



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DEL SISTEMA NERVOSO E DEL
COMPORTAMENTO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN PSICOLOGIA

Corpo e Rischio: Influenza del senso di appartenenza corporea e agency sulla propensione al rischio in realtà virtuale.

RELATORE:

PROF. GERARDO SALVATO

CORRELATORE:

Dott. Francesco Crottini

**Tesi di Laurea di
Marco Cirillo
Matr. n.543050**

Anno Accademico 2025/2026

Indice

Abstract.....	2
1. Introduzione.....	5
1.1 Body Self-Awareness.....	7
1.2 Body Ownership.....	9
1.3 Agency.....	15
1.4 Self-Location e First-Person Perspective.....	19
1.5 Agency e Ownership: relazione e dissociazione.....	21
1.6 Il Decision Making.....	25
1.7 Il Risk Taking.....	29
1.8 Balloon Analogue Risk Task (BART) in VR.....	35
2. Obiettivi e ipotesi dello studio.....	37
3. Materiali e metodi.....	38
3.1 Disegno sperimentale.....	39
3.2 Misure.....	40
3.3 Partecipanti.....	41
3.4 Materiali.....	41
3.5 Procedura.....	44
3.6 Descrizione del task.....	46
4. Risultati.....	48
5. Discussioni.....	51
6. Conclusioni.....	60
Bibliografia.....	61

ABSTRACT

La letteratura neuropsicologica indica che la consapevolezza del Sé corporeo contribuisce ai processi decisionali in condizioni di incertezza. Tuttavia, il contributo specifico dei suoi sottocomponenti non è ancora stabilito univocamente. In particolare, il senso di appartenenza corporea (ovvero la sensazione soggettiva che il nostro corpo ci appartenga), e il senso di agency (la sensazione di essere gli esecutori delle nostre azioni) sembrano avere ruoli parzialmente sovrapponibili ma potenzialmente indipendenti in questa relazione. Il presente studio indaga quindi lo specifico contributo della modulazione sperimentale mirata di ownership e di agency in un ambiente immersivo di realtà virtuale (VR) rispetto al comportamento di rischio in un compito computerizzato.

Per indagare questa relazione, sono stati reclutati nello studio 33 partecipanti sani destrimani. Ai partecipanti è stato somministrato un compito comportamentale che prevedeva una versione in realtà virtuale (VR) del paradigma sperimentale Balloon Analogue Risk Task (BART). Il Task richiede al partecipante di gonfiare un palloncino virtuale accumulando denaro a ogni “pumps”, scegliendo se incassare il guadagno o continuare rischiando lo scoppio e la perdita di quanto accumulato. Questo compito per la valutazione della propensione al rischio prevedeva quattro condizioni sperimentali. Le condizioni derivavano dalla combinazione di modulazione di body ownership (compito presentato in prima persona o in terza persona con un avatar) e di agency (feedback visuo-motorio congruente o dilazionato rispetto all’azione del partecipante). Ai partecipanti erano inoltre somministrati test supplementari per valutare il livello di impulsività e sensibilità interocettiva.

Le analisi hanno evidenziato che la modulazione di ownership influenza in modo significativamente maggiore la propensione al

rischio rispetto alla modulazione di agency. In particolare, le condizioni in cui il partecipante vedeva l'azione in prima persona (maggiore senso di body ownership) mostravano livelli di propensione al rischio significativamente più alti.

I risultati sembrano confutare la defensive hypothesis, suggerendo che l'ownership aumenta la propensione al rischio. L'assenza di effetti significativi dell'agency potrebbe riflettere la natura puramente economica del rischio nel BART, priva di implicazioni per l'integrità fisica e quindi meno sensibile al senso di agency. Una possibile interpretazione alternativa suggerisce che un'elevata sensazione di ownership aumenti il senso di controllo percepito, accrescendo la fiducia nelle proprie capacità e attenuando la percezione soggettiva del rischio, favorendo così comportamenti più rischiosi. Nel complesso, questi risultati corroborano l'idea di uno stretto legame tra consapevolezza corporea e comportamento di rischio, suggerendo al contempo una parziale dissociazione tra le diverse sottocomponenti dell'esperienza di sé.

ABSTRACT

Introduction: The neuropsychological literature indicates that bodily self-awareness contributes to decision-making processes under conditions of uncertainty. However, the specific contribution of its sub-components has not yet been unequivocally established. In particular, the sense of body ownership (the subjective feeling that one's body belongs to oneself) and the sense of agency (the feeling of being the agent of one's own actions) appear to play partially overlapping but potentially independent roles in this relationship. The present study therefore investigates the specific contribution of the targeted experimental modulation of ownership and agency in an immersive virtual reality (VR) environment to risk-taking behavior in a

computerized task. Method: To investigate this relationship, 33 healthy right-handed participants were recruited. Participants were administered a behavioral task consisting of a virtual reality (VR) version of the Balloon Analogue Risk Task (BART) paradigm. The task requires participants to inflate a virtual balloon, accumulating money with each pump, while choosing whether to cash in the accumulated gain or continue inflating, risking the balloon bursting and the loss of the amount accumulated. This risk-propensity task included four experimental conditions, resulting from the combination of body ownership modulation (task presented in first-person or in third person with an avatar) and agency modulation (visuo-motor feedback either congruent with or delayed relative to the participant's action). Participants were also administered supplementary tests assessing impulsivity and interoceptive sensibility. Results: Analyses showed that the modulation of ownership influenced risk-taking significantly more than the modulation of agency. In particular, conditions in which participants viewed the action from a first-person perspective (greater sense of body ownership) were associated with significantly higher levels of risk-taking. Discussion: The results appear to disconfirm the defensive hypothesis, suggesting that ownership increases risk-taking. The absence of significant effects of agency may reflect the purely economic nature of risk in the BART, which lacks implications for physical integrity and is therefore less sensitive to the sense of agency. An alternative interpretation suggests that a heightened sense of ownership may increase perceived control, enhancing confidence in one's own abilities and attenuating the subjective perception of risk, thereby promoting riskier behaviors. Overall, these findings support the notion of a close link between bodily self-awareness and risk-taking behavior, while at the same time suggesting a partial dissociation between the different sub-components of self-experience.

1. Introduzione

Il corpo non è solo oggetto delle nostre esperienze, ma costituisce un elemento attivo nella costruzione del sé e nella regolazione del comportamento. L'esperienza di vivere un corpo proprio, di essere l'agente delle proprie azioni e di percepire il mondo a partire da esso rappresenta la dimensione fondante dell'esperienza in prima persona (Serino e Alsmith 2013; Blanke 2012), ed è oggetto di un crescente interesse nelle neuroscienze cognitive sotto la denominazione di *bodily self-awareness* (Salvato e Crucianelli 2025; Blanke 2012).

In questo campo, la ricerca neuropsicologica si è focalizzata particolarmente su due componenti: il senso di appartenenza corporea (*ownership*), ovvero l'esperienza per cui il proprio corpo viene percepito come proprio (De Vignemont, 2013), e l'*agency*, inteso come l'esperienza di essere l'autore causale delle proprie azioni (Haggard, 2017). Pur presentando delle differenze concettuali, entrambe le dimensioni contribuiscono in modo cruciale alla coerenza dell'esperienza corporea soggettiva (Seghezzi Zapparoli Gianni 2019) e, secondo evidenze sempre più consolidate, alla regolazione di processi cognitivi superiori, tra cui il decision making in condizioni di rischio (Tsakiris & Critchley, 2016).

La letteratura ha documentato effetti significativi sia dell'*ownership* sia dell'*agency* sulla propensione al rischio (Choi et al., 2020; Damen, 2019); tuttavia, la maggior parte degli studi ha manipolato queste due dimensioni in modo separato, indagandole come fenomeni indipendenti. Resta perciò poco chiaro in che modo *ownership* e *agency* interagiscano nel modulare il comportamento di assunzione di rischio, e se i loro effetti risultino convergenti, indipendenti o sinergici.

Il presente lavoro intende rispondere a questo quesito attraverso uno studio sperimentale che, sfruttando le possibilità offerte dalla realtà virtuale, manipola in modo combinato il senso di *ownership* e il senso di *agency* nei confronti di un corpo virtuale, valutandone il contributo

specifico e l'eventuale interazione sulla propensione al rischio. A tal fine è stata implementata una versione del *Balloon Analogue Risk Task* (BART) in realtà virtuale, che consente di isolare il contributo di ciascuna dimensione e di esplorarne le possibili interazioni.

Sulla base della letteratura sull'embodiment e sul controllo dell'azione, si ipotizza che un maggiore senso di ownership nei confronti della mano virtuale sia associato a un aumento del comportamento di risk-taking durante l'esecuzione della BART in realtà virtuale. Inoltre, si ipotizza che tale relazione possa essere mediata dal senso di agency, ovvero dall'esperienza soggettiva di controllo sulle proprie azioni e sui loro effetti. In particolare, vengono formulate le seguenti ipotesi:

- **H0**: non emerge nessun effetto della manipolazione di ownership o agency.
- **H1**: una delle due condizioni prevale sull'altra e quindi sarà associata a livelli più elevati di comportamento di risk-taking.
- **H2**: entrambe le condizioni modulano la propensione al rischio allo stesso modo.

Infine, lo studio considera il possibile contributo di differenze individuali nella consapevolezza corporea e nell'impulsività. A questo scopo vengono somministrate la Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA-2) e la Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11), al fine di esplorare se tali caratteristiche individuali possano modulare la relazione tra ownership, agency e comportamento di risk-taking.

1.1 Body Self-Awareness

Con il termine Bodily self-awareness ci si riferisce ad un costrutto neurocognitivo multicomponentiale che riguarda la consapevolezza del corpo come proprio e come base dell'interazione con l'ambiente (Gallagher, 2000; Salvato & Crucianelli, 2025).

Uno dei contributi più influenti alla concettualizzazione di tale costrutto è stato offerto da Gallagher (2000), il quale ha introdotto la nozione di *minimal self* per descrivere quella forma di esperienza del sé che si manifesta in modo immediato e pre-riflessivo nell'esperienza in prima persona, senza richiedere alcuna mediazione narrativa o concettuale e senza estensione temporale. Successivamente, Gallagher (2013) ha esteso questa concettualizzazione proponendo di pensare il sé non come un'entità unitaria, bensì come un pattern composto da molteplici aspetti caratteristici: tra questi figurano la dimensione embodied, quella esperienziale, affettiva, intersoggettiva, cognitiva, narrativa, estesa e situata. Nessuna di queste componenti, presa singolarmente, è considerata necessaria; è piuttosto il loro insieme a dare forma a ciò che chiamiamo sé. All'interno di questa cornice, gli aspetti più basilari e pervasivi del pattern sono quelli embodied ed esperienziali, ai quali appartengono ownership e agency (Gallagher, 2013).

Questa forma di consapevolezza emerge dall'integrazione di specifici costrutti della bodily self-awareness, tra cui il body ownership e i meccanismi di embodiment, ovvero i processi attraverso cui un corpo viene esperito come proprio e integrato nella rappresentazione del sé (Serino & Alsmith, 2013; De Vignemont, 2014) e di molteplici segnali sensoriali legati al corpo, tra cui informazioni propriocettive, tattili, vestibolari e visive (Blanke 2012; Salvato, 2020). A livello neurale, tale integrazione multisensoriale è sostenuta da una rete di aree cortico-sottocorticali piuttosto ampia, che comprende la corteccia premotoria, il solco intraparietale, la giunzione temporo-parietale, l'extrastriate body area, la corteccia sensorimotoria e l'insula (Salvato, 2020). In

queste regioni sono stati identificati neuroni bimodali e trimodali, capaci di integrare segnali provenienti da modalità sensoriali differenti (Blanke, 2012).

Un aspetto cruciale, ai fini del presente lavoro, è che la bodily self-awareness non si configura come un fenomeno unitario, ma piuttosto come un costrutto articolato in componenti distinte e complementari. In particolare, la letteratura neuropsicologica e delle neuroscienze cognitive distingue quattro costrutti fondamentali (Serino et al., 2013): il body ownership, ovvero l'esperienza del corpo come proprio; l'agency, intesa come la sensazione di essere l'agente causale delle proprie azioni; la self-location, riferita alla percezione della propria posizione corporea nello spazio; e la first-person perspective, intesa come l'esperienza della posizione da cui il soggetto percepisce il mondo. Le ultime due componenti, in condizioni ordinarie, tendono a coincidere; tuttavia, condizioni sperimentali o neurologiche particolari, come le cosiddette out-of-body experiences, ne hanno documentato la possibile dissociazione, suggerendo che la first-person perspective costituisca una componente autonoma, supportata in larga parte dall'integrazione tra segnali visivi e vestibolari (Serino et al., 2013; Blanke, 2012).

Pur essendo dunque distinti sul piano concettuale, i due costrutti interagiscono strettamente nel concorrere alla coerenza e all'unitarietà dell'esperienza corporea soggettiva.

1.2 Body ownership

Con senso di appartenenza corporea, o body ownership, ci si riferisce all'esperienza soggettiva di percepire il proprio corpo, o una sua parte, come appartenente a sé stessi. Questo non si riduce a un semplice giudizio cognitivo di appartenenza ("questa mano è mia"), ma comprende una dimensione fenomenico-rappresentazionale in cui il corpo viene esperito come proprio (De Vignemont, 2013). L'analisi di questo aspetto specifico della consapevolezza corporea ha rappresentato, negli ultimi decenni, uno dei filoni più produttivi nelle neuroscienze cognitive del sé corporeo (De Vignemont, 2017).

Nel tentativo di chiarire i meccanismi neurocognitivi alla base di tale esperienza, Tsakiris (2011) ha avanzato un modello che concepisce il body ownership non come prodotto diretto della stimolazione sensoriale, bensì come l'esito di un'interazione dinamica tra l'integrazione multisensoriale in entrata e i modelli interni del corpo. Secondo il *Neurocognitive Model of Body Ownership*, infatti, l'attribuzione di un arto al sé non dipende soltanto dalla correlazione temporale tra stimoli visivi e tattili, ma richiede che i segnali sensoriali in ingresso superino una serie di confronti con rappresentazioni corporee preesistenti (Tsakiris, 2011).

In particolare, il modello prevede tre confronti critici. Il primo riguarda la coerenza tra la forma visiva dell'oggetto osservato e un *body model* astratto, contenente una descrizione di riferimento delle proprietà visive, anatomiche e strutturali del corpo: tale confronto agisce come un filtro, poiché oggetti che non lo superano non vengono incorporati come parte del proprio corpo, anche qualora venga somministrata una stimolazione visuo-tattile sincrona (Tsakiris, 2011). Il secondo confronto avviene tra lo stato corporeo attuale, mediato dalle cortecce somatosensoriali primaria e secondaria, e le caratteristiche posturali e anatomiche della parte corporea che dovrebbe essere attribuita al sé: eventuali incongruenze a questo livello impediscono l'insorgenza

dell'esperienza di ownership. Il terzo confronto, infine, riguarda la sincronia e la congruenza spaziale tra la visione del tocco e il tocco percepito; discrepanze temporali o direzionali tra i due segnali impediscono la ricalibrazione dei sistemi di riferimento visivo e tattile, e con essa il trasferimento della sensazione tattile sulla mano artificiale (Tsakiris, 2011).

Sul piano neuroanatomico, il modello individua una rete distribuita di strutture cerebrali, ciascuna con un ruolo specifico nei diversi confronti.

La giunzione temporo-parietale destra (rTPJ) è un'area critica per il confronto tra l'oggetto visivo e il body model. La funzione dell'attività di quest'area contribuisce al processo di riconoscimento di cosa può o non può essere incorporato nel sé corporeo: la sua modulazione mediante stimolazione magnetica transcranica (TMS) compromette la capacità di distinguere un oggetto corporeo da uno neutro (Tsakiris, M., Costantini, M., & Haggard, P., 2008).

Le corteccie somatosensoriali primaria e secondaria sono coinvolte nel mantenimento dello stato attuale del corpo: elaborano le rappresentazioni anatomiche e posturali e sono cruciali nel secondo confronto del modello, ovvero quello tra la posizione reale dei propri arti e quella dell'oggetto osservato.

La corteccia parietale posteriore e la corteccia premotoria ventrale sono implicate, invece, nell'integrazione multisensoriale collegata all'insorgenza dell'illusione: in particolare, la prima risolve il conflitto tra informazioni visive e tattili ricalibrando i sistemi di coordinate, mentre la seconda è associata al fenomeno del *touch referral*, ossia alla sensazione che il tocco avvenga sull'oggetto esterno anziché sulla propria mano (Crivelli, D., Sabogal Rueda, M. D., & Balconi, M. 2021).

L'insula posteriore destra, infine, viene considerata l'area chiave per l'esperienza soggettiva di ownership: l'attività in questa regione correla

positivamente con l'intensità del senso di appartenenza corporea, e lesioni a questo livello sono frequentemente associate alla somatoparafrenia, una condizione clinica nella quale i pazienti negano la proprietà dei propri arti (Tsakiris, 2011).

Nella letteratura neuropsicologica, esistono diversi modi di indagare questo complesso costrutto. In particolare, i due principali approcci di ricerca sono l'indagine neuropsicologica in popolazioni cliniche affette da disturbi di ownership (come gli stroke) e gli studi sperimentali su partecipanti sani. Infatti, una delle modalità di indagine più utilizzate in letteratura è rappresentata dai paradigmi di illusione corporea (Tsakiris, 2010; Kilteni et al., 2015).

Tra i paradigmi di illusione corporea più studiati spicca senza dubbio la *rubber hand illusion* (RHI), proposta da Botvinick e Cohen (1998), che ha fornito alcune delle prime evidenze empiriche sui meccanismi attraverso cui il sistema nervoso attribuisce un arto al proprio corpo. Nel paradigma classico, una stimolazione visuo-tattile sincrona su una mano artificiale collocata davanti al partecipante (con la mano reale nascosta alla vista) induce la sensazione che la mano di gomma faccia parte del proprio corpo, accompagnata da uno spostamento sistematico della stima soggettiva della posizione della mano reale verso quella artificiale (*proprioceptive drift*). L'effetto, che dipende criticamente dalla sincronia temporale tra stimolazione visiva e tattile, è stato successivamente associato all'attivazione bilaterale della corteccia premotoria ventrale, identificata come correlato neurale specifico dell'auto-attribuzione corporea (Ehrsson et al., 2004).

Tale esperienza può dissociarsi dal giudizio esplicito: nei paradigmi di illusione corporea, un arto artificiale può essere esperito come appartenente al sé pur in presenza della consapevolezza cognitiva della sua natura artificiale (De Vignemont, 2013). Ciò suggerisce che l'ownership operi a un livello preriflessivo, distinto da valutazioni dichiarative consapevoli circa l'appartenenza corporea.

Sul piano neuropsicologico, una condizione è definita embodied quando uno o più canali sensoriali trasmettono al sistema nervoso informazioni relative a un oggetto o corpo estraneo, che vengono elaborate parzialmente con le stesse modalità neurali impiegate per rappresentare il proprio corpo. Tuttavia, l'embodiment costituisce una condizione necessaria ma non sufficiente per l'ownership (De Vignemont, 2011). Come sottolinea De Vignemont, infatti, l'embodiment non è un fenomeno unitario e la semplice integrazione multisensoriale non basta a generare l'esperienza di appartenenza corporea. È necessario, in particolare, distinguere tra *embodiment neutro* ed *embodiment self-specific*: mentre il primo si verifica ogniqualvolta le proprietà di un oggetto esterno vengano processate alla stregua di proprietà corporee generiche, il secondo implica che quelle stesse proprietà siano elaborate in modo esclusivamente riferito al proprio corpo e non a corpi altrui. Soltanto l'*embodiment self-specific* può dare origine al sentimento di ownership (De Vignemont, 2011). In questo processo, l'integrazione multisensoriale, e in particolare la congruenza visuo-tattile e visuo-motoria, riveste un ruolo cruciale: l'ownership emerge quando tali segnali convergono in modo sufficientemente affidabile da supportare l'inferenza che l'oggetto appartenga al proprio corpo, e non semplicemente che si tratti di un corpo qualunque (De Vignemont, 2011).

Quanto descritto fin qui evidenzia come l'inclusione di una parte del corpo nel sé corporeo modifichi la strutturazione dello spazio d'azione e le risposte protettive del soggetto (De Vignemont, 2017). Le conseguenze dell'*embodiment self-specific*, tuttavia, non si esauriscono nella dimensione sensorimotoria e protettiva: la rappresentazione corporea, quando è marcata come propria, condiziona anche processi cognitivi di ordine superiore, e in particolare il decision making.

L'embodizzazione, in altre parole, non costituisce soltanto il fondamento dell'azione, ma fornisce un'infrastruttura affettivo-

somatica per la cognizione (Xu, Xiang & Huang, 2020). Tale estensione si rivela coerente con la distinzione tra *embodiment neutro* ed *embodiment self-specific* (De Vignemont, 2011): solo quest'ultimo, configurandosi come elaborazione esclusivamente riferita al proprio corpo, può conferire agli stimoli e alle conseguenze dell'azione una rilevanza tale da modulare i processi cognitivi superiori.

Un secondo asse fondamentale è rappresentato dall'interocezione, ossia la percezione degli stati interni del corpo. Tsakiris e Critchley (2016) hanno evidenziato come i segnali interocettivi esercitino un impatto pervasivo sulla cognizione, influenzando l'attenzione, la percezione, la memoria e guidando il decision making. Differenze individuali nell'accuratezza interocettiva si associano infatti a differenze nelle performance cognitive superiori: una maggiore sensibilità ai segnali viscerali predice migliori prestazioni in compiti di memoria prospettica e una più marcata propensione all'avversione alle perdite (Tsakiris & Critchley, 2016). Questo dato risulta coerente con l'idea che il sé corporeo, costituito dall'integrazione continua dei segnali biologici provenienti dal corpo, rappresenti la base degli aspetti della consapevolezza fondati sul senso soggettivo di essere un individuo unico (Tsakiris & Critchley, 2016). Anche i paradigmi sperimentali di illusione corporea confermano la rilevanza di questa dimensione interocettiva: la malleabilità della rappresentazione del corpo nella *rubber hand illusion* (Botvinick & Cohen, 1998) risulta infatti modulata dalla sensibilità interocettiva individuale, a suggerire che l'integrazione tra segnali esterocettivi e interocettivi costituisca un meccanismo trasversale che collega ownership, processi affettivi e decisione.

Evidenze empiriche in questo senso sono state fornite da studi recenti condotti in realtà virtuale. Choi e colleghi (2020) hanno mostrato che un'ownership più intensa, indotta attraverso mani virtuali human-like rispetto a mani robotiche, aumenta significativamente la percezione del rischio in compiti pericolosi e si associa a comportamenti più cauti,

suggerendo che il senso di appartenenza al corpo virtuale come proprio amplifichi la salienza affettiva del danno fisico potenziale. In una prospettiva complementare, Frisanco e colleghi (2022) hanno dimostrato che l'ownership su un avatar percepito come potente e invulnerabile riduce le risposte fisiologiche di allarme a stimoli minacciosi, misurate tramite conduttanza cutanea e battito cardiaco, e accresce i sentimenti soggettivi di invulnerabilità e la stima delle proprie capacità fisiche. Tali evidenze convergono nel mostrare come il senso di ownership modula sistematicamente la valutazione del rischio e le risposte affettive associate alle conseguenze dell'azione, sebbene la direzione di tale modulazione possa variare in funzione delle caratteristiche del corpo virtuale e della specifica natura del compito.

Ricollegando questi filoni alla nozione di *embodiment self-specific*, emerge che la marcatura del corpo come proprio non è neutra rispetto alla cognizione: ciò che viene incluso nel sé corporeo è processato come rilevante per il sé anche sul piano decisionale ed emotivo. Questi elementi suggeriscono che la consapevolezza corporea, per il tramite dei meccanismi di *embodiment self-specific* e di integrazione interocettiva, possa influenzare i processi decisionali, in particolare nei contesti in cui l'azione comporta una componente di rischio o di potenziale perdita.

L'esperienza corporea soggettiva, tuttavia, non si esaurisce nella sola dimensione dell'ownership: accanto ad essa, un ruolo altrettanto centrale è svolto dall'agency, ossia dall'esperienza di essere l'agente causale delle proprie azioni. Pur tendendo a co-occorrere nelle condizioni ordinarie, le due dimensioni risultano concettualmente distinte e possono dissociarsi sul piano fenomenologico e neurocognitivo (De Vignemont, 2017). L'ownership, infatti, riguarda l'appartenenza di una parte del corpo al sé, mentre l'agency concerne l'attribuzione causale del movimento e dell'azione al soggetto stesso;

la loro interazione contribuisce alla costruzione dell'unità del sé corporeo e al senso di controllo sull'azione.

Tale distinzione assume particolare rilievo nello studio del decision making in condizioni di rischio (Choi et al. 2020). Se infatti l'ownership modula la rilevanza degli stimoli e delle conseguenze dell'azione per il sé, l'agency potrebbe invece intervenire più specificamente sulla valutazione del controllo percepito sull'esito, una variabile centrale nei modelli di scelta in condizioni di incertezza. Per comprendere appieno il contributo della percezione del proprio corpo all'esperienza decisionale è dunque necessario esaminare anche la dimensione dell'agency, oggetto del prossimo paragrafo.

1.3 Agency

Il senso di agentività, o agency, può essere definito come l'esperienza di essere l'autore delle proprie azioni e, attraverso di esse, del corso degli eventi nel mondo esterno (Haggard, 2017). Quando un soggetto afferma "sto alzando il braccio", l'esperienza include una componente agentiva, ovvero l'esperienza di causare l'azione, la quale è distinta dalla semplice esperienza del movimento corporeo. Il senso di agency riguarda quindi il controllo dell'azione e l'attribuzione a sé stessi della causalità dell'evento motorio. Tale esperienza non si limita a un giudizio esplicito di aver compiuto l'azione, ma comprende anche una dimensione fenomenica più sfuggente, talvolta descritta come *feeling* o *buzz of agency*, ovvero la sensazione implicita e pre-riflessiva di essere l'autore del movimento, che accompagna in modo automatico l'esecuzione di un atto motorio volontario (Haggard, 2017).

Sul piano teorico, il principale riferimento per la comprensione dei meccanismi neurocognitivi alla base dell'agency è il *comparator model*, derivato dai modelli computazionali del controllo motorio (Haggard, 2017). Secondo questo modello, ogni azione volontaria

parte da un'intenzione o da uno stato-obiettivo: un *modello inverso* (*inverse model*) si occupa di generare il comando motorio necessario a conseguirlo, mentre un *modello in avanti* (*forward model*) sfrutta una copia efferente del comando stesso per anticipare le conseguenze sensoriali dell'azione. Le predizioni così formulate vengono confrontate con il feedback sensoriale reale: quando i due segnali coincidono, l'errore di predizione tende a zero ed emerge il senso di agency; al contrario, eventuali discrepanze danno luogo a un'esperienza di non-agency, in cui l'evento non viene attribuito a sé stessi (Haggard, 2017). L'agency, peraltro, non costituisce un fenomeno unitario, ma un costrutto multicomponentiale sostenuto sia da segnali prospettici, generati prima dell'azione durante le fasi di selezione e preparazione motoria, sia da segnali retrospettivi, derivanti dal confronto tra esito atteso ed esito effettivo. La rete neurale che ne sostiene l'esperienza coinvolge in particolare la corteccia prefrontale dorsolaterale, l'area motoria supplementare e la giunzione temporo-parietale, quest'ultima attivata selettivamente nelle condizioni di non-agency (Haggard, 2017).

Sul versante metodologico, accanto alle misure esplicite, fondate su giudizi di attribuzione del tipo "*sono stato io a causare questo evento?*", la letteratura ha sviluppato misure implicite, ritenute meno vulnerabili ai bias attribuzionali. Tra queste, il paradigma del *temporal binding* (Haggard, Clark & Kalogeras, 2002) misura la compressione percepita dell'intervallo temporale tra un'azione volontaria e il suo esito sensoriale, ed è generalmente considerato un correlato implicito del senso di agency. Le due famiglie di misure correlano tra loro solo debolmente, suggerendo che colgano aspetti parzialmente distinti dell'esperienza agentiva: le misure implicite sembrano infatti riflettere componenti più automatiche e sensorimotorie, mentre quelle esplicite, componenti più consapevoli e attribuzionali.

Approcci più recenti hanno messo in luce i limiti di una spiegazione esclusivamente sensorimotoria dell'agency. In particolare, Synofzik e

colleghi (2008) hanno proposto un *modello multifattoriale* secondo cui il senso di agency non deriva unicamente dal confronto tra predizione e feedback, ma dall'integrazione dinamica di una pluralità di segnali, tra cui intenzioni, credenze, contesto e informazioni sensoriali. All'interno di questa prospettiva viene operata una distinzione tra il *feeling of agency*, ovvero la sensazione implicita e pre-riflessiva di essere l'autore dell'azione, fondata principalmente su segnali sensorimotori bottom-up, e il *judgement of agency*, inteso come giudizio consapevole sull'attribuzione causale dell'azione, formulato a partire dall'integrazione di credenze, contesto e processi di ragionamento (Synofzik et al., 2008; Wen & Imamizu, 2022). Sul piano neurale, la corteccia parietale inferiore e il cervelletto sono coinvolti nella rilevazione delle discrepanze sensomotorie (Blakemore, Wolpert & Frith, 2001; Farrer & Frith, 2002), mentre l'insula anteriore e l'area motoria supplementare contribuiscono all'integrazione tra segnali efferenti e afferenti che dà origine alla consapevolezza dell'intenzionalità e dello sforzo volitivo (Craig, 2009; Haggard, 2017).

Nel complesso, dunque, l'agency, intesa come componente della consapevolezza corporea, non si configura come un fenomeno unitario, bensì come il risultato di un processo dialettico di integrazione fra segnali sensomotori bottom-up e processi cognitivi top-down, che operano costantemente per mantenere la stabilità del Sé nell'azione (Synofzik et al., 2008; Wen & Imamizu, 2022).

Oltre a costituire una dimensione fondamentale della consapevolezza corporea, l'agency riveste un ruolo significativo anche nei processi decisionali, in particolare nei contesti caratterizzati da rischio e incertezza. La percezione soggettiva di controllo sull'azione e sulle sue conseguenze rappresenta infatti una variabile chiave nel modulare il comportamento di scelta in situazioni che prevedono potenziali guadagni o perdite. In particolare, la letteratura ha messo in evidenza come livelli più elevati di agency siano sistematicamente associati a

una maggiore tolleranza al rischio e a una più spiccata propensione al risk taking (Damen, 2019; Suri et al., 2020).

In un paradigma sperimentale fondato sul Balloon Analogue Risk Task (BART), Damen (2019) ha mostrato che la manipolazione del ritardo temporale tra l'azione del partecipante e il feedback visivo del suo esito, un parametro la cui efficacia nel modulare il senso di agency è ormai consolidata (Damen, 2019) e che viene ampiamente impiegato anche nei paradigmi di *temporal binding*, esercita un'influenza significativa sia sulla percezione di controllo sul rischio sia sul comportamento decisionale effettivo. Nello specifico, i palloncini che si gonfiavano immediatamente dopo la pressione del tasto risultavano associati a un senso di agency più intenso, a una percezione di controllo sul rischio più elevata e a una maggiore propensione al risk taking, misurata in termini di numero di gonfiamenti e di palloncini effettivamente scoppiati, rispetto a quanto avveniva nella condizione con feedback ritardato (Damen, 2019). Le analisi di mediazione, inoltre, hanno confermato che l'agency media il rapporto tra il ritardo azione-esito e il comportamento di rischio, supportando l'ipotesi di un ruolo causale del senso di agency nella regolazione delle scelte rischiose.

Sul piano neurocognitivo, una recente proposta teorica, il modello *Agency Disinhibits the Dopamine System* (ADDS), formulato da Ashby e colleghi (2026), ha avanzato l'ipotesi che gli incrementi dell'agency producano una disinibizione del sistema dopaminergico mesolimbico, aumentando il numero di neuroni dopaminergici tonicamente attivi nell'area tegmentale ventrale e amplificando la risposta agli esiti positivi in misura maggiore rispetto a quella agli esiti negativi. Pur trattandosi di un modello di recente formulazione e ancora in fase di validazione empirica, l'ADDS offre una cornice teorica integrativa per interpretare il legame fra agency, modulazione dopaminergica e propensione al rischio. L'asimmetria predittiva tra esiti positivi e negativi implicherebbe, infatti, che in condizioni di elevata agency

l'utilità soggettiva associata alle ricompense potenziali aumenti in misura maggiore rispetto a quella legata alle perdite, generando uno spostamento netto verso scelte più rischiose. In quest'ottica, le evidenze comportamentali ottenute da Damen (2019) attraverso il paradigma BART potrebbero trovare un fondamento neurobiologico coerente, sebbene siano necessari ulteriori studi per saggiare in modo rigoroso le predizioni del modello.

In sintesi, alla luce delle evidenze discusse, l'agency si configura non soltanto come una dimensione fondamentale della consapevolezza corporea, ma anche come una variabile che modula attivamente i processi decisionali nei contesti caratterizzati da rischio e incertezza, contribuendo a determinare la propensione del soggetto a selezionare opzioni potenzialmente vantaggiose ma incerte. Tale considerazione motiva l'importanza di indagare sperimentalmente il contributo dell'agency, accanto a quello dell'ownership, nella regolazione del comportamento di rischio.

1.4 Self-Location e First-Person Perspective

A completamento del quadro teorico sulla Bodily Self-Awareness, è opportuno soffermarsi brevemente anche sulle altre due componenti che contribuiscono a definire l'esperienza del sé corporeo, ossia la *self-location* e la *first-person perspective* (Blanke, 2012; Serino et al., 2013). La *self-location* si riferisce all'esperienza soggettiva di occupare una determinata posizione nello spazio, ovvero alla percezione di "dove si trova il proprio corpo" nell'ambiente (Blanke, 2012). Sebbene rappresenti una componente fondamentale della Bodily Self-Awareness, essa non costituisce oggetto di approfondimento nel presente lavoro, poiché non viene manipolata né valutata nel paradigma sperimentale adottato.

La *first-person perspective* riguarda invece il punto di vista in prima persona, centrato sul corpo, a partire dal quale si organizza l'esperienza percettiva dell'ambiente circostante (Blanke, 2012). Nelle condizioni ordinarie essa coincide con la naturale prospettiva incarnata attraverso cui ciascun individuo percepisce il mondo e rappresenta uno degli elementi fondamentali dell'esperienza di embodiment.

Il principale modello di riferimento per lo studio sperimentale di questa dimensione è rappresentato dai paradigmi di full-body illusion (FBI), sviluppati a partire dal lavoro di Lenggenhager e collaboratori (2007). In questa procedura, il partecipante osserva attraverso un head-mounted display il proprio corpo (o un corpo virtuale) ripreso da una telecamera posta alle sue spalle, mentre riceve una stimolazione tattile sulla schiena sincrona o asincrona rispetto a quella osservata sul corpo virtuale. Durante la stimolazione sincrona i partecipanti riportano di identificarsi con il corpo virtuale, a indicare come la coerenza tra la prospettiva corporea e le informazioni multisensoriali dipenda da processi di integrazione multisensoriale che possono essere oggetto di manipolazione sperimentale (Lenggenhager et al., 2007). Le varianti successive di questo paradigma, sviluppate in particolare attraverso l'impiego della realtà virtuale, hanno consentito di estendere lo studio dell'esperienza corporea soggettiva manipolando in modo controllato la prospettiva visiva e la rappresentazione del corpo, e hanno costituito la base metodologica da cui si è successivamente sviluppata la ricerca sull'embodiment in ambienti immersivi (Petkova & Ehrsson, 2008; Blanke, 2012).

Tra le due componenti, la *first-person perspective* riveste un ruolo particolarmente rilevante nel presente studio. Nel paradigma adottato, infatti, la manipolazione del senso di appartenenza corporea si fonda proprio sulla differenza prospettica tra le due condizioni: nella condizione di alta ownership il partecipante visualizza una mano virtuale in prima persona, percepita come prolungamento del proprio

corpo; nella condizione di bassa ownership osserva invece, in terza persona, un avatar collocato di fronte a sé, percepito come entità distinta dal proprio corpo. La first-person perspective costituisce dunque il discriminante prospettico alla base della distinzione tra sé e *altro*, e rappresenta la dimensione attraverso cui la manipolazione di ownership può essere sperimentalmente indotta. Nel complesso, self-location e first-person perspective restano sostanzialmente costanti nel paradigma immersivo adottato, in quanto il partecipante visualizza in prima persona un ambiente virtuale di cui occupa una posizione definita; ciò consente di isolare il contributo specifico di ownership e agency, oggetto di manipolazione sperimentale e discussi nel prossimo paragrafo.

1.5 Agency e Ownership: relazione e dissociazione

Sebbene nei paragrafi precedenti ownership e agency siano state trattate separatamente come due componenti distinte della self-awareness corporea, nell'esperienza ordinaria esse appaiono profondamente intrecciate, al punto che la natura della loro reciproca relazione costituisce una delle questioni più dibattute in letteratura. Stabilire se tale relazione sia di tipo gerarchico, indipendente o interattivo ha implicazioni teoriche di rilievo per la comprensione del sé corporeo (De Vignemont, 2017).

Sotto il profilo dei meccanismi computazionali, il senso di ownership scaturisce dalla congruenza tra segnali visivi, propriocettivi e cinestesici provenienti da uno stesso arto (Kalckert & Ehrsson, 2012; Tsakiris, Schütz-Bosbach, & Gallagher, 2007). Il senso di agency, invece, ha origine da un articolato processo di matching tra i comandi motori efferenti e i feedback sensoriali afferenti dell'azione: un *forward model* interno impiega la cosiddetta *efference copy* del programma

motorio in corso per anticipare le conseguenze sensoriali del movimento, e tali predizioni vengono poi confrontate con l'esito effettivo dell'azione. Quando predizione ed esito coincidono, l'evento sensoriale viene attribuito alla propria agency, mentre un eventuale mismatch impedisce questa attribuzione (Blakemore, Wolpert & Frith, 2002; Haggard, 2017; Wolpert & Ghahramani, 2000; Seghezzi, Giannini & Zapparoli, 2019).

Tanto il senso di ownership quanto il senso di agency rivestono un ruolo essenziale per la piena sensazione di autoconsapevolezza. Nell'esperienza quotidiana dell'azione volontaria, le due dimensioni risultano talmente connesse da apparire indistinguibili. Esiste tuttavia una differenza qualitativa che le contraddistingue: mentre il senso di agency si manifesta unicamente in concomitanza con i movimenti volontari, il senso di ownership viene esperito come continuo e onnipresente, indipendentemente dal fatto che il corpo stia agendo, in modo volontario o involontario.

Per dar conto della complessa relazione tra ownership e agency, la letteratura ha proposto tre modelli neurocognitivi alternativi (Seghezzi et al., 2019).

Il primo, di impianto gerarchico, è il cosiddetto *modello additivo*, formulato da Tsakiris, Schütz-Bosbach e Gallagher (2007). Tale modello sostiene che il senso di agency includa sempre il senso di ownership come propria componente di base: ogni esperienza di agency presuppone infatti l'esperienza che sia il proprio corpo a compiere l'azione. A questa componente di ownership si aggiungerebbe, tuttavia, un elemento specifico dell'agency, costituito dai processi di controllo volontario sull'azione e dal monitoraggio sensorimotorio delle sue conseguenze. In questa prospettiva, ownership e agency condividerebbero un network neurale comune, accanto al quale opererebbero regioni cerebrali specifiche dedicate ai soli processi di controllo volontario.

Il secondo, il *modello indipendente*, è sostenuto in particolare da Tsakiris, Longo e Haggard (2010), e considera ownership e agency come esperienze qualitativamente diverse, supportate da network cerebrali distinti e non sovrapposti. Secondo questa posizione, ciascuna delle due dimensioni dipenderebbe da meccanismi neurocognitivi specifici, ovvero l'integrazione multisensoriale per l'ownership e il monitoraggio sensorimotorio dell'azione volontaria per l'agency, senza che nessuna delle due si configuri come preconditione necessaria dell'altra.

Il terzo, il modello interattivo, è stato proposto da Seghezzi e collaboratori (2019) e suggerisce che ownership e agency rappresentino esperienze parzialmente differenti, ciascuna dotata di correlati neurali specifici ed esclusivi, ma capaci di interagire a livello neurofunzionale in una regione condivisa. A sostegno di questa proposta, gli stessi autori hanno condotto una meta-analisi quantitativa sui dati di neuroimaging disponibili, che ha fornito supporto empirico al modello identificando: un network specifico per l'ownership, comprendente il lobulo parietale inferiore sinistro e l'extra-striate body area (EBA) sinistra, che sono coinvolti nell'integrazione tra rappresentazioni visive del corpo e informazioni somatosensoriali; un network specifico per l'agency, comprendente la SMA sinistra, l'insula posteriore sinistra, il giro postcentrale destro e il lobo temporale superiore destro, riconducibile al circuito sensori-motorio di comparazione tra predizioni ed esiti dell'azione; e infine un hub condiviso a livello dell'insula media sinistra, individuata come nodo multisensoriale di alto livello in cui ownership e agency interagiscono. Va segnalato come i risultati della meta-analisi di Seghezzi et al. (2019) non siano in contraddizione con i dati di Tsakiris (2010, 2011) sull'insula posteriore destra come correlato dell'ownership, ma piuttosto li integrino in una prospettiva più ampia: l'insula nel suo complesso risulta coinvolta sia nell'ownership sia nell'agency, con

sfumature funzionali e di lateralizzazione che dipendono dai paradigmi sperimentali utilizzati e dal tipo di esperienza corporea indagata.

I due fenomeni possono quindi co-occorrere, ma non coincidono (Seghezzi, Giannini e Zapparoli, 2019). È possibile esperire ownership in assenza di agency (ad esempio durante movimenti passivi), così come è possibile avere esperienza di agency in condizioni in cui l'ownership è alterata. Un'elevata agency potrebbe incrementare il senso di controllo e responsabilità sull'esito dell'azione; un'elevata ownership potrebbe amplificare il coinvolgimento corporeo e la salienza affettiva della perdita. Le evidenze provenienti da sindromi di disownership e da illusioni corporee mostrano che il controllo dell'azione può contribuire al senso di appartenenza corporea, ma non ne costituisce una condizione né necessaria né sufficiente in senso semplice. Tale dissociabilità trova conferma anche sul piano clinico: i pazienti affetti dalla sindrome della mano anarchica conservano l'ownership per l'arto le cui azioni volontarie e relative conseguenze vengono tuttavia negate (assenza di agency), mentre i pazienti con somatoparafrenia presentano il pattern inverso, ovvero la negazione dell'ownership per un arto plegico accompagnata da un'agency veridica per lo stesso arto (Berti, Bottini, & Paulesu, 2019; Della Sala, Marchetti, & Spinnler, 1991; Invernizzi et al., 2013; Seghezzi et al., 2019).

La relazione tra agency e ownership è complessa: sebbene concettualmente distinte, entrambe contribuiscono alla strutturazione del sé corporeo e alla rilevanza soggettiva delle conseguenze dell'azione. L'analisi congiunta di queste dimensioni consente di esplorare se esse contribuiscano in modo convergente o indipendente alla propensione al rischio.

1.6 Il Decision Making

Il decision making può essere inteso come il processo attraverso cui il soggetto seleziona un'azione tra alternative disponibili sulla base della valutazione di costi, benefici e probabilità di esito (Rangel, Camerer & Montague, 2008). Sul piano computazionale, tale processo si articola in cinque sotto-processi fondamentali: la rappresentazione del problema decisionale, attraverso l'identificazione degli stati interni, degli stati esterni e dei possibili corsi d'azione; la valutazione delle azioni prese in considerazione; la selezione dell'azione sulla base delle valutazioni effettuate; la misurazione della desiderabilità degli esiti ottenuti; e infine l'apprendimento, che consente di aggiornare i processi precedenti al fine di migliorare la qualità delle decisioni successive (Rangel et al., 2008).

Nei modelli neuropsicologici contemporanei, il decision making viene concettualizzato come un processo riconducibile alle funzioni esecutive, intese a loro volta come una famiglia di processi top-down che entrano in gioco quando affidarsi all'automatismo o all'intuizione risulta insufficiente o inadeguato (Diamond, 2013). Secondo tale prospettiva, ogni decisione richiede l'integrazione coordinata delle tre componenti nucleari delle funzioni esecutive (memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva), dalle quali si sviluppano poi funzioni esecutive di ordine superiore quali il ragionamento, la pianificazione, il problem solving e, naturalmente, il decision making stesso (Diamond, 2013). Più nello specifico, la memoria di lavoro permette di mantenere attive e manipolare le informazioni rilevanti per la scelta; il controllo inibitorio consente di resistere a risposte prepotenti, a impulsi immediati o a distrattori interni ed esterni; la flessibilità cognitiva, infine, rende possibile considerare prospettive alternative e adattarsi a condizioni mutevoli (Diamond, 2013).

Nei compiti di rischio progressivo, tuttavia, la selezione dell'azione non dipende esclusivamente da valutazioni cognitive astratte: a essa

concorrono anche la percezione di controllo, la responsabilità percepita e la salienza affettiva delle conseguenze. La cornice teorica di riferimento è in tal senso offerta dall'ipotesi del *marcatore somatico* (Somatic Marker Hypothesis), avanzata da Damasio e collaboratori (Bechara, Damasio, Damasio & Anderson, 1994; Bechara & Damasio, 2005). Secondo questa ipotesi, le decisioni in condizioni di incertezza sono guidate dall'integrazione tra valutazioni cognitive e segnali somatico-emotivi, i quali marcano le opzioni disponibili in termini di valenza affettiva, orientando rapidamente la scelta verso le alternative vantaggiose e allontanandola da quelle svantaggiose. Tali segnali possono operare a livello conscio, sotto forma di "sensazioni viscerali" (*gut feelings*), oppure a livello non conscio, influenzando il comportamento ancor prima che il soggetto sviluppi una conoscenza esplicita della struttura del compito (Bechara, Damasio, Tranel & Damasio, 1997; Bechara & Damasio, 2005).

Sempre nell'ottica di tale ipotesi, i segnali corporei, sia quelli effettivamente generati dal corpo (comunemente denominati *body loop*), sia quelli simulati nelle corteccie somatosensoriali in assenza di reale attivazione periferica, vengono riattivati di fronte a scenari decisionali e marcano le diverse opzioni come vantaggiose o svantaggiose, riducendo lo spazio decisionale e rendendolo gestibile per analisi costi-benefici (Damasio, 1996). I marcatori somatici, in questo senso, non si limitano a generare esperienza emotiva, ma intervengono direttamente nei processi di ragionamento e scelta, in modo particolarmente evidente nelle condizioni di incertezza (Bechara & Damasio, 2005). La corteccia prefrontale ventromediale (vmPFC) è stata individuata come il nodo critico per la formazione dei collegamenti tra conoscenza fattuale e stati biorregolatori, mentre l'insula e le corteccie somatosensoriali contribuiscono alla rappresentazione corporea sottostante (Damasio, 1996; Xu et al., 2020). È significativo, in questa cornice, che l'insula posteriore destra, già identificata come area chiave per l'esperienza soggettiva di

ownership (Tsakiris, 2011), si configuri come uno snodo neuroanatomico che lega direttamente la rappresentazione corporea *self-specific* ai processi decisionali mediati da segnali somatici.

Il decision making in condizioni di rischio implica dunque la valutazione di costi, benefici e probabilità di esito; tuttavia, come si è visto, tale processo non si esaurisce in un calcolo astratto delle probabilità, ma è influenzato anche dalla rappresentazione del controllo sull'azione e dai segnali affettivi associati alle diverse opzioni (Bechara & Damasio, 2005). Quando l'esito viene percepito come direttamente dipendente dalla propria azione, la valutazione soggettiva del rischio può subire modulazioni significative, con conseguenti effetti sulla scelta comportamentale.

Sul piano dei correlati neurali, il decision making si configura come il prodotto dell'attività integrata di un network distribuito che comprende la corteccia prefrontale ventromediale, la corteccia orbitofrontale, l'amigdala, lo striato ventrale, le cortecce somatosensoriali (insulare, SII e SI) e i nuclei del tronco encefalico coinvolti nella regolazione degli stati somatici e nel rilascio di neurotrasmettitori (Bechara & Damasio, 2005; Rangel et al., 2008). La corteccia prefrontale ventromediale svolge un ruolo critico nell'innescare gli stati somatici a partire dai *secondary inducers*, ovvero rappresentazioni mentali, pensieri e memorie di eventi emotivamente rilevanti, mentre l'amigdala risulta cruciale per l'attivazione di stati somatici in risposta ai *primary inducers*, ossia stimoli che elicitano in modo automatico e obbligato una risposta affettiva (Bechara & Damasio, 2005). I pazienti con lesioni bilaterali alla corteccia prefrontale ventromediale presentano un grave deficit nel decision making nelle situazioni reali, pur mantenendo intatte le funzioni intellettive generali, la memoria di lavoro e le abilità di problem solving valutate con prove neuropsicologiche standard (Bechara et al., 1994; Bechara & Damasio, 2005). Tale dissociazione tra conoscenza esplicita e capacità di agire coerentemente con essa suggerisce che un decision making vantaggioso richieda non soltanto

processi cognitivi espliciti, ma anche l'integrazione di segnali emotivi impliciti capaci di orientare la scelta verso le opzioni più favorevoli (Bechara et al., 1997). Studi di neuroimaging funzionale hanno inoltre messo in luce il coinvolgimento dello striato, della corteccia orbitofrontale mediale e laterale, della corteccia cingolata anteriore e dell'insula nella codifica del valore atteso, del rischio e degli errori di predizione, ossia di quei segnali computazionali essenziali per la valutazione delle opzioni e per l'aggiornamento delle scelte sulla base del feedback (Rangel et al., 2008).

Sul piano della misurazione, il decision making in condizioni di rischio (in cui le probabilità degli esiti sono note al soggetto) e di ambiguità (in cui invece le probabilità degli esiti sono ignote) viene tipicamente valutato attraverso paradigmi sperimentali quali l'Iowa Gambling Task (IGT), sviluppato da Bechara e collaboratori (1994). In questo compito il soggetto è chiamato a effettuare una serie di scelte tra quattro mazzi di carte associati a differenti schedule di ricompensa e punizione: due mazzi risultano svantaggiosi nel lungo termine, in quanto offrono guadagni immediati elevati ma perdite future maggiori, mentre gli altri due risultano vantaggiosi, restituendo guadagni immediati minori ma perdite contenute. Il compito riproduce in laboratorio le caratteristiche delle decisioni della vita reale, nelle quali le premesse e gli esiti sono incerti e le scelte devono basarsi su approssimazioni piuttosto che su calcoli espliciti (Bechara et al., 1994). La performance all'IGT viene di frequente accompagnata da misure psicofisiologiche, come la registrazione delle risposte di conduttanza cutanea (*Skin Conductance Responses, SCRs*), che consentono di indicizzare l'attivazione degli stati somatici anticipatori prima della selezione di una carta, offrendo così un correlato empirico del meccanismo di marcatura somatica (Bechara et al., 1997; Bechara & Damasio, 2005). Se l'IGT trova un impiego ampio nello studio del decision making in condizioni di ambiguità, altri paradigmi sono stati invece sviluppati

specificamente per indagare la propensione al rischio in condizioni più strutturate, come si vedrà nel prossimo paragrafo.

1.7 Il Risk Taking

Situazioni e prospettive differenti conducono a definizioni diverse del concetto di risk taking. In generale, il prendere rischi può essere definito come la tendenza a impegnarsi in attività caratterizzate dalla presenza di un potenziale pericolo o danno (Leigh, 1999; Trimpop, 1994). In modo analogo, Jungermann e Slovic (1987) descrivono il risk taking come una scelta influenzata sia dalla probabilità di verificarsi di un determinato esito sia dalle conseguenze associate a un evento rischioso.

La decisione di un individuo di assumere o evitare rischi viene invece definita propensione al rischio (risk propensity), ovvero la disposizione individuale a confrontarsi con situazioni caratterizzate da incertezza e possibili perdite (Sitkin & Pablo, 1992). In relazione a tale disposizione, la letteratura distingue generalmente due principali tipologie di individui.

Da un lato, gli individui avversi al rischio tendono a proteggere le risorse già acquisite, risultano più riluttanti ad assumere decisioni rischiose (Sitkin & Pablo, 1992) e attribuiscono maggiore peso agli esiti negativi rispetto a quelli positivi (Schneider & Lopes, 1986). Dall'altro lato, gli individui propensi al rischio mostrano una maggiore inclinazione verso comportamenti avventurosi e una più elevata disponibilità ad affrontare situazioni rischiose (Sitkin & Pablo, 1992); inoltre, tendono a sovrastimare la probabilità di guadagno rispetto a quella di perdita.

Tale classificazione tipologica, tuttavia, non rispecchia un tratto unitario, ma si configura piuttosto come il risultato osservabile

dell'interazione tra distinti processi sottostanti. La letteratura scientifica, e in particolare i lavori di Weber e colleghi, opera infatti una distinzione tra percezione del rischio, intesa come quanto un'attività venga ritenuta pericolosa, atteggiamento verso il rischio, ovvero la disposizione affettivo-valutativa del soggetto nei confronti del rischio in sé, e propensione al rischio, intesa a sua volta come la disposizione comportamentale che ne consegue. Un soggetto può così apparire "propenso al rischio" perché percepisce il rischio come basso, perché nutre un atteggiamento favorevole nei suoi confronti, oppure perché attribuisce maggior peso ai benefici attesi rispetto alle possibili perdite (Blais & Weber, 2006). Questa prospettiva, denominata *risk-return framework*, suggerisce che la propensione al rischio osservata in un dato dominio non costituisca un tratto stabile, bensì il risultato dell'interazione dinamica di tali componenti (Blais & Weber, 2006).

La misurazione del risk taking rappresenta quindi una sfida metodologica a causa dell'ampia varietà di comportamenti che possono essere considerati rischiosi (Leigh, 1999). Attività quotidiane, come guidare un'automobile, così come attività estreme, come il paracadutismo, possono essere entrambe considerate forme di assunzione di rischio. Questa eterogeneità di comportamenti rende difficile stabilire con precisione quale specifica dimensione del rischio venga effettivamente misurata (Bran & Vaidis, 2020).

Per questo motivo, molti ricercatori utilizzano strumenti di self-report per valutare il risk taking all'interno di specifici domini, spesso sovrapposti tra loro. Tra questi rientrano, ad esempio, misure di impulsività e propensione all'avventura (Eysenck & Eysenck, 1978), sensation seeking e atteggiamenti nei confronti del gioco d'azzardo (Bouju et al., 2014).

Tra gli strumenti più utilizzati in letteratura figura la Domain-Specific Risk-Taking Scale (DOSPERT), che misura la propensione al rischio in cinque domini distinti, ovvero finanziario, sanitario/di sicurezza,

ricreativo, etico e sociale, riconoscendo come la disposizione individuale al rischio possa variare in misura considerevole in funzione del contesto (Blais & Weber, 2006). Un altro strumento ampiamente diffuso è la Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11), che valuta il tratto di impulsività lungo tre dimensioni (motoria, cognitiva e di pianificazione) e che mostra correlazioni significative con la propensione al rischio (Patton et al., 1995; Lejuez et al., 2002). La *Sensation Seeking Scale* (SSS) di Zuckerman misura, da parte sua, la ricerca di sensazioni nuove e intense lungo quattro sottoscale (thrill and adventure seeking, experience seeking, disinhibition, boredom susceptibility), e rappresenta uno dei principali correlati del comportamento rischioso (Zuckerman et al., 1978; Lejuez et al., 2002). Gli strumenti di self-report risultano particolarmente utili quando occorre somministrare rapidamente un test a campioni numerosi con un impegno relativamente ridotto in termini di tempo e costi, consentendo allo stesso tempo una misurazione adeguata delle dimensioni psicologiche oggetto di indagine (Weiner, 2005; Demetriou et al., 2015).

Tali strumenti, tuttavia, presentano anche alcune limitazioni. Le misure di self-report possono infatti essere soggette a distorsioni di risposta, dal momento che gli individui potrebbero non rispondere in modo completamente veritiero, soprattutto a fronte di domande sensibili, dando così luogo a fenomeni di *social desirability bias*. Inoltre, i partecipanti possono tendere a rispondere alle domande seguendo uno schema ricorrente indipendentemente dal contenuto degli item, generando ulteriori forme di *response bias* (Demetriou et al., 2015). Un'ulteriore criticità riguarda il fatto che le risposte fornite dagli individui si basano prevalentemente sul ricordo di esperienze passate piuttosto che sul loro stato attuale al momento della valutazione, con possibili conseguenze negative sull'affidabilità della misura (Pekrun, 2020). Infine, molti individui mostrano una limitata capacità predittiva

rispetto ai comportamenti rischiosi reali in contesti di incertezza, il che rende la misurazione poco valida (Cogliati Dezza et al., 2023).

Per questo motivo, oltre alle misure di self-report, è possibile utilizzare valutazioni comportamentali per studiare il risk taking (Aklin et al., 2005). Le valutazioni comportamentali consentono ai ricercatori di osservare direttamente il comportamento degli individui mentre svolgono un determinato compito (De-Juan-Ripoll et al., 2020) e permettono di ridurre la probabilità di distorsioni legate alle risposte auto-riferite (Weiner, 2005). Pertanto, un approccio efficace per misurare il risk taking consiste nella somministrazione congiunta di strumenti di self-report e di valutazioni comportamentali (Weiner, 2005).

In questa prospettiva, uno dei compiti comportamentali più ampiamente impiegati è il Balloon Analogue Risk Task (BART), sviluppato da Lejuez e colleghi nel 2002 come misura comportamentale standardizzata in grado di simulare situazioni di rischio reale, in cui una maggiore assunzione di rischio viene ricompensata fino a un punto oltre il quale conduce a esiti negativi (Lejuez et al., 2002). Nel paradigma originale viene presentato sullo schermo del computer un palloncino virtuale che il partecipante può gonfiare attraverso pressioni successive di un pulsante: ogni gonfiaggio aumenta la ricompensa monetaria accumulata in un deposito temporaneo (5 centesimi per pump), ma incrementa progressivamente anche la probabilità di esplosione del palloncino, evento che comporta la perdita di tutto il guadagno relativo a quella prova. In qualsiasi momento, il partecipante può scegliere di interrompere il gonfiaggio e trasferire la somma accumulata in un deposito permanente (Lejuez et al., 2002). Il paradigma originale prevede 90 prove suddivise in tre tipologie di palloncini (blu, giallo e arancione), ciascuna associata a una diversa probabilità media di esplosione, rispettivamente di 1/128, 1/32 e 1/8 (Lejuez et al., 2002). L'indice principale di propensione al rischio è il numero medio

aggiustato di pumps (adjusted average number of pumps), ovvero il numero medio di pompate calcolato sulle sole prove non terminate con esplosione: una scelta, questa, che consente di limitare le distorsioni introdotte dalle prove esplose, in cui il comportamento di rischio risulta artificialmente troncato (Lejuez et al., 2002).

Lo studio originale di validazione ha mostrato come la performance al BART correli in modo significativo con misure di sensation seeking, impulsività e deficit di controllo comportamentale, oltre che con la frequenza autoriferita di comportamenti reali rischiosi quali il consumo di alcol, il fumo, l'uso di droghe, il gioco d'azzardo, i rapporti sessuali non protetti e i comportamenti delinquenziali, evidenziando così una validità incrementale rispetto alle sole misure self-report (Lejuez et al., 2002). Tali risultati sono stati ampiamente replicati in studi successivi, che hanno confermato il BART come strumento sensibile alle differenze individuali nella propensione al rischio sia in popolazioni cliniche sia non cliniche (Compagne et al., 2023). Nonostante la sua diffusione, al Balloon Analogue Risk Task sono state mosse alcune critiche metodologiche, tra cui la possibile distorsione del punteggio aggiustato dovuta all'esclusione dei trial esplosi dal calcolo finale, la confusione tra rischio e valore atteso e la difficoltà a distinguere tra decisioni in condizione di ambiguità e decisioni in condizione di rischio, soprattutto nelle prove iniziali, in cui il partecipante non ha ancora appreso le probabilità di esplosione (Compagne et al., 2023).

A partire dalla versione originale sono state sviluppate numerose varianti del paradigma: tra queste si annoverano versioni a risposta automatica (in cui il partecipante dichiara all'inizio della prova quanti pumps intende effettuare), versioni con feedback esplicito sul punto di esplosione, versioni adattate per popolazioni adolescenti (BART-Y) e versioni adattate ai contesti di neuroimaging, in cui parametri come il numero di pumps possibili, il numero di prove e l'intervallo temporale tra pumps vengono modificati per rispondere ai vincoli specifici delle tecniche di registrazione (Compagne et al., 2023).

Sul versante dei correlati neurali, gli studi di neuroimaging che hanno impiegato il BART hanno consentito di individuare una rete cerebrale distribuita coinvolta nel comportamento di assunzione di rischio. Una recente meta-analisi condotta da Compagne et al. (2023) ha messo in evidenza il coinvolgimento di tre principali network funzionali durante l'esecuzione del compito: il reward network, il salience network e il cognitive control network. Il reward network, che include lo striato ventrale e la corteccia prefrontale ventromediale (vmPFC), interviene nella codifica del valore atteso e della ricompensa; in particolare, una ridotta attivazione della vmPFC durante le decisioni rischiose è stata associata a un incremento della propensione al rischio. Il salience network, di cui fanno parte l'insula e la corteccia cingolata anteriore (ACC), è invece implicato nella codifica della salienza degli stimoli e dell'avversione alla punizione, con una minore attivazione dell'insula anteriore che si associa a una maggiore propensione al rischio. Il cognitive control network, infine, di cui fa parte la corteccia prefrontale dorsolaterale (dlPFC), riflette processi di controllo cognitivo e di modulazione del comportamento di rischio, e risulta più attivato negli individui che mostrano una maggiore sensibilità al livello di rischio (Compagne et al., 2023).

Tali evidenze neurofunzionali confermano la complessità dei processi cognitivi e affettivi che sottendono il BART. Più recentemente, il task è stato adattato anche ai contesti di realtà virtuale, con l'obiettivo di accrescerne la validità ecologica e di esplorare come variabili legate all'embodiment e all'esperienza immersiva possano modulare la propensione al rischio.

1.8 Balloon Analogue Risk Task (BART) in VR

Nonostante la sua ampia diffusione, come abbiamo già detto, il BART nella sua versione tradizionale presenta alcune limitazioni metodologiche che ne riducono la validità ecologica. In particolare, il compito non richiede interazioni fisiche significative e prevede soltanto azioni molto semplici, come il clic del mouse per gonfiare il palloncino. Questa modalità di interazione può ridurre la validità ecologica della misurazione (De-Juan-Ripoll et al., 2018). Inoltre, la natura bidimensionale del BART tradizionale comporta un livello relativamente basso di fedeltà dell'esperienza e può portare a una minore percezione del rischio, poiché i partecipanti non si sentono realmente immersi nella situazione (Sanchez et al., 2021).

In questo contesto, la realtà virtuale (VR) può rappresentare una possibile soluzione per affrontare alcune delle limitazioni del BART tradizionale. La realtà virtuale offre infatti un maggiore livello di immersione, una più elevata fedeltà dell'esperienza e un maggiore coinvolgimento attivo dell'utente rispetto ai metodi di valutazione tradizionali. Inoltre, gli ambienti virtuali sono in grado di generare una forte sensazione di presenza, permettendo agli utenti di interagire con oggetti virtuali in modo naturale (Heydarian et al., 2015). La sensazione di presenza può portare gli individui a percepire l'esperienza virtuale come simile a una situazione reale, fino al punto di dimenticare di trovarsi in un ambiente simulato e comportarsi quindi in modo più vicino a quanto farebbero nella vita quotidiana (Slater, 2009).

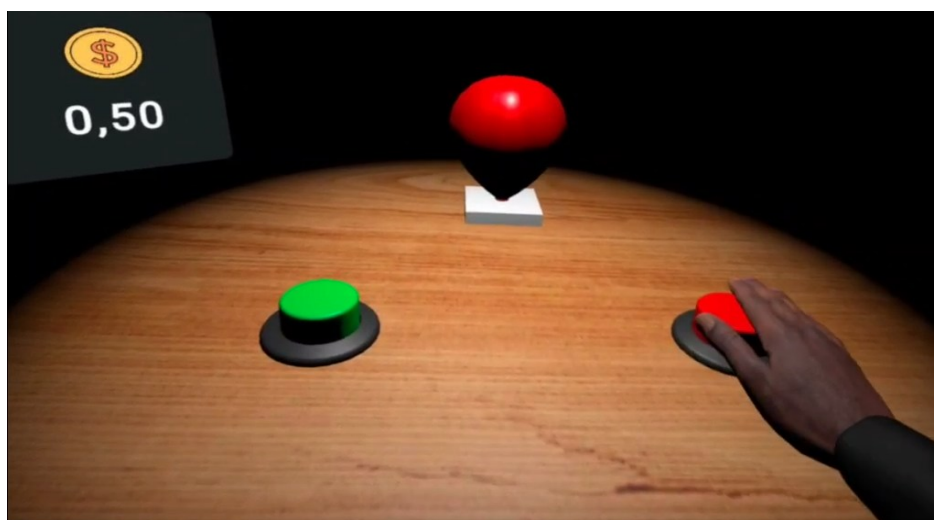
Dal punto di vista della validità ecologica, la realtà virtuale consente ai ricercatori di ricreare ambienti interattivi simili a quelli del mondo reale, all'interno dei quali gli utenti possono svolgere compiti mentre le loro risposte comportamentali vengono registrate in modo controllato (Parsons, 2015). Un maggiore senso di presenza può inoltre rendere i partecipanti meno consapevoli di essere sottoposti a una valutazione

sperimentale, favorendo così l'emergere di una propensione al rischio più autentica grazie alla componente visiva e sensoriale dell'ambiente virtuale.

Diversi studi hanno inoltre evidenziato che le applicazioni in realtà virtuale risultano generalmente più coinvolgenti e piacevoli rispetto ai test tradizionali su carta o alle procedure di valutazione standard (Ozgen et al., 2021; Zeng et al., 2017), contribuendo ad aumentare la soddisfazione degli utenti. In linea con questi risultati, Chiossi et al. (2022) hanno mostrato che i sistemi di realtà virtuale possono migliorare la soddisfazione degli utenti in una vasta gamma di contesti applicativi. Quando i partecipanti percepiscono positivamente l'usabilità del VR, i ricercatori possono beneficiare di maggiore flessibilità sperimentale, poiché i sistemi di realtà virtuale consentono manipolazioni sperimentali più adattive e controllate (Choi et al., 2019).

Al di là di questi aspetti legati all'immersività e al coinvolgimento, tuttavia, la realtà virtuale presenta un vantaggio metodologico ulteriore e particolarmente rilevante per il presente studio: la possibilità di indurre sperimentalmente componenti del Bodily Self-Awareness quali l'ownership e l'agency. Quando un partecipante osserva in prima persona un avatar che si muove in maniera congruente ai propri movimenti reali, può infatti esperire un certo grado di ownership nei confronti del corpo virtuale e un certo grado di agency rispetto ai movimenti osservati e al feedback. Poiché queste due componenti possono essere manipolate in modo indipendente attraverso opportune variazioni della congruenza visuo-motoria, della prospettiva visiva e della corrispondenza temporale tra azione e feedback, la realtà virtuale costituisce uno strumento particolarmente adatto per isolare e valutare il contributo specifico di ownership e agency nella modulazione del comportamento di assunzione di rischio.

Alla luce di queste considerazioni, il presente studio utilizza una versione del BART implementata in realtà virtuale, con l'obiettivo di indagare in quale delle quattro condizioni sperimentali, derivanti dalla combinazione tra modulazione di ownership e di agency, i partecipanti mostrino una maggiore propensione al rischio nella BART.



2. Obiettivi e ipotesi dello studio

L'obiettivo del presente studio è indagare se ownership e agency, in quanto componenti fondamentali della bodily self-awareness, modulino la propensione al rischio. Infatti, finora la letteratura sul decision making ha indagato il contributo di queste due componenti, in modo separato, lasciando aperta la questione di come esse interagiscano nel determinare il comportamento di assunzione di rischio.

Sulla base della letteratura discussa nei capitoli precedenti, ci si attende che un ownership più intensa nei confronti del corpo virtuale sia associata a una maggiore propensione al rischio (H1), che un senso di agency più marcato amplifichi a sua volta tale propensione (H2), e che la combinazione delle due dimensioni produca l'effetto più intenso (H3). Ci si attende inoltre che l'agency medi, almeno in parte, la relazione tra ownership e comportamento di rischio (H4). Lo studio

si propone, infine, di esplorare se la consapevolezza interocettiva e l'impulsività di tratto, attraverso MAIA-2 e BIS11, modulino tale relazione, in qualità di obiettivo esplorativo aggiuntivo.

3. Materiali e metodi

Nel presente studio sono state riportate tutte le informazioni relative alla determinazione della dimensione del campione, alle esclusioni di dati, ai criteri di inclusione ed esclusione, alle manipolazioni sperimentali e alle misure raccolte.

La dimensione del campione è stata determinata sulla base della numerosità campionaria di studi precedenti che hanno impiegato il *Balloon Analogue Risk Task* per indagare la propensione al rischio in adulti sani, senza ricorrere a un'analisi a priori della potenza statistica.

Complessivamente sono stati reclutati 40 partecipanti, dei quali 7 sono stati esclusi dall'analisi finale a causa di un mancato salvataggio dei dati da parte del visore di realtà virtuale; il campione finale analizzato è dunque costituito da 33 partecipanti.

L'unico criterio di inclusione applicato in fase di reclutamento è stato il destrismo, accertato tramite autoriferimento verbale al momento del reclutamento; non sono stati applicati ulteriori criteri di esclusione predefiniti. Tutti i criteri sono stati stabiliti a priori, prima dell'inizio della raccolta dati e dell'analisi statistica.

Lo studio ha previsto la manipolazione sperimentale di due variabili indipendenti within-subjects, l'ownership e l'agency, all'interno di un disegno fattoriale 2×2. Le misure raccolte comprendono variabili comportamentali al BART, misure esplicite post-trial di ownership e

agency, due questionari individuali (MAIA-2 e BIS-11) e variabili sociodemografiche, descritte in dettaglio nelle sezioni successive.

3.1 Disegno sperimentale

Lo studio adotta un disegno fattoriale 2×2 , che manipola sperimentalmente la congruenza visuo-motoria della mano virtuale (congruente vs. incongruente) e la contingenza temporale tra azione ed effetto (immediata vs. ritardata), al fine di modulare rispettivamente il senso di ownership e il senso di agency. La variabile ownership è stata manipolata variando il tipo di corpo virtuale presentato al partecipante: nella condizione di alta ownership il partecipante visualizzava una mano virtuale in prima persona, che si muoveva in piena congruenza con la propria mano reale; nella condizione di bassa ownership il partecipante visualizzava un avatar dalle sembianze robotiche, seduto di fronte a sé, di cui erano visibili mani, braccia e busto, e che veniva controllato dai propri movimenti. La variabile agency è stata manipolata variando la corrispondenza temporale tra l'azione del partecipante e il feedback visivo: nella condizione di alta agency il palloncino si gonfiava immediatamente alla pressione del tasto, mentre nella condizione di bassa agency tra la pressione del tasto e il gonfiaggio del palloncino veniva introdotto un ritardo temporale di 500 ms. I partecipanti sono quindi esposti a quattro condizioni sperimentali, ognuna composta da 36 trial: congruente attiva (ownership e agency presenti), congruente passiva (ownership presente ma agency ridotta), incongruente attiva (ownership ridotta ma agency presente) e incongruente passiva (ownership e agency ridotte). L'ordine di presentazione delle quattro condizioni è stato randomizzato a livello di singolo partecipante, al fine di controllare possibili effetti di ordine.

3.2 Misure

Nel presente studio sono state raccolte le seguenti misure:

(a) Variabili comportamentali al BART: in accordo con la procedura standard del paradigma originale (Lejuez et al., 2002), l'indice principale di propensione al rischio è stato il numero medio aggiustato di pumps (adjusted average number of pumps), ovvero il numero medio di pumps calcolato sulle sole prove non terminate con esplosione.

(b) Misure esplicite di ownership e agency post-trial: al termine di ciascuno dei 36 trial sperimentali venivano presentate a schermo due domande, valutate su scala Likert a 5 punti (da 1 = "per niente" a 5 = "molto"): "Quanto hai percepito che la mano che ha cliccato ti appartenesse?" (ownership) e "Quanto è stata forte la sensazione che i click che hanno gonfiato il palloncino fossero causati da te?" (agency).

(c) Questionari individuali: al termine della sessione sperimentale sono stati somministrati la Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness, seconda versione (MAIA-2; Mehling et al., 2018), per la misurazione della consapevolezza interocettiva, e la Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11; Patton, Stanford & Barratt, 1995), per la misurazione del tratto di impulsività.

(d) Variabili sociodemografiche: sono state inoltre raccolte informazioni relative a genere, età, etnia e livello di istruzione.

3.3 Partecipanti

In totale, 40 soggetti hanno partecipato a questo studio, 7 sono stati esclusi dall'analisi finale a causa di un problema tecnico. Il campione finale analizzato è dunque costituito da 33 partecipanti. Tutti i soggetti sono studenti dell'Università di Pavia. Nessuno dei soggetti ha avvertito malori o fastidi durante l'intera somministrazione delle prove. Tutti i partecipanti hanno fornito il loro consenso informato scritto per partecipare allo studio

Un totale di 1 maschio e 32 femmine di età compresa tra 19 e 27 anni ($M = 22,12$, $SD \pm 1,83$) ha partecipato allo studio. La maggior parte dei partecipanti aveva un diploma di scuola superiore (62,5%), seguita da una laurea triennale (21,9%), una laurea magistrale (9,4%) e altri titoli di studio (6,2%). La maggior parte dei partecipanti aveva esperienza con la realtà virtuale e metà dei partecipanti non presentavano problemi visivi l'altra metà utilizzava strumenti correttivi.

L'unico criterio di inclusione applicato in fase di reclutamento è stato il destrismo, accertato tramite autoriferimento verbale al momento del reclutamento. Non sono stati applicati ulteriori criteri di esclusione predefiniti. Tutti i criteri sono stati stabiliti a priori, prima dell'inizio della raccolta dati e dell'analisi statistica. Il protocollo sperimentale è stato condotto in conformità con gli standard etici della Dichiarazione di Helsinki del 2013.

3.4 Materiali

Il materiale utilizzato nel presente esperimento può essere suddiviso in due componenti principali: 1) la batteria di misure auto-riferite per vari costrutti legati al rischio, comportamenti a rischio, impulsività e consapevolezza interocettiva e 2) il VR BART.

Barratt Impulsiveness Scale – Versione 11 (BIS-11)

Per la valutazione dell'impulsività come tratto di personalità è stato utilizzato nella presente ricerca il *Barratt Impulsiveness Scale-11* (BIS-11), un questionario self-report sviluppato per misurare il comportamento impulsivo in diversi contesti rilevando l'impulsività come costrutto multidimensionale, non riducibile a un'unica caratteristica comportamentale (Patton, Stanford & Barratt, 1995).

La BIS-11 è composta da 30 item valutati su scala Likert e consente di ottenere un punteggio totale di impulsività e tre sottodimensioni principali: impulsività attentiva, impulsività motoria e impulsività non pianificata (Stanford et al., 2009).

Nel contesto del presente studio i dati del BIS-11 consentono di considerare la *dimensione disposizionale dell'impulsività* come possibile *covariata o fattore moderatore* nell'analisi dell'interazione tra agency, ownership e risk taking.

Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness 2 Version (MAIA - 2)

La consapevolezza interocettiva è stata misurata mediante la Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness – MAIA - 2 (Mehling et al., 2018), uno strumento self-report sviluppato per valutare in modo multidimensionale la percezione e l'elaborazione dei segnali corporei interni.

La versione utilizzata è stata pubblicata nel 2018 e prevede un'aggiunta di 5 item rispetto alla versione precedente in modo tale da migliorarne la consistenza interna, la struttura fattoriale e la stabilità delle scale.

Il MAIA - 2 è composto da 37 item suddivisi sempre in otto sottoscale, che esplorano diverse componenti dell'esperienza interocettiva, tra cui

la capacità di notare sensazioni corporee, la regolazione dell'attenzione verso il corpo, la consapevolezza del legame tra stati corporei ed emozioni e il grado di fiducia nei segnali corporei.

Nel contesto della presente ricerca, il MAIA-2 svolge una funzione teorica e metodologica precisa. La letteratura neuroscientifica suggerisce che i segnali corporei contribuiscano ai processi decisionali in condizioni di incertezza. La consapevolezza intero-cettiva può influenzare la percezione soggettiva del rischio, la sensibilità alle conseguenze e la regolazione emotiva durante il compito.

Nel BART, ogni decisione di “pump” implica una valutazione dinamica del rischio. Differenze individuali nella consapevolezza corporea potrebbero modulare la soglia di rischio accettabile, la risposta emotiva alla perdita (esplosione del palloncino) e la regolazione dell'impulsività decisionale.

VR METAQUEST3 - BART

Per l'implementazione del paradigma sperimentale è stato utilizzato il **Meta Quest 3**, visore di realtà virtuale sviluppato e prodotto da **Meta Platforms** e commercializzato a partire dal 2023. Il dispositivo è progettato per esperienze immersive in realtà virtuale (VR) e realtà mista (MR), senza necessità di collegamento a computer esterni.

Il Meta Quest 3 è dotato di display ad alta risoluzione, tracciamento inside-out a sei gradi di libertà (6DoF), controller con rilevazione del movimento e sistema di hand-tracking. Tali caratteristiche consentono un'interazione naturale con l'ambiente virtuale, permettendo al partecipante di percepire coerenza visuomotoria tra i propri movimenti reali e quelli dell'avatar o degli oggetti virtuali.

Il *Balloon Analogue Risk Task* (BART) è stato implementato in ambiente VR attraverso lo sviluppo di uno scenario tridimensionale immersivo in cui il partecipante visualizza e interagisce con un

palloncino virtuale, mentre la progettazione del task è stata curata da un ingegnere informatico esterno a questo lavoro sperimentale.

L'implementazione in realtà virtuale consente di manipolare sperimentalmente il senso di **agency** e il senso di **ownership** attraverso variazioni della congruenza visuo-spaziale (mano propria in prima persona vs avatar esterno) e della corrispondenza temporale tra l'azione del partecipante e il feedback visivo (delay di 500ms).

3.5 Procedura

È stato utilizzato un disegno within subjects, con tutti i partecipanti sottoposti alla stessa batteria di autovalutazioni (MAIA-2 e BIS-11) e VR. Tuttavia, l'ordine di somministrazione del VR-BART e della batteria di test (MAIA-2 e BIS-11) è stato randomizzato tra i partecipanti, al fine di minimizzare possibili influenze dovute alla sequenza dei compiti e migliorare l'affidabilità delle misurazioni. Al momento del reclutamento, i partecipanti sono stati informati che avrebbero dovuto compilare diversi questionari, sostenere una prova tramite l'utilizzo di un visore e che l'esperimento avrebbe richiesto circa un'ora di tempo.

L'esperimento è stato condotto nei laboratori della Sezione di Psicologia dell'Università di Pavia. Dopo aver illustrato lo studio e fornito al partecipante le istruzioni relative al compito, è stato verificato che non avesse avuto esperienze negative pregresse con l'utilizzo del visore (ad esempio capogiri o nausea), che avrebbero potuto compromettere la qualità dei dati o il completamento della prova. Successivamente, si è proceduto alla presa visione e alla firma del consenso informato e, quindi, all'inizio dell'esperimento.

I partecipanti venivano fatti accomodare di fronte a una scrivania priva di distrazioni e di oggetti che potessero interferire con la procedura. Successivamente si faceva indossare il visore e si procedeva alla

spiegazione della prova. La consegna verbale somministrata a tutti i partecipanti è stata la seguente:

“Davanti a te visualizzerai un palloncino e due pulsanti posizionati sul tavolo: un pulsante rosso e un pulsante verde. Il tuo obiettivo è guadagnare la maggiore quantità possibile di denaro.

Per farlo, dovrai premere il pulsante rosso: ogni pressione farà gonfiare il palloncino e incrementerà di 0,05 € l'importo accumulato in una banca virtuale temporanea, visibile accanto al palloncino. In qualsiasi momento, prima che il palloncino scoppi, potrai premere il pulsante verde per salvare definitivamente il denaro accumulato fino a quel momento. Quando premerai il pulsante verde, il palloncino si sgonfierà e inizierà un nuovo trial.

È importante sapere che ogni palloncino può esplodere dopo un numero variabile di pressioni. Se il palloncino esplode, perderai tutto l'importo accumulato fino a quel momento.

In alcune fasi potresti notare un leggero ritardo tra la pressione del pulsante e il gonfiaggio del palloncino: si tratta di una caratteristica prevista dal compito. In altre situazioni, potresti vedere un avatar o un robot posizionato dall'altro lato del tavolo e i pulsanti appariranno davanti a esso; anche in questo caso sarai sempre tu a controllare l'azione, seguendo la stessa procedura per gonfiare il palloncino o salvare il denaro.

Al termine di ogni trial, cioè quando il palloncino esploderà oppure quando deciderai di salvare il denaro, compariranno due domande in sequenza. Potrai rispondere selezionando una delle cinque opzioni disponibili tramite i pulsanti numerati.

Se durante l'esperienza dovessi avvertire capogiri, nausea o qualsiasi forma di disagio, potremmo interrompere immediatamente la prova senza alcuna conseguenza.

Se non hai domande, possiamo iniziare”.

3.6 Descrizione del task

Il partecipante, mediante l'utilizzo del visore *Meta Quest 3*, visualizzava entrambe le proprie mani (fino a metà avambraccio), un tavolo virtuale sul quale erano collocati due pulsanti: un pulsante rosso che a ogni pressione, determinava il gonfiaggio di un palloncino virtuale e un pulsante verde per riscuotere l'importo accumulato.

A ogni pressione del pulsante rosso, il palloncino aumentava progressivamente di dimensioni e il partecipante accumulava 0,05 € in una banca temporanea. Il totale dei crediti accumulati veniva mostrato accanto al palloncino in tempo reale. Ogni palloncino esplodeva al raggiungimento di un numero specifico di pressioni (life), predefinito secondo una distribuzione variabile tra i trial, con un limite massimo di 128 pumps.

In seguito all'esplosione, i fondi presenti nella banca temporanea venivano azzerati e compariva automaticamente il palloncino successivo. Tuttavia, se il partecipante decideva di riscuotere il denaro prima dell'esplosione, premendo il pulsante verde, l'importo accumulato per quel palloncino veniva trasferito in una banca permanente. I crediti depositati nella banca virtuale venivano persi in caso di esplosione dei palloncini successivi.

Per modulare il senso di ownership, nel 50% dei trial la mano veniva visualizzata in una prospettiva biologicamente congruente in prima persona (condizione *ownership*), mentre nel restante 50% dei trial la mano veniva mostrata in una prospettiva biologicamente incongruente in terza persona, ovvero visualizzava un avatar/robot posizionato dall'altro lato del tavolo (condizione *non-ownership*).

Per modulare il senso di agency, nel 50% dei trial il palloncino si gonfiava immediatamente dopo la pressione del pulsante (condizione *agency*), mentre nel restante 50% dei trial il gonfiaggio avveniva con

un ritardo di 500 millisecondi rispetto all'azione del partecipante (condizione *non-agency*).

Secondo un disegno fattoriale 2×2 (Ownership: sì/no $\times$ Agency: sì/no), ciascun partecipante veniva sottoposto a quattro condizioni sperimentali:

- a. **Congruente attiva (Ownership sì + Agency sì):** il partecipante vedeva la propria mano in modo congruente e il palloncino si gonfiava immediatamente.
- b. **Congruente passiva (Ownership sì + Agency no):** il partecipante vedeva la propria mano in modo congruente ma il palloncino si gonfiava con un ritardo di 500 ms.
- c. **Incongruente attiva (Ownership no + Agency sì):** il partecipante vedeva la propria mano in modo incongruente (visualizzava un avatar/robot posizionato dall'altro lato del tavolo) e il palloncino si gonfiava immediatamente.
- d. **Incongruente passiva (Ownership no + Agency no):** il partecipante vedeva la propria mano in modo incongruente (visualizzava un avatar/robot posizionato dall'altro lato del tavolo) e il palloncino si gonfiava con un ritardo di 500 ms.

Ciascun partecipante completava un totale di 36 trial, corrispondenti a 9 trial per ciascuna delle quattro condizioni sperimentali.

Al termine di ogni trial, in seguito all'esplosione del palloncino o alla decisione volontaria di riscossione del premio, i livelli soggettivi di ownership e agency venivano valutati mediante misure esplicite. In particolare, comparivano in sequenza sullo sfondo due richieste di giudizio presentate, mentre sul tavolo venivano visualizzati cinque pulsanti numerati da 1 a 5. Il partecipante esprimeva la propria valutazione su una scala Likert selezionando il pulsante corrispondente al livello di accordo desiderato. Nello specifico, le richieste presentate erano:

- Misurazione esplicita ownership: **Quanto hai percepito che la mano che ha cliccato ti appartenesse?**
- Misurazione esplicita agency: **Quanto è stata forte la sensazione che i click che hanno gonfiato il palloncino fossero causati da te?**

4. Risultati

Tutte le analisi sono state condotte con **jamovi** (versione 2.7.34; The jamovi project, 2024), utilizzando il modulo **GAMLj** (Gallucci, 2019) per la stima dei modelli lineari misti, basato sul pacchetto **lme4** (Bates et al., 2015).

4.1 Comportamento di rischio e condizioni di embodiment

Per valutare l'effetto delle manipolazioni sperimentali sul comportamento di rischio, il numero di pumps è stato analizzato tramite un modello lineare misto, considerando solo i trial validi, cioè quelli non terminati con l'esplosione del palloncino, secondo la procedura standard del BART. Il modello includeva ownership, agency e la loro interazione come effetti fissi, con un'intercetta casuale per partecipante, così da tenere conto della dipendenza delle osservazioni raccolte all'interno dello stesso soggetto. L'analisi è stata condotta sull'intero campione con dati BART validi ($N = 33$), per un totale di 1030 prove valide.

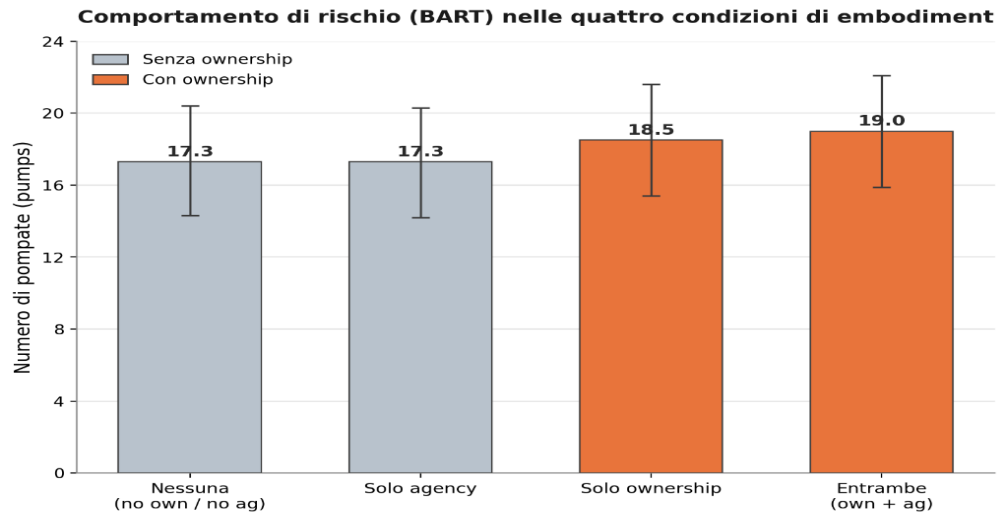
Data la natura ripetuta delle osservazioni e la conseguente non indipendenza dei dati a livello di partecipante, è stato utilizzato un modello lineare misto (*Linear Mixed Model*, LMM), stimato mediante *restricted maximum likelihood* (REML). Il modello includeva ownership (presente vs. assente), agency (presente vs. assente) e la loro interazione come effetti fissi, mentre il partecipante è stato incluso come intercetta casuale (formula: $pumps \sim Ownership \times Agency + (1$

| Partecipante)). I gradi di libertà per i test F sono stati calcolati mediante l'approssimazione di Satterthwaite.

L'analisi ha evidenziato un effetto principale significativo dell'ownership sul numero di *pumps* ($\beta = 1,45$, $SE = 0,48$, IC 95% [0,51, 2,38], $t = 3,04$, $F_{(1, 1177)} = 9,21$, $p = .002$). In termini descrittivi, i partecipanti effettuavano un numero medio di *pumps* significativamente maggiore nelle condizioni caratterizzate dalla presenza di ownership del corpo virtuale ($M = 18,7$) rispetto alle condizioni in cui l'ownership era assente ($M = 17,3$).

Non è invece emerso alcun effetto principale dell'agency ($\beta = 0,18$, $SE = 0,48$, $t = 0,38$, $F_{(1, 1177)} = 0,15$, $p = .702$), indicando che la manipolazione del senso di controllo sull'azione non influenzava significativamente il numero di *pumps*. Anche l'interazione Ownership $\times$ Agency non è risultata significativa ($\beta = 0,54$, $SE = 0,95$, $t = 0,56$, $F_{(1, 1177)} = 0,32$, $p = .573$), indicando che l'effetto dell'ownership sul comportamento di rischio era analogo sia in presenza sia in assenza di agency.

Gli effetti fissi spiegavano una quota limitata della varianza del comportamento di rischio (R^2 marginale = 0,004), mentre l'inclusione dell'effetto casuale del partecipante aumentava l' R^2 condizionale a 0,546, suggerendo che una parte consistente della variabilità osservata era attribuibile a differenze individuali tra i partecipanti. Nel complesso, questi risultati suggeriscono che la propensione al rischio, almeno in questo campione e in questo compito, è modulata principalmente dal senso di ownership, mentre il contributo dell'agency risulta nullo o trascurabile. Il pattern descrittivo dei risultati nelle quattro condizioni sperimentali è riportato in Figura X.



4.2 Sensibilità interocettiva e impulsività

In una seconda analisi abbiamo esaminato se la sensibilità interocettiva e l'impulsività influenzassero il comportamento di rischio. Come indice di sensibilità interocettiva è stato calcolato un composito a partire dalle sottoscale Noticing, Attention Regulation e Body Listening della MAIA-2, ottenute come media aritmetica dei rispettivi item. Tali sottoscale sono state selezionate in quanto relative alla dimensione percettivo-attentiva dell'interocezione, ossia la consapevolezza dei segnali corporei (Noticing), la capacità di dirigersi e mantenerci l'attenzione (Attention Regulation) e l'ascolto attivo del corpo come fonte di informazione (Body Listening), teoricamente più pertinente ai processi di integrazione del corpo virtuale e di monitoraggio dell'azione indagati nel presente studio, rispetto alle sottoscale a valenza prevalentemente emotivo-regolatoria. L'impulsività è stata operationalizzata mediante il punteggio totale della BIS-11. Questa analisi è stata condotta inserendo i due punteggi come predittori a livello individuale all'interno del modello lineare misto.

Né la sensibilità interocettiva ($F_{(1, 29,9)} = 0,047$, $p = ,830$) né l'impulsività ($F_{(1, 30,0)} = 0,078$, $p = ,782$) risultavano associate al comportamento di rischio. All'interno di questo modello, l'effetto del senso di ownership si

manteneva nella medesima direzione osservata nell'analisi principale, pur configurandosi a livello di tendenza ($F_{(1, 994)} = 3,454$, $p = ,063$), mentre il senso di agency ($F_{(1, 994)} = 0,016$, $p = ,900$) e l'interazione Ownership $\times$ Agency ($F_{(1, 994)} = 0,059$, $p = ,809$) confermarono l'assenza di effetti significativi.

Per verificare la robustezza di tale risultato rispetto alla definizione operativa della sensibilità interocettiva, l'analisi è stata replicata utilizzando un composito dell'intera scala MAIA-2 (tutte le otto sottoscale). Anche in questo caso non è emersa alcuna associazione significativa con il comportamento di rischio, $F_{(1, 29,9)} = 0,94$, $p = ,341$, confermando l'assenza di un contributo dell'interocezione indipendentemente dal criterio di punteggio adottato.

5. Discussioni

Lo studio della consapevolezza corporea si configura oggi come uno degli ambiti centrali delle neuroscienze cognitive, in cui convergono approcci sperimentali e clinici con l'obiettivo di comprendere come l'esperienza del proprio corpo contribuisca alla costruzione del sé e alla regolazione del comportamento. All'interno di questa letteratura, il senso di ownership e il senso di agency rappresentano due delle componenti più indagate della bodily self-awareness, in quanto rendono conto, rispettivamente, dell'esperienza per cui il corpo viene percepito come proprio e dell'esperienza di essere l'autore causale delle proprie azioni. Pur essendo concettualmente distinte e in alcuni casi dissociabili, le due dimensioni coesistono e si influenzano reciprocamente. Entrambe contribuiscono congiuntamente alla coerenza dell'esperienza corporea soggettiva e, secondo evidenze

sempre più consolidate, alla regolazione di processi cognitivi di ordine superiore, tra cui il decision making in condizioni di rischio (Choi et al., 2020; Damen, 2019).

Alla luce di tale quadro teorico, il presente studio si è posto l'obiettivo di indagare in che modo ownership e agency, manipolate in modo indipendente, contribuiscano alla regolazione del comportamento di assunzione di rischio in un compito comportamentale standardizzato. A tal fine è stata implementata una versione del Balloon Analogue Risk Task (BART) in ambiente di realtà virtuale, all'interno di un disegno fattoriale 2×2 (alta/bassa ownership × alta/bassa agency) che ha permesso di isolare il contributo specifico di ciascuna dimensione e di esplorarne le possibili interazioni. La scelta di un paradigma immersivo è stata motivata dalla possibilità che la realtà virtuale offre di manipolare ownership e agency in modo controllato attraverso variazioni della congruenza visuo-motoria, della prospettiva visiva e della corrispondenza temporale tra azione e feedback, oltre che di aumentare la validità ecologica della misura comportamentale. Accanto al compito principale, sono state somministrate la Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA-2) e la Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11), al fine di esplorare il possibile contributo di differenze individuali nella consapevolezza interocettiva e nell'impulsività di tratto.

Il risultato di maggiore interesse emerso dal presente studio riguarda l'effetto dell'ownership sul comportamento di assunzione di rischio. Coerentemente con l'ipotesi H1, i partecipanti hanno mostrato una propensione al rischio significativamente più elevata nelle condizioni caratterizzate da una maggiore ownership percepita (le condizioni presentate in prima persona (1PP) rispetto alle condizioni presentate in terza persona, con un numero medio di pumps al BART più elevato nella condizione con ownership (1PP; $M = 18,7$) rispetto alla condizione senza ownership (3PP; $M = 17,3$). Tale differenza è risultata statisticamente significativa, $F_{(1, 1177)} = 9,21$, $p = ,002$. Al

contrario, la manipolazione di agency in termini di delay temporale tra l'azione osservata e quella compiuta non sembra modulare la propensione al rischio. Tale risultato suggerisce che, nel presente paradigma sperimentale, la manipolazione dell'ownership è associata a una maggiore propensione al rischio, indipendentemente dalla manipolazione di agency. Questo risultato si pone in rapporto critico con quanto riportato da Choi e colleghi (2020), che, in un paradigma di realtà virtuale, hanno mostrato come un ownership più intensa, indotta tramite mani virtuali human-like rispetto a mani robotiche, fosse associata a una maggiore percezione del rischio in compiti pericolosi e a comportamenti più cauti, quindi di conseguenza una minore propensione al rischio (Choi et al., 2020). Analogamente, lo studio di Frisanco e colleghi (2022) ha evidenziato come l'ownership su avatar percepiti come potenti e invulnerabili modulasse la reattività fisiologica a stimoli minacciosi, sostenendo l'ipotesi di una stretta relazione tra rappresentazione corporea e valutazione del rischio. Tornando al nostro studio, la direzione opposta dell'effetto ownership-rischio rispetto a Choi e colleghi (2020) può essere interpretata alla luce della natura specifica del compito impiegato. Nel paradigma di Choi e colleghi, infatti, il rischio era rappresentato da un potenziale danno fisico al corpo virtuale, sicché un ownership più intensa amplificava la salienza affettiva della minaccia, conducendo a comportamenti più cauti. Nel BART, al contrario, il rischio è di natura simbolica ed economica e si traduce nella possibilità di perdere i punti accumulati a seguito dell'esplosione del palloncino, senza implicare alcun pericolo per l'integrità del corpo del partecipante. È pertanto possibile che un contesto di questo tipo coinvolga in misura minore i meccanismi di difesa del sé ipotizzati per spiegare gli effetti osservati negli studi che utilizzano minacce fisiche al corpo virtuale. In un contesto di questo tipo, è possibile ipotizzare che un'ownership più marcata sulla mano virtuale favorisca un maggiore coinvolgimento nel compito o una diversa elaborazione della ricompensa, contribuendo così

all'incremento della propensione al rischio osservato. Tuttavia, il presente studio non consente di verificare direttamente i meccanismi sottostanti a tale associazione. Accanto a questa interpretazione, è opportuno considerare un ulteriore fattore che potrebbe spiegare, almeno in parte, la divergenza tra i due studi, ovvero che la manipolazione dell'ownership, è stata realizzata lungo dimensioni differenti. Nel paradigma di Choi e colleghi (2020), la modulazione del senso di appartenenza corporea era ottenuta variando il realismo visivo dell'oggetto embodizzato, attraverso il confronto tra mani virtuali human-like e mani robotiche presentate nella stessa posizione e prospettiva. Nel presente studio, invece, la manipolazione si è basata su una differenza di *prospettiva visiva*, contrapponendo la visione in prima persona della mano virtuale alla visione in terza persona di un avatar collocato di fronte al partecipante. Poiché le due manipolazioni agiscono su aspetti concettualmente distinti dell'esperienza di ownership (la somiglianza del corpo virtuale al proprio corpo nel caso di Choi, la collocazione spaziale del corpo virtuale rispetto al proprio nel nostro caso), è plausibile che esse modulino in modo differente la salienza affettiva delle conseguenze dell'azione, contribuendo così a esiti comportamentali divergenti.

Tale interpretazione, pur necessitando di ulteriori conferme empiriche, suggerisce che la direzione dell'effetto dell'ownership sul comportamento di rischio non sia univoca, ma dipenda in modo cruciale dalla natura del rischio implicato nel compito.

Per quanto riguarda l'agency, contrariamente alle attese, non è emerso alcun effetto significativo sul comportamento di rischio ($F_{(1, 1177)} = 0,15$, $p = ,702$): le condizioni con feedback immediato ($M = 18,1$) e quelle con feedback ritardato ($M = 17,9$) hanno prodotto livelli di propensione al rischio sostanzialmente equivalenti. La minore entità dell'effetto dell'agency osservato nel presente studio rispetto a quanto riportato in letteratura potrebbe essere imputata, almeno in parte, all'entità della manipolazione adottata. Il ritardo di 500 ms tra la

pressione del tasto e il gonfiaggio del palloncino, infatti, pur risultando sufficiente a indurre una variazione percepibile nel feedback, potrebbe non aver prodotto una riduzione dell'agency tale da modulare in modo marcato il comportamento al rischio. Sul piano teorico, il pattern osservato risulta comunque compatibile con il modello Agency Disinhibits the Dopamine System (ADDS) proposto da Ashby e colleghi (2026), secondo cui un incremento dell'agency disinibisce il sistema dopaminergico mesolimbico, amplificando in misura maggiore la risposta agli esiti positivi rispetto a quella agli esiti negativi e generando uno spostamento netto verso scelte più rischiose. Sebbene le medie descrittive mostrino un andamento coerente con la direzione prevista dal modello ADDS, l'assenza di un effetto statisticamente significativo non consente di trarre conclusioni circa il ruolo dell'agency nel presente studio. I risultati possono quindi essere considerati compatibili con tale modello, ma non costituiscono un'evidenza a suo sostegno.

Relativamente alle quattro condizioni sperimentali, la propensione al rischio più elevata si è osservata nella condizione caratterizzata sia da ownership sia da agency ($M = 19,0$), seguita dalla condizione con sola ownership ($M = 18,5$); le due condizioni prive di ownership presentavano invece valori inferiori e tra loro identici (nessuna condizione, $M = 17,3$; sola agency, $M = 17,3$). Tuttavia, l'interazione Ownership $\times$ Agency non è risultata statisticamente significativa ($F_{(1, 1177)} = 0,32$, $p = ,573$), indicando che l'incremento del rischio era riconducibile principalmente alla presenza di ownership, indipendentemente dall'agency.

Tuttavia, il confronto tra la condizione di alta ownership con alta agency e quella di alta ownership con bassa agency ha rivelato una differenza contenuta, suggerendo che il principale fattore responsabile dell'incremento della propensione al rischio sia stato l'ownership, mentre non sono emerse evidenze di un contributo significativo dell'agency alla modulazione del comportamento. In altri termini, la

presenza di un'ownership marcata sulla mano virtuale sembra costituire la condizione necessaria e sufficiente per l'incremento del risk taking, mentre la variazione dell'agency tramite delay temporale ha esercitato un effetto limitato e trascurabile. Considerato ciò, i risultati emersi lasciano aperta la possibilità che, in presenza di manipolazioni più forti dell'agency, l'interazione tra le due dimensioni possa emergere con maggiore chiarezza.

Per quanto riguarda il possibile contributo delle differenze individuali, l'inclusione dei punteggi al MAIA-2 e al BIS-11 come predittori nel modello non ha evidenziato associazioni statisticamente significative con il comportamento di rischio (MAIA-2: $F_{(1, 29,9)} = 0,05$, $p = ,830$; BIS-11: $F_{(1, 30,0)} = 0,08$, $p = ,782$). Tale assenza di associazioni significative merita tuttavia di essere discussa separatamente per le due misure considerate, dal momento che esse fanno riferimento a costrutti concettualmente distinti.

Per quanto riguarda l'impulsività, misurata attraverso la BIS-11, l'assenza di una covarianza significativa tra i punteggi al questionario e il comportamento di rischio nelle diverse condizioni suggerisce che l'impulsività di tratto non costituisca un fattore predittivo della relazione tra Bodily Self-Awareness e propensione al rischio nel presente campione. In altri termini, le differenze interindividuali nel tratto impulsivo non sembrano modulare in modo sistematico l'effetto esercitato dall'ownership e dall'agency sul comportamento di assunzione di rischio, indicando che, nel presente studio, il meccanismo attraverso cui la consapevolezza corporea influenza le scelte rischiose opera in modo relativamente indipendente da questa dimensione disposizionale.

Il caso della consapevolezza interocettiva, valutata mediante la MAIA-2, richiede invece un'interpretazione più articolata. In primo luogo, va considerato che la MAIA-2 misura una stima *soggettiva* della propria sensibilità ai segnali corporei interni, ovvero quanto il soggetto riferisca

di sentire intensamente il proprio corpo. Tale misura, tuttavia, non coincide necessariamente con *l'accuratezza interoettiva* in senso oggettivo, comunemente valutata tramite paradigmi comportamentali quali *l'Heartbeat Counting Task*, in cui ai partecipanti viene richiesto di contare i propri battiti cardiaci e l'accuratezza viene calcolata confrontando il numero riferito con quello rilevato strumentalmente. Poiché in letteratura le due misure mostrano spesso una correlazione limitata, è possibile che l'assenza di associazioni significative osservata nel presente studio rifletta, almeno in parte, il fatto che la MAIA-2 cattura una dimensione fenomenologica della percezione corporea che non si traduce automaticamente in una maggiore sensibilità ai segnali viscerali rilevanti per la modulazione del decision making. In secondo luogo, è plausibile che l'interocezione si configuri come una *componente costitutiva* della Bodily Self-Awareness piuttosto che come un fattore che ne modula gli effetti sul comportamento di rischio: in questa prospettiva, l'interocezione contribuirebbe alla costruzione dell'esperienza corporea soggettiva, ma non interagirebbe in modo diretto con le dinamiche di ownership e agency nel determinare le scelte rischiose. Sarebbe pertanto auspicabile, in studi futuri, integrare misure oggettive dell'accuratezza interoettiva accanto alla MAIA-2, al fine di chiarire in modo più completo il possibile ruolo dell'interocezione nei processi di decision making in condizioni di rischio.

Nonostante i risultati ottenuti offrano spunti interessanti per la comprensione del ruolo di ownership e agency nella regolazione del rischio, è opportuno riconoscere alcuni limiti del presente studio. Una prima limitazione riguarda la dimensione e la composizione del campione: i 33 partecipanti analizzati, pur sufficienti per un disegno within-subjects, costituiscono un campione relativamente contenuto. Una seconda limitazione concerne la manipolazione dell'ownership: il confronto tra una mano virtuale congruente in prima persona e un

avatar dalle sembianze robotiche seduto di fronte al partecipante introduce una differenza non solo nel grado di ownership esperita, ma anche nel tipo di corpo virtuale presentato. Tale aspetto rende difficile distinguere in modo netto l'effetto del senso di appartenenza corporea da quello della specifica rappresentazione del corpo utilizzata. Una terza limitazione, di rilievo metodologico, riguarda la natura del rischio implicato nel BART: i partecipanti si trovavano di fronte a un rischio di tipo simbolico (perdita di punti virtuali a seguito dell'esplosione del palloncino) e non a una minaccia reale per l'incolumità fisica o per le risorse personali. Tale caratteristica del paradigma può aver limitato la salienza affettiva delle conseguenze dell'azione, influenzando di conseguenza la modulazione esercitata dall'ownership sul comportamento di rischio. Infine, va segnalato che il presente studio si è basato esclusivamente sulla combinazione di misure comportamentali oggettive (il numero di pump al BART) e di misure soggettive autoriferite (le domande post-trial e i questionari MAIA-2 e BIS-11), senza ricorrere a indicatori psicofisiologici oggettivi che avrebbero potuto rafforzare e arricchire l'interpretazione dei risultati. In particolare, l'integrazione di due tipologie di misure fisiologiche sarebbe stata di particolare utilità per il presente disegno. In primo luogo, la rilevazione della *temperatura cutanea* della mano avrebbe consentito di affiancare alle misure soggettive di ownership un indicatore implicito e oggettivo dell'embodiment, dal momento che la letteratura ha documentato come l'incorporazione di un arto nel sé corporeo si associ a variazioni misurabili della temperatura cutanea, indipendenti dal giudizio dichiarato del partecipante (Moseley et al., 2008). In secondo luogo, la registrazione delle *risposte di conduttanza cutanea* (*Skin Conductance Responses*, SCRs) in concomitanza con le decisioni rischiose avrebbe permesso di indicizzare l'attivazione di stati somatici anticipatori prima di ciascuna scelta, fornendo un correlato empirico diretto del meccanismo di marcatura somatica (Bechara & Damasio, 2005) e contribuendo così a chiarire se

l'amplificazione della propensione al rischio osservata nelle condizioni di alta ownership sia effettivamente sostenuta da un incremento del coinvolgimento affettivo-somatico nel compito. L'integrazione di tali misure psicofisiologiche, sia di embodiment sia di risposta affettiva al rischio, costituisce dunque una direzione metodologica auspicabile per studi futuri che intendano approfondire i meccanismi alla base della modulazione esercitata dalla Bodily Self-Awareness sul comportamento decisionale.

Alla luce dei limiti appena descritti, è possibile delineare alcune direzioni di ricerca future che potrebbero approfondire e ampliare i risultati ottenuti. In primo luogo, una direzione particolarmente promettente riguarda lo sviluppo di paradigmi sperimentali in cui il rischio sia associato non solo a una potenziale perdita simbolica, ma anche a una minaccia, pur falsa, all'incolumità fisica del partecipante. Indurre nell'utente la sensazione, anche illusoria, di una possibile lesione corporea consentirebbe di confrontare in modo diretto la modulazione esercitata dall'ownership sul comportamento di rischio in contesti di rischio simbolico e in contesti di rischio fisico, contribuendo a chiarire se la direzione dell'effetto dell'ownership sulla propensione al rischio dipenda effettivamente, come ipotizzato, dalla natura specifica del compito. Una possibile strategia metodologica consisterebbe nel combinare paradigmi di rischio comportamentale, quali il BART, con paradigmi di “*threat to noxious stimuli*” in realtà virtuale, nei quali il partecipante visualizza in prima persona stimoli potenzialmente lesivi diretti verso il proprio corpo virtuale. Tale approccio trova un precedente nello studio di Romano e colleghi (2014), i quali, indagando la risposta di conduttanza cutanea in pazienti con somatoparafrenia di fronte a stimoli minacciosi diretti all'arto la cui ownership era patologicamente compromessa, hanno mostrato come l'esperienza di appartenenza corporea moduli direttamente la reattività fisiologica alla minaccia fisica. Replicare un'impostazione analoga in soggetti sani, integrandola con un compito

di assunzione di rischio, permetterebbe di verificare in modo più controllato l'ipotesi che l'effetto dell'ownership sulla propensione al rischio dipenda dalla natura, simbolica o fisica, delle conseguenze potenziali dell'azione. Una terza direzione di ricerca consisterebbe nel perfezionare la manipolazione dell'agency in modo da produrre differenze più marcate tra le condizioni: il ritardo di 500 ms tra azione e feedback visivo adottato nel presente studio, infatti, potrebbe non essere stato sufficiente a generare una variazione di agency tale da modulare in modo significativo il comportamento di rischio. Modulazioni più consistenti, ad esempio attraverso ritardi maggiori o introducendo discrepanze nella direzione del feedback, potrebbero permettere di osservare effetti più chiari e di indagare con maggiore precisione il ruolo dell'agency nella regolazione delle scelte rischiose. Infine, l'integrazione di misure psicofisiologiche (conduttanza cutanea, frequenza cardiaca, dilatazione pupillare) rappresenterebbe un'ulteriore evoluzione metodologica utile a corroborare l'interpretazione dei risultati comportamentali, in particolare rispetto alla componente affettivo-somatica che, secondo l'ipotesi del marcatore somatico, sostiene il decision making in condizioni di incertezza.

6. Conclusioni

In conclusione, da questa analisi possiamo asserire che il presente lavoro ha permesso di mostrare come ownership e agency, manipolate in modo indipendente all'interno di un ambiente di realtà virtuale, contribuiscano in modo distinto alla regolazione del comportamento di assunzione di rischio in un compito di tipo simbolico-economico quale il Balloon Analogue Risk Task. In particolare, il contributo originale del presente studio risiede nell'aver evidenziato come l'effetto del senso di appartenenza corporea sul comportamento di rischio possa

dipendere in modo cruciale dalla natura specifica del compito: contrariamente a quanto osservato in paradigmi caratterizzati da rischio fisico, in cui un'ownership più intensa tende a favorire comportamenti più cauti, in un contesto di rischio simbolico come il BART una più marcata esperienza di appartenenza corporea sembra amplificare il coinvolgimento affettivo nel compito e la salienza della ricompensa, traducendosi in un aumento della propensione al rischio. Tali considerazioni, pur necessitando di ulteriori conferme empiriche, suggeriscono che la relazione tra consapevolezza corporea e decision making non sia univoca, ma debba essere interpretata alla luce delle caratteristiche specifiche del contesto decisionale, aprendo così nuove prospettive di ricerca sull'integrazione tra bodily self-awareness e regolazione del comportamento.

7. Bibliografia

Ashby, F. G., & Ashby, N. J. S. (2026). Sense of agency and decision making. *Frontiers in Psychology*, 17, 1816045. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1816045>

Ashby, F. G., Zetzer, H. A., Conoley, C. W., & Pickering, A. D. (2023). *Just do it: A neuropsychological theory of agency, cognition, mood, and dopamine* [Preprint]. ResearchGate.

Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336–372.

Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1–3), 7–15.

- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), 1293–1295.
- Blais, A. R., & Weber, E. U. (2006). A domain-specific risk-taking (DOSPERT) scale for adult populations. *Judgment and Decision Making*, 1(1), 33–47.
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2001). Abnormalities in the awareness of action. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 237–242.
- Blanke, O. (2012). Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(8), 556–571.
- Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756.
- Bran, A., & Vaidis, D. C. (2020). Assessing risk-taking: What to measure and how to measure it. *Journal of Risk Research*, 23(4), 490–503.
- Choi, H., Jung, H., & Park, J. (2020). Enhancement of perceived body ownership in virtual reality-based teleoperation may backfire in the execution of high-risk tasks. *Computers in Human Behavior*, 113, 106489. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106489>
- Compagne, C., Mayer, J. T., Gabriel, D., Comte, A., Magnin, E., Bennabi, D., & Tannou, T. (2023). Adaptations of the balloon analog risk task for neuroimaging settings: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1237734. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1237734>
- Craig, A. D. (2009). How do you feel — now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(1), 59–70.
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 351(1346), 1413–1420.

- Damen, T. G. E. (2019). Sense of agency as a predictor of risk-taking. *Acta Psychologica*, 197, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.04.012>
- De Vignemont, F. (2011). Embodiment, ownership and disownership. *Consciousness and Cognition*, 20(1), 82–93.
- De Vignemont, F. (2013). The mark of bodily ownership. *Analysis*, 73(4), 643–651.
- De Vignemont, F. (2014). A few good reasons to believe in body representations. *Neuropsychologia*, 55, 150–158.
- De Vignemont, F. (2017). *Mind the body: An exploration of bodily self-awareness*. Oxford University Press.
- De-Juan-Ripoll, C., Chicchi Giglioli, I. A., Llanes-Jurado, J., Marín-Morales, J., & Alcañiz, M. (2018). Why are decision-making tasks so different in virtual reality? Proposal for a new taxonomy of VR tasks. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 16, 3–8.
- De-Juan-Ripoll, C., Soler-Domínguez, J. L., Guixeres, J., Contero, M., Álvarez Gutiérrez, N., & Alcañiz, M. (2020). Virtual reality as a new approach for risk taking assessment. *Frontiers in Psychology*, 11, 621. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00621>
- Della Sala, S., Marchetti, C., & Spinnler, H. (1991). Right-sided anarchic (alien) hand: A longitudinal study. *Neuropsychologia*, 29(11), 1113–1127.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
- Ehrsson, H. H., Spence, C., & Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 305(5685), 875–877.

Eysenck, S. B. G., & Eysenck, H. J. (1978). Impulsiveness and venturesomeness: Their position in a dimensional system of personality description. *Psychological Reports*, 43(3), 1247–1255.

Farrer, C., & Frith, C. D. (2002). Experiencing oneself vs another person as being the cause of an action: The neural correlates of the experience of agency. *NeuroImage*, 15(3), 596–603.

Frisanco, A., Schepisi, M., Tieri, G., Tarantino, V., & Aglioti, S. M. (2022). Embodying the avatar of an omnipotent agent modulates the perception of one's own abilities and enhances feelings of invulnerability. *Scientific Reports*, 12(1), 21585. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26016-1>

Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1), 14–21.

Gallagher, S. (2013). A pattern theory of self. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 443.

Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 196–207.

Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382–385.

Invernizzi, P., Gandola, M., Romano, D., Zapparoli, L., Bottini, G., & Paulesu, E. (2013). What is mine? Behavioral and anatomical dissociations between somatoparaphrenia and anosognosia for hemiplegia. *Behavioural Neurology*, 26(1–2), 139–150. <https://doi.org/10.3233/BEN-2012-110226>

Ionta, S., Heydrich, L., Lenggenhager, B., Mouthon, M., Fornari, E., Chapuis, D., Gassert, R., & Blanke, O. (2011). Multisensory mechanisms in temporo-parietal cortex support self-location and first-person perspective. *Neuron*, 70(2), 363–374.

Jungermann, H., & Slovic, P. (1987). Die Psychologie der Kognition und Evaluation von Risiko [The psychology of cognition and evaluation of risk]. In G. Böhm, B. Wiedemann, & A. Urban (Eds.), *Umgang mit Risiken* (pp. 79–100). Westdeutscher Verlag.

Kalckert, A., & Ehrsson, H. H. (2012). Moving a rubber hand that feels like your own: A dissociation of ownership and agency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 40.

Kilteni, K., Maselli, A., Kording, K. P., & Slater, M. (2015). Over my fake body: Body ownership illusions for studying the multisensory basis of own-body perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 141.

Leigh, B. C. (1999). Peril, chance, adventure: Concepts of risk, alcohol use and risky behavior in young adults. *Addiction*, 94(3), 371–383.

Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., & Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75–84.

Lenggenhager, B., Tadi, T., Metzinger, T., & Blanke, O. (2007). Video ergo sum: Manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317(5841), 1096–1099.

Mehling, W. E., Acree, M., Stewart, A., Silas, J., & Jones, A. (2018). The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness, Version 2 (MAIA-2). *PLOS ONE*, 13(12), e0208034. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208034>

Parsons, T. D. (2015). Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 660.

Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768–774.

Petkova, V. I., & Ehrsson, H. H. (2008). If I were you: Perceptual illusion of body swapping. *PLOS ONE*, 3(12), e3832.

Rangel, A., Camerer, C., & Montague, P. R. (2008). A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(7), 545–556.

Salvato, G., & Crucianelli, L. (2025). Shaping bodily self-awareness through thermosensory signals. *Trends in Cognitive Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2025.11.008>

Sanchez, A., Gonzalez-Franco, M., Perez-Marcos, D., Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2021). The use of virtual reality for the assessment of risky behaviors. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 24(5), 290–301.

Schneider, S. L., & Lopes, L. L. (1986). Reflection in preferences under risk: Who and when may suggest why. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(4), 535–548.

Seghezzi, S., Giannini, M., & Zapparoli, L. (2019). The integrated model of agency: A theoretical framework to close the gap between explicit and implicit measures of agency. *Frontiers in Psychology*, 10, 1942.

Serino, A., Alsmith, A., Costantini, M., Mandrigin, A., Tajadura-Jimenez, A., & Lopez, C. (2013). Bodily ownership and self-location: Components of bodily self-consciousness. *Consciousness and Cognition*, 22(4), 1239–1252.

Sitkin, S. B., & Pablo, A. L. (1992). Reconceptualizing the determinants of risk behavior. *Academy of Management Review*, 17(1), 9–38.

Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1535), 3549–3557.

Stanford, M. S., Mathias, C. W., Dougherty, D. M., Lake, S. L., Anderson, N. E., & Patton, J. H. (2009). Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences*, 47(5), 385–395.

Suri, G., Gross, J. J., & Sheppes, G. (2020). Emotion regulation choice: Selecting between cognitive reappraisal and distraction is informed by a cost-benefit analysis. *Emotion*, 20(1), 30–43.

Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008). Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 219–239.

Trimpop, R. M. (1994). *The psychology of risk taking behavior*. Elsevier.

Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: A neurocognitive model of body ownership. *Neuropsychologia*, 48(3), 703–712.

Tsakiris, M. (2011). The body in the brain: Neural bases of corporeal awareness. In S. Gallagher (Ed.), *The Oxford handbook of the self* (pp. 582–611). Oxford University Press.

Tsakiris, M., & Critchley, H. (2016). Interoception beyond homeostasis: Affect, cognition and mental health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 371(1708), 20160002.

Tsakiris, M., Longo, M. R., & Haggard, P. (2010). Having a body versus moving your body: Neural signatures of agency and body-ownership. *Neuropsychologia*, 48(9), 2740–2749.

Tsakiris, M., Schütz-Bosbach, S., & Gallagher, S. (2007). On agency and body-ownership: Phenomenological and neurocognitive reflections. *Consciousness and Cognition*, 16(3), 645–660.

Wang, Y., Wei, D., Li, Y., & Liu, J. (2022). Risk-taking in the human brain: An activation likelihood estimation meta-analysis of the Balloon Analog Risk Task (BART). *Human Brain Mapping*, 44(2), 677–690. <https://doi.org/10.1002/hbm.26041>

Wen, W., & Imamizu, H. (2022). The sense of agency in perception, behaviour and human–machine systems. *Nature Reviews Psychology*, 1(9), 533–545.

Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3(Suppl), 1212–1217.

Xu, F., Xiang, P., & Huang, L. (2020). Bridging ecological rationality, embodied emotion, and neuroeconomics: Insights from the somatic marker hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 11, 1028. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01028>

Zuckerman, M., Eysenck, S. B. G., & Eysenck, H. J. (1978). Sensation seeking in England and America: Cross-cultural, age, and sex comparisons. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 46(1), 139–149.