



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea magistrale in Psicologia Cognitiva Applicata

Tesi di Laurea Magistrale

Fisica Ingenua e Percezione delle Collisioni:
un confronto tra tre modelli di risposta

Naive Physics and Collision Perception:
a comparison between three response models

Relatore

Prof. Michele Vicovaro

Laureando: Enrico Francesco Pillitteri

Matricola: 2016765

Anno Accademico 2021/2022

SOMMARIO

CAPITOLO 1

<u>PERCEZIONE DI NATURALEZZA/CAUSALITÀ NELLE COLLISIONI</u>	1
<u>1.1 INTRODUZIONE</u>	1
<u>1.2 INTERIORIZZAZIONE DELLE LEGGI FISICHE</u>	3
<u>1.3 TEORIA DI MICHOTTE</u>	5
<u>1.3 TEORIE EURISTICHE</u>	6

CAPITOLO 2

<u>INTRODUZIONE ALLA RICERCA</u>	11
<u>2.1 SCOPO DELLA RICERCA E OBIETTIVI</u>	11
<u>2.2 PARTECIPANTI</u>	11
<u>2.3 DISEGNO SPERIMENTALE</u>	12
<u>2.4 PROCEDURA</u>	14
<u>2.5 IL RUOLO DELLA “MANICA” NEL CONFRONTO TRA GIUDICI</u>	15
<u>2.6 DEFINIZIONE MODELLI DI RIFERIMENTO</u>	18
<u>2.6.1 The Newtonian Observer</u>	18
<u>2.6.2 The Heuristic Observer</u>	19
<u>2.6.3 The Michottean Observer</u>	20

CAPITOLO 3

<u>RISULTATI E DISCUSSIONI</u>	24
<u>3.1 METODOLOGIA DI ANALISI</u>	24
<u>3.2 STIMA LIVELLO DI ACCORDO TRA OSSERVATORI E I MODELLI DI RIFERIMENTO</u>	26

<u>3.3 STIMA LIVELLO DI INTER-OBSERVER AGREEMENT</u>	30
<u>3.3 ANALISI EFFETTI M_R, U_A, C</u>	33
<u>3.3.1 Giudizio di Naturalezza</u>	33
<u>3.3.2 Giudizio di Causalità AB</u>	37
<u>3.3.3 Giudizio di Causalità BA</u>	40

CAPITOLO 4

<u>CONCLUSIONI DELLA RICERCA</u>	43
<u>4.1 DISCUSSIONE GENERALE</u>	43
<u>4.2 LIMITI E SVILUPPI FUTURI</u>	46
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	49

CAPITOLO 1

Percezione di Naturalezza/Causalità nelle Collisioni

1.1 Introduzione

Lo scenario ipotizzato è quello di una partita a biliardo. In prossimità della conclusione del match, l'intento è quello di mandare in buca l'ultima biglia. In tale contesto, l'obiettivo è quello di colpire con la stecca la battente, che muovendosi impatterà contro l'ultima biglia centrando la buca della vittoria. Questo è un semplice, quanto comune, esempio di collisioni tra un oggetto A (la battente) e un oggetto B (l'ultima biglia). Ma quali conoscenze vengono richieste, quali criteri vengono applicati e ancora quali comportamenti vengono messi in atto dal giocatore per raggiungere efficacemente l'obiettivo?

Quando si analizza la collisione tra due oggetti si parte da una conoscenza di base, quanto meno generale, dei principi della fisica, poiché gli eventi meccanici coinvolti nell'azione comprendono diverse variabili fisiche, e per questo vanno considerati come eventi multidimensionali. Quando due oggetti si scontrano, le loro velocità post-collisione (v_A e v_B) dipendono dalle velocità prima della collisione (u_A e u_B), dalle loro masse (m_A e m_B) e dal coefficiente di restituzione della collisione (C), secondo le equazioni derivate dalla legge di conservazione del momentum (Kittel, Knight & Ruderman, 1973):

$$(1) v_A = \frac{[m_A u_A + m_B u_B + m_B C(u_B - u_A)]}{m_A + m_B}$$

$$(2) v_B = \frac{[m_A u_A + m_B u_B + m_A C(u_A - u_B)]}{m_A + m_B}$$

Nel caso di collisioni come quelle descritte nell'esempio iniziale, si assume che la velocità pre-collisione di B sia $u_B = 0$ – in quanto è l'oggetto A che impatta verso un oggetto fermo B – per cui si utilizza una versione semplificata delle equazioni sopracitate:

$$(3) v_A = \frac{[m_A u_A - m_B C(u_A)]}{m_A + m_B}$$

$$(4) v_B = \frac{[m_A u_A + m_A C(u_A)]}{m_A + m_B}$$

Si presume che una velocità maggiore di zero denoti un movimento da sinistra verso destra mentre, viceversa, una velocità minore di zero denoti un movimento da destra verso sinistra. Il coefficiente di restituzione della collisione (C) è un elemento chiave del nostro studio e la sua equazione è implicata in quelle precedenti:

$$(5) C = \frac{v_B - v_A}{u_A - u_B}$$

C rappresenta il valore di *elasticità* di due oggetti in collisione, valore che ha una forte influenza sul comportamento cinematico all'interno della collisione. Solitamente, date due velocità pre-collisione u_A e u_B , minore è l'elasticità degli oggetti – e, quindi, anche il parametro C – minori saranno le relative velocità post-collisione (v_A e v_B).

La meccanica newtoniana implica $0 \leq C \leq 1$, pertanto:

1. C non può essere più piccolo di 0, perché tale situazione implicherebbe la compenetrazione dei due oggetti coinvolti nella collisione, praticamente impossibile nel caso di corpi solidi. Questo risulta evidente, ad esempio, nel caso in cui si consideri $u_A > u_B$: se $C < 0$ allora $(v_B - v_A) < 0$ e ciò implicherebbe che $v_A > v_B$, facendo sì che A colpisca e superi B durante l'impatto;

2. C non può essere maggiore di 1, poiché questo significherebbe che l'energia cinetica dopo la collisione sarebbe maggiore dell'energia cinetica prima della collisione, andando quindi a violare il principio di conservazione dell'energia.

1.2 Interiorizzazione delle leggi fisiche

Alla luce di quanto sopra considerato, si potrebbe ipotizzare che gli osservatori rispondano in modo coerente alle leggi fisiche assumendo che queste possano essere interiorizzate per essere utilizzate nell'interpretazione dei fenomeni ambientali. L'origine di questa ipotesi è da ricondurre agli studi di Shepard (1984, 1994) secondo cui – attraverso un percorso di evoluzione ontogenetica e filogenetica – l'uomo è stato capace di internalizzare alcuni principi astratti utili per guidare i processi di percezione visiva di moti apparenti e rotazione mentale degli oggetti nello spazio. La suddetta internalizzazione è fondamentale nell'adattamento all'ambiente dell'individuo, in quanto supporta il sistema cognitivo quando le informazioni sensoriali sono scarse, incomplete o del tutto assenti. L'ipotesi dell'internalizzazione è stata poi estesa alle leggi fisiche, ponendo la base per diversi studi e modelli teorici: qua si pone lo studio di Sanborn et al. (2013) sulle collisioni e la percezione di naturalezza e causalità delle stesse da parte dei partecipanti. Dallo studio è emerso che, sia per i compiti in cui veniva chiesto di giudicare se una collisione fosse naturale sia per quelli in cui era indagata la causalità, le risposte dei partecipanti si adattavano efficacemente al modello bayesiano definito “*Noisy Newton Model*”: questo modello si basa sulla combinazione dei vincoli imposti dalla meccanica newtoniana sui comportamenti post-collisione di due oggetti collidenti e l'incertezza legata alle variabili dello stimolo. Il buon

adattamento del modello ai dati supporta l'ipotesi che in entrambi i compiti le risposte fossero veicolate da principi newtoniani internalizzati

Altri studiosi hanno invece messo in luce le possibili discrepanze tra intuizione e realtà fisica (McCloskey, 1983). Come già detto, le esperienze di ognuno dovrebbero condurre ad una idea plausibile di come si comportano gli oggetti in movimento nelle situazioni familiari, ma invece ciò non avviene. Come contro-argomento rispetto all'ipotesi dell'internalizzazione delle leggi fisiche, Hecht (2001) ha suggerito che la fisica ingenua possa essere basata su euristiche legate alle esperienze percettivo-motorie e alla dinamica corporea. Una differenza fondamentale tra il modello bayesiano (Sanborn et al., 2013) e il modello euristico (Hecht, 2001) riguarda l'interpretazione degli errori nei compiti di fisica ingenua:

1. Il modello bayesiano attribuisce gli errori a interferenze sensoriali e/o a una incertezza stocastica dei parametri fisici dell'evento
2. Il modello euristico associa gli errori a bias del sistema cognitivo, bias che suggeriscono come le risposte dei partecipanti non siano basate su conoscenze, esplicite o implicite, della fisica ma piuttosto su processi cognitivi che portano a inesattezze nelle previsioni degli eventi fisici

Queste previsioni errate potrebbero essere legate proprio a quella multidimensionalità sopra citata.

Diversi studi hanno tentato di comprendere le modalità con cui gli osservatori integrano le informazioni derivanti dalla multidimensionalità degli eventi (v , u , C), ma i risultati sono stati spesso molto contrastanti tra loro: c'è chi ha argomentato che il sistema cognitivo possa integrare molteplici input di un evento e in questo modo, presumibilmente, gestire la multidimensionalità degli eventi meccanici come le collisioni (Anderson, 2013), mentre altri studiosi hanno sottolineato come il sistema cognitivo sia di base limitato e, quindi, il giudizio

delle persone prenda come riferimento solo uno dei parametri informativi ritenuti fondamentali per l'evento (Proffitt & Gilden, 1989). È perciò interessante capire secondo quali criteri e parametri le persone giudichino una collisione tra due oggetti come naturale/causale.

1.3 Teoria di Michotte

Uno dei primi studiosi a interessarsi della percezione della causalità fu Michotte (1963). In uno dei suoi molteplici esperimenti, egli presenta all'osservatore due quadrati allineati su un'asse orizzontale. Ad un certo punto, il primo quadrato (*A*) inizia a spostarsi in direzione del secondo quadrato (*B*), il quale rimane inizialmente fermo; quando *A* entra in contatto con *B*, quest'ultimo si muove di conseguenza con la stessa velocità di *A*, mentre quest'ultimo si ferma (Fig. 1). A margine di tale esperimento è evidente come la maggior parte degli osservatori descriva l'interazione tra *A* e *B* come causale, in quanto il movimento di *A* viene percepito come la causa del movimento di *B*. Questo fenomeno è stato definito *launching effect*.

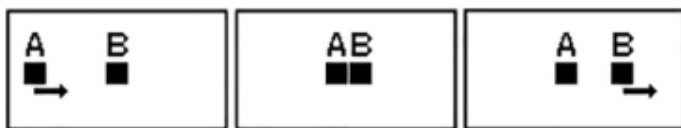


Fig. 1 Rappresentazione del modello di collisione ideato da Michotte

Bisogna tenere presente che Michotte aveva adottato un approccio gestaltista alla percezione della causalità. Infatti, attraverso diverse dimostrazioni sperimentali, il *launching effect* si è mostrato come un fenomeno visivo condizionato dalle proprietà percettive della scena. Nello specifico, l'effetto lancio sembra dettato dalla presenza di due oggetti distinti in un ambiente

vuoto e dal fatto che il loro movimento appaia percettivamente continuo. Un punto fondamentale della teoria di Michotte (1963) sulla percezione della causalità è che né le conoscenze dell'osservatore relative al funzionamento delle collisioni né le proprietà dei due oggetti (come forma, colore e dimensione) sono condizioni necessarie o sufficienti per una precisa percezione del fenomeno. Secondo questo modello, quindi, ad essere importante per la percezione di un nesso causale tra i due oggetti è la relazione tra le velocità relative di *A* e *B*. L'effetto lancio viene percepito quando il rapporto tra le velocità è tale da favorire la percezione di un movimento continuo. Nello specifico, questo si verifica quanto il rapporto tra la velocità pre-collisione di *A* e la velocità post-collisione di *B* è compreso tra 1: 2 e 4: 1. Secondo Michotte, quindi, sono le specifiche caratteristiche cinematiche della scena che fanno sì che l'osservatore percepisca il launching effect, senza che le conoscenze di fisica ingenua influenzino la risposta.

Si può, quindi, affermare che il launching effect è un fenomeno condizionato solo da funzioni percettive di basso livello, che elaborano unicamente le proprietà cinematiche dell'evento, e non è contagiato da quelle proprietà dello stimolo che si presume siano elaborate a un livello cognitivo più alto.

1.3 Teorie Euristiche

Si contrappone alla teoria di Michotte la cosiddetta "prospettiva euristica", secondo la quale le proprietà dinamiche dei due oggetti giocano un ruolo fondamentale nell'euristica della trasmissione dell'impeto. Diversi infatti sono gli studi che indagano questa prospettiva e dimostrano come sono alcune proprietà fisiche dell'oggetto a giocare un ruolo fondamentale nel giudizio di causalità. Un esempio tra questi è lo studio di Natsoulas (1961) che dimostra

come la percezione dei principi dell'energia cinetica sia funzionale a predire correttamente la causalità nelle collisioni; inoltre, nello stesso studio, nota come anche la massa degli oggetti coinvolti nell'impatto sia una variabile da considerare. Variabile che è stata considerata anche nello studio di Halloun & Hestenes (1985), in cui si ipotizza che la forza e la resistenza della collisione aumenti all'aumentare della massa. Questa diversa teoria prevede, infatti, che per una velocità pre-collisione di *A* prefissata, all'aumentare della massa di *A*, si crede intuitivamente che aumenti la forza trasmessa da *A* a *B*, mentre all'aumentare della massa di *B*, si presuppone che aumenti la resistenza di *B* alla trasmissione dell'energia da parte di *A*.

Con il lavoro di McCloskey (1983) si ipotizza una interpretazione delle collisioni attraverso una teoria ingenua dell'impetus, che suggerirebbe come un osservatore interpreti una collisione dal fatto che un oggetto che si sposta verso un altro oggetto target è responsabile dell'inizio del movimento del secondo; per questo non diventano più fondamentali le leggi fisiche alla base di una collisione, ma il solo fatto che un oggetto trasmetta il movimento ad un altro oggetto. Questa teoria è stata studiata e approfondita anche da White (2006, 2007) che propone la teoria dell'asimmetria causale per cui, considerando la percezione della forza come variabile fisica considerata dall'osservatore, si può parlare di causazione in una collisione solo se l'oggetto *B* è fermo quando viene colpito dall'oggetto *A*.

Per questo motivo, si può affermare che – rispetto alla teoria di Michotte, che considera il launching effect come un fenomeno legato solamente dalle proprietà cinematiche dell'evento – se si prendono in considerazione anche le proprietà dinamiche dell'oggetto, l'osservatore risponderebbe al quesito di naturalezza/causalità seguendo un'euristica approssimativa, in quanto solo in parte coerente con le leggi fisiche newtoniane. Questa euristica approssimativa emerge anche dal lavoro di Vicovaro e Burigana del 2016: l'obiettivo dello studio era quello di indagare come gli osservatori intuiscono la relazione tra l'elasticità degli oggetti e gli

schemi cinematici delle collisioni. Per fare ciò sono stati presentati quattro diversi esperimenti:

1. Sono state presentate, attraverso una simulazione al computer, tre coppie di sfere di materiale diverso (legno, polistirene o plastilina). La dimensione e la velocità pre-collisione delle sfere veniva mantenuta costante per tutto l'esperimento e le due sfere coinvolte nella stessa collisione avevano il medesimo materiale simulato (implica, quindi, $m_A = m_B$). Il valore di C sotteso dalla collisione (vedi equazioni 1-2) veniva sistematicamente manipolato all'interno di un intervallo da 0 a 2, cambiando le velocità post-collisione di v_A e v_B ; sono state, perciò, presentate sia collisioni fisicamente plausibili ($0 \leq C \leq 1$) sia non plausibili ($C > 1$). Al partecipante veniva chiesto se queste simulazioni di collisione apparissero "naturali" o "innaturali". I risultati derivanti da questa condizione rivelano che i partecipanti comprendono intuitivamente che le collisioni tra oggetti abbastanza elastici come il legno o il polistirolo sottendono valori più alti di C rispetto a collisioni tra oggetti meno elastici come la plastilina. Queste evidenze supportano l'ipotesi che le persone intuiscono che i modelli cinematici delle collisioni sono fortemente influenzati dall'elasticità degli oggetti in collisione.
2. Il secondo esperimento era simile al primo (tre diversi materiali, dimensione e velocità pre-collisione costanti) ma, per valutare in che modo C influisca sulla percezione di naturalezza delle collisioni, è stata utilizzata una misurazione più "diretta" chiedendo ai partecipanti di "aggiustare" il valore di C in maniera tale che le collisioni risultassero naturali. I risultati di questo esperimento confermano quanto emerso nel primo esperimento, dimostrando che i partecipanti comprendono intuitivamente che collisioni tra oggetti abbastanza elastici implicano valori più alti di C rispetto a collisioni con materiali meno elastici

3. Nel terzo esperimento, gli autori hanno modificato e aumentano i materiali simulati delle sfere (da due a sei), per comprendere se fosse possibile generalizzare i risultati degli esperimenti precedenti. Veniva manipolata la velocità pre-collisione (veloce/lenta), le due sfere implicate nella collisione erano sempre dello stesso materiale e della stessa dimensione e, per valutare il valore di C percepito come “naturale”, si utilizzava lo stesso metodo di “aggiustamento” impiegato nel secondo esperimento. I risultati confermano quanto già emerso nei punti precedenti, supportando la robustezza e la generalizzabilità dei risultati. È, inoltre, emerso che la percezione soggettiva del coefficiente di restituzione risente delle condizioni cinematiche che, in collisioni fisiche reali, non dovrebbero invece condizionare il C : questo è un interessante esempio di discrepanza tra fisica ingenua e fisica newtoniana delle collisioni
4. In quest’ultimo esperimento veniva adottato un approccio per certi versi opposto rispetto a quello degli esperimenti precedenti. Si voleva infatti verificare se le persone fossero capaci di dedurre l’elasticità degli oggetti in collisione dalla cinematica delle collisioni. Venivano così presentate delle collisioni tra sfere “immateriali”, che non presentavano cioè indizi relativi al materiale di cui erano fatte le sfere stesse. Veniva modificato il valore di C sotteso dalle collisioni, e veniva chiesto ai partecipanti di valutare, su una scala da 0 a 100, quanto le sfere fossero “rimbalzanti” (nel linguaggio comune, l’idea di rimbalzo è più facilmente associabile al concetto fisico di elasticità). Il trend generale dei dati supporta l’ipotesi iniziale di ricerca, poiché dimostra come gli osservatori siano in grado di inferire l’elasticità delle sfere sulla base di pattern cinematici di collisione. Emerge anche come, nel quarto esperimento, le risposte dei partecipanti non fossero del tutto coerenti con ciò che i principi della fisica

prevederebbero: infatti, le risposte dei soggetti erano influenzate sia dal tipo di collisione che dalla velocità pre-collisione degli oggetti

I risultati ottenuti nei quattro esperimenti supportano l'ipotesi iniziale, ovvero che le persone intuiscono la relazione tra elasticità degli oggetti e pattern cinematici, soprattutto se supportati anche da indizi visivi come il tipo di materiale delle sfere coinvolte nelle collisioni. Un risultato emerso durante gli esperimenti e da tenere in considerazione è anche la discrepanza tra la fisica ingenua e la fisica newtoniana delle collisioni in quanto gli osservatori tendono a sovrastimare il valore implicito di C nelle collisioni naturali e a giudicare naturali anche alcune collisioni che non sono coerenti al principio di conservazione dell'energia (per $C > 1$); infatti si è visto come le collisioni possano essere percepite come plausibili anche per valori di C di 1.15 – 1.4, valori che implicherebbero la violazione del principio di conservazione dell'energia cinetica

Questa evidenza non è quindi coerente con l'idea che le persone possano avere internalizzato un valore fisicamente plausibile di C per guidare – come precedentemente detto – i processi di percezione visiva in un ambiente che non sempre fornisce informazioni sensoriali complete (Shepard, 1984).

CAPITOLO 2

Introduzione alla ricerca

2.1 Scopo della ricerca e obiettivi

La presente ricerca mira a indagare secondo quale modello una persona interpreta e spiega le collisioni tra due oggetti, uno in movimento (*A*) verso un secondo che è fermo (*B*) e a comprendere quali siano le variabili fisiche considerate per rispondere ai quesiti di naturalezza/causalità.

2.2 Partecipanti

Il campione oggetto di questa ricerca è composto da 94 partecipanti, di cui 45 donne (48%), con un range di età compreso tra i 19 e 76 anni (Mediana = 24 anni, Media = 32.02, DS = 16.54). Come variabile sono stati considerati gli anni passati a studiare la fisica, con una Mediana = 3 anni e Media = 3.25 anni (DS = 2.16).

I partecipanti sono stati divisi casualmente in 3 gruppi a ognuno dei quali veniva chiesto di svolgere un compito al computer in cui venivano presentate collisioni come quelle mostrate in Fig. 1, che possiamo definire collisioni di tipo michottiano per l'affinità con gli stimoli tipicamente utilizzati da Michotte (1963) nel suo lavoro seminale sulla percezione della causalità. Ai partecipanti nei tre gruppi venivano dunque presentati gli stessi stimoli, mentre era diverso il tipo di compito che dovevano svolgere:

- 34 partecipanti giudicavano quanto naturale potesse essere la collisione tra i due quadrati, rispondendo alla domanda “La collisione è naturale o innaturale?”
- 30 partecipanti giudicavano quanto il movimento di *B* fosse causato dalla collisione con *A*, rispondendo al quesito “Il movimento post-collisione di *B* appare causato dalla collisione con *A*?”
- 30 partecipanti giudicavano quanto il movimento di *A* fosse causato dalla collisione con *B*, rispondendo alla domanda “Il movimento post-collisione di *A* appare causato dalla collisione con *B*?”

I dati sono stati raccolti attraverso la somministrazione, a tutti i soggetti interessati dal presente studio, di una prova da svolgere al computer composta da una fase di prova – per abituare il partecipante al tipo di compito da svolgere – e dalla presentazione degli stimoli sperimentali (in totale 156 trials). I compiti differivano tra di loro per la domanda presentata, riguardo il giudizio di naturalezza/causalità.

La partecipazione era su base volontaria e condizionata alla sottoscrizione da parte di ogni partecipante del consenso informato.

2.3 Disegno sperimentale

Il disegno di ricerca corrisponde ad un disegno fattoriale entro i soggetti $2 (u_A: 7.5 \text{ o } 15 \text{ cm/s}) \times 3 (m_R: m_A = m_B, \frac{1}{3} m_A = m_B, 3m_A = m_B) \times 13 (C: 0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.75, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 2.7, 3)$. Si ha, quindi, un totale di 78 stimoli sperimentali presentati 2 volte ciascuno, per un totale di 156 trials. Le variabili manipolate sono quindi:

- Velocità pre-collisione di A (u_A): la velocità che possiede il quadrato A , che nella collisione di tipo michottiano è quello che fa sì che avvenga la collisione con il quadrato fermo, B
- Coefficiente di restituzione di collisione (C): rappresenta il valore di elasticità degli oggetti coinvolti nella collisione, influenzando il comportamento cinematico all'interno dell'evento fisico
- Rapporto tra le masse di A e di B (m_R): valore dato dalla relazione tra la massa di A e quella di B . È un rapporto puramente ipotetico in quanto non vengono manipolate le dimensioni dei due quadratini – e, quindi, il loro aspetto visivo – per dare l'idea di una differenza tra masse

Queste variabili sono fondamentali perché sono le stesse che vanno a influire sulle equazioni (1) e (2) derivate dalla legge di conservazione del momentum (Kittel, Knight & Ruderman, 1973) che, nel caso dei trial sperimentali presentati in questa ricerca, vengono semplificate in (3) e (4) dal momento che B è un oggetto fermo e di conseguenza $u_B = 0$

Modificando i valori di m_A e m_B , variano anche le formule finali di v_A e v_B per cui se poniamo:

- $m_A = m_B$

$$(6) \quad v_A = \frac{m_A u_A - m_A C u_A}{2m_A} = 0.5u_A(1 - C)$$

$$(7) \quad v_B = \frac{m_A u_A + m_A C u_A}{2m_A} = 0.5u_A(1 + C)$$

- $\frac{1}{3} m_A = m_B$ (la massa di A è il triplo di quella di B)

$$(8) \quad v_A = \frac{m_A u_A - \frac{1}{3} m_A C u_A}{m_A + \frac{1}{3} m_A} = \frac{m_A (u_A - \frac{1}{3} C u_A)}{\frac{4}{3} m_A} = \frac{3}{4} u_A (1 - \frac{1}{3} C)$$

$$(9) \quad v_B = \frac{m_A u_A + m_A C u_A}{m_A + \frac{1}{3} m_A} = \frac{m_A (u_A + C u_A)}{\frac{4}{3} m_A} = \frac{3}{4} u_A (1 + C)$$

- $3m_A = m_B$ (la massa di B è il triplo di quella di A)

$$(10) \quad v_A = \frac{m_A u_A - 3m_A C u_A}{m_A + 3m_A} = \frac{m_A (u_A - 3C u_A)}{4m_A} = \frac{1}{4} u_A (1 - 3C)$$

$$(11) \quad v_B = \frac{m_A u_A + m_A C u_A}{m_A + 3m_A} = \frac{m_A (u_A + C u_A)}{4m_A} = \frac{1}{4} u_A (1 + C)$$

Dalle equazioni presentate, si può notare che quando la massa di A tende a essere infinitamente più grande di quella di B , la velocità post-collisione di A tende a valori sempre più vicini a quelli della velocità pre-collisione di A ($v_A \rightarrow u_A$) e la velocità post-collisione di B al rapporto tra la velocità pre-collisione di A e $1 + C$ ($v_B \rightarrow u_A(1 + C)$), questo perché al diminuire della massa di B il valore al denominatore dell'equazione si riduce sensibilmente minimizzando la differenza tra v_A e u_A . Viceversa, quando la massa di B tende a essere infinitamente più grande di quella di A , la velocità post-collisione di A ha valori che si avvicinano sempre di più al rapporto tra C e la velocità pre-collisione di A ($v_A \rightarrow -C u_A$) e mentre la velocità post-collisione di B tende allo zero ($v_B \rightarrow 0$).

2.4 Procedura

Gli stimoli sono stati presentati – in tutte e tre le situazioni sperimentali – attraverso l'utilizzo del software PsychoPy3.

Due quadrati delle stesse dimensioni venivano presentati all'altezza media dello schermo, con il loro centro allineato orizzontalmente.

Dovendo simulare una collisione di tipo michottiano (Fig. 1), all'inizio di ogni stimolo veniva presentato un quadrato (*A*) vicino al bordo sinistro dello schermo e un altro quadrato al centro (*B*). Dopo 0.5 secondi dalla presentazione dello stimolo, *A* comincia a muoversi in direzione di *B* finché non entrano in contatto. Le velocità post-collisione sono condizionate dai valori dei parametri discussi nel paragrafo 2.3 e da come tali parametri entrano nelle equazioni descritte nello stesso paragrafo.

Alla fine di ogni animazione veniva presentata al partecipante una domanda inerente al tipo di compito da svolgere. Nella prima situazione veniva chiesto "Naturale o non naturale?", in quanto l'obiettivo del compito era giudicare la naturalezza della collisione; nel secondo e terzo compito la domanda presentata era "Causato o non causato?", differendo però per il soggetto a cui si riferiva la domanda: nel secondo compito, infatti, si chiedeva se il movimento di *B* fosse causato dalla collisione con *A*; viceversa, nel terzo compito si indagava se il movimento di *A* – in seguito all'impatto con *B* – fosse o meno causato dall'impatto con *B*. Il partecipante doveva rispondere al quesito premendo, sulla tastiera del computer, S nel caso di collisione naturale/causata o K nel caso di una non naturale/non causata.

2.5 Il ruolo della "manica" nel confronto tra giudici

I giudizi di causalità e naturalezza di una data collisione dipendono dall'integrazione di informazioni visive che devono essere elaborate per arrivare a un processo di categorizzazione. Questa categorizzazione è necessaria per portare l'osservatore a decidere se ciò che è stato osservato può essere plausibile oppure no.

In questo studio si ipotizza che il processo di categorizzazione sia diviso in due diverse fasi, che avvengono in un lasso di tempo molto breve:

- Nella prima fase, l'osservatore formula un giudizio implicito di naturalezza/causalità. Per facilitare, è possibile immaginare che questa valutazione avvenga su una scala continua che va da 0 a 1, dove 0 rappresenta una collisione “completamente innaturale/non causale” e 1 rappresenta una collisione “del tutto naturale/causale” (di conseguenza 0.5 corrisponde a un livello di plausibilità della collisione intermedio)
- Nella seconda fase – quella richiesta dal task sperimentale – l'osservatore deve decidere se il livello di plausibilità è tale da poter giudicare una collisione come naturale/causale

In quest'ultima fase diventa fondamentale il ruolo della “manica” decisionale. Questa può essere definita come quella soglia oltre la quale il livello di plausibilità percepito della collisione fa sì che il partecipante giudichi una collisione come naturale/causale: un osservatore ideale dovrebbe possedere una manica pari a 0.5, che lo porta a classificare una collisione con livello di plausibilità minore o uguale a 0.5 come “non naturale/non causata” e una collisione con un livello superiore a 0.5 come “naturale/causata”.

Tuttavia, in contesti reali, giudici diversi possono avere “maniche” molto diverse. Seguendo il linguaggio comune, un osservatore che giudica una collisione come naturale solo per valori impliciti di plausibilità percepita molto alti (ad esempio, 0.7 o 0.8) può essere definito di “manica stretta”. Al contrario, osservatori che giudicano plausibile una collisione anche a fronte di giudizi impliciti di naturalezza molto bassi (ad esempio, 0.3 o 0.4) vengono definiti di “manica larga”.

L'utilizzo di questa manica è fondamentale, nel nostro studio, per misurare l'accordo tra i modelli di interpretazione delle collisioni (osservatore ideale) e la percezione dei singoli partecipanti (osservatore reale), in quanto permette di “aggiustare” le risposte di ogni partecipante sulla base di una manica comune. Si è notato, infatti, come all'aumentare della

differenza tra le maniche di due osservatori, aumentino bias di valutazione di uno stesso evento.

Per chiarificare la questione si propone un esempio pratico: si considerino due osservatori, 1 e 2, che giudichino entrambi la naturalezza di una collisione 0.7. Si potrà affermare che concordano tra loro sul giudizio dell'evento; se però l'osservatore 1 ha una manica di 0.4, mentre l'osservatore 2 ce l'ha di 0.8, il primo risponderà "Naturale" mentre il secondo "Innaturale" per lo stesso evento. Si registra, quindi, un disaccordo nella risposta, nonostante ci sia un accordo implicito tra i due osservatori circa il grado di naturalezza della collisione. Questo disaccordo tra osservatori viene definito "disaccordo spurio", ovvero una divergenza tra osservatori che dipende da una discrepanza tra maniche piuttosto che da una reale disaccordo sulla plausibilità.

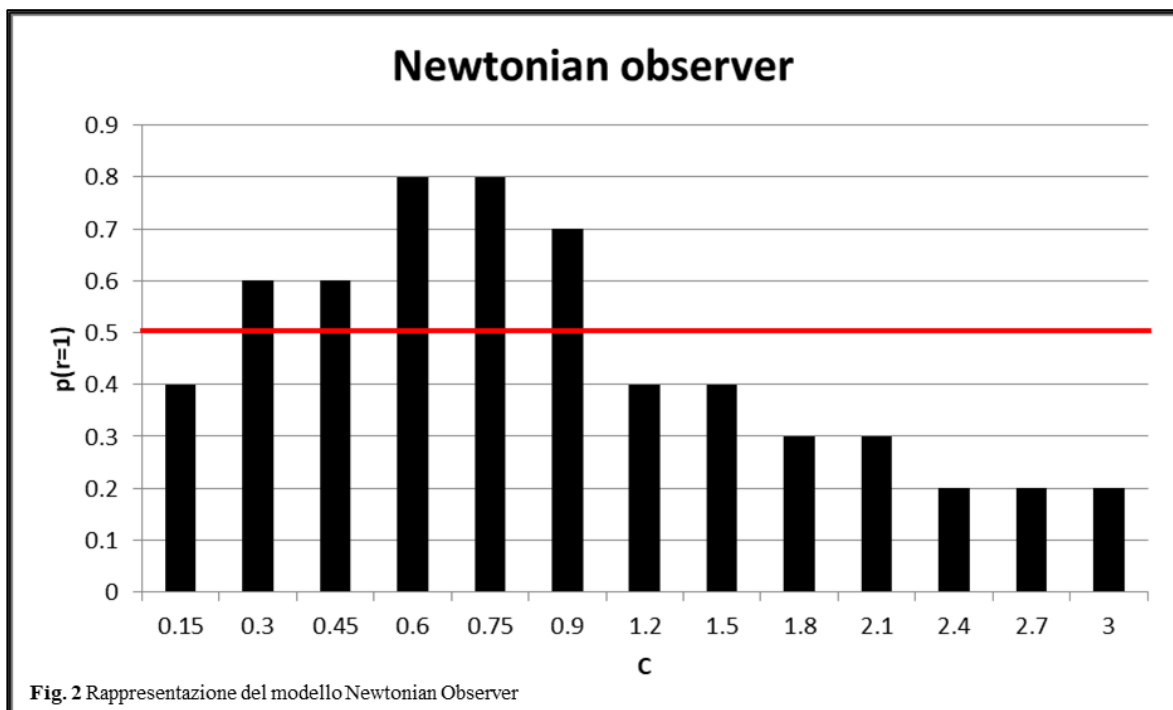
Il modello della stima della manica ha il compito di correggere le risposte degli osservatori, eliminando il problema dei disaccordi spuri (Spoto et al. 2021; Nucci et al., 2021)

2.6 Definizione modelli di riferimento

2.6.1 The Newtonian Observer

Una delle ipotesi poste dai ricercatori, come si è visto, è legata all'internalizzazione delle leggi fisiche (Shepard, 1984,1994) per riuscire a interpretare i cambiamenti e i fenomeni dell'ambiente, coerentemente al “*Noisy Newton Model*” (Sanborn et al., 2013).

Per questo motivo, l'idea alla base del modello Newtonian Observer è che l'osservatore risponda coerentemente con le leggi internalizzate, attribuendo ai corpi coinvolti nella collisione un livello relativamente elevato di elasticità C (assunto plausibile per corpi apparentemente rigidi come i quadratini utilizzati nei task sperimentali). Secondo questo modello, quindi, la massima impressione di naturalezza/causalità si ha per valori di C di 0.6 – 0.75. L'impressione diminuisce tanto più ci si allontana da questi valori.



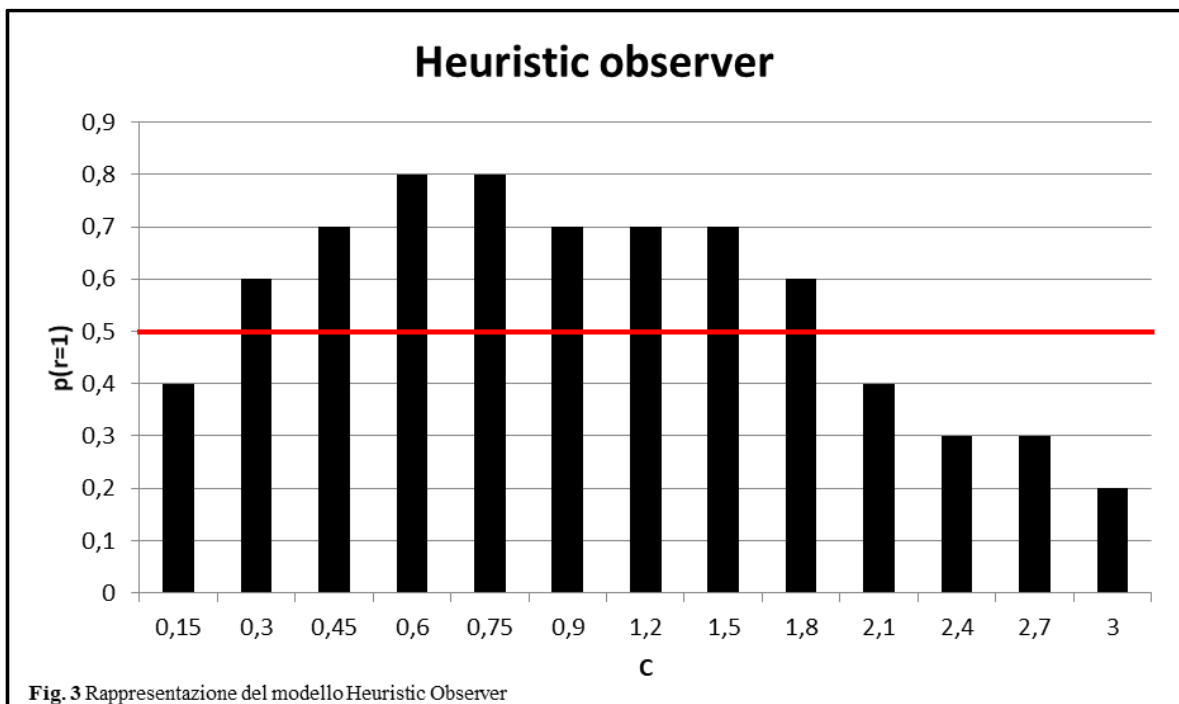
Come si può evincere dalla Fig. 2, i giudizi di naturalezza/causalità che superano la soglia 0.5 (e che quindi ricevono risposta “naturale/causato”) sono tutti quelli fisicamente plausibili

($0.3 \leq C \leq 0.9$), eccetto il valore più basso di 0.15: tale valore di C è presente solo in oggetti estremamente inelastici, ed è sostanzialmente implausibile nel caso di collisioni tra corpi apparentemente rigidi come i quadratini presentati nei nostri esperimenti. Considerando quindi che solo i valori fisicamente plausibili dovrebbero indurre a un giudizio di naturalezza/causalità, nessun valore $C > 1$ porta a una risposta “naturale/causato”. Risulta quindi evidente come, rispetto ai fattori manipolati in questo esperimento, le previsioni di questo modello siano condizionate unicamente dal parametro C , mentre non risentano della variazione dei fattori u_A e m_R .

2.6.2 The Heuristic Observer

Il modello prevede che l'osservatore risponda secondo un'euristica approssimativa, come visto nei diversi studi analizzati, seguendo in maniera parziale le leggi fisiche Newtoniane. Per stabilire entro quali valori di C una persona possa giudicare plausibile una collisione, si fa riferimento ai risultati emersi dal lavoro di Vicovaro e Burigana (2016): per sfere dello stesso materiale – e, quindi, di uguale massa - si è notato come i partecipanti considerassero come plausibili anche collisioni con un coefficiente di elasticità troppo alto per essere fisicamente plausibili (ovvero per $C > 1$), in particolare per quelle sfere considerate di un materiale abbastanza elastico come il legno.

Si assume, quindi, che l'osservatore risponda "naturale/causato" per un range di naturalezza tra 0.3 e 1.8. Si può perciò notare che, rispetto al modello precedente, la distribuzione di probabilità di risposta è leggermente più aperta e decresce in modo più graduale all'aumentare di C . Come nel caso del modello precedente, anche questo modello si basa sull'assunto che i giudizi degli osservatori siano guidati dal valore di C , e che non risentano dei fattori u_A e m_R .



2.6.3 The Michottean Observer

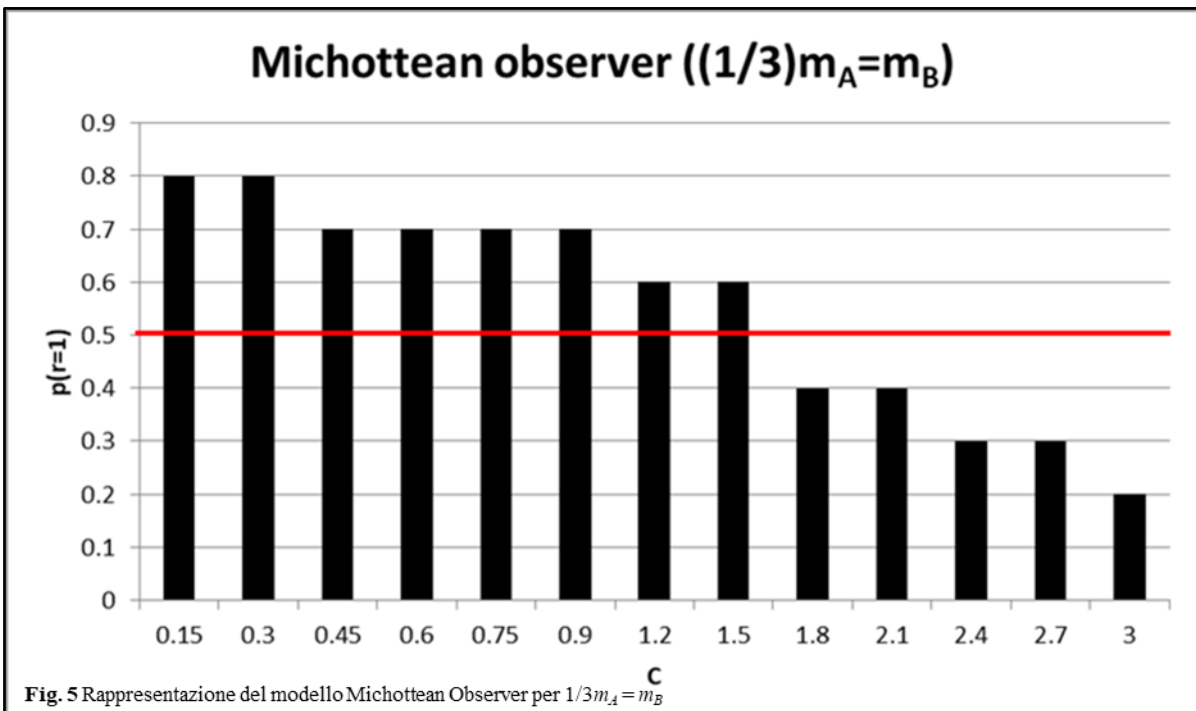
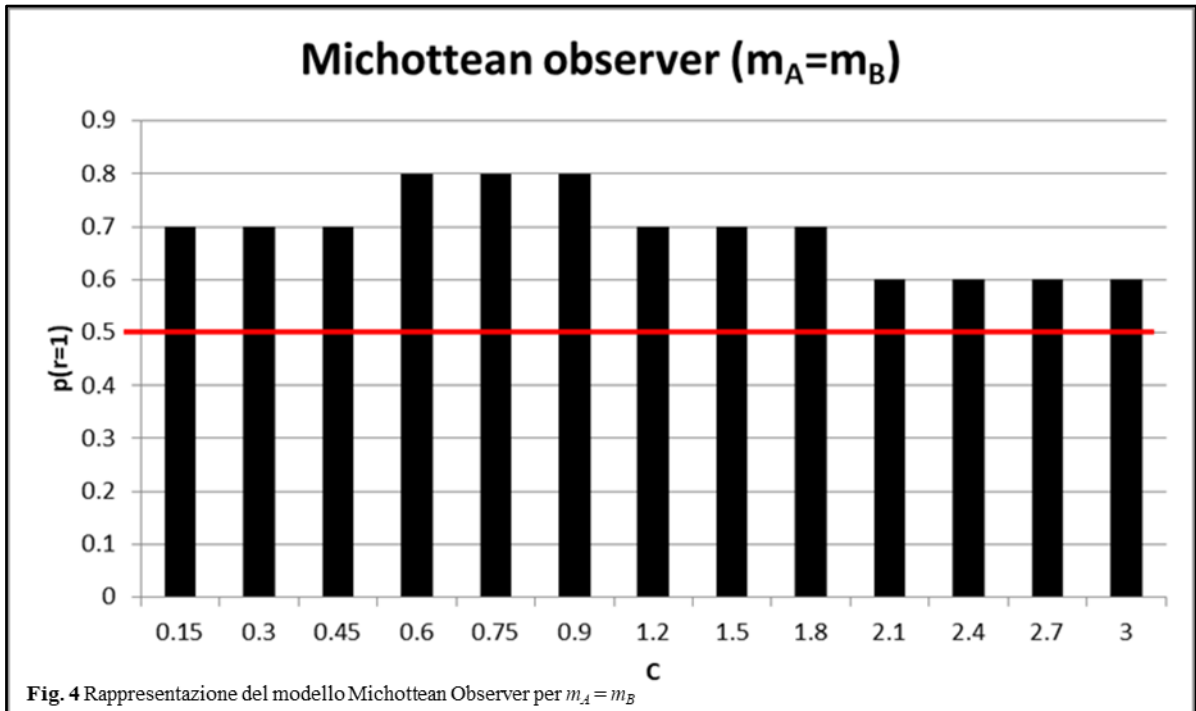
Secondo questo modello, l'osservatore risponde "naturale/causato" solo quando lo stimolo dà origine al launching effect (Michotte, 1963), quindi quando $v_B \leq 2u_A$ e non più per i valori fisicamente plausibili di C .

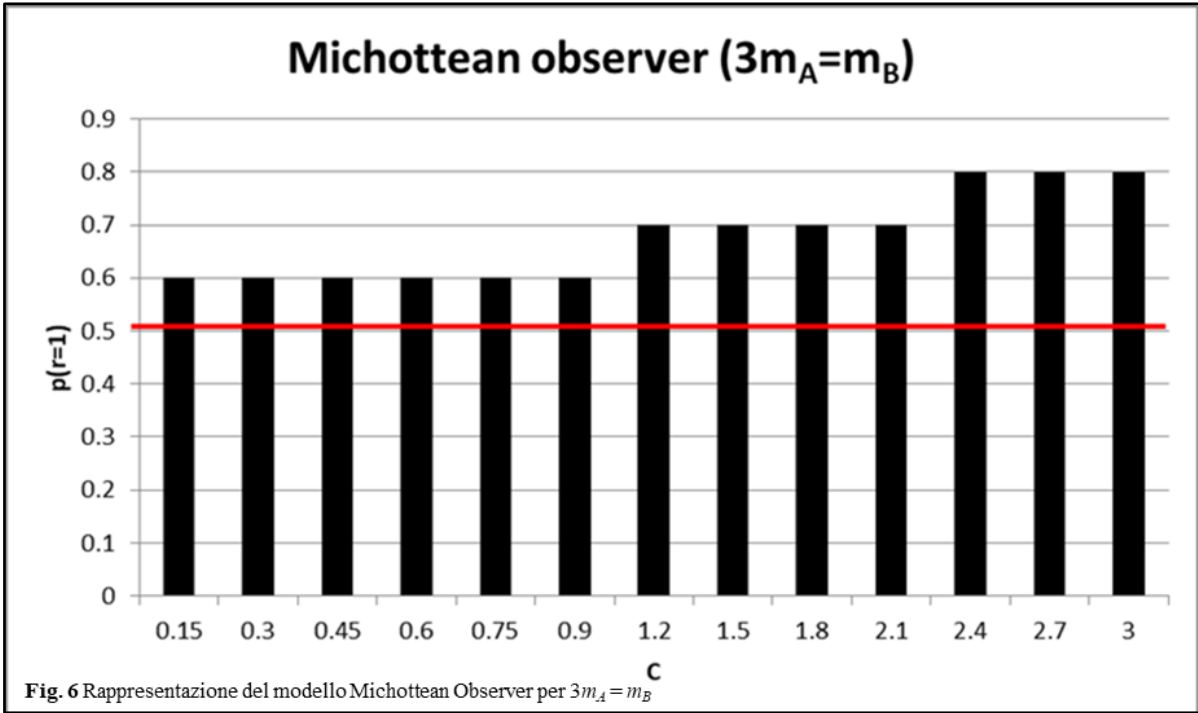
Pertanto, il presupposto è che l'impressione ottimale di naturalezza/causalità si ottenga quando la velocità post-collisione di B è simile ma leggermente più bassa rispetto alla velocità pre-collisione di A . L'impressione diventa man mano meno buona tanto più il

rapporto tra v_B e u_A si discosta da 1, soprattutto in senso positivo (ovvero $v_B > u_A$). La probabilità di risposta “naturale/causato” è data dal seguente schema:

- 0.8 quando $0.8u_A \leq v_B \leq u_A$
- 0.7 quando $0.5u_A < v_B < 0.8u_A$ oppure $u_A < v_B < 1.5u_A$
- 0.6 quando $0 < v_B \leq 0.5u_A$ oppure $1.5u_A \leq v_B \leq 2u_A$
- 0.4 quando $2u_A < v_B < 2.5u_A$
- 0.3 quando $2.5u_A \leq v_B < 3u_A$
- 0.2 quando $3u_A \leq v_B$

Come accennato sopra, questo modello non si basa sull'idea che il parametro rilevante per la risposta dell'osservatore sia C , ma la relazione tra u_A e v_B . Dunque prevede che l'effetto di C sul giudizio di collisione sia modulato da m_R , nel modo mostrato dai seguenti grafici. Infatti, come mostrato nelle equazioni da (6) a (11), il rapporto tra u_A e v_B varia al variare di m_R . Dunque, a parità di altri fattori, a diversi valori di m_R corrisponderanno diversi rapporti tra u_A e v_B .





CAPITOLO 3

Risultati e discussioni

3.1 Metodologia di analisi

Nei tre esperimenti presentati, le risposte dei partecipanti vengono confrontate con le previsioni dei modelli di riferimento.

Deve essere tenuto in considerazione, quindi, che ognuno dei modelli si basa sull'assunto che, per ciascun trial, l'osservatore formuli un giudizio implicito di naturalezza/causalità. Questo si esprime su una scala continua da 0 a 1, dove 0 corrisponde a “completamente innaturale/non causale” mentre 1 corrisponde a “del tutto naturale/causato”. Dal giudizio implicito si passa al giudizio esplicito attraverso una semplice regola di risposta, per cui l'osservatore coinvolto risponde naturale/causale ogni volta che il giudizio implicito raggiunge una certa soglia.

Per formulare le previsioni derivate dai diversi modelli, ci si basa sull'assunto che la soglia dell'osservatore ideale corrisponda a 0.5. Questo implica che l'osservatore ideale risponda 1 ogniqualvolta il giudizio implicito è maggiore di 0.5, mentre risponda 0 se il giudizio è compreso tra 0 e 0.5. Le previsioni per ogni singolo modello sono rappresentate nelle Fig. 2-6, con un valore di soglia di 0.5 – rappresentato da una linea rossa – che indica il valore minimo oltre il quale una persona risponde 1 invece che 0. Ciascun modello, quindi, formula una previsione dicotomica per ciascun trial sperimentale, che poi viene confrontata con le risposte aggiustate – mediante il modello della manica – dei partecipanti.

Per comprendere, coerentemente alle ipotesi di ricerca, secondo quale modello una persona interpreta e spiega la plausibilità di una collisione, si confrontano le risposte del partecipante – aggiustate per il modello della manica (Par. 2.5) – con le previsioni di ciascun modello. Questo tipo di confronto è possibile in quanto, per ciascuna collisione presentata ai partecipanti, viene derivata una previsione da ciascun modello. Si ottengono perciò, per ognuno dei modelli, previsioni per ognuno degli stimoli presentati. Ciascuna previsione è confrontata con ognuna delle risposte date dai partecipanti, ottenendo così un livello d'accordo per ciascuna coppia modello-partecipante. Per quantificare il livello di accordo viene utilizzata la κ di Cohen (1960): è un indice statistico utilizzato per valutare l'accordo tra coppie di giudici su una serie di n eventi o scenari, tenendo in considerazione la probabilità di accordo dovuta al caso. Il valore di questo indice è dato dal rapporto tra la differenza di accordi osservati e accordi attesi (sugli n scenari) e la differenza tra il totale n delle osservazioni e gli accordi attesi e può variare fra ± 1 , per cui:

- “+1” è il massimo accordo tra i giudici (i.e., i giudici forniscono la medesima risposta su tutti gli n scenari)
- “-1” rappresenta il completo disaccordo tra i giudici (i.e., i giudici forniscono una risposta diversa su tutti gli n scenari)
- “0” è indice di completa casualità nelle risposte, il 50% di queste saranno accordi mentre l'altro 50% disaccordi

Nella ricerca vengono confrontati, perciò, gli accordi tra osservatore ideale (ovvero, il tipo di risposta coerente alle previsioni di ognuno dei tre modelli) e osservatore reale, per comprendere quale sia il modello con il quale gli osservatori presentano un accordo più alto.

3.2 Stima livello di accordo tra osservatori e i modelli di riferimento

Dopo gli aggiustamenti svolti legati alla manica, si sono testati i livelli di accordo tra gli osservatori e le previsioni dei 3 modelli. Il risultato è visibile in Fig. 7

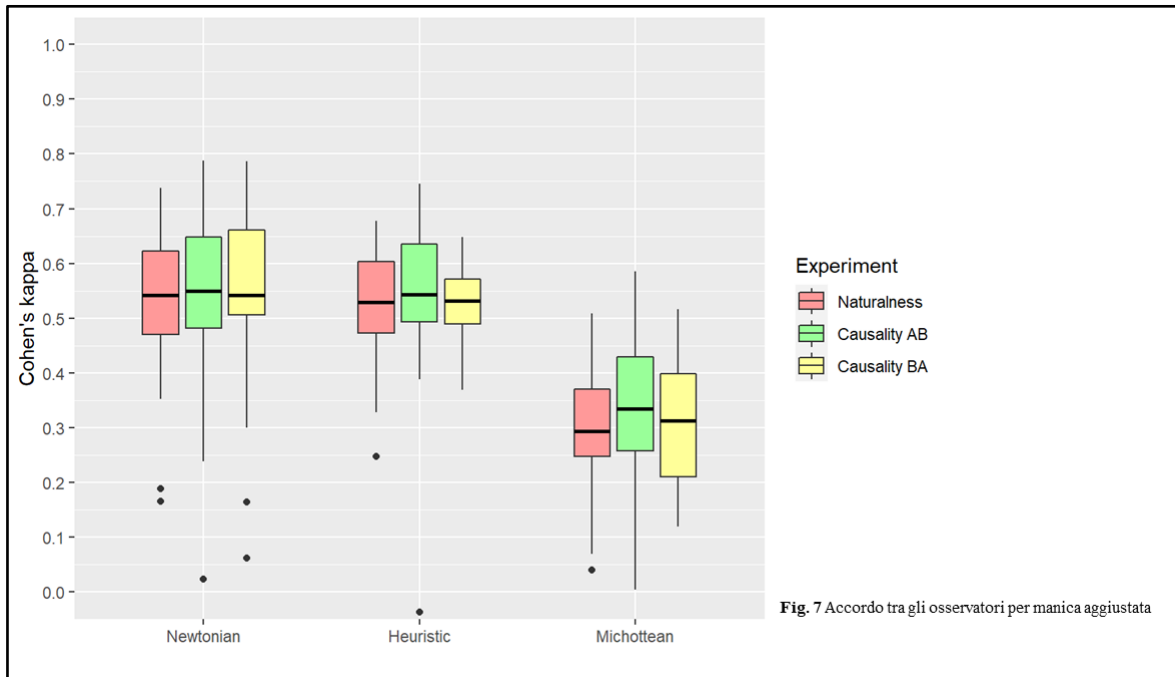


Fig. 7 Accordo tra gli osservatori per manica aggiustata

Per svolgere le analisi sui k di Cohen medi si sono rimossi gli outliers indicati nel boxplot sopra, togliendo i dati di tutti i partecipanti che sono outliers per almeno uno dei modelli. Ciò ha portato alla rimozione dei dati di 7 soggetti in totale (4 nell'esperimento "Naturalness", 1 nell'esperimento "Causality AB" e 2 nell'esperimento "Causality BA").

Per verificare eventuali differenze tra i gruppi, si è svolta una ANOVA mista a due vie sui κ di Cohen medi con il tipo di Modello come fattore entro i partecipanti (Newtonian, Heuristic, Michottean) e il tipo di Esperimento come fattore tra i partecipanti (Naturalness, Causality AB, Causality BA). Dai risultati è emerso che il main effect del Modello era statisticamente significativo ($F_{(2,168)} = 225.62, p < 0.001, \eta_G^2 = 0.54$), mentre non emergono differenze significative se si considerano l'effetto principale del fattore Esperimento ($F_{(2,84)} = 0.55,$

$p > 0.05, \eta_G^2 = 0.007$) e l'interazione tra i due fattori ($F_{(4,168)} = 0.56, p > 0.05, \eta_G^2 = 0.006$).

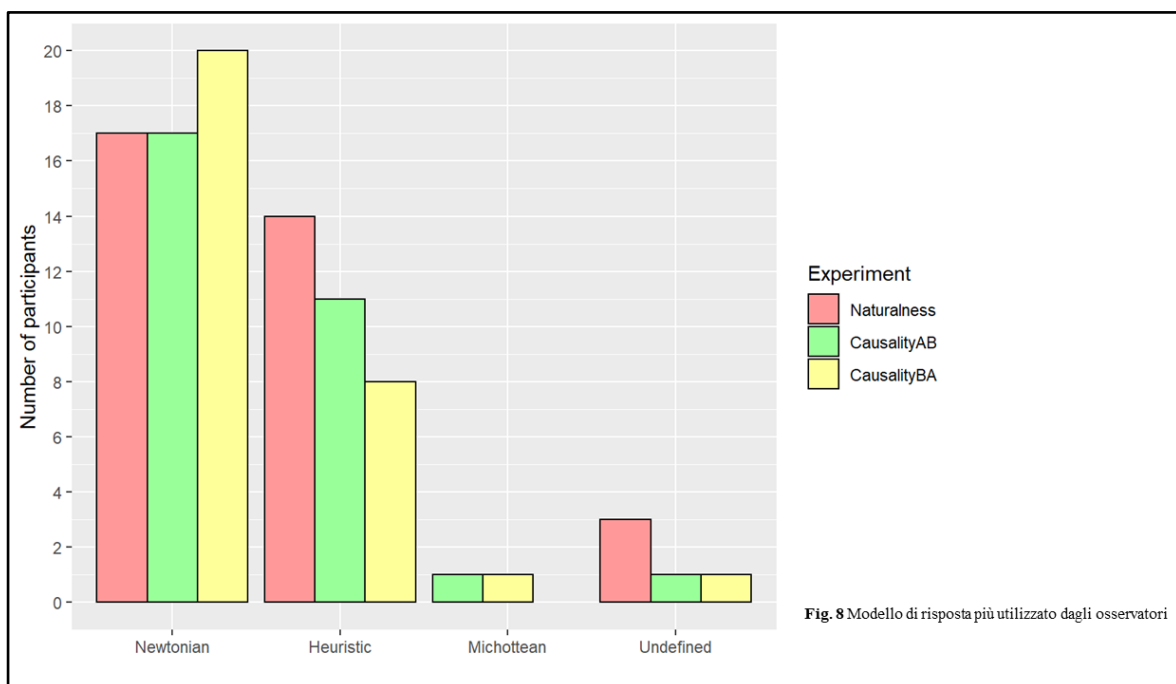
Questa ANOVA indica perciò che è il tipo di modello che condiziona il grado di accordo tra osservatore reale e osservatore ideale, in quanto è proprio al variare del modello considerato che cambiano gli accordi. Infatti, se si tiene in considerazione l'analisi grafica (Fig. 7) si può vedere come la variabile dipendente non risenta né del fattore Esperimento né dell'interazione tra i fattori considerati.

Per comprendere in che modo il tipo di modello influenza i valori della κ di Cohen, si sono svolti dei confronti post-hoc con metodo di correzione FDR (*False Discovery Rate*, Pastore et al., 2005) sulle medie dei valori di κ per ciascun modello, senza tenere conto del fattore Esperimento. I risultati di questi confronti hanno mostrato come sia il modello Newtonian Observer ($M = 79.1\%$, $SD = 5.44$) che il modello Heuristic Observer ($M = 78.2\%$, $SD = 4.13$) abbiano prestazioni migliori rispetto al modello Michottean Observer ($M = 75.8\%$, $SD = 6.04$) - per entrambi $p < 0.001$ - mentre non emerge nessuna differenza significativa tra i primi due ($p > 0.05$).

Si è svolta una ulteriore analisi per capire quale fosse il modello di risposta più utilizzato dagli osservatori in ciascun compito, cercando – perciò – di attribuire un modello di risposta preferito per ciascun osservatore. Per ciascun partecipante i , il modello di risposta preferito è quello corrispondente al valore più alto di κ (da qui, $\max(\text{model} \bar{\kappa}_{xi})$). Nonostante ciò, il solo fatto che le risposte dell'osservatore siano più coerenti con un certo modello rispetto agli altri due non sembra sufficiente per concludere che quel partecipante abbia utilizzato quel modello di risposta. Infatti, nel caso in cui $\max(\text{model} \bar{\kappa}_{xi})$ fosse molto basso, ciò indicherebbe una carenza di accordo – e, quindi, di consistenza – tra il modello selezionato e le risposte del partecipante. Stabiliamo dunque di attribuire un certo modello di risposta x al

partecipante i quando $\max (model\bar{k}_{xi}) \geq 0.4$, valore scelto arbitrariamente, e che corrisponde a circa il 70% di accordo tra le risposte dell'osservatore e le previsioni del modello. Se $\max (model\bar{k}_{xi}) < 0.4$, allora il modello di risposta per quel partecipante viene classificato come "undefined". In questo tipo di analisi sono stati tenuti in considerazione anche gli outliers in precedenza esclusi.

Dalle analisi è emerso come il modello Heuristic Observer e il Newtonian Observer siano quelli più utilizzati dai partecipanti, con una netta preferenza del modello Newtonian Observer (quest'ultimo presenta infatti le preferenze del 57% degli osservatori mentre il primo il 35%). Entrambi i modelli, come si può vedere in Fig. 8, sono comunque di gran lunga preferiti rispetto al modello Michottean Observer (2%).



Dalle analisi svolte emerge come non sia fondamentale la richiesta fatta (ovvero giudicare naturalezza/causalità di una collisione) ma il modello tramite cui il partecipante giudica un evento. Il fatto che i modelli più utilizzati e più coerenti a un osservatore ideale siano quelli del Newtonian e Heuristic Observer può dipendere dal fatto che una persona reale tende ad

avere un giudizio che non implica necessariamente l'integrazione di molteplici variabili fisiche (nel caso di questo esperimento C , u_A e m_R) come ipotizzato, ad esempio, da Anderson (2013) ma ci si potrebbe attenere a solo uno dei parametri informativi fondamentali per l'interpretazione dell'evento (Proffitt & Gildea, 1989).

Quello che accomuna i due modelli sopracitati è il modo in cui il parametro C dovrebbe condizionare l'interpretazione dei risultati, senza risentire del rapporto tra masse e la velocità pre-collisione di A . Questo, infatti, sarebbe coerente con i risultati emersi in quanto le persone rispondono ai quesiti sperimentali considerando valori più stringenti di C (si vedano Fig. 2-3), rispetto a quanto ci si aspetterebbe dal modello del Michottean Observer (Fig. 4-6) per cui un osservatore ideale risponderebbe molto più facilmente "1" (ovvero che una collisione è plausibile in naturalezza/causalità) in quanto non è più il coefficiente di elasticità a essere fondamentale nell'interpretazione di un evento ma il l'interazione tra il rapporto delle masse (m_R) e la velocità pre-collisione di A (u_A).

Un elemento interessante è il fatto che, se si considera quale potrebbe essere il modello preferito dai partecipanti, sembra che questi preferiscano avere un approccio più coerente alle leggi newtoniane e, quindi, con un range di valori di C plausibili per un giudizio di naturalezza/causalità molto più stringente rispetto a quello degli altri modelli.

3.3 Stima livello di inter-observer agreement

L'analisi dei livelli di accordo tra gli osservatori consente di testare la coerenza e la stabilità dei giudizi di naturalezza o causalità tra i diversi partecipanti, ovvero capire quanto concordano tra loro nel giudicare naturale/causale un determinato stimolo. Svolgere questo tipo di analisi consente di valutare quanto sono "universali" questi giudizi in relazione al tipo di modello considerato.

L'inter-rater agreement viene calcolato in termini di κ di Cohen per ciascuna delle coppie sperimentali (per calcolare il numero totale di coppie si considera $\frac{n*(n-1)}{2}$), avendo quindi:

- $34 * 33/2 = 561$ coppie di raters nell'esperimento "Naturalezza"
- $30 * 29/2 = 435$ coppie di raters nell'esperimento "Causalità AB"
- $30 * 29/2 = 435$ coppie di raters nell'esperimento "Causalità BA"

In termini formali, si indica l'inter-rater agreement tra l'osservatore i e l'osservatore j come κ_{ij} e si avrà $\kappa_{ij} = \kappa(\langle C, u_A, m_R \rangle_i, \langle C, u_A, m_R \rangle_j)$, dove $\langle C, u_A, m_R \rangle_i$ è un vettore ordinato che contiene le risposte del partecipante i ai 78 stimoli derivanti dalla combinazione dei fattori C , u_A e m_R .

Dal momento che ogni stimolo viene ripetuto due volte, il vettore di 78 elementi conterrà la media delle risposte - per ciascuno dei 78 stimoli - calcolata sulle due ripetizioni. Si possono dedurre, quindi, 3 possibili valori:

- "0" nel caso in cui il soggetto ha risposto 0 in entrambe le ripetizioni
- "0.5" se l'osservatore risponde 0 in una ripetizione e 1 nell'altra
- "1" quando il partecipante risponde 1 in entrambe le ripetizioni

Non bisogna dimenticare che $\langle C, u_A, m_R \rangle_j$ è un vettore ordinato che contiene le risposte del partecipante j agli stessi 78 stimoli.

Si avrà inoltre $\bar{\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N k_{ij}}{N*(N-1)/2}$ per cui:

- $\bar{\kappa} = 1$ indica che, per ogni possibile coppia di giudici-osservatori, i partecipanti concordano tra loro relativamente ai giudizi di naturalezza/causalità per ciascuno dei 78 stimoli presentati
- $\bar{\kappa} = 0$ indica un livello di accordo tra i partecipanti corrispondente al caso

Se i giudizi di naturalezza/causalità fossero realmente universali, ci si dovrebbe aspettare un valore di $\bar{\kappa}$ vicino ad uno. Tutti i calcoli vengono svolti sui giudizi aggiustati per effetto dell'applicazione della manica, dopo aver rimosso gli outliers.

Nella Tab. 1 sono rappresentati i nove valori di $\bar{\kappa}$, dati dalle combinazioni dei tre modelli di riferimento e dei tre esperimenti.

<i>k di Cohen medi</i>	Newtonian Observer	Heuristic Observer	Michottean Observer
Naturalezza	0.322	0.294	0.139
Causalità AB	0.313	0.303	0.176
Causalità BA	0.322	0.292	0.141

Tab. 1 Inter-rater agreement medi

I risultati mostrano livelli di inter-rater agreement compresi nel range 0.313-0.322 per il modello Newtonian Observer, nel range 0.292-0.303 per il modello Heuristic Observer e nel range 0.139-0.176 per il modello Michottean Observer.

Il fatto che emergano livelli di accordo così bassi per ogni modello fa trasparire l'elevata variabilità individuale nelle risposte. L'aderenza a ciascun modello non sembra dunque sufficientemente forte da determinare risposte univoche da parte dei partecipanti.

Come visto nel paragrafo precedente, anche in questo caso il modello del Michottean Observer presenta punteggi molto bassi di accordo mentre invece i primi due modelli hanno punteggi relativamente più alti.

L'incognita più grande è quella legata però a quale fattore condiziona di più la percezione e il giudizio di una collisione: alcuni studi (Michotte, 1963; Anderson, 201; Natsoulas, 1961; Halloun & Hestenes, 1985), come visto, ipotizzano che la percezione di un evento dipenda dalla integrazione di più e diverse variabili di input, mentre altre ricerche si concentrano sulla possibilità che solo un parametro – considerato fondamentale dall'osservatore – possa condizionare la risposta di plausibilità (Proffitt & Gilden, 1989).

3.3 Analisi effetti m_R , u_A , C

Per comprendere quale fattore - tra quelli considerati in questa ricerca - influisca di più sulla risposta di un osservatore, si è svolta un'analisi di regressione logistica testando, appunto, il possibile effetto dei tre fattori sperimentali C , u_A e m_R sulle risposte dei partecipanti per ciascun compito sperimentale.

Le analisi vengono svolte sulle risposte aggiustate secondo il modello Newtonian Observer in quanto è quello che ha dimostrato performance leggermente migliori.

Lo svolgimento di queste analisi è fondamentale per comprendere le origini delle discrepanze tra osservatore reale e osservatore ideale rispetto al modello di riferimento. Come visto (Par. 2.6.1), secondo il modello Newtonian Observer le risposte dei partecipanti nei tre compiti sperimentali non dovrebbero risentire degli effetti dei fattori u_A e m_R . Di fatti, se le risposte dei partecipanti fossero allineate alle leggi newtoniane (“esatte” o “euristiche”, par. 2.6.1 – 2.6.2) allora dovrebbero dipendere dalla variabile C , mentre dovrebbero essere indipendenti da u_A e m_R .

Per le analisi, viene considerato anche il fattore “Esperimento”, per verificare se i partecipanti rispondono nello stesso modo in tutte e tre le situazioni sperimentali oppure se ci sono delle differenze sistematiche.

3.3.1 Giudizio di Naturalezza

L'analisi grafica (Fig. 9) mostra la proporzione media di risposte ‘naturale’ per i tre diversi livelli di m_R e per i due livelli di velocità. Il grafico suggerisce che le risposte dei soggetti sono tendenzialmente coerenti con le previsioni della fisica Newtoniana, infatti la probabilità di rispondere “Naturale” tende ad essere più alta quando C è compreso tra 0.3 e 0.9, mentre

si assiste ad una netta diminuzione della probabilità di rispondere “Naturale” quando si passa da un valore plausibile di 0.9 a uno implausibile di 1.2.

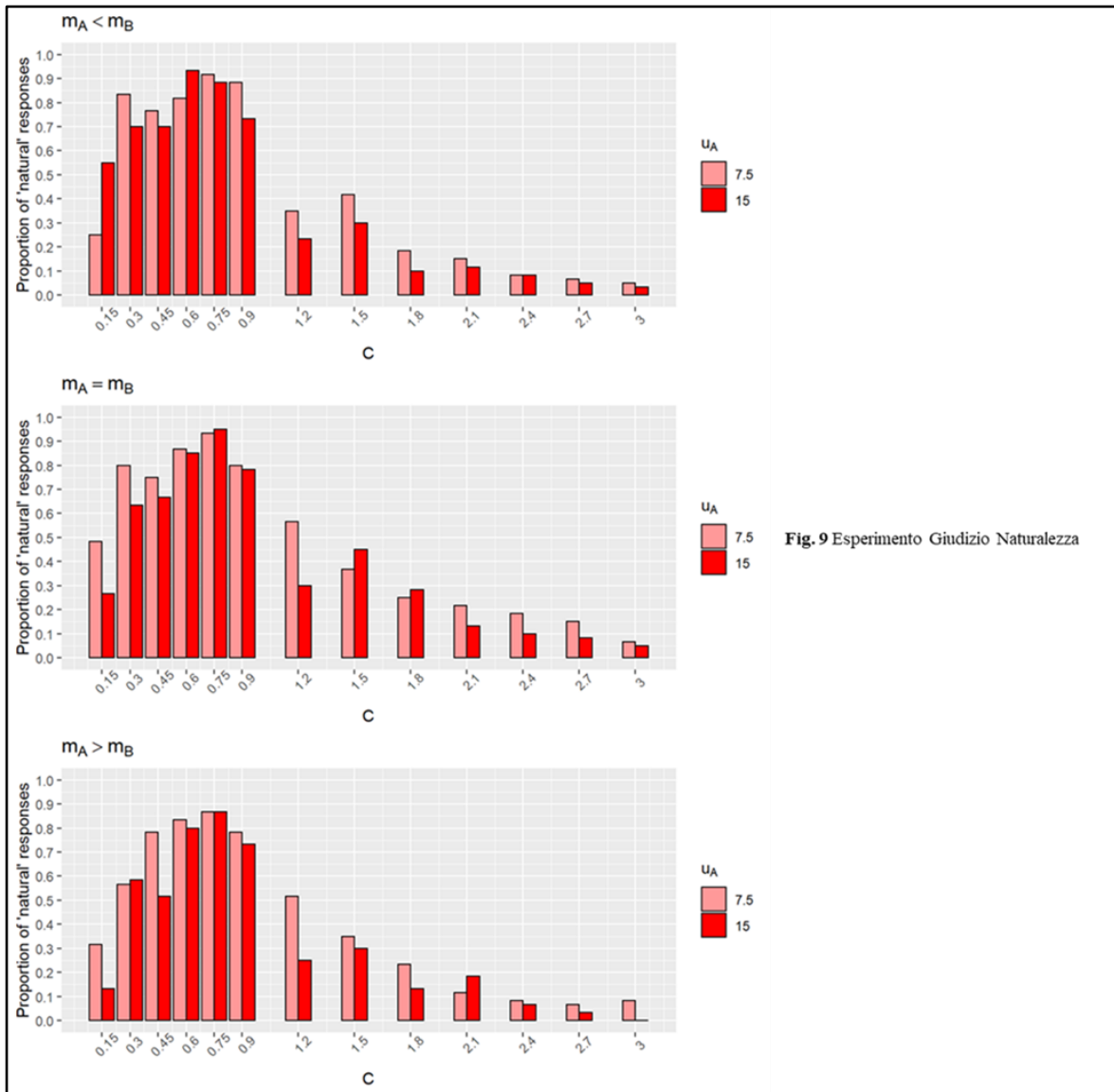


Fig.9 Esperimento Giudizio Naturalezza

Tuttavia, l’influenza di C sui giudizi di naturalezza non sembra completamente indipendente dal rapporto di massa e da u_A ; questo potrebbe spiegare la discrepanza tra le previsioni del modello e le risposte date dai partecipanti. Ad esempio, con $C = 0.15$ la proporzione di risposte “Naturale” è più alta per $u_A = 15$ cm/s che per $u_A = 7.5$ cm/s quando $m_A < m_B$, mentre è vero il contrario quando $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$. Si può notare, inoltre, come i

valori fisicamente implausibili $C = 1.2$ e $C = 1.5$ generino una proporzione relativamente alta di risposte “Naturale” soprattutto con $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ e $m_A = m_B$.

Per testare l’invarianza dei giudizi di naturalezza rispetto a u_A , si è svolta un’analisi di regressione logistica sui giudizi di naturalezza con i predittori u_A e:

- È emerso come per $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$ l’effetto di u_A è statisticamente significativo (rispettivamente, $p < 0.01$ e $p < 0.001$), mentre per $m_A < m_B$ non è statisticamente significativo ($p > 0.1$). In tutti e tre i casi si osserva una tendenza alla diminuzione della probabilità di risposta “Naturale” passando dal valore più basso a quello più alto di u_A (odds ratios 0.853, 0.697, 0.662 per – rispettivamente – $m_A < m_B$, $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$). Questo tipo di risultato suggerisce che c’è una varianza dei giudizi di naturalezza rispetto a u_A , per cui i partecipanti mostrano una tendenza a percepire come più naturali le collisioni con una velocità pre-collisione di A relativamente bassa
- L’effetto di C è statisticamente significativo ($p < 0.001$ per tutti e tre i livelli di m_R) e di forza confrontabile nelle tre condizioni (odds ratios 0.202, 0.272, 0.281 per – rispettivamente – $m_A < m_B$, $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$).

Per testare l’invarianza dei giudizi di naturalezza rispetto al rapporto di massa (m_R), per ciascuno dei due livelli di u_A , è stata condotta una analisi di regressione logistica sui giudizi di naturalezza con predittori m_R e C :

- L’effetto di m_R è statisticamente significativo per entrambi i livelli di u_A (ambidue $p < 0.01$), confermando che i giudizi di naturalezza non sono invarianti rispetto al rapporto di massa. Nello specifico, quando $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ l’odds ratio per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.32 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 0.93,

mentre nel caso di $u_A = 15 \text{ cm/s}$ l'odds ratio per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.05 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 0.70

- L'effetto di C sui giudizi di naturalezza è statisticamente significativo per entrambi i livelli di velocità pre-collisione di A (entrambi i $p < 0.001$, $Odds\ ratios_{(u_A=7.5\text{cm/s})} = 0.254$ e $Odds\ ratios_{(u_A=15\text{cm/s})} = 0.248$).

Sostanzialmente, a parità di altri fattori è più probabile che una collisione venga giudicata naturale quando $m_A = m_B$, mentre $m_A > m_B$ sembra non favorire l'impressione di naturalezza.

Perciò, se si considerano complessivamente gli effetti di u_A e m_R sui giudizi di naturalezza, si può concludere che questi erano influenzati dalla velocità assoluta di B dopo la collisione. Infatti la combinazione di valori che sembra maggiormente sfavorire l'impressione di naturalezza è la velocità pre-collisione di A relativamente alta e $m_A > m_B$. Entrambe queste condizioni sono associate a una velocità di B relativamente alta che, quindi, sembra sfavorire leggermente la percezione di naturalezza, nonostante ci si trovi in un contesto in cui il realismo fisico della collisione dovrebbe essere fondamentale.

3.3.2 Giudizio di Causalità AB

L'ispezione dei grafici (Fig. 10) mostra un pattern abbastanza simile a quello ottenuto per il giudizio di naturalezza, anche se l'effetto della variabile u_A nella condizione $m_A > m_B$ sembra più piccolo rispetto a quello ottenuto per il giudizio di naturalezza.

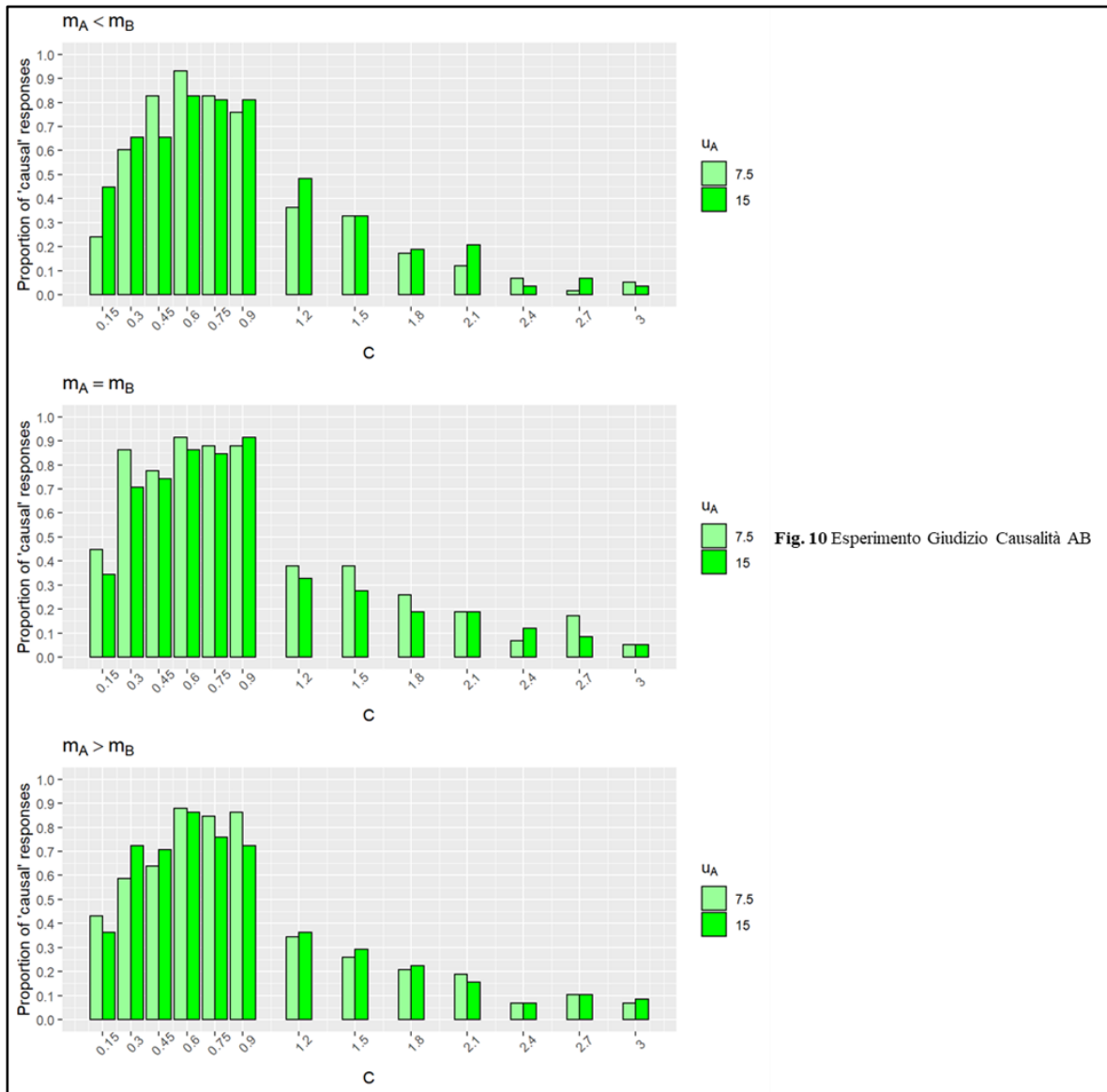


Fig. 10 Esperimento Giudizio Causalità AB

Per testare l'invarianza dei giudizi di causalità AB rispetto a u_A , per ciascuno dei tre livelli di m_R si è svolta un'analisi di regressione logistica sui giudizi di casualità con i predittori u_A e C :

- L'effetto di u_A non risulta statisticamente significativo né per $m_A > m_B$ ($p > 0.1$, *odds ratio* = 0.979), né per $m_A < m_B$ ($p > 0.1$, *odds ratio* = 1.11). È significativo, invece, nel caso di $m_A = m_B$ ($p < 0.05$, *odds ratio* = 0.771). In generale si può perciò dire che i risultati indicano una sostanziale invarianza dei giudizi di causalità per il fattore considerato
- L'effetto di C è sempre statisticamente significativo ($p < 0.001$ per tutti e tre i livelli di m_R) e di forza confrontabile nelle tre condizioni (*odds ratios* 0.232, 0.236, 0.266 per – rispettivamente – $m_A < m_B$, $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$).

Per testare l'invarianza dei giudizi di causalità rispetto a m_R , per ciascuno dei due livelli di u_A , è stata condotta una analisi di regressione logistica sui giudizi di causalità con predittori m_R e C :

- L'effetto di m_R è statisticamente significativo per $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ ($p < 0.01$) ma non per $u_A = 15 \text{ cm/s}$ ($p > 0.1$). Quando $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ l'*odds ratio* per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.50 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.08, mentre quando $u_A = 15 \text{ cm/s}$ l'*odds ratio* per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.04 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 0.95
- L'effetto di C sui giudizi di causalità è statisticamente significativo per entrambi i livelli di velocità pre-collisione di A (entrambi i $p < 0.001$, *Odds ratios*_($u_A=7.5\text{cm/s}$) = 0.240 e *Odds ratios*_($u_A=15\text{cm/s}$) = 0.252).

Il fatto che il rapporto di massa sembri avere un effetto sui giudizi di causalità solo per un livello di velocità consente di concludere che i giudizi di causalità AB siano relativamente invarianti rispetto al rapporto di massa.

3.3.3 Giudizio di Causalità BA

L'analisi grafica (Fig. 11) mostra una differenza rilevante rispetto alla condizione "Causalità AB ". Di fatti, nella condizione $m_A < m_B$ tutti i valori di C compresi nel range 0.3-0.9 danno origine a giudizi di causalità molto elevati, mentre nel caso di giudizi di causalità AB si è registrato un graduale incremento della probabilità di risposta "causale" entro quel range. Diversamente accade nel caso della condizione $m_A > m_B$, indicando che – al di là del realismo fisico della animazione – la presenza di un rimbalzo all'indietro di A è una condizione favorevole alla percezione di un rapporto causale tra B e A .

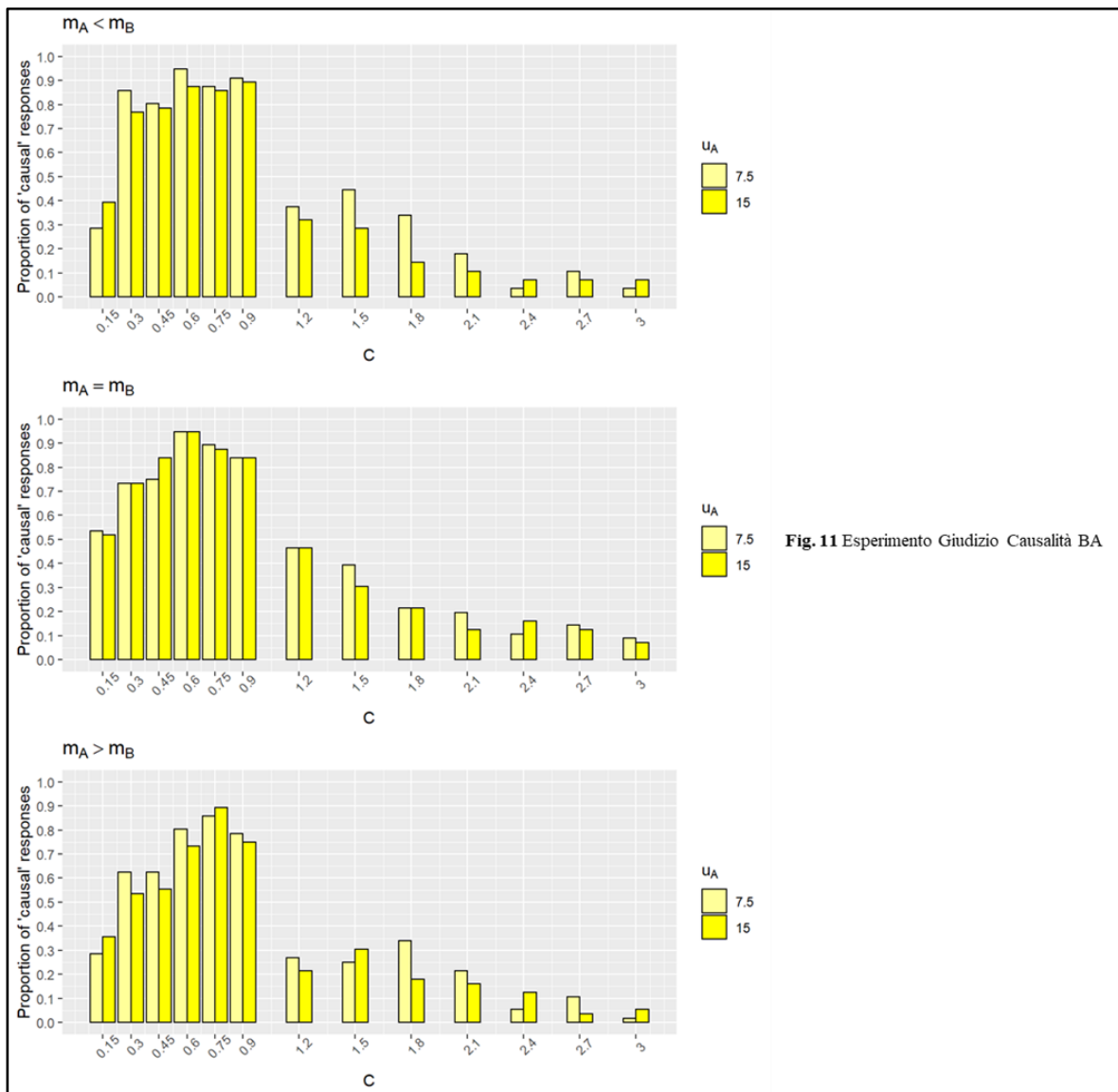


Fig. 11 Esperimento Giudizio Causalità BA

Per testare l'invarianza dei giudizi di causalità BA rispetto a u_A , per ciascuno dei tre livelli di m_R si è svolta un'analisi di regressione logistica sui giudizi di casualità con i predittori u_A e C :

- L'effetto di u_A non risulta statisticamente significativo né per $m_A > m_B$ ($p > 0.1$, *odds ratio* = 0.87), né per $m_A < m_B$ ($p > 0.1$, *odds ratio* = 0.78) e nemmeno nel caso di $m_A = m_B$ ($p > 0.1$, *odds ratio* = 0.96). In generale, i risultati indicano invarianza dei giudizi di causalità BA rispetto a u_A
- L'effetto di C è sempre statisticamente significativo ($p < 0.001$ per tutti e tre i livelli di m_R) e di forza confrontabile nelle tre condizioni (*odds ratios* 0.209, 0.225, 0.295 per – rispettivamente – $m_A < m_B$, $m_A = m_B$ e $m_A > m_B$).

Per testare l'invarianza dei giudizi di causalità rispetto a m_R , per ciascuno dei due livelli di u_A , è stata condotta una analisi di regressione logistica sui giudizi di causalità con predittori m_R e C :

- L'effetto di m_R è statisticamente significativo sia per $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ ($p < 0.001$) sia per $u_A = 15 \text{ cm/s}$ ($p < 0.001$). Quando $u_A = 7.5 \text{ cm/s}$ l'*odds ratio* per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.04 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 0.67, mentre quando $u_A = 15 \text{ cm/s}$ l'*odds ratio* per ($m_A = m_B$ vs $m_A < m_B$) = 1.28 e per ($m_A > m_B$ vs $m_A < m_B$) = 0.722
- L'effetto di C sui giudizi di causalità è statisticamente significativo per entrambi i livelli di velocità pre-collisione di A (entrambi i $p < 0.001$, *Odds ratios*_($u_A=7.5\text{cm/s}$) = 0.251 e *Odds ratios*_($u_A=15\text{cm/s}$) = 0.233).

I risultati confermano quanto detto all'inizio: a parità di altri fattori, è più probabile percepire una relazione causale da B ad A quando $m_A < m_B$ o $m_A = m_B$ rispetto a quando $m_A >$

m_B . Questo suggerisce che il rimbalzo all'indietro di A è un importante indizio di causalità da B ad A , pur in un contesto nel quale la plausibilità fisica della collisione gioca un ruolo determinante.

CAPITOLO 4

Conclusioni della ricerca

4.1 Discussione generale

All'inizio di questa ricerca ci si è chiesto quali potessero essere i criteri che stanno alla base dell'interpretazione di collisioni tra due oggetti, di cui uno inizialmente statico (condizione necessaria per il tipo di collisione considerata nel disegno sperimentale – Fig. 1). Le risposte dei partecipanti ai trial sperimentali sono state confrontate con tre diversi modelli di risposta:

- Newtonian Observer: si è ipotizzato che, internalizzando le leggi fisiche (Shepard, 1984,1994), l'osservatore risponda ai quesiti sperimentali coerentemente a quelle stesse leggi interiorizzate
- Heuristic Observer: l'osservatore risponde ai quesiti di naturalezza/causalità seguendo in maniera parziale le leggi fisiche newtoniane (Kubricht et al., 2017) e facendo riferimento a teorie ingenue (McCloskey, 1983)
- Michottean Observer: il soggetto sperimentale si avvicina alla collisione considerandola come un fenomeno visivo, condizionato dalle proprietà della scena (Michotte, 1963). Né le conoscenze dell'osservatore relative al funzionamento delle collisioni né le proprietà dei due oggetti sono, quindi, condizioni necessarie e/o sufficienti per la percezione precisa del fenomeno

Dalle analisi svolte e dalle rispettive interpretazioni è emerso come i soggetti partecipanti abbiano risposto in maniera più coerente ai primi due modelli piuttosto che al modello Michottean Observer (Fig. 7). Tale risultato può essere legato al fatto che i soggetti tengono

fortemente in considerazione il valore del coefficiente di elasticità (C) per giudicare una collisione, coerentemente a quanto ci si aspetta dai modelli Newtonian Observer e Heuristic Observer. Ciò spiegherebbe anche l'aderenza minima al modello Michottean Observer, in quanto le previsioni a questo modello sono basate sul rapporto tra le velocità pre-collisione di A (u_A) e la velocità post-collisione di B (v_B), a loro volta influenzate dal rapporto di massa (m_R).

Confrontando i tre modelli di risposta di un osservatore ideale (Fig. 2-6) e tenendo in considerazione il modello di risposta utilizzato più frequentemente (Fig. 8) si può affermare che i partecipanti allo studio abbiano utilizzato un criterio di risposta conservativo. Ciò significa che la tendenza è stata quella di rispondere ai quesiti sperimentali (che di per sé non condizionano in maniera significativa il tipo di risposta) rimanendo il più possibile coerenti ai valori di C fisicamente plausibili. Questo orientamento alla risposta potrebbe anche giustificare la leggera differenza nel preferire il modello del Newtonian Observer rispetto all'Heuristic Observer, in quanto il primo ha un range di valori C plausibili minore – ma comunque compreso – rispetto al modello euristico.

Non si può escludere, però, che anche gli altri fattori considerati in questa ricerca (m_R e u_A) influiscano sul tipo di risposta ai quesiti sperimentali seppur non in maniera così preponderante come il coefficiente di elasticità della collisione. Questo confermerebbe quanto ipotizzato dallo studio di Proffitt & Gilden (1989), secondo cui una sola variabile fisica potrebbe condizionare – più delle altre – l'output di risposta di un osservatore. Paradossalmente, considerare e integrare più variabili nel giudicare un evento fisico potrebbe portare, però, a bias di risposta (Andrews et al., 1978; Hick, 1950).

Tali bias di risposta sono quegli elementi che portano alla discrepanza tra le risposte di un osservatore ideale e quelle di un osservatore reale (Shepard, 1987). Per quanto quest'ultimo

possa avere interiorizzato le leggi newtoniane relative a un determinato evento fisico (nel caso di questo lavoro, la collisione di due oggetti), verrà comunque condizionato da una interpretazione euristica dell'evento. Questo significa che, per quanto un osservatore (reale) possieda un buon livello di conoscenza delle leggi newtoniane, inevitabilmente il suo giudizio risentirà di quelle convinzioni legate alla propria esperienza quotidiana. A conferma di ciò, la ricerca ha dimostrato come training mirati a diminuire questi bias di risposta vadano a diminuire l'effetto di una euristica inaccurata, generando risposte più coerenti alle leggi fisiche newtoniane (Jacobs et al., 2000; Runeson et al., 2000).

Questa evidenza andrebbe, quindi, a confermare anche quanto osservato nei dati raccolti. Infatti, poco più dell'87% del campione si è rivelato possedere conoscenze quantomeno scolastiche di fisica (solo il 12% non ha mai studiato nulla che avesse a che fare con i rudimenti della materia). Ciò potrebbe spiegare la ragione per cui si è registrata una preferenza nell'utilizzo del modello Newtonian Observer: gran parte degli osservatori hanno avuto modo, studiando per più anni fisica, di diminuire i propri bias legati a credenze ingenu e di avvicinare i loro giudizi a quelli di un osservatore ideale.

Nonostante le osservazioni presentate, è da tenere in considerazione che i dati raccolti mostrano solo una discreta aderenza ai modelli proposti. Infatti i k di Cohen medi misurati sull'accordo tra gli osservatori non superano il punteggio di 0.6, evidenziando come l'accordo tra gli osservatori reali e l'osservatore ideale è moderato, ma non abbastanza alto per dire – in maniera assoluta – che uno dei tre modelli è quello utilizzato per interpretare le collisioni.

L'aderenza a ognuno dei modelli è stata anche misurata attraverso una stima del livello di inter-observer agreement tra i partecipanti (Par. 3.3), che ha confermato il fatto che non si

può considerare una effettiva “universalità” nella risposta ai quesiti sperimentali in relazione al modello sperimentato. Anzi si nota come, a differenza del confronto con un osservatore ideale, l'accordo tra i partecipanti è modesto per i modelli del Newtonian Observer e l'Heuristic Observer, mentre molto scarso per il Michottean Observer (Tab. 1). Questi livelli di accordo così bassi denotano una elevata variabilità individuale nel fornire un giudizio di naturalezza/causalità coerente a uno dei modelli e – conseguentemente – una mancanza di risposte univoche.

Questa mancanza potrebbe essere legata a quanto detto in precedenza: quando si giudica una collisione, l'osservatore è portato a rispondere integrando le proprie conoscenze delle leggi newtoniane a un'euristica delle collisioni costruita nel tempo, ma non sempre corretta (Runeson et al., 2000). Questa differenza individuale potrebbe giustificare il rumore statistico registrato durante l'analisi dati, che non permetterebbe quindi di raggiungere una risposta definitiva al quesito sperimentale che è stato posto all'inizio di questa ricerca.

4.2 Limiti e sviluppi futuri

Come appurato, è ancora difficile riuscire a comprendere i criteri sottostanti al giudizio di naturalezza/casualità di una collisione. Infatti, un limite di questa ricerca è quello di non aver potuto considerare come e quanto la conoscenza della fisica possa avere influito nel giudizio dei partecipanti. Detta conoscenza, di fatto, potrebbe essere differenziata – in una nuova ricerca – tra coloro che hanno acquisito concetti basilari di fisica durante il proprio percorso scolastico (ormai gran parte degli istituti secondari di secondo grado considerano – da programma ministeriale – l’insegnamento di rudimenti di fisica), e chi ha scelto di proseguire anche in ambito accademico nell’apprendimento della materia. Ciò consentirebbe di comprendere se effettivamente una reale conoscenza della fisica newtoniana – e non delle sole sue basi – possa influire significativamente sull’aderenza a un modello piuttosto che ad un altro e, di conseguenza, alla riduzione di quei bias derivanti da una euristica inesatta.

Anche questi bias sono un forte limite alla ricerca, poiché è difficile quantificarli e classificarli, sotto l’ottica di riduzione e controllo dell’errore, in quanto se si fosse a conoscenza di quali variabili influiscono sulla risposta di un osservatore sarebbe più facile controllarle in un ambiente sperimentale non ecologico; ma, essendo legati a conoscenze apprese dall’esperienza, è difficilmente credibile ridurre al minimo il margine di errore di un osservatore.

Tenendo in considerazione altri possibili limiti, si potrebbe valutare di diminuire la lunghezza dell’esperimento proposto ai soggetti sperimentali, in quanto l’eccessivo numero di stimoli e la mancanza di pause periodiche durante lo svolgimento della prova potrebbe portare a una diminuzione della soglia attentiva e a una conseguente casualità nelle risposte dei partecipanti. Questa riduzione degli stimoli sarebbe plausibile in quanto si è notato dalle analisi come i livelli della velocità pre-collisione di A e del rapporto tra masse influiscono in

maniera poco significativa sugli output di risposta rispetto al modello. Alla luce di queste considerazioni, i risultati sarebbero quindi diversi se si considerasse solo uno dei due fattori, con una conseguente diminuzione del numero di stimoli?

Nonostante le analisi effettuate e riportate nel presente lavoro non permettano di fornire una risposta definitiva al quesito sperimentale proposto, è fondamentale tenere presente la rilevanza del lavoro svolto ai fini della ricerca. È stato infatti possibile confrontare le risposte tra osservatori reali e osservatore ideale solo grazie all'applicazione del modello della manica, che si conferma come un metodo di aggiustamento efficace e fondamentale nell'ambito del confronto tra giudici. Ciò ha permesso di considerare i punteggi emersi riducendo al minimo gli errori legati ai disaccordi spuri, aggiustando le risposte a una manica comune. Proprio applicando il suddetto metodo, sarebbe interessante replicare questa ricerca alleggerita da fattori che, come si è visto, non influiscono in maniera preponderante sull'aderenza a un modello piuttosto che a un altro. Inoltre, sarebbe utile indagare il fenomeno provando a considerare quanto il tipo di materiale degli oggetti coinvolti nella collisione possa influire sulla percezione di causalità/naturalità rispetto ai tre modelli considerati (replicando e espandendo, quindi, il lavoro di Vicovaro e Burigana del 2016).

BIBLIOGRAFIA

1. Anderson, N.H. (2013) Unified Psychology Based on Three Laws of Information Integration. *Review of General Psychology*. 17(2), 125-132
2. Andrews, D. P., & Miller, D. T. (1978). Acuity for spatial separation as a function of stimulus size. *Vision Research*, 18, 615– 619
3. Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37–46
4. Halloun, I.A. & Hestenes, D. (1985) Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, 1056-1065
5. Hick, W. E. (1950). The threshold for sudden changes in the velocity of a seen object. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2, 33– 41
6. Hubbard, T.L., Blessum, J.A., & Ruppel, S.E. (2001) Representational Momentum and Michotte's (1946/1963) "Launching Effect" Paradigm, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(1), 294-301
7. Jacobs, D. M., Michaels, C. F., & Runeson, S. (2000). Learning to perceive the relative mass of colliding balls: The effects of ratio scaling and feedback. *Perception & Psychophysics*, 62, 1332–1340
8. Kittel, C., Knight, W. D., & Ruderman, M. A. (1973). *Mechanics*. New York, NY: McGraw-Hill.
9. Kubricht, J. R., Holyoak, K. J., & Lu, H. (2017) Intuitive Physics: Current Research and Controversies. *Trends in Cognitive Sciences* 21(10), 749-759
10. McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 122–130
11. Michotte, A. (1963) *The Perception of Causality*. London, UK: Methuen
12. Natsoulas, T. (1961). Principles of momentum and kinetic energy in perception of causality. *American Journal of Psychology*, 74:3, 394

13. Nucci, M., Spoto, A., Altoè, G., & Pastore, M. (2021). The role of raters threshold in estimating interrater agreement. *Psychological Methods*, 26(5), 622–634
14. Pastore, M., Nucci, M., & Galfano, G. (2005). False Discovery Rate: applicazione di un metodo alternativo per i confronti multipli con misure ripetute. *Giornale italiano di psicologia, Rivista trimestrale*, pp. 639-652
15. Proffitt, D. R., & Gilden, D. L. (1989). Understanding natural dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 384–393
16. Runeson, S., Juslin, P., & Olsson, H. (2000). Visual perception of dynamic properties: Cue heuristics versus direct-perceptual competence. *Psychological Review*, 107, 525–555
17. Sanborn, A. N., Mansinghka, V. K., & Griffiths, T. L. (2013). Reconciling intuitive physics and Newtonian mechanics for colliding objects. *Psychological Review*, 120, 411–437
18. Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints on internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imaging, thinking, and dreaming. *Psychological Review*, 91, 417–447
19. Shepard, R. N. (1994). Perceptual-cognitive universals as reflections of the world. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 2–28
20. Spoto, A., Pasquali F., Prastaro S., Bruno G., Mignemi G., Nucci M., Vicovaro M., Cropanise G., Fabbian V., Mondin M., Borellini V. (2021). Uniformità di giudizio arbitrale: il ruolo della “manica” dell’arbitro nel processo decisionale e le sue ricadute nella formazione. Lo studio nella Federazione Italiana Pallavolo e Federazione Italiana Giuoco Handaball, *SdS - Scuola dello Sport*, 128
21. Vicovaro, M. (2018). Causal reports: Context-dependent contributions of intuitive physics and visual impressions of launching, *Acta Psychologica*, 186, 133-144
22. Vicovaro, M. & Burigana, L. (2014) Intuitive understanding of the relation between velocities and masses in simulated collisions, *Visual Cognition*, 22:7, 896-919
23. Vicovaro, M. & Burigana, L. (2016) Intuitive understanding of the relation between the elasticity of objects and kinematic patterns of collision, *Atten Percept Psychophys*
24. White, P. A. (2006). The causal asymmetry. *Psychological Review*, 113(1), 132–147

25. White, P.A. (2007). Impressions of force in visual perception of collision events: A test of the causal asymmetry hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review* 14, 647–652