern* di movimento. Dal primo esperimento è emerso che, all'aumentare dell'elasticità, il movimento veniva percepito progressivamente meno plausibile dal punto di vista fisico, ma non progressivamente più animato, come si era previsto sulla base dei risultati di Vicovaro *et al.* (2023). I movimenti che avvenivano con un'accelerazione gravitazionale pari a quella terrestre ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) venivano non solo percepiti come meno plausibili, contrariamente a quanto ci si può aspettare, ma anche meno animati, e venivano considerati meno piacevoli. Quelli corrispondenti ad un sedicesimo dell'accelerazione gravitazionale terrestre ($g/16 = 0,61 \text{ m/s}^2$), invece, erano percepiti come più plausibili, più animati e, coerentemente, ritenuti più piacevoli. La variabile *delay* non comportava alcun effetto significativo sui tre tipi di giudizi, eccetto in quelli di piacevolezza, in cui si è osservato un calo dei giudizi in corrispondenza di un *delay* di 60 ms. Nel secondo esperimento, invece, che ha contrapposto movimenti con accelerazione pari a $g/16 = 0,61 \text{ m/s}^2$ con corrispettivi movimenti a velocità costante, è stata riscontrata una drastica riduzione di tutti e tre i tipi di giudizi nella condizione con velocità costante, anche se in quelli di *animacy* tale riduzione non è risultata statisticamente significativa. Questo genere di movimenti veniva percepito come meno plausibile a livello fisico e, soprattutto, veniva ritenuto più spiacevole. Per quanto riguarda l'elasticità, al contrario del primo esperimento, l'aumentare di essa dava origine a giudizi di plausibilità fisica progressivamente più bassi e, al contempo, a giudizi di *animacy* progressivamente più alti. L'elasticità, in questo caso, risultava avere un effetto statisticamente significativo anche all'interno dei giudizi di piacevolezza, che aumentavano in funzione di essa. Emergono, infine, una moderata correlazione negativa tra la percezione di *animacy* e quella di

plausibilità fisica in entrambi gli esperimenti e un'elevata correlazione positiva tra la percezione di *animacy* e quella di piacevolezza, quest'ultima in particolare nel secondo esperimento. In sostanza, a favorire la percezione di piacevolezza all'interno di movimenti di rimbalzo sembrano essere: a) una condizione di movimento con accelerazione uniforme; b) un'accelerazione gravitazionale pari a $g/16 = 0,61 \text{ m/s}^2$; c) un'elevata percezione di *animacy* nel movimento.

Un primo aspetto che sembra catturare l'attenzione è come i movimenti che simulavano molto accuratamente quelli reali, in relazione all'accelerazione gravitazionale (con $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$), apparivano come più innaturali. Questo aspetto, ovvero la tendenza a sottostimare il valore della gravità terrestre, riscontrato anche da Vicovaro *et al.* (2023) nelle medesime condizioni di rimbalzo, è stato già evidenziato in precedenti studi (Gravano *et al.*, 2017; Vicovaro *et al.*, 2021). Inoltre, come già fatto da Vicovaro *et al.* (2023), è possibile ipotizzare che anche in questo contesto i partecipanti abbiano interpretato, a livello percettivo, la dimensione relativamente piccola del disco come un indizio della sua distanza. Infatti, la rappresentazione retinica di un oggetto molto piccolo, ma vicino al punto di osservazione, può essere equivalente a quella di un oggetto della stessa forma ma di dimensioni notevolmente maggiori, posizionato ad una lunga distanza dal punto di osservazione. Il movimento retinico di quest'oggetto, nell'atto di cadere, apparirebbe molto più lento di quello dell'oggetto vicino, pur cadendo entrambi alla stessa velocità. Questo fenomeno percettivo, pertanto, potrebbe essere stato all'origine delle valutazioni dei partecipanti, che avrebbero quindi ritenuto innaturale il movimento di oggetto presumibilmente lontano che cade a gran velocità. Al di là di questa possibile spiegazione, questo risultato sembra essere in netta opposizione all'ipotesi dell'internalizzazione delle leggi fisiche, discussa nel capitolo 1, secondo la quale l'essere umano avrebbe una rappresentazione interna coerente delle regolarità fisiche dell'ambiente (Sanborn *et al.*, 2009; Sanborn *et al.*, 2013; Smith & Vul, 2013).

Oltre ad essere percepiti come fisicamente implausibili, i movimenti con un'accelerazione gravitazionale pari a quella terrestre venivano reputati anche meno animati, seppur in maniera meno evidente rispetto a quanto è avvenuto all'interno dei giudizi di plausibilità fisica. Questo risultato, inoltre, sembra essere in contraddizione con alcuni risultati precedenti, i quali suggeriscono che una maggior velocità costante favorisca la percezione di *animacy* (Szego & Rutherford, 2007). Sembra quindi che i movimenti caratterizzati da

un'elevata velocità siano difficilmente interpretabili sia dal punto di vista fisico, che da quello animato. In merito ai giudizi di piacevolezza, come mostrato all'interno del capitolo 4, una caratteristica che sembra favorire la piacevolezza percepita nei passi di danza è la velocità con cui vengono eseguiti i movimenti (Calvo-Merino *et al.*, 2008; Neave *et al.*, 2010; Orlandi *et al.*, 2020; Torrents *et al.*, 2013). Questa conclusione, tuttavia, non si estende ai risultati qui ottenuti: allo stesso modo di come è avvenuto per i giudizi di plausibilità fisica e di *animacy*, anche quelli di piacevolezza tendevano ad abbassarsi in corrispondenza di movimenti più veloci. Un valore di accelerazione come quello di g ha comportato infatti un generale appiattimento di tutti e tre i tipi di giudizi, avvalorando la conclusione per cui i rimbalzi che avvengo con maggior velocità sembrano essere ritenuti, oltre che meno naturali e animati, anche meno gradevoli a livello visivo.

Quando l'accelerazione gravitazionale del movimento di rimbalzo corrispondeva a $g/16$, invece, l'effetto era esattamente opposto: le animazioni caratterizzate da tale accelerazione ottenevano giudizi più elevati su tutte e tre le dimensioni valutate. Sembra infatti che la velocità determinata da questo grado di accelerazione sia quella ottimale per essere processata in funzione di una valutazione percettiva, almeno all'interno dei tre tipi di giudizi qui esaminati. In accordo con la teoria della fluidità di elaborazione (Reber *et al.*, 2004), per la quale verrebbero preferiti gli stimoli elaborati in maniera più fluida, a favorire la piacevolezza di questo tipo di movimento potrebbe esser stato proprio un grado di velocità relativamente basso, e di gran lunga inferiore rispetto a quello legato alla gravità terrestre. Infatti, una velocità più bassa, all'interno di uno stimolo, fornirebbe un minor numero di informazioni percettive per unità di tempo, facilitando quindi l'elaborazione e la conseguente preferenza per lo stimolo stesso. In questo modo si offrirebbe una spiegazione convincente all'effetto per cui le animazioni aventi una velocità minore di quella relativa alla gravità terrestre vengano ritenute più piacevoli.

Considerando invece l'elasticità del rimbalzo, coerentemente a quanto potremmo aspettarci, all'aumentare del coefficiente di restituzione la percezione di plausibilità fisica decresceva gradualmente. Questo risultato replica quello ottenuto nello studio di Vicovaro *et al.* (2023) nelle medesime condizioni. Inoltre, questo risultato è coerente in entrambi gli esperimenti. Al contrario, l'effetto opposto per il quale all'aumentare del coefficiente di restituzione aumentava anche la percezione di *animacy* è emerso con chiarezza solo nel secondo esperimento. Ciò che differenzia i due esperimenti, oltre alla presenza del

delay in uno dei due, che comunque non comporta particolari variazioni nei giudizi all'interno delle sue tre condizioni (0, 30 e 60 ms), è la presenza, nel primo esperimento, di diversi valori di accelerazione gravitazionale, mentre, nel secondo esperimento, di un'unica condizione di accelerazione gravitazionale contrapposta ad una con velocità costante. La variabilità dell'accelerazione, nel primo esperimento, sembra in qualche modo essersi ripercossa sui giudizi di *animacy*, i quali persino nella condizione con $a = g/16 = 0,61 \text{ m/s}^2$ non mostravano il tipico andamento crescente che si è riscontrato nel secondo esperimento all'interno della medesima condizione. Come è già stato precisato, nelle animazioni in cui l'accelerazione gravitazionale era pari a quella terrestre ($a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$) anche i giudizi di *animacy* ne uscivano compromessi, e potrebbe essere stata proprio questa condizione ad avere ridotto l'effetto complessivo degli altri fattori. Nel secondo esperimento, l'andamento crescente dei giudizi di *animacy* in funzione dell'elasticità è invece chiaramente evidente, e da qui si evidenzia l'effetto già riscontrato in Vicovaro *et al.* (2023) per cui un grado di elasticità elevato ($e \geq 1$) appare più indicativo del movimento animato.

Facendo riferimento ai giudizi di piacevolezza, anche qui l'elasticità sembra aver un ruolo, innalzando i giudizi all'interno delle animazioni mostranti un rimbalzo particolarmente elastico ($e \geq 1$). Quest'effetto, però, non si è verificato all'interno del primo esperimento, esattamente come nel caso della percezione di *animacy*. Per spiegare questa differenza ci si può avvalere delle stesse ragioni appena menzionate, in merito ai risultati ottenuti sui giudizi di *animacy*: anche in questo caso, l'assenza dell'effetto potrebbe esser imputata alla variabilità dell'accelerazione, e, in particolar modo, alla condizione in cui essa presentava un valore di accelerazione gravitazionale analogo a quello terrestre ($a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$), che, come precisato, comportava un eccessivo calo dei tre tipi di giudizi. Soffermandoci sui risultati del secondo esperimento, emerge come vi sia, al pari della percezione di *animacy*, una tendenza a ritenere come maggiormente piacevoli i movimenti di rimbalzo più elastici, come già precisato. Richiamando i risultati emersi dagli studi sulle preferenze estetiche nei passi di danza, si concorda nel ritenere che i movimenti maggiormente variegati, ampi ed estesi nello spazio siano maggiormente preferiti; i movimenti più modesti o limitati al busto e agli arti tendono ad essere invece quelli meno preferiti (Calvo-Merino *et al.*, 2008; Neave *et al.*, 2010; Torrents *et al.*, 2013). Nella danza sembra quindi esserci una comune preferenza per la dinamicità dei movimenti, piuttosto

che per la staticità. In modo simile, si potrebbe ipotizzare che anche all'interno di un contesto di rimbalzo i movimenti più dinamici siano quelli particolarmente preferiti, e che un rimbalzo caratterizzato da un'elevata elasticità ($e \geq 1$) appaia quindi maggiormente dinamico e, di conseguenza, più piacevole da osservare.

Analizzando ora i risultati ottenuti dal confronto tra la condizione con accelerazione uniforme e quella con velocità costante, all'interno del secondo esperimento, risulta molto evidente come i movimenti che avvenivano con velocità costante erano ritenuti molto meno fisicamente plausibili di quelli con accelerazione uniforme. Questa distinzione, inoltre, era particolarmente marcata in quei casi in cui la percezione di plausibilità fisica è maggiormente elevata ($e < 1$). Per quanto riguarda i giudizi di *animacy*, questa differenza non è stata così marcata. Come è stato precisato, all'interno dello studio di Vicovaro *et al.* (2023) i movimenti con velocità costante sembrano costituire un importante indicatore percettivo di *animacy*. Inoltre, l'improvviso cambio del verso di marcia potrebbe suscitare l'impressione di semovenza nell'oggetto, che a sua volta favorirebbe la sensazione che il movimento sia animato (Schultz & Bühlhoff, 2013). In questo contesto, invece, la condizione con velocità costante non veniva percepita più animata di quella con accelerazione uniforme. Quindi, da questi risultati, il movimento con velocità costante sembra essere sì un indicatore di *animacy* – di sicuro non lo è di un movimento fisico considerato naturale – ma secondario all'accelerazione uniforme.

In merito ai giudizi di piacevolezza, la differenza all'interno delle due condizioni di movimento risulta sostanziale. I movimenti con accelerazione uniforme venivano ritenuti molto più piacevoli di quelli con velocità costante. Se analizziamo nel dettaglio i due tipi di movimento, questo risultato potrebbe non sorprendere: i rimbalzi a velocità costante sono caratterizzati, in fase di ascesa, da improvvise inversioni del movimento, ed è pressoché impossibile prevedere quando avvengono, specialmente in relazione ad un numero limitato di rimbalzi. Al contrario, quelli con accelerazione uniforme, presentano in fase di ascesa una progressiva decelerazione che renderebbe più prevedibile il momento di inversione, rendendo, di conseguenza, il movimento più facilmente seguibile con lo sguardo. Alcuni studi precedenti hanno già dimostrato gli effetti deleteri dei movimenti poco fluidi e discontinui sulla piacevolezza percepita (Flavell *et al.*, 2019; Orgs *et al.*, 2013). Allo stesso modo, l'assenza di fluidità nel movimento con velocità costante – come anche la presenza di fluidità nel movimento con accelerazione uniforme, per

converso – potrebbe spiegare l’elevata differenza dei giudizi di piacevolezza all’interno delle due condizioni. Riprendendo nuovamente la teoria della fluidità dell’elaborazione (Reber *et al.*, 2004), la rigidità in un movimento, presente nel caso di movimenti con velocità costante, potrebbe compromettere un’elaborazione fluida e immediata dello stimolo, al contrario di quanto avverrebbe osservando un movimento più armonico e prevedibile, come quelli con accelerazione uniforme. Questa differenza sulla fluidità di elaborazione, pertanto, spiegherebbe anche la differenza nei giudizi di piacevolezza tra i due *pattern* di movimento. Si potrebbe interpretare allo stesso modo il calo dei giudizi di piacevolezza all’interno dei movimenti con un *delay* più elevato, riscontrato nel primo esperimento: la presenza di un *temporal gap* sufficientemente percepibile tra la fase di collisione e quella di ascesa, infatti, potrebbe avere come effetto principale quello di danneggiare l’aspettativa di continuità del movimento, ripercuotendosi negativamente sulla piacevolezza percepita.

Infine, due ultimi importanti aspetti emersi dai due esperimenti sono la moderata correlazione negativa tra la percezione di plausibilità fisica e quella di *animacy* e l’elevata correlazione positiva tra la percezione di *animacy* e quella di piacevolezza (quest’ultima poco più che moderata nel primo esperimento e forte nel secondo). In merito al secondo aspetto, dell’elevata correlazione tra la percezione di *animacy* e quella di piacevolezza, si evince che i movimenti ritenuti più animati, rispetto a quelli ritenuti più fisicamente plausibili, siano generalmente più predittivi della piacevolezza percepita nei movimenti di rimbalzo in generale. Richiamando la teoria della mera esposizione (Zajonc, 1968) e quella dei prototipi (Martindale & Moore, 1988), gli stimoli maggiormente familiari e quelli più prototipici verrebbero giudicati come più piacevoli a livello estetico. Nella realtà è molto probabile imbattersi in una palla, o comunque un oggetto, che cadendo effettua qualche ciclo di rimbalzo, via via meno esteso, fino a fermarsi. Al contrario, difficilmente capita di osservare una palla che rimbalza in modo “innaturale”, violando il principio di conservazione dell’energia. Si sarebbe potuto ipotizzare, quindi, che sarebbero dovuti essere proprio i rimbalzi percepiti come più naturali, ovvero i rimbalzi con i quali abbiamo maggiore familiarità, ad essere ritenuti maggiormente piacevoli. Dai risultati ottenuti, tuttavia, la correlazione tra la percezione di plausibilità fisica e quella di piacevolezza è molto debole e, tra l’altro, positiva, tanto da far concludere che non vi sia una particolare associazione tra la naturalezza percepita nei rimbalzi e la piacevolezza

che essi suscitano. Al contrario, sembrerebbe che sia invece la percezione di *animacy* nei rimbalzi ad essere associata alla piacevolezza. Per spiegare questo effetto si potrebbe far ricorso alla teoria dell'*arousal* (Berlyne, 1960; 1971), che sostiene che un livello ottimale di *arousal* prodotto da uno stimolo ne accrescerebbe la piacevolezza percepita. L'*arousal* verrebbe provocato dalle variabili collative, come la novità e la complessità (*ibidem*); pertanto, stimoli che portano in sé un certo grado di novità e complessità a livello percettivo, aumentando l'*arousal* nell'osservatore, verrebbero preferiti (Berlyne, 1970). In riferimento alle animazioni presentate negli esperimenti, che simulano il movimento di rimbalzo di un oggetto assimilabile ad una palla, i rimbalzi progressivamente più ampi potrebbe esser percepiti come un fenomeno nuovo, poco familiare. Allo stesso modo, percepire *animacy* in una palla potrebbe costituire una valutazione percettiva decisamente più complessa del rilevare una semplice relazione di causa-effetto all'interno di un movimento. Quindi, in linea con la teoria, un moderato grado di novità e complessità suscitati da un movimento di rimbalzo che appare animato potrebbe indurre una concomitante sensazione di piacevolezza associata al rimbalzo stesso. In maniera simile, l'osservazione di un oggetto che per conformazione appare inanimato ma il cui comportamento denota *animacy* – come l'oggetto presente nelle animazioni, assimilabile ad una palla inanimata, ma che in alcune di esse, per l'innaturalità del suo movimento, appare animata – potrebbe causare una certa sorpresa nell'osservatore. Un livello di sorpresa ottimale, al pari della novità e della complessità, comporterebbe, a sua volta, un aumento della piacevolezza per lo stimolo in considerazione (Brondino *et al.*, 2019). Quindi, anche una moderata sorpresa scaturita dall'osservazione di un movimento inusuale e animato potrebbe modulare la piacevolezza percepita. In sostanza, in riferimento alla teoria dell'*arousal*, si potrebbe ipotizzare che siano la novità, la complessità e la sorpresa, derivate dall'osservazione di un movimento che viola le leggi fisiche e appare animato, a provocare maggior piacevolezza visiva.

Una relazione significativa tra la piacevolezza e l'*animacy* è emersa anche all'interno dello studio di Chen *et al.* (2022), che ha riguardato il movimento biologico rappresentato all'interno di *point-light displays*. Secondo gli autori, in accordo con la teoria della fluidità dell'elaborazione (Reber *et al.*, 2004), vi sarebbero dei meccanismi evolutivi specializzati nel riconoscimento dei movimenti animati – come quelli biologici – che ne faciliterebbero l'elaborazione percettiva, generando quindi l'esperienza estetica associata

allo stimolo. Estendendo queste conclusioni all'interno del presente contesto di rimbalzo, si potrebbero spiegare i risultati ottenuti in maniera analoga, attribuendo alla presenza di tali meccanismi evolutivi la preferenza per i movimenti percepiti come più animati. Se poi ci si sofferma sul fatto che stimoli riconducibili a movimenti naturali siano preferiti a livello estetico (Chamberlain *et al.*, 2021), come anche lo stesso movimento biologico, forte indicatore di *animacy*, che quanto più appare naturale tanto più è considerato piacevole (Chen *et al.*, 2022), si potrebbe speculare che possa essere anche la percezione di naturalezza all'interno di un movimento animato a favorirne la piacevolezza. Se i movimenti con un rimbalzo molto elastico ($e \geq 1$) appaiono chiaramente innaturali dal punto di vista fisico, questi stessi movimenti potrebbero non apparire così innaturali se l'oggetto rimbalzante venisse percepito come un'entità animata. La violazione del principio di conservazione di energia, infatti, non sarebbe così innaturale in un'entità viva e capace di effettuare movimenti volontari. Pertanto, secondo questa prospettiva, la piacevolezza percepita non sarebbe da attribuire alla sensazione di sorpresa o novità, derivanti dall'osservazione di un movimento incoerente dal punto di vista fisico; sarebbe invece da attribuire alla misura in cui un movimento percepito come animato sia coerente con ciò che viene considerato prototipico all'interno dei movimenti animati. In altre parole, la piacevolezza non dipenderebbe dall'*arousal* che suscita un movimento in chiara violazione delle leggi fisiche, ma piuttosto da quanto quel movimento appaia coerente col tipo di entità che lo mette in atto.

Infine, data la forte correlazione tra la percezione di *animacy* e quella di piacevolezza, si potrebbe pensare che la prima possa in qualche modo determinare la seconda, ovvero, che una delle caratteristiche che favoriscono la piacevolezza in un movimento di rimbalzo sia legata alla riconducibilità del movimento ad un'entità animata. In Figura 12 si può infatti osservare come la percezione di *animacy* sia in grado di spiegare almeno in parte la piacevolezza percepita (un'altra parte consistente è invece spiegata dal *pattern* di movimento). Tuttavia, non è chiaro se sia effettivamente l'*animacy* a giustificare questo effetto, e non l'elasticità ad esempio, un fattore che influenza in maniera simile entrambi i tipi di giudizi. Si potrebbe infatti obiettare che sia proprio l'elasticità, associata alla dinamicità del movimento, ad avere un'influenza diretta sulla piacevolezza, al pari della percezione di *animacy*. Di contro, però, l'ipotesi che sia l'*animacy*, indipendentemente dall'elasticità, a determinare la piacevolezza percepita è stata già corroborata dai

precedenti risultati, che hanno riguardato sia altrettanti tipi di movimenti, sia stimoli di natura più statica, come quelli di generici volti, nei quali un'elevata percezione di *animacy* era associata ad una maggior piacevolezza percepita, e nei quali la variabile dell'elasticità non era affatto presente (Chen *et al.*, 2022; Looser & Wheatley, 2010). In più, vi sono evidenze di come gli esseri umani (e non solo) sembrano avere una predisposizione innata per il riconoscimento di particolari caratteristiche riconducibili alle entità animate, come proprio il movimento biologico (Bardi *et al.*, 2010; Simion *et al.*, 2008); questo aspetto potrebbe essere interpretato in un'ottica più ampia, per cui tale predisposizione favorirebbe l'elaborazione di ciò che appare maggiormente animato e che pertanto, rievocando la teoria della fluidità di elaborazione (Reber *et al.*, 2004), verrebbe preferito (Chen *et al.*, 2022). Di conseguenza, seppure non si possa definire con certezza che la piacevolezza di un movimento di rimbalzo sia collegata alla percezione di *animacy*, vi sono dei chiari presupposti per poter ritenere questa possibilità realmente plausibile.

Conclusioni

Il movimento di rimbalzo è un fenomeno fisico che può caratterizzare svariate tipologie di oggetti, come un sasso, una moneta o un generico segnaposto in legno caduti su una superficie pavimentata, per citare qualche esempio. Questo tipo di movimento si potrebbe più facilmente rappresentare attraverso il movimento che effettua una palla rimbalzando su una qualche superficie, che costituisce probabilmente l'oggetto più comunemente associato al movimento di rimbalzo. La palla è infatti dotata di un'elevata capacità intrinseca di rimbalzare, che le consente, solitamente, di effettuare rimbalzi più accentuati rispetto agli altri oggetti, nonché in numero maggiore prima che si arresti e rimanga in stato di quiete. Questa capacità deriva dal grado di elasticità che la palla possiede, che le consente di trasformare, al momento della collisione con la superficie, la sua energia cinetica (derivante dal suo spostamento nello spazio) in energia elastica, e rimbalzerà tanto più in alto quanto maggiore sarà l'energia elastica prodotta. Normalmente, nella realtà, ciascun rimbalzo raggiunge un'altezza progressivamente più bassa rispetto a quella del rimbalzo precedente. Ma cosa succederebbe se ciascun rimbalzo, invece, raggiungesse un picco progressivamente più alto, e se quindi l'elasticità della palla fosse eccessivamente maggiore rispetto a quanto ci aspetteremmo? L'elasticità della palla è uno degli indicatori – ve ne sono infatti degli altri – che generalmente permettono di valutare la naturalezza di un movimento di rimbalzo. Quando questa eccede una certa soglia vi è una comune tendenza a ritenere la palla dotata di un'energia propria, diversa da quella elastica, che le consentirebbe di rimbalzare più in alto di quanto farebbe normalmente. In altre parole, verrebbe percepita come se fosse in realtà “animata”. Ammesso che questo possa paradossalmente accadere, come giudicheremmo questo movimento da un punto di vista estetico? Quanto troveremmo piacevole il movimento di rimbalzo di una palla che appare animata, rispetto a quello di una palla che rimbalza in maniera naturale, come se fosse soggetta esclusivamente alle leggi fisiche che ne determinano il moto? Questi temi sono stati affrontati all'interno del presente lavoro, e sono stati analizzati sia sulla base delle precedenti ricerche sull'argomento (capitoli 1-4), sia dai risultati di due esperimenti recentemente effettuati (capitolo 5).

Facendo un breve riassunto di quanto è stato trattato finora, sono stati inizialmente introdotti e approfonditi i temi sopra menzionati, spesso riportati con i termini di *percezione di plausibilità fisica*, *percezione di animacy* e *percezione di piacevolezza*. Questi tre temi sono stati successivamente analizzati all'interno di due esperimenti, in cui sono stati valutati sottoforma di giudizi espressi dai partecipanti in un contesto di rimbalzo. Entrando più nel dettaglio, nei capitoli 1 e 2 è stato esaminato il movimento di rimbalzo sia da un punto di vista prettamente fisico, spiegando le principali leggi della meccanica che ne descrivono il moto, sia da un punto di vista cognitivo e percettivo, introducendo la fisica ingenua, esponendo quindi le teorie intuitive e le false credenze che comunemente possono distorcere la comprensione dei movimenti fisici e le previsioni legate ad essi. Questi argomenti hanno posto le basi per poter confrontare il comportamento reale di un oggetto che rimbalza, sottoposto ai vincoli naturali che la realtà stessa impone, a come questo comportamento viene solitamente percepito ed interpretato, sotto l'influenza dei più frequenti principi legati al senso comune. Si è quindi parlato di percezione di plausibilità fisica, ovvero della misura in cui un movimento di rimbalzo viene ritenuto naturale, esattamente come se avvenisse nella realtà, e delle proprietà che possono modularla, come la velocità del movimento stesso o l'elasticità del rimbalzo. Nel capitolo 3 si è discusso delle caratteristiche che possono ricondurre un movimento ad un'entità animata, delle ragioni biologiche che spiegherebbero l'elevata sensibilità percettiva per queste caratteristiche e della relazione che intercorre tra la percezione di causalità e la percezione di *animacy* nei movimenti. Si è in questo caso discusso di come le proprietà che appaiono determinare il movimento di un oggetto (tra cui il movimento di rimbalzo), siano esse relative a cause esterne (e.g. un urto contro una superficie) o a cause interne (e.g. l'intenzionalità dell'oggetto stesso), possano influenzare il grado con cui l'oggetto stesso viene ritenuto animato, ovvero come se fosse dotato di forza interna e/o di vita propria. Nel capitolo 4 è stato poi presentato il tema delle preferenze estetiche, inerenti alle generali proprietà che consentono di ritenere un movimento piacevole a livello visivo. Questa percezione di piacevolezza può essere infatti influenzata da particolari proprietà che connotano il movimento di un oggetto, come la velocità o la fluidità con cui esso avviene. Sono quindi stati presentati alcuni studi che indagano il tema della piacevolezza percepita nei movimenti e sono stati esposti alcuni dei principali modelli teorici che forniscono una spiegazione a tali preferenze sul piano estetico. La percezione di plausibilità fisica, la

percezione di *animacy* e la percezione di piacevolezza hanno dunque costituito i tre temi portanti dei primi quattro capitoli, e sono stati successivamente gli argomenti centrali del capitolo 5, in cui sono stati valutati all'interno di due esperimenti inerenti al movimento di rimbalzo. In essi, infatti, sono state mostrate diverse animazioni simulanti il rimbalzo di un oggetto bidimensionale, ed è stato chiesto ai partecipanti di valutare quanto ciascuna di queste, ognuna differente dalle altre, venisse percepita fisicamente plausibile, animata e piacevole.

Le conclusioni emerse in merito alla percezione di plausibilità fisica e di *animacy* non sono risultate particolarmente innovative all'interno del contesto di rimbalzo (questi argomenti sono stati già ampiamente approfonditi all'interno dello studio di Vicovaro *et al.*, 2023). Lo stesso però non si può dire di quelle inerenti alla percezione di piacevolezza. Come è stato precisato, le preferenze estetiche nei movimenti di rimbalzo non sembrano esser state ancora analizzate in precedenza. Lo stesso studio della piacevolezza percepita all'interno dei movimenti in generale è ancora un tema poco affrontato dalla ricerca. I risultati emersi, quindi, estendono lo studio della piacevolezza anche all'interno di un contesto che riguarda i movimenti di rimbalzo; quanto riportato può quindi essere considerato una prima analisi teorica e sperimentale dell'argomento. Questi risultati, inoltre, sono emersi all'interno di un *setting* laboratoriale. È possibile, infatti, che alcuni effetti controintuitivi (come la scarsa plausibilità fisica dei movimenti soggetti ad un'accelerazione di gravità analoga a quella terrestre) siano attribuibili alla limitata ecologicità degli esperimenti. Tuttavia, si può certamente considerare interessante che determinate caratteristiche dei movimenti di rimbalzo, come la velocità e la fluidità con cui avvengono, appaiono determinare la piacevolezza percepita. Soprattutto, potrebbe non essere affatto casuale la presenza di una relazione significativa tra la piacevolezza dei movimenti di rimbalzo e quanto questi vengano percepiti come animati. È stata già riscontrata una relazione esistente tra nostra la memoria e ciò che è riconducibile ad entità animate (e.g. l'*animacy effect*) (Leding, 2022). Questo effetto può quindi essere interpretato a favore dell'ipotesi per cui vi sarebbe una certa predilezione per i movimenti attribuibili ad entità animate, e che tale predilezione sia una funzione adattiva sviluppatasi durante il percorso evolutivo.

Bibliografia

- Balas, B., & Auen, A. (2019). Perceiving animacy in own-and other-species faces. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00029>
- Balas, B., & Horski, J. (2012). You can take the eyes out of the doll, but... *Perception*, *41*(3), 361–364. <https://doi.org/10.1068/p7166>
- Balas, B., & Koldewyn, K. (2013). Early visual ERP sensitivity to the species and animacy of faces. *Neuropsychologia*, *51*(13), 2876–2881. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.014>
- Bardi, L., Regolin, L., & Simion, F. (2010). Biological motion preference in humans at birth: Role of dynamic and configural properties. *Developmental Science*, *14*(2), 353–359. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00985.x>
- Barrett, H. C. (2005). Adaptations to predators and prey. In D. M. Buss (Ed.), *The handbook of evolutionary psychology*. Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470939376.ch7>
- Bates, C. J., Battaglia, P. W., Yildirim, I., & Tenenbaum, J. B. (2015). Humans predict liquid dynamics using probabilistic simulation. *Cognitive Science*. <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/cogsci/cogsci2015.html#BatesBYT15>
- Battaglia, P. W., Hamrick, J. B., & Tenenbaum, J. B. (2013). Simulation as an engine of physical scene understanding. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(45), 18327–18332. <https://doi.org/10.1073/pnas.1306572110>
- Beardsley, M. C. (1966). *Aesthetics from classical Greece to the present*. Macmillan Publishers Ltd.
- Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal and curiosity*. McGraw Hill Publishing Company Inc. <https://doi.org/10.1037/11164-000>
- Berlyne, D. E. (1969). Arousal, reward and learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *159*(3), 1059–1070. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1969.tb12997.x>
- Berlyne, D. E. (1970). Novelty, complexity, and hedonic value. *Attention Perception & Psychophysics*, *8*(5), 279–286. <https://doi.org/10.3758/bf03212593>
- Berlyne, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. Appleton-Century-Crofts Inc.
- Bertamini, M., Makin, A. D. J., & Rampone, G. (2013). Implicit association of symmetry with positive valence, high arousal and simplicity. *I-perception*, *4*(5), 317–327. <https://doi.org/10.1068/i0601jw>
- Bidet-Ildes, C., Kitromilides, E., Orliaguet, J., Pavlova, M., & Gentaz, É. (2014). Preference for point-light human biological motion in newborns: Contribution of translational displacement. *Developmental Psychology*, *50*(1), 113–120. <https://doi.org/10.1037/a0032956>
- Bies, A., Blanc-Goldhammer, D., Boydston, C. R., Taylor, R. P., & Sereno, M. E. (2016). Aesthetic responses to exact fractals driven by physical complexity. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00210>
- Blake, R. (1993). Cats perceive biological motion. *Psychological Science*, *4*(1), 54–57. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1993.tb00557.x>
- Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect: Overview and meta-analysis of research, 1968–1987. *Psychological Bulletin*, *106*(2), 265–289. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.106.2.265>
- Bosco, G., Monache, S. D., & Lacquaniti, F. (2012). Catching what we can't see: manual interception of occluded fly-ball trajectories. *PLOS ONE*, *7*(11), e49381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049381>
- Briellmann, A., & Pelli, D. G. (2019). Intense beauty requires intense pleasure. *Frontiers in Psychology*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02420>

- Brondino, M., Nasar, J. L., Pasini, M., & Bokharaei, S. (2019). Surprise, arousal, and pleasantness in movement between spaces. <https://doi.org/10.13135/2384-8677/3199>
- Bronner, S., & Shippen, J. (2015). Biomechanical metrics of aesthetic perception in dance. *Experimental Brain Research*, 233(12), 3565–3581. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4424-4>
- Brown, J., Kaplan, G., Rogers, L. J., & Vallortigara, G. (2010). Perception of biological motion in common marmosets (*Callithrix jacchus*): By females only. *Animal Cognition*, 13(3), 555–564. <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0306-0>
- Calaprice, A. (2005). *The New Quotable Einstein*. Princeton University Press.
- Calvo-Merino, B., Jola, C., Glaser, D. E., & Haggard, P. (2008). Towards a sensorimotor aesthetics of performing art. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 911–922. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.11.003>
- Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(1), 1–34. <https://doi.org/10.1162/089892998563752>
- Caramazza, A., McCloskey, M., & Green, B. (1981). Naive beliefs in “sophisticated” subjects: misconceptions about trajectories of objects. *Cognition*, 9(2), 117–123. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(81\)90007-x](https://doi.org/10.1016/0010-0277(81)90007-x)
- Chamberlain, R., Berio, D., Mayer, V., Chana, K., Leymarie, F. F., & Orgs, G. (2021). A dot that went for a walk: People prefer lines drawn with human-like kinematics. *British Journal of Psychology*, 113(1), 105–130. <https://doi.org/10.1111/bjop.12527>
- Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning of classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074–1079. <https://doi.org/10.1119/1.12290>
- Chen, Y., Pollick, F. E., & Lu, H. (2022). Aesthetic preferences for causality in biological movements arise from visual processes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(5), 1803–1811. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02106-z>
- Chen, Y., Pollick, F. E., & Lu, H. (2023). Aesthetic preferences for prototypical movements in human actions. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-023-00510-0>
- Chmiel, A., & Schubert, E. (2017). Back to the inverted-U for music preference: A review of the literature. *Psychology of Music*, 45(6), 886–909. <https://doi.org/10.1177/0305735617697507>
- Clemente, A., Penacchio, O., Vila-Vidal, M., Pepperell, R., & Ruta, N. (2023). Explaining the curvature effect: Perceptual and hedonic evaluations of visual contour. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/aca0000561>
- Csibra, G., Gergely, G., BíRó, S., Koós, O., & Brockbank, M. (1999). Goal attribution without agency cues: the perception of ‘pure reason’ in infancy. *Cognition*, 72(3), 237–267. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(99\)00039-6](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(99)00039-6)
- Cutting, J. E. (2003). Gustave Caillebotte, French Impressionism, and mere exposure. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(2), 319–343. <https://doi.org/10.3758/bf03196493>
- Cutting, J. E. (2006). The Mere Exposure Effect and Aesthetic Preference. In P. Locher, C. Martindale & L. Dorfman (Eds.), *New directions in aesthetics, creativity and the arts* (pp. 33–46). Baywood Publishing Company Inc. <https://psycnet.apa.org/record/2006-03935-003>
- Damon, F., Méary, D., Quinn, P. C., Lee, K., Simpson, E. A., Paukner, A., Suomi, S. J., & Pascalis, O. (2017). Preference for facial averageness: Evidence for a common mechanism in human and macaque infants. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep46303>
- De Oliveira, M. J. (2022). Theories of motion and matter from Aristotle to Galileo. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 44. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2022-0236>
- Deeb, A., Cesanek, E., & Domini, F. (2021). Newtonian predictions are integrated with sensory information in 3D motion perception. *Psychological Science*, 32(2), 280–291. <https://doi.org/10.1177/0956797620966785>

- Di Giorgio, E., Lunghi, M., Simion, F., & Vallortigara, G. (2016). Visual cues of motion that trigger animacy perception at birth: The case of self-propulsion. *Developmental Science*, 20(4), e12394. <https://doi.org/10.1111/desc.12394>
- diSessa, A. A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A Study of Knowledge-Based Learning. *Cognitive Science*, 6(1), 37–75. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0601_2
- Dittrich, W. H., & Lea, S. E. G. (1994). Visual perception of intentional motion. *Perception*, 23(3), 253–268. <https://doi.org/10.1068/p230253>
- Farid, H., & Bravo, M. J. (2012). Perceptual discrimination of computer generated and photographic faces. *Digital Investigation*, 8(3–4), 226–235. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2011.06.003>
- Farkas, A. (2002). Prototypicality-Effect in surrealist paintings. *Empirical Studies of the Arts*, 20(2), 127–136. <https://doi.org/10.2190/ud7y-gn8p-q0ev-q13j>
- Fechner, G. T. (1978). *Vorschule der Aesthetik*, Breitkopf & Härtel KG. (Original work published 1876).
- Fischer, J. (2021). The building blocks of intuitive physics in the mind and brain. *Cognitive Neuropsychology*, 38(7–8), 409–412. <https://doi.org/10.1080/02643294.2022.2098709>
- Flavell, J., McKean, B., Tipper, S. P., Kirkham, A. J., Vestner, T., & Over, H. (2019). Motion fluency and object preference: Robust perceptual but fragile memory effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 45(9), 1569–1582. <https://doi.org/10.1037/xlm0000667>
- Fleming, R. W. (2014). Visual perception of materials and their properties. *Vision Research*, 94, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.004>
- Ford, M. (1985). [Review of *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*, by P. N. Johnson-Laird]. *Language*, 61(4), 897–903. <https://doi.org/10.2307/414498>
- Friedenberg, J., & Liby, B. W. (2016). Perceived beauty of random texture patterns: A preference for complexity. *Acta Psychologica*, 168, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.04.007>
- Gartus, A., & Leder, H. (2013). The small step toward asymmetry: Aesthetic judgment of broken symmetries. *I-perception*, 4(5), 361–364. <https://doi.org/10.1068/i0588sas>
- Gelman, R., Durgin, F., & Kaufman, L. (1995). Distinguishing between animates and inanimates: Not by motion alone. In D. Sperber, D. Premack & A. J. Premack (Eds.), *Causal cognition: A multidisciplinary debate* (pp. 150–184). Clarendon Press/Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198524021.003.0006>
- Gentner, D. (2002). Mental models, Psychology of. In N. J. Smelser & P. B. Bates (Eds.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (pp. 9683-9687). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043076-7/01487-x>
- Gergely, G., & Csibra, G. (2003). Teleological reasoning in infancy: the naïve theory of rational action. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 287–292. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00128-1](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00128-1)
- Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G., & Bíró, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, 56(2), 165–193. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(95\)00661-h](https://doi.org/10.1016/0010-0277(95)00661-h)
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: The fundamentals* (3rd ed.). Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Gilden, D. L., & Proffitt, D. R. (1989). Understanding collision dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(2), 372–383. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.2.372>
- Gilden, D. L., & Proffitt, D. R. (1994). Heuristic judgment of mass ratio in two-body collisions. *Attention Perception & Psychophysics*, 56(6), 708–720. <https://doi.org/10.3758/bf03208364>
- Gravano, S., Zago, M., & Lacquaniti, F. (2017). Mental imagery of gravitational motion. *Cortex*, 95, 172–191. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.08.005>
- Greenwood, M. S., Hanna, C. C., & Milton, J. W. (1986). Air resistance acting on a sphere: Numerical analysis, strobe photographs, and videotapes. *The Physics Teacher*, 24(3), 153–159. <https://doi.org/10.1119/1.2341969>

- Gruber, H. E., Fink, C. D., & Damm, V. J. (1957). Effects of experience on perception of causality. *Journal of Experimental Psychology*, 53(2), 89–93. <https://doi.org/10.1037/h0048506>
- Guajardo, J. J., & Woodward, A. L. (2004). Is agency skin deep? Surface attributes influence infants' sensitivity to goal-directed action. *Infancy*, 6(3), 361–384. https://doi.org/10.1207/s15327078in0603_3
- Guski, R., & Troje, N. F. (2003). Audiovisual phenomenal causality. *Attention Perception & Psychophysics*, 65(5), 789–800. <https://doi.org/10.3758/bf03194815>
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2014). *Fundamental of Physics* (10th ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Hecht, H. (2001). Regularities of the physical world and the absence of their internalization. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(4), 608–617. <https://doi.org/10.1017/s0140525x01000036>
- Hecht, H., & Bertamini, M. (2000). Understanding projectile acceleration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(2), 730–746. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.2.730>
- Hegarty, M. (1992). Mental animation: inferring motion from static displays of mechanical systems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(5), 1084–1102. <https://doi.org/10.1037//0278-7393.18.5.1084>
- Heider, F., & Simmel, M. (1944). An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, 57, 243–259. <https://doi.org/10.2307/1416950>
- Hekkert, P., & Van Wieringen, P. (1990). Complexity and prototypicality as determinants of the appraisal of cubist paintings. *British Journal of Psychology*, 81(4), 483–495. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02374.x>
- Höge, H. (1995). Fechner's experimental aesthetics and the Golden Section hypothesis today. *Empirical Studies of the Arts*, 13(2), 131–148. <https://doi.org/10.2190/uhtq-cfvd-cau2-wy1c>
- Hubbard, T. L. (2013a). Launching, entraining, and representational momentum: Evidence consistent with an impetus heuristic in perception of causality. *Axiomathes: An International Journal in Ontology & Cognitive Systems*, 23(4), 633–643. <https://doi.org/10.1007/s10516-012-9186-z>
- Hubbard, T. L. (2013b). Phenomenal causality I: Varieties and variables. *Axiomathes: An International Journal in Ontology & Cognitive Systems*, 23(1), 1–42. <https://doi.org/10.1007/s10516-012-9198-8>
- Hubbard, T. L. (2013c). Phenomenal causality II: Integration and implication. *Axiomathes: An International Journal in Ontology & Cognitive Systems*, 23(3), 485–524. <https://doi.org/10.1007/s10516-012-9200-5>
- Hubbard, T. L. (2022). The possibility of an impetus heuristic. *Psychonomic Bulletin & Review*, 29(6), 2015–2033. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02130-z>
- Jho, H. (2018). Beautiful physics: Re-vision of aesthetic features of science through the literature review. *Journal of the Korean Physical Society*, 73(4), 401–413. <https://doi.org/10.3938/jkps.73.401>
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Attention Perception & Psychophysics*, 14(2), 201–211. <https://doi.org/10.3758/bf03212378>
- Joynton, R. B. (1971). Michotte's experimental methods. *British Journal of Psychology*, 62(3), 293–302. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1971.tb02040.x>
- Kaiser, M. K., Proffitt, D. R., & McCloskey, M. (1985). The development of beliefs about falling objects. *Attention Perception & Psychophysics*, 38(6), 533–539. <https://doi.org/10.3758/bf03207062>
- Kanizsa, G., & Vicario, G. (1968). La percezione della reazione intenzionale. In G. Kanizsa & G. Vicario (Eds), *Ricerche sperimentali sulla percezione* (pp. 70-126), Università degli Studi di Trieste.
- Kant, I. (1987). *Critique of Judgment* (W. S. Pluhar, Trans.). Hackett Publishing Company Inc. (Original work published 1790).
- Kavanagh, C., & Sneider, C. (2006). Learning about gravity I. Free fall: A guide for teachers and curriculum developers. *Astronomy Education Review*, 5(2), 21–52. <https://doi.org/10.3847/aer2006018>

- Kawabe, T., & Nishida, S. Y. (2016). Seeing jelly: Judging elasticity of a transparent object. *SAP '16: Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception* (pp. 121–128). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2931002.2931008>
- Kawabe, T., Maruya, K., Fleming, R. W., & Nishida, S. (2015). Seeing liquids from visual motion. *Vision Research*, *109*, 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.07.003>
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). Impetus beliefs as default heuristics: Dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(3), 439–453. <https://doi.org/10.3758/bf03196179>
- Kubricht, J., Holyoak, K. J., & Lu, H. (2017). Intuitive Physics: current research and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, *21*(10), 749–759. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.06.002>
- Langlois, J. H., & Roggman, L. A. (1990). Attractive faces are only average. *Psychological Science*, *1*(2), 115–121. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00079.x>
- Leding, J. K. (2022). Thinking of death and remembering living things: mortality salience and the animacy effect. *Memory*, *30*(10), 1258–1266. <https://doi.org/10.1080/09658211.2022.2102195>
- Lemaire, B. S., & Vallortigara, G. (2022). Life is in motion (through a chick's eye). *Animal Cognition*, *26*(1), 129–140. <https://doi.org/10.1007/s10071-022-01703-8>
- Leslie, A. M. (1984). Spatiotemporal continuity and the perception of causality in infants. *Perception*, *13*(3), 287–305. <https://doi.org/10.1068/p130287>
- Little, P. C., & Firestone, C. (2021). Physically implied surfaces. *Psychological Science*, *32*(5), 799–808. <https://doi.org/10.1177/0956797620939942>
- Liu, J., Lughofer, E., & Zeng, X. (2017). Toward model building for visual aesthetic perception. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2017*, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2017/1292801>
- Looser, C. E., & Wheatley, T. (2010). The tipping point of animacy: How, when, and where we perceive life in a face. *Psychological Science*, *21*(12), 1854–1862. <https://doi.org/10.1177/0956797610388044>
- MacKinnon, L. M., Troje, N. F., & Dringenberg, H. C. (2010). Do rats (*Rattus norvegicus*) perceive biological motion? *Experimental Brain Research*, *205*(4), 571–576. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2378-0>
- Martindale, C. (1984). The pleasures of thought: A theory of cognitive hedonics. *The Journal of Mind and Behavior*, *5*(1), 49–80. <https://www.jstor.org/stable/43853015>
- Martindale, C., & Moore, K. (1988). Priming, prototypicality, and preference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*(4), 661–670. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.14.4.661>
- Mascalzoni, E., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2010). Innate sensitivity for self-propelled causal agency in newly hatched chicks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(9), 4483–4485. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908792107>
- McCloskey, M. (1983a). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds) *Mental models* (pp. 299–324). Psychology Press. https://www.researchgate.net/publication/239563618_Naive_theories_of_motion/citations
- McCloskey, M. (1983b). Intuitive Physics. *Scientific American*, *248*(4), 122–130. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0483-122>
- McCloskey, M., & Kohl, D. (1983). Naive physics: The curvilinear impetus principle and its role in interactions with moving objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *9*(1), 146–156. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.9.1.146>
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. *Science*, *210*(4474), 1139–1141. <https://doi.org/10.1126/science.210.4474.1139>

- McCloskey, M., Washburn, A., & Felch, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 636–649. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.9.4.636>
- Michotte, A. (1963). *The perception of causality* (T. Miles & E. Miles, Trans.). Methuen Publishing Ltd. (Original work published 1946).
- Michotte, A. (1991). *The perception of the “tool effect”* (A. Costall, Trans.). In G. Thinés, A. Costall & G. Butterworth (Eds.). *Michotte’s experimental phenomenology of perception*. Lawrence Erlbaum Associates Inc. (Original work published 1951).
- Miller, R. L. (1976). Mere exposure, psychological reactance and attitude change. *Public Opinion Quarterly*, 40(2), 229. <https://doi.org/10.1086/268290>
- Mitko, A., & Fischer, J. (2023). Do striking biases in mass inference reflect a flawed mental model of physics? *Journal of Experimental Psychology: General*, 152(9), 2636–2650. <https://doi.org/10.1037/xge0001399>
- Morris, M. W., & Peng, K. (1994). Culture and cause: American and Chinese attributions for social and physical events. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(6), 949–971. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.67.6.949>
- Nairne, J. S., Thompson, S. R., & Pandeirada, J. N. S. (2007). Adaptive memory: Survival processing enhances retention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 33(2), 263–273. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.2.263>
- Nairne, J. S., VanArsdall, J. E., & Cogdill, M. (2017). Remembering the living: episodic memory is tuned to animacy. *Current Directions in Psychological Science*, 26(1), 22–27. <https://doi.org/10.1177/09637214166667711>
- Nairne, J. S., VanArsdall, J. E., Pandeirada, J. N. S., Cogdill, M., & LeBreton, J. M. (2013). Adaptive memory: the mnemonic value of animacy. *Psychological Science*, 24(10), 2099–2105. <https://doi.org/10.1177/0956797613480803>
- Neave, N., McCarty, K., Freynik, J., Caplan, N., Hönekopp, J., & Fink, B. (2010). Male dance moves that catch a woman’s eye. *Biology Letters*, 7(2), 221–224. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0619>
- Nielsen, R. H., Vuust, P., & Wallentin, M. (2015). Perception of animacy from the motion of a single sound object. *Perception*, 44(2), 183–197. <https://doi.org/10.1068/p7688>
- Nusseck, M., Lagarde, J., Bardy, B. G., Fleming, R. W., & Bühlhoff, H. (2007). Perception and prediction of simple object interactions. *APGV '07: Proceedings of the 4th symposium on Applied perception in graphics and visualization* (pp. 27–34). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1272582.1272587>
- Oberle, C. D., McBeath, M. K., Madigan, S. C., & Sugar, T. G. (2005). The Galileo bias: A naive conceptual belief that influences people’s perceptions and performance in a ball-dropping task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 31(4), 643–653. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.4.643>
- Opfer, J. E. (2002). Identifying living and sentient kinds from dynamic information: the case of goal-directed versus aimless autonomous movement in conceptual change. *Cognition*, 86(2), 97–122. [https://doi.org/10.1016/s0010-0277\(02\)00171-3](https://doi.org/10.1016/s0010-0277(02)00171-3)
- Orgs, G., Hagura, N., & Haggard, P. (2013). Learning to like it: Aesthetic perception of bodies, movements and choreographic structure. *Consciousness and Cognition*, 22(2), 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.con-cog.2013.03.010>
- Orlandi, A., Cross, E. S., & Orgs, G. (2020). Timing is everything: Dance aesthetics depend on the complexity of movement kinematics. *Cognition*, 205, 104446. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104446>
- Ortlieb, S. A., Kügel, W. A., & Carbon, C. (2020). Fechner (1866): The Aesthetic Association Principle – a commented translation. *I-perception*, 11(3), 1–20. <https://doi.org/10.1177/2041669520920309>
- Palmer, S., & Griscom, W. S. (2012). Accounting for taste: Individual differences in preference for harmony. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 453–461. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0355-2>

- Palmer, S., Schloss, K. B., & Sammartino, J. (2013). Visual aesthetics and human preference. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 77–107. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100504>
- Parovel, G. (2023). Perceiving animacy from kinematics: visual specification of life-likeness in simple geometric patterns. *Frontiers in Psychology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1167809>
- Paulun, V. C., & Fleming, R. W. (2020). Visually inferring elasticity from the motion trajectory of bouncing cubes. *Journal of Vision*, 20(6), 6. <https://doi.org/10.1167/jov.20.6.6>
- Peirce, J. W., Hirst, R. J., & MacAskill, M. R. (2022). *Building Experiments in PsychoPy*. SAGE Publications Ltd.
- Peng, K., & Knowles, E. D. (2003). Culture, education, and the attribution of physical causality. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(10), 1272–1284. <https://doi.org/10.1177/0146167203254601>
- Piloto, L. S., Weinstein, A., Battaglia, P. W., & Botvinick, M. (2022). Intuitive physics learning in a deep-learning model inspired by developmental psychology. *Nature Human Behaviour*, 6(9), 1257–1267. <https://doi.org/10.1038/s41562-022-01394-8>
- Pliner, P. (1982). The effects of mere exposure on liking for edible substances. *Appetite*, 3(3), 283–290. [https://doi.org/10.1016/s0195-6663\(82\)80026-3](https://doi.org/10.1016/s0195-6663(82)80026-3)
- Powesland, P. F. (1959). The effect of practice upon the perception of causality. *Canadian Journal of Psychology*, 13(3), 155–168. <https://doi.org/10.1037/h0083773>
- Premack, D. (1990). The infant's theory of self-propelled objects. *Cognition*, 36(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(90\)90051-k](https://doi.org/10.1016/0010-0277(90)90051-k)
- R Core Team (2021), R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*. <https://www.R-project.org>
- Rantalla, V. (1999). Environmental experience: Beyond aesthetic subjectivism and objectivism. <https://www.lancaster.ac.uk/users/philosophy/awaymave/onlineresources/rantalla.pdf>
- Reber, R., Schwarz, R., & Winkielman, P. (1998). Effects of perceptual fluency on affective judgments. *Psychological Science*, 9(1), 45–48. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00008>
- Reber, R., Schwarz, R., & Winkielman, P. (2004). Processing fluency and aesthetic pleasure: Is beauty in the perceiver's processing experience? *Personality and Social Psychology Review*, 8(4), 364–382. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0804_3
- Regolin, L., Tommasi, L., & Vallortigara, G. (2000). Visual perception of biological motion in newly hatched chicks as revealed by an imprinting procedure. *Animal Cognition*, 3(1), 53–60. <https://doi.org/10.1007/s100710050050>
- Reitsma, P. S. A., & O'Sullivan, C. (2009). Effect of scenario on perceptual sensitivity to errors in animation. *ACM Transactions on Applied Perception*, 6(3), 1–16. <https://doi.org/10.1145/1577755.1577758>
- Roberts, M. N. (2007). *Complexity and aesthetic preference for diverse visual stimuli*. [Doctoral dissertation, Universitat de les Illes Balears]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <https://www.tdx.cat/handle/10803/9447#page=1>
- Rohrer, D. (2002). Misconceptions about incline speed for nonlinear slopes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(4), 963–973. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.4.963>
- Root-Bernstein, R., & Root-Bernstein, M. (1999). *Sparks of genius: the 13 thinking tools of the world's most creative people*. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Rutherford, M. D., & Kuhlmeier, V. A. (Eds.). (2013). *Social perception: Detection and interpretation of animacy, agency, and intention*. Boston Review. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262019279.001.0001>
- Ryu, D. H., & Oh, S. (2018). The effect of good continuation on the contact order judgment of causal events. *Journal of Vision*, 18(11), 5. <https://doi.org/10.1167/18.11.5>

- Saegert, S., Swap, W. C., & Zajonc, R. B. (1973). Exposure, context, and interpersonal attraction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 25(2), 234–242. <https://doi.org/10.1037/h0033965>
- Sammartino, J., & Palmer, S. (2012). Aesthetic issues in spatial composition: representational fit and the role of semantic context. *Perception*, 41(12), 1434–1457. <https://doi.org/10.1068/p7233>
- Sanborn, A. N., Mansinghka, V. K., & Griffiths, T. L. (2009). A Bayesian framework for modeling intuitive dynamics. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 31. <https://escholarship.org/uc/item/9gj752z7>
- Sanborn, A. N., Mansinghka, V. K., & Griffiths, T. L. (2013). Reconciling intuitive physics and Newtonian mechanics for colliding objects. *Psychological Review*, 120(2), 411–437. <https://doi.org/10.1037/a0031912>
- Santayana, G. (1955). *The sense of beauty*. Dover Publications. (Original work published 1896)
- Saxe, R., & Carey, S. (2006). The perception of causality in infancy. *Acta Psychologica*, 123(1–2), 144–165. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.05.005>
- Schlottmann, A., & Shanks, D. R. (1992). Evidence for a Distinction between Judged and Perceived Causality. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44(2), 321–342. <https://doi.org/10.1080/02724989243000055>
- Schlottmann, A., Ray, E., Mitchell, A., & Demetriou, N. (2006). Perceived physical and social causality in animated motions: Spontaneous reports and ratings. *Acta Psychologica*, 123(1–2), 112–143. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.05.006>
- Schmidt, F., Paulun, V. C., Van Assen, J. J. R., & Fleming, R. W. (2017). Inferring the stiffness of unfamiliar objects from optical, shape, and motion cues. *Journal of Vision*, 17(3), 18. <https://doi.org/10.1167/17.3.18>
- Scholl, B. J., & Tremoulet, P. D. (2000). Perceptual causality and animacy. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(8), 299–309. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01506-0](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01506-0)
- Schultz, J., & Bühlhoff, H. (2013). Parametric animacy percept evoked by a single moving dot mimicking natural stimuli. *Journal of Vision*, 13(4), 15. <https://doi.org/10.1167/13.4.15>
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25(1), 116–136. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.25.1.116>
- Sequeira, M., & Leite, L. (1991). Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. *Science Education*, 75(1), 45–56. <https://doi.org/10.1002/sce.3730750105>
- Shanon, B. (1976). Aristotelianism, Newtonianism and the Physics of the Layman. *Perception*, 5(2), 241–243. <https://doi.org/10.1068/p050241>
- Shany, O., Singer, N., Gold, B. P., Jacoby, N., Tarrasch, R., Hendler, T., & Granot, R. (2019). Surprise-related activation in the nucleus accumbens interacts with music-induced pleasantness. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(4), 459–470. <https://doi.org/10.1093/scan/nsz019>
- Shepard, R. N. (1987). Toward a universal law of generalization for psychological science. *Science*, 237(4820), 1317–1323. <https://doi.org/10.1126/science.3629243>
- Simion, F., Regolin, L., & Bulf, H. (2008). A predisposition for biological motion in the newborn baby. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(2), 809–813. <https://doi.org/10.1073/pnas.0707021105>
- Smith, K. A., & Vul, E. (2013). Sources of uncertainty in intuitive physics. *Topics in Cognitive Science*, 5(1), 185–199. <https://doi.org/10.1111/tops.12009>
- Špehar, B., & Van Tonder, G. J. (2017). Koffka's aesthetic gestalt. *Leonardo*, 50(1), 53–57. https://doi.org/10.1162/leon_a_01020
- Stevanov, J., Špehar, B., Ashida, H., & Kitaoka, A. (2012). Anomalous motion illusion contributes to visual preference. *Frontiers in Psychology*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00528>

- Street, N., Forsythe, A., Reilly, R. G., Taylor, R. P., & Helmy, M. (2016). A complex story: Universal preference vs. individual differences shaping aesthetic response to fractals patterns. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00213>
- Sugihara, K., & Pinna, B. (2022). Rectangularity is stronger than symmetry in interpreting 2D pictures as 3D objects. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.849159>
- Sun, M., & Ying, H. (2023). Color's perceptual diversity and categorical harmony improve aesthetic experience. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/aca0000583>
- Szego, P. A., & Rutherford, M. D. (2007). Actual and illusory differences in constant speed influence the perception of animacy similarly. *Journal of Vision*, *7*(12), 5. <https://doi.org/10.1167/7.12.5>
- Szego, P. A., & Rutherford, M. D. (2008). Dissociating the perception of speed and the perception of animacy: A functional approach. *Evolution and Human Behavior*, *29*(5), 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2008.04.002>
- Takahashi, K., & Thompson, D. (1999). Measuring air resistance in a computerized laboratory. *American Journal of Physics*, *67*(8), 709–711. <https://doi.org/10.1119/1.19356>
- Tatarkiewicz, W. (1963). Objectivity and subjectivity in the history of aesthetics. *Philosophy and Phenomenological Research*, *24*(2), 157. <https://doi.org/10.2307/2104458>
- Todd, J. T., & Warren, W. H. (1982). Visual perception of relative mass in dynamic events. *Perception*, *11*(3), 325–335. <https://doi.org/10.1068/p110325>
- Torrents, C., Balcells, M. C., Jofre, T., Morey, G., & Reverter, F. (2013). Kinematic parameters that influence the aesthetic perception of beauty in contemporary dance. *Perception*, *42*(4), 447–458. <https://doi.org/10.1068/p7117>
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2000). Perception of animacy from the motion of a single object. *Perception*, *29*(8), 943–951. <https://doi.org/10.1068/p3101>
- Tremoulet, P. D., & Feldman, J. (2006). The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion. *Attention Perception & Psychophysics*, *68*(6), 1047–1058. <https://doi.org/10.3758/bf03193364>
- Trompenaars, T., Kaluge, T. A., Sarabi, R. M., & De Swart, P. (2021). Cognitive animacy and its relation to linguistic animacy: Evidence from Japanese and Persian. *Language Sciences*, *86*, 101399. <https://doi.org/10.1016/j.langsci.2021.101399>
- Twardy, C., & Bingham, G. P. (2002). Causation, causal perception, and conservation laws. *Attention Perception & Psychophysics*, *64*(6), 956–968. <https://doi.org/10.3758/bf03196799>
- Ullman, T., Spelke, E. S., Battaglia, P. W., & Tenenbaum, J. B. (2017). Mind games: Game engines as an architecture for intuitive physics. *Trends in Cognitive Sciences*, *21*(9), 649–665. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.05.012>
- Vallortígara, G., Regolin, L., & Marconato, F. (2005). Visually inexperienced chicks exhibit spontaneous preference for biological motion patterns. *PLOS Biology*, *3*(7), e208. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030208>
- Van Buren, B., Uddenberg, S., & Scholl, B. J. (2015). The automaticity of perceiving animacy: Goal-directed motion in simple shapes influences visuomotor behavior even when task-irrelevant. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(3), 797–802. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0966-5>
- Vicovaro, M. (2014). Intuitive physics of free fall: An information integration approach to the mass-speed belief. *Psicológica Journal*, *35*(3), 463–477. https://www.researchgate.net/publication/266323771_Intuitive_physics_of_free_fall_An_information_integration_approach_to_the_mass-speed_belief
- Vicovaro, M. (2018). Causal reports: Context-dependent contributions of intuitive physics and visual impressions of launching. *Acta Psychologica*, *186*, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.04.015>
- Vicovaro, M. (2021). Intuitive physics and cognitive algebra: A review. *Revue Européenne De Psychologie Appliquée*, *71*(5), 100610. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2020.100610>

- Vicovaro, M., & Burigana, L. (2015). Intuitive understanding of the relationship between the elasticity of objects and kinematic patterns of collisions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(2), 618–635. <https://doi.org/10.3758/s13414-015-1033-z>
- Vicovaro, M., Brunello, L., & Parovel, G. (2023). The psychophysics of bouncing: Perceptual constraints, physical constraints, animacy, and phenomenal causality. *PLOS ONE*, 18(8), e0285448. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285448>
- Vicovaro, M., Noventa, S., & Battaglini, L. (2019). Intuitive physics of gravitational motion as shown by perceptual judgment and prediction-motion tasks. *Acta Psychologica*, 194, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.02.001>
- Vicovaro, M., Noventa, S., Ghiani, A., Mena, F., & Battaglini, L. (2021). Evidence of weight-based representations of gravitational motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 47(11), 1445–1471. <https://doi.org/10.1037/xhp0000956>
- Vihman, V., & Nelson, D. M. (2019). Effects of animacy in grammar and cognition: Introduction to special issue. *Open Linguistics*, 5(1), 260–267. <https://doi.org/10.1515/opli-2019-0015>
- Warren, W. H., Kim, E. E., & Husney, R. (1987). The way the ball bounces: visual and auditory perception of elasticity and control of the bounce pass. *Perception*, 16(3), 309–336. <https://doi.org/10.1068/p160309>
- White, P. A. (2015). Visual impressions of generative transmission. *Visual Cognition*, 23(9-10), 1168–1204. <https://doi.org/10.1080/13506285.2016.1149533>
- White, P. A., & Milne, A. (1997). Phenomenal causality: impressions of pulling in the visual perception of objects in motion. *American Journal of Psychology*, 110(4), 573. <https://doi.org/10.2307/1423411>
- White, P. A., & Milne, A. (1999). Impressions of enforced disintegration and bursting in the visual perception of collision events. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(4), 499–516. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.4.499>
- White, P. A., & Milne, A. (2003). Visual impressions of penetration in the perception of objects in motion. *Visual Cognition*, 10(5), 605–619. <https://doi.org/10.1080/13506280344000013>
- Whitfield, T. W. A., & Slatter, P. E. (1979). The effects of categorization and prototypicality on aesthetic choice in a furniture selection task. *British Journal of Psychology*, 70(1), 65–75. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1979.tb02144.x>
- Winkielman, P., Schwarz, N., Fazendeiro, T. A., & Reber, R. (2003). The hedonic marking of processing fluency: Implications for evaluative judgment. In J. Musch & K. C. Klauer (Eds.), *The psychology of evaluation: Affective processes in cognition and emotion* (pp. 189–217). Lawrence Erlbaum Associates Inc. <https://psycnet.apa.org/record/2003-04670-007>
- Wright, D., & Bertamini, M. (2015). Aesthetic judgements of abstract dynamic configurations. *Art & Perception*, 3(3), 283–301. <https://doi.org/10.1163/22134913-00002037>
- Xenakis, I., & Arnellos, A. (2014). Aesthetic perception and its minimal content: A naturalistic perspective. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01038>
- Yagi, Y., & Inoue, K. (2018). The contribution of attention to the mere exposure effect for parts of advertising images. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01635>
- Yates, J., Bessman, M., Dunne, M., Jertson, D., Sly, K., & Wendelboe, B. (1988). Are conceptions of motion based on a naive theory or on prototypes? *Cognition*, 29(3), 251–275. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90026-1)
- Yela, M. (1952). Phenomenal causation at a distance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4(4), 139–154. <https://doi.org/10.1080/17470215208416612>
- Yoo, C. Y. (2008). Unconscious processing of web advertising: Effects on implicit memory, attitude toward the brand, and consideration set. *Journal of Interactive Marketing*, 22(2), 2–18. <https://doi.org/10.1002/dir.20110>
- Young, M. E., & Falmier, O. (2008). Launching at a distance: The effect of spatial markers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(9), 1356–1370. <https://doi.org/10.1080/17470210701595522>

- Zago, M., & Lacquaniti, F. (2005). Cognitive, perceptual and action-oriented representations of falling objects. *Neuropsychologia*, 43(2), 178–188. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.005>
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 9(2, Pt.2), 1–27. <https://doi.org/10.1037/h0025848>
- Zeki, S., & Stutters, J. (2012). A brain-derived metric for preferred kinetic stimuli. *Open Biology*, 2(2), 120001. <https://doi.org/10.1098/rsob.120001>

Sitografia

Peso specifico. (5 settembre 2023). *Wikipedia, L'enciclopedia libera*. Tratto il 24 ottobre 2023, 19:29 da https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Peso_specifico&oldid=135312348.