

# Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale  
Sessione di Laurea luglio 2024



**Politecnico  
di Torino**

## **GAMIFICATION FOR MANUFACTURING: Potenziali Benefici e Sfide Operative**

**Relatore:**  
**Prof. Fiorenzo Franceschini**

**Candidati:**  
**Luca Concezzi**

**Co-Relatore:**  
**Dott. Matteo Capponi**

Anno Accademico 2023/2024

*Ringrazio il Prof. Franceschini e il Dott. Capponi per il prezioso aiuto e la disponibilità dimostratami; mia madre, mio padre e mia sorella per il loro costante sostegno morale.*

# INDICE

<b>INDICE ACRONIMI</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>INTRODUZIONE</b> .....	7
<b>1. GAMIFICATION: DEFINIZIONE E DOMINIO</b> .....	8
1.1 Design di gioco e design di gamification .....	8
1.2 Cosa si intende per Gamification .....	10
1.3 Stato dell'arte sul processo di design della gamification .....	12
1.3.1 Stato dell'arte sulla classificazione delle teorie di gamification .....	12
1.3.2 Stato dell'arte sulla classificazione dei framework di gamification .....	19
1.4 Elementi caratteristici della gamification.....	22
<b>2. GAMIFICATION FOR MANUFACTURING</b> .....	24
2.1 Gamification in ambito manifatturiero.....	24
2.2 Human-Robot Collaboration.....	26
2.3 Gamification nel controllo qualità.....	27
<b>3. APPLICAZIONE DEI FRAMEWORK E DELLE TEORIE DI GAMIFICATION</b> .....	30
3.1 Obiettivo della tesi.....	30
3.2 Dai Framework al gioco.....	30
3.3 Descrizione del gioco.....	34
3.4 Scheda di processo per il Design del Gioco con il Framework MDA.....	37
<b>4. MATERIALI E METODI</b> .....	39
4.1 strumenti utilizzati .....	39
4.1.1 Cobot UR3e .....	39
4.1.2 Node-RED .....	41
4.1.3 Empatica E4.....	44
4.1.4 Tobii pro glasses 3® .....	46
4.1.5 Questionari di valutazione delle percezioni del carico di lavoro .....	47
4.2 Descrizione esperimento e fasi assemblaggio.....	53
4.3 Dati raccolti .....	58
4.3.1 Attività elettrodermica EDA e variabilità frequenza cardiaca HRV .....	58
4.3.2 Database Questionari .....	59
4.3.3 Database della durata delle prove e della difettosità di processo .....	59
4.3.4 Database Eye tracking.....	59
<b>5. ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	60

5.1	Analisi dei parametri fisiologici .....	60
5.2	Analisi dei risultati del questionario NASA TLX .....	75
5.3	Analisi dei risultati del questionario SAM .....	86
5.4	Analisi dei risultati del questionario GEQ.....	91
5.5	Analisi delle durate .....	93
5.6	Analisi degli errori umani totali .....	99
5.7	Analisi dei risultati dell'Eye Tracking.....	102
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>106</b>
<b>7.</b>	<b>APPENDICE .....</b>	<b>108</b>
	<b>INDICE FIGURE.....</b>	<b>117</b>
	<b>INDICE TABELLE .....</b>	<b>120</b>
	<b>INDICE APPENDICE .....</b>	<b>122</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....</b>	<b>123</b>

# INDICE ACRONIMI

EDA: Electrodermal Activity (Attività Elettrodermica)

GEQ: Game Experience Questionnaire

HRC: Human-Robot Collaboration (Collaborazione uomo-robot)

HRV: Heart Rate Variability (Variabilità della frequenza cardiaca)

IMI: Intrinsic Motivation Inventory

ISO: International Organization for Standardization (Organizzazione internazionale per la standardizzazione)

NASA-TLX: National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (Indice di carico di lavoro dell'agenzia spaziale americana)

RMSSD: Root Mean Square of Successive Differences between normal heartbeats (Valore quadratico medio delle differenze successive dei battiti cardiaci)

SAM: Self-Assessment Manikin

SCL: Skin Conductance Level (Livello di conduttanza cutanea)

SCR: Skin Conductance Response (Risposta di conduttanza della pelle)

SDNN: Standard Deviation of N-N intervals (Deviazione standard di di N-N intervalli)

UX: User Experience

## ABSTRACT

Il settore manifatturiero sta attraversando una rapida evoluzione grazie alle costanti innovazioni tecnologiche. Una delle principali prerogative della Human-Robot Collaboration (HRC) e dell'industria 5.0 è il trasferimento del carico di lavoro dagli operatori umani ai robot collaborativi (cobot). Questo cambiamento mira a ridurre significativamente lo stress fisico ed emotivo a cui gli operatori sono sottoposti, ponendo l'uomo al centro del processo produttivo. In questo contesto, la gamification si presenta come una strategia efficace per rendere il lavoro degli operatori meno alienante e più coinvolgente, aumentando la loro motivazione e soddisfazione. Questo lavoro esplora l'applicazione della gamification nell'ambito manifatturiero. Questa disciplina, intesa come l'uso di elementi di design del gioco in contesti non ludici, può potenziare l'engagement e la motivazione degli operatori, migliorando al contempo l'efficienza e la precisione delle operazioni.

L'obiettivo principale di questa tesi è stato sviluppare e implementare una nuova task "gamificata" all'interno di un processo di assemblaggio collaborativo con un cobot, monitorando gli impatti della gamification su vari parametri e confrontando questa nuova task con quella originaria, relativa allo stesso processo di assemblaggio dello stesso prodotto finale. L'esperimento è stato condotto presso il laboratorio Mind4Lab del politecnico di Torino, coinvolgendo un campione di 15 partecipanti che ha svolto sia la prova gamificata sia quella "non gamificata". La metodologia ha incluso la progettazione del gioco sfruttando le metriche di framework e teorie di gamification. Le analisi dei dati hanno considerato i parametri fisiologici, la durata delle prove, le metriche dei difetti, i dati dell'Eye Tracking e i risultati dei questionari sottoposti ai partecipanti successivamente al completamento di entrambe le tipologie di prova.

I risultati indicano che la gamification può significativamente migliorare l'engagement e la motivazione degli operatori, riducendo lo stress e aumentando la precisione nel processo di assemblaggio, suggerendo che l'approccio gamificato può diventare un elemento chiave per l'industria manifatturiera del futuro.

Questo studio contribuisce alla ricerca esistente fornendo nuove evidenze sull'efficacia della gamification in questo settore. Inoltre, questo lavoro si propone di essere un punto di partenza per futuri studi in questo ambito, stimolando ulteriori ricerche e applicazioni della gamification nel manufacturing.

# INTRODUZIONE

I capitoli seguenti offrono una panoramica approfondita dei principali aspetti necessari per comprendere e chiarire i concetti trattati in questo elaborato.

Il primo capitolo introduce la gamification, delineandone la definizione e il dominio. È stato confrontato il design di gioco con il design di gamification ed esplorato il concetto di gamification, discutendo lo stato dell'arte sulla classificazione delle teorie, dei framework e degli elementi caratteristici della gamification.

Il secondo capitolo esamina l'applicazione della gamification nell'ambito manifatturiero, concentrandosi sulla Human-Robot Collaboration (HRC) e sul controllo qualità. È stato analizzato come la gamification possa migliorare l'efficienza, la precisione e il controllo qualità nei processi di assemblaggio.

Nel terzo capitolo, è descritto il passaggio dai framework e dalle teorie di gamification al gioco sviluppato per l'esperimento. Si fornisce descrizione dettagliata del gioco progettato utilizzando metriche e teorie consolidate.

Il quarto capitolo presenta i materiali e i metodi dell'esperimento, descrivendo la struttura, le fasi di assemblaggio e gli strumenti utilizzati, tra cui il cobot UR3e, lo strumento di programmazione open source Node-RED, il dispositivo di Empatica E4, l'Eye Tracking di Tobii Pro Glasses 3 e i questionari NASA TLX, SAM, IMI, UX e GEQ.

Il quinto capitolo si concentra sull'analisi dei risultati ottenuti dall'esperimento, esaminando i dati sui parametri fisiologici, i dati sui risultati dei questionari, i dati sulla durata delle prove, i dati sul numero di errori commessi e i dati sui risultati dell'Eye Tracking.

# 1. GAMIFICATION: DEFINIZIONE E DOMINIO

## 1.1 Design di gioco e design di gamification

I giochi, nella storia, sono sempre stati presenti in tutte le civiltà umane. Molti autori condividono la visione del gioco come uno specchio della società, una lente attraverso cui osservare l'evoluzione umana. Il gioco si manifesta come un laboratorio naturale per le dinamiche sociali e personali, un ambito dove le persone sperimentano e imparano in maniera intrinseca. Questo concetto è ulteriormente supportato da studi contemporanei in psicologia dello sviluppo e neuroscienze che riconoscono nel gioco un ruolo cruciale nello sviluppo cognitivo e sociale degli individui. Tra gli autori più rilevanti che si sono espressi su questi temi, Jonah Huizinga, attraverso il suo fondamentale lavoro "Homo Ludens", ha posto le basi per comprendere il gioco come un elemento cardine della civiltà, suggerendo che molte pratiche sociali "serie", come la religione e la scienza, hanno origine da attività ludiche (Masala et al., 2023). Queste considerazioni hanno aperto la strada alle riflessioni di Roger Caillois, il quale ha visto nel gioco una realtà che si evolve di pari passo con la cultura, passando da forme libere e spontanee e strutture regolate che specchiano l'evoluzione sociale. Gregory Bateson ha poi approfondito questa transazione, osservando il gioco non solo come intrattenimento ma anche come una pratica che si immerge in contesti educativi e sociali, influenzando la recitazione, la musica e altri aspetti culturali (D'Ambrosio, 2019).

Nel corso degli anni, l'evoluzione delle tecnologie digitali, in particolare il passaggio dai giochi tradizionali ai videogiochi, è stata fondamentale per la crescita del divertimento e dell'interesse per gli utenti. Grazie a ciò si è iniziato a parlare di design di gioco (Brumels et al., 2008).

Il game design è definito come "l'azione di dare un senso alle cose legate a un gioco". Questa definizione si basa sui principi fondamentali proposti da Salen e Zimmerman, che comprendono la comprensione del design, dei sistemi e dell'interattività, oltre che la scelta del giocatore, l'azione e l'esito che una certa azione comporta (Salen et al., 2004). Hunicke, insieme ad altri studiosi, introduce il framework MDA (Mechanics, Dynamics, Aesthetics) per comprendere i giochi e il loro funzionamento, suddividendoli in tre elementi: regole sistema e divertimento (Hunicke et al., 2004). Questi parametri sono tradotti in componenti di design, tra cui meccaniche, dinamiche ed estetiche. Brathwaith e Schreiber, invece, hanno condotto i loro studi concentrandosi sugli "atomi di gioco", ossia sulle componenti più elementari di un gioco che, secondo le loro conclusioni, possono essere

studiate individualmente (Brathwaith et al., 2009). Cavillo-Gamez nel 2010 propone il modello chiamato “Core Elements of the gaming Experience (CEGE)” nel quale concentra i suoi studi nel trovare le condizioni necessarie, ma non sufficienti, per fornire un’esperienza positiva di gioco, comprese interfacce di design, modelli di design e dinamiche, principi di design ed euristici, partendo da modelli già affermati come quello MDA e altri metodi di design (Seaborn and Fels, 2015). Zichermann e Cunningham nel 2011 evidenziano che queste tecniche sono state implementate con successo da game designer ed esperti di esperienza utente per creare giochi avvincenti ed esperienze coinvolgenti per i giocatori. Deterding nel 2011 delinea le azioni fondamentali del design dei giochi per ottenere la Gamification attraverso vari livelli, che comprendono modelli di design di interfaccia di gioco, schemi di design di gioco e meccaniche, principi ed euristiche di design di gioco, così come modelli di gioco e metodi di gioco (Deterding et al., 2011) .

Ogni autore citato, dunque, ha concentrato i propri sforzi a comprendere le potenzialità del gioco e i se i suoi principi potessero essere formalizzati. Nel 2010, anno in cui la gamification comincia ad essere un argomento rilevante in ambito accademico, ha inizio il periodo in cui si cerca di capire cosa sia il design nell’ambito di questa nuova disciplina (Schnabel et al., 2014). Inoltre, gli autori tentano di distinguere il concetto di gioco tradizionale da quello di gamification. Su questo tema è rilevante l’osservazione di Bruder del 2014. Egli evidenzia come la finalità degli elementi di design della gamification è piuttosto differente rispetto al design di un gioco: il primo è utilizzato per potenziare il coinvolgimento degli individui in un certo contesto, mentre il secondo è orientato verso il puro intrattenimento (Seaborn and Fels, 2015). Marczewski, nello stesso anno, stabilisce una distinzione esplicita tra game design e gamification design e le relative caratteristiche, sottolineando come il primo inizi comunemente con l’idea di divertimento, mentre il secondo verso un obiettivo di business. Inoltre, l’autore sottolinea come il processo di design del gioco si discosti da quello di gamification (Marczewski, 2014). La definizione delle metriche o delle linee guida del gioco, infatti, avviene in diverse fasi del processo di design, mentre la definizione della struttura e delle metriche di una applicazione di gamification avviene in una specifica fase del processo, che normalmente coincide con quella iniziale (Mauroner, 2019).

La struttura e la finalità degli elementi di design della gamification, dunque, è piuttosto distante rispetto al design di un gioco. Nonostante però la creazione di un sistema “gamificato” sia differente dalla creazione di un gioco, è importante comunque sottolineare l’esistenza di una forte connessione tra game design e gamification design. La gamification, infatti, sfrutta i concetti base del gioco per andare molto oltre. Essa si serve degli elementi ludici e li sfrutta per vari scopi, come il

coinvolgimento e la motivazione delle persone in attività quotidiane e lavorative. Mauroner, ha descritto la gamification come l'integrazione di aspetti tipici dei giochi in contesti non ludici, volti a modellare il comportamento umano. Ha inoltre sottolineato la differenza tra questo concetto e l'apprendimento basato sui giochi: da un lato il gioco è sfruttato direttamente come strumento pedagogico, dall'altro la gamification si concentra sulle dinamiche di gioco per promuovere l'apprendimento e la partecipazione, indipendentemente dall'uso di oggetti ludici o della tecnologia (Mauroner, 2019).

Basandosi su questi concetti e l'interiorizzazione delle meccaniche di gioco da parte della società, la Gamification emerge quasi organicamente come un metodo per estrarre caratteristiche dai giochi e incorporarle in altri contesti. È importante, dunque, approfondire ora cosa si intende per Gamification e le analisi che hanno accompagnato questo ambito di studio.

## 1.2 Cosa si intende per Gamification

La gamification è un concetto che si colloca in una zona di ambiguità, con diverse definizioni utilizzate da vari ricercatori, riflettendo la fase embrionale della ricerca in questo campo. Questa diversità nelle definizioni indica come la gamification si differenzi da concetti simili come i giochi seri, i giocattoli e i giochi ludici. La ricerca ha cercato di cristallizzare una definizione universale tra le varie interpretazioni, rivelando la complessità intrinseca dell'argomento. Sebastian Deterding è stato un pioniere in questo campo, offrendo una definizione di gamification che ha guadagnato un ampio consenso. Nel 2011 l'autore definì la gamification come "l'uso di elementi di design del gioco in contesti non ludici". La sua proposta, semplice ma potente, distingue la gamification da concetti affini come i giochi seri, evidenziando la sua applicabilità oltre il semplice intrattenimento. Questa definizione è servita come un faro per ulteriori ricerche, attirando l'attenzione di studiosi e professionisti per la sua capacità di catturare l'essenza della gamification in modo conciso (Koivisto et al., 2019).

Deterding ha inoltre aperto la strada ad un'indagine più approfondita su quanto gli elementi ludici possano essere incorporati in contesti non ludici per motivare e aumentare l'engagement. Questo ha portato a un'esplorazione delle sue applicazioni in una varietà di settori, dall'istruzione, dove la gamification può migliorare l'apprendimento e la motivazione degli studenti, al marketing, dove può

aumentare la fedeltà del cliente e l'interazione con il marchio. Inoltre, la gamification ha trovato terreno fertile nel settore della salute, in cui può incentivare comportamenti salutari e nel contesto aziendale, dove può migliorare la produttività e l'engagement dei dipendenti (Klock et al., 2020). Alcuni studiosi hanno esplorato le dimensioni etiche della gamification, sollevando preoccupazioni su come possa essere utilizzata per manipolare i comportamenti senza il consenso formato degli utenti. Altri hanno esaminato l'importanza della progettazione inclusiva, assicurando che le applicazioni di gamification siano accessibili a un'ampia gamma di utenti, indipendentemente dalle loro abilità fisiche e cognitive (Seaborn et al., 2015).

La gamification si basa su principi di psicologia comportamentale, utilizzando meccaniche di gioco come punti, badge, e classifiche per stimolare l'interesse e promuovere comportamenti specifici. Questo approccio sfrutta la tendenza naturale umana verso il gioco e la competizione, trasformando attività altrimenti monotone o sfidanti in esperienze più gratificanti e coinvolgenti. Tuttavia, l'efficacia della gamification dipende dalla sua attenzione consapevole e dalla comprensione dei bisogni e delle motivazioni del pubblico di destinazione (Mekler et al., 2013).

Dunque, mentre la definizione di Deterding di gamification fornisce una solida base concettuale, l'espansione del campo richiede un'esplorazione continua delle sue potenzialità e limiti. La gamification rimane un potente strumento per coinvolgere e motivare, ma il suo successo dipende dalla capacità di adattarsi e rispondere ai bisogni in evoluzione degli utenti e della società. Con l'avanzare della ricerca e l'emergere di nuove applicazioni, è probabile che la comprensione della gamification si approfondisca, portando a nuove definizioni e interpretazioni che riflettono la sua crescita e maturazione come campo di studio.

È importante però analizzare tutte le origini e le derivazioni della gamification. Il termine è stato coniato per la prima volta nel 2002 dal programmatore e inventore Nick Pelling, il quale la definisce come l'applicazione di un design di interfaccia utente accelerato simile a un gioco, per rendere le transazioni elettroniche sia piacevoli che veloci. Tuttavia, la gamification ha iniziato a ottenere una diffusione più ampia solo nel 2010, quando sia i professionisti che gli accademici hanno iniziato a studiare gli strumenti di gamification. Kapp nel 2012 definì la gamification come l'utilizzo di tattiche, design e ragionamenti tipici del gioco per catturare l'interesse degli individui, incentivare le loro azioni, agevolare il processo di apprendimento e offrire soluzioni a problemi definiti. In letteratura, come già specificato, la definizione attualmente più diffusa proviene dal già citato Deterding nel 2011: "l'uso di elementi di design. Gartner nel 2013 mostra che il termine "gamification" aveva appena raggiunto il picco in quell'anno. Egli aveva predetto che entro il 2014 l'80% delle applicazioni gamificate avrebbero fallito nel raggiungere i propri obiettivi aziendali, principalmente a causa di un

cattivo design. Questo ha portato la gamification a essere spostata verso il cosiddetto “Through of Disillusionment”, indicando che saranno necessari da 5 a 10 anni per stabilizzarsi e raggiungere quella che viene considerata la “Plateau of Productivity”, espressione che indica una tematica considerata definitivamente matura. Gartner sostiene che per il successo di un’applicazione di gamification la chiave è una chiara strategia di design. Con l’avanzare degli anni il design di gamification diventa sempre più centrale e quest’ambito di studi sempre maggiormente approfondito (Burke et al., 2014). Dunque, l’interesse della società sulla gamification è crescente negli anni. Nei paragrafi successivi sono approfondite le più importanti teorie e i più rilevanti framework di gamification.

## 1.3 Stato dell’arte sul processo di design della gamification

### 1.3.1 Stato dell’arte sulla classificazione delle teorie di gamification

In questo paragrafo sono riportate le principali teorie sulla gamification. È stato analizzato lo studio condotto dal Professor Treiblmaier, il quale ha trattato la gran parte delle teorie di Gamification presenti in letteratura (H. Treiblmaier et al., 2018). In questa sezione sono approfondite le più rilevanti e quelle più affini all’obiettivo di questo lavoro.

- **Homo Ludens**

La teoria dell’Homo Ludens, ideata dal già citato Jonah Huizinga, sottolinea il ruolo cruciale del gioco nella cultura e nella società. Questo concetto, che trasforma il comportamento razionale in un’esperienza più edonica, evidenzia come il gioco sia fondamentale per l’apprendimento e l’innovazione umana. Huizinga distingue tra “Paidia”, un gioco senza scopo preciso, e “Ludus”, un gioco con regole e obiettivi definitivi, entrambi essenziali per l’esplorazione del mondo da parte dell’uomo.

Nel campo della gamification, la teoria Homo Ludens aiuta a comprendere l’attrattiva del gioco e la sua efficacia nell’aumentare l’engagement e la motivazione. Questa teoria viene occasionalmente citata nella ricerca sulla gamification per illustrare come gli elementi di gioco possano essere integrati efficacemente in vari contesti, contrastando l’Homo Faber, che rappresenta l’aspetto più orientato agli obiettivi e al lavoro dell’uomo (H. Treiblmaier et al., 2018).

- **Behavioral Decision Theory**

La “Behavioral Decision Theory” (Teoria della Decisione Comportamentale) si concentra su varie teorie descrittive che mirano a spiegare i comportamenti decisionali degli esseri umani. Questa teoria esplora la consapevolezza nei processi decisionali umani e i metodi utilizzati per scegliere tra alternative (Kim and Lee, 2015). Nella letteratura di Information System (IS), la Behavioral Decision Theory è stata utilizzata per spiegare come i sistemi di supporto decisionale influenzino le qualità delle decisioni umane, indicando che le persone tendono a mantenere un certo sforzo anche se ciò porta una ridotta qualità decisionale.

Nel contesto della gamification, la Behavioral Decision Theory può fornire intuizioni preziose su come e perché le persone reagiscono a meccaniche di gioco in ambienti non ludici. Gli elementi di gioco, come punti, livelli e badge, vengono utilizzati per motivare e influenzare il comportamento. I ricercatori possono utilizzare questa teoria per concentrarsi su come aumentare i livelli di consapevolezza dei giocatori e fornire loro le informazioni necessarie per prendere decisioni informate. Si pone anche la questione se la gamification induca le persone in comportamenti che altrimenti non perseguirebbero (Hamari et al., 2015).

Questa teoria, dunque, attraverso la comprensione dei processi decisionali umani, può essere cruciale per progettare sistemi di gamification efficaci che non solo motivino e coinvolgano gli utenti nel raggiungimento degli obiettivi, ma che aiutino anche a prendere decisioni più consapevoli e informate.

- **Behavioural (Intention) Theories**

Le “Behavioural (Intention) Theories” sono un gruppo di teorie psicologiche che si concentrano sul comprendere e prevedere il comportamento umano sulla base delle intenzioni. Queste teorie sono conosciute con le sigle: TRA, TPB, TAM, HMSAM. La “Theory of reasoned action” (TRA), descritta da Fishbein e Ajzen nel 1975 (Fishbein et. al), spiega come atteggiamenti e norme soggettive determinino l’intenzione di un individuo di esibire un certo comportamento. La “Theory of planned behavior” (TPB), introdotta da Ajzen nel 1991 (Ajzen 1991), aggiunge il controllo comportamentale percepito, ovvero la percezione che le persone hanno della loro capacità di eseguire determinati comportamenti. Queste due teorie, combinando atteggiamenti, norme e intenzioni, sono state estese e modificate in vari modi, come nel Modello di Accettazione della Tecnologia (TAM) di Davis (Davis, 1989). Più recentemente, è stato aggiunto il Modello di Adozione del Sistema di Motivazione Edonica (HSAM) (Lowry et al., 2013), che include antecedenti comportamentali basati

sull'assorbimento cognitivo come curiosità, gioia e immersione, rappresentando le motivazioni intrinseche degli utenti.

Nel contesto della gamification, queste teorie possono offrire un quadro per comprendere come diversi aspetti psicologici influenzino l'interazione degli utenti con le meccaniche di gioco. Ad esempio, Hamari e Koivisto nel 2015 hanno dimostrato l'influenza sociale, il riconoscimento positivo e la reciprocità influenzano positivamente la volontà di utilizzare i servizi di gamification. In termini di influenza sociale, i ricercatori evidenziano i diversi fattori correlati che contribuiscono alla continuità, come il riconoscimento, i benefici reciproci e gli effetti di rete (H. Treiblmaier et al., 2018).

Tutte queste teorie comportamentali hanno il potenziale per spiegare perché le persone usano, e continuano a usare nel tempo, una certa tecnologia, che potrebbe essere una qualsiasi applicazione gamificata. È possibile integrare la gamification in qualsiasi estensione di queste teorie, fornendo così una base per progettare esperienze gamificate che coinvolgono efficacemente gli utenti, motivandoli non solo a iniziare a usare tali sistemi, ma anche a continuare a farlo nel tempo.

- **Cognitive Load Theory (CLT)**

La Cognitive Load Theory, proposta da Sweller e Chendler nel 1991, mira ad ottimizzare il design didattico per ridurre lo sforzo mentale nell'apprendimento. Secondo questa teoria la memoria a lungo termine possiede capacità estese rispetto a quella a breve termine. Uno dei principali obiettivi del CLT è quindi di minimizzare il carico cognitivo per potenziare l'efficacia della memoria di lavoro, migliorando così l'elaborazione delle informazioni (Sweller et al., 1991). Questo approccio ha trovato applicazione in vari campi, inclusi lo sviluppo di materiali didattici e la ricerca sui sistemi informativi.

La CLT classifica il carico cognitivo in tre categorie: intrinseco, estraneo e rilevante. Il carico intrinseco si riferisce alla complessità delle informazioni da apprendere, mentre quello estraneo deriva dalla modalità di presentazione del materiale. Infine, il carico rilevante è legato all'elaborazione attiva delle informazioni (H. Treiblmaier et al., 2018).

Nell'ambito della gamification, la CLT offre spunti significativi per la progettazione di esperienze utente. La gamification può influire questi tre tipi di carico, ad esempio, riducendo il carico estraneo attraverso un'esperienza utente più coinvolgente e intuitiva. Fino ad ora, nonostante il potenziale, la CLT non è stata ampiamente esplorata nella ricerca sulla gamification in ambito educativo. Tuttavia, si ritiene che la gamification possa essere un

valido strumento per gestire e ottimizzare il carico cognitivo, rendendo l'apprendimento più efficace e coinvolgente (Dehue and Van De Leemput, 2014).

- **Elaboration Likelihood Model (ELM)**

Il modello Elaboration Likelihood Model, sviluppato da Cacioppo e Petty (Cacioppo et al., 1984), è un approccio psicologico focalizzato sul processo di persuasione e sulla formazione o il cambiamento delle attitudini. Questo modello identifica due vie principali attraverso cui le persone elaborano le informazioni: una centrale, che coinvolge un'attenta considerazione dei dettagli rilevanti, e una periferica, basata su associazioni semplici di attributi positivi o negativi. L'elemento cruciale in questo processo è il coinvolgimento dell'individuo, che riflette la sua motivazione a considerare attentamente un problema. L'ELM è molto utilizzato nella ricerca sull'impatto dei media e dei sistemi informativi.

Nell'ambito della gamification, questo modello si rivela utile per analizzare come gli elementi di gioco influenzino gli atteggiamenti e i comportamenti degli utenti. La gamification può stimolare una maggiore motivazione e capacità di elaborazione delle informazioni, promuovendo un coinvolgimento più profondo (via centrale) o influenzando gli atteggiamenti attraverso indizi più superficiali (via periferica). L'ELM permette di considerare l'utente come elemento centrale nel processo di elaborazione delle informazioni, aggiungendo caratteristiche individuali che possono influenzare il processo di apprendimento e di persuasione (H. Treiblmaier et al., 2018). Tuttavia, l'applicazione dell'ELM nella ricerca di gamification è ancora poco esplorata, nonostante il suo potenziale nel contribuire a cambiare gli atteggiamenti degli individui attraverso la gamification.

- **Flow Theory**

La Flow Theory di Csikszentmihalyi, sviluppata negli anni '70, è incentrata sullo stato di profondo coinvolgimento e concentrazione che un individuo sperimenta durante un'attività. Lo stato descritto in questa teoria, caratterizzato da un'immersione totale e motivazione intrinseca, trova un equilibrio tra sfida e abilità, evitando sia uno stato di noia sia d'ansia. Csikszentmihalyi ha identificato diverse dimensioni fondamentali per l'esperienza di flusso, tra cui obiettivi chiari e riscontri immediati (Csikszentmihalyi, 1997).

Questa teoria è stata ampiamente applicata nel campo dei sistemi informativi per esplorare vari aspetti, come l'effetto dei mondi virtuali sul valore del marchio e la motivazione intrinseca legata alla tecnologia. La sua applicabilità si estende anche alla gamification, dove viene considerata essenziale per il successo del gaming (H. Treiblmaier et al., 2018).

È emerso che la gamification migliora l'engagement e l'immersione degli utenti, applicando i principi della Flow Theory per creare esperienze coinvolgenti che equilibrano sfide e abilità ("Flow Theory and the Development of Musical Performance Skills," 2023). In sintesi, questa teoria fornisce un framework prezioso per progettare esperienze di gamification che motivano e coinvolgono profondamente gli utenti.

- **Information Processing Theory**

L'Information Processing Theory (IPT), sviluppata nella psicologia cognitiva anni '50, si concentra su come il cervello umano gestisce processi mentali quali pensare, memorizzare e risolvere problemi, simili al funzionamento di un computer. Secondo questa teoria, la nostra memoria a breve termine è in grado di elaborare un numero limitato di informazioni contemporaneamente, un concetto noto come "chunking". Questo aspetto è fondamentale nella gamification, poiché suggerisce l'importanza di progettare contenuti che siano facilmente assimilabili dagli utenti.

L'implicazione principale per la gamification è che le informazioni dovrebbero essere presentate in piccoli segmenti per adattarsi alla capacità cognitiva dell'utente, rendendo il contenuto più accessibile e coinvolgente. La teoria è stata inoltre applicata a vari studi nei sistemi informativi, esplorando diverse aree come il supporto informatico e la privacy online (H. Treiblmaier et al., 2018). In conclusione, dunque, l'approccio di questa teoria è cruciale per creare esperienze di gamification efficaci, ottimizzando il modo in cui gli utenti ricevono ed elaborano le informazioni.

- **Keller's ARCS Motivational Model**

Il Keller's ARCS Motivational Model, focalizzato sulla motivazione nell'educazione, si basa su quattro elementi fondamentali: Attenzione, Rilevanza, Fiducia e Soddisfazione. Questi principi guidano la creazione di contenuti che attirino l'interesse dell'utente, siano rilevanti per le loro esigenze, bilancino sfida e facilità e consentendo l'applicazione pratica delle conoscenze.

Nel contesto della gamification, il modello ARCS è particolarmente utile. Ad esempio, la creazione di livelli di difficoltà variabili (facile, intermedio, avanzato) consente di personalizzare l'esperienza di apprendimento in base al livello di conoscenza individuale dell'utente. Questo approccio aiuta a trovare il giusto bilanciamento tra noia e ansia, contribuendo così a realizzare gli obiettivi di apprendimento diversificati possano notevolmente arricchire l'esperienza educativa e migliorare le performance di apprendimento

(H. Treiblmaier et al., 2018). Questo modello, quindi, offre una guida preziosa per la progettazione di esperienze di gamification che non solo motivano e coinvolgono gli utenti, ma che facilitano anche un apprendimento efficace e soddisfacente.

- **Organizational Learning Theory**

La Organizational Learning Theory esamina come le organizzazioni e i loro membri imparano e condividono le conoscenze, enfatizzando l'importanza di questo processo per la competitività in contesti dinamici. Partendo dall'apprendimento individuale, si estende all'intera organizzazione, utilizzando strumenti come le curve di apprendimento per misurare e incrementare la conoscenza collettiva.

Questa teoria è stata applicata in diversi studi nei sistemi informativi per esaminare fenomeni come il crowdsourcing, la sicurezza informatica e l'apprendimento da esperienze fallite.

Nel contesto della gamification, l'OLT è significativa per il suo ruolo nell'incrementare l'engagement e la motivazione dei dipendenti, promuovendo l'apprendimento individuale e la condivisione delle conoscenze in maniera più interattiva e coinvolgente. Gli elementi di gamification possono incentivare una partecipazione attiva, sostenere l'acquisizione e la diffusione della conoscenza e stimolare un apprendimento continuo. Questo approccio consente anche di tracciare i progressi e di costruire una base di conoscenza come all'interno dell'organizzazione (H. Treiblmaier et al., 2018). In conclusione, l'integrazione dell'OLT con la gamification offre alle organizzazioni un metodo per creare ambienti lavorativi che non solo favoriscono l'apprendimento e l'innovazione, ma incoraggiano anche un approccio collaborativo e olistico alla gestione delle conoscenze.

- **Self-determination Theory (SDT)**

La Self-determination Theory, sviluppata da Ryan e Deci (Deci et al., 1980), esplora come le motivazioni interne guidano le scelte individuali in assenza di influenze esterne. Questa teoria pone l'accento su tre bisogni psicologici fondamentali, autonomia, competenza e relazione, cruciali per la motivazione intrinseca e la salute mentale. L'autonomia riguarda il controllo personale sugli eventi, la competenza si focalizza sul possesso di abilità necessaria per raggiungere obiettivi, e la relazione si riferisce al bisogno di connessioni sociali significative. Applicate nel campo dei sistemi informativi e della gamification, la SDT è stata usata per studiare una varietà di temi, inclusi l'adozione di sistemi aziendali e il coinvolgimento in corsi di Management Information Systems. Nella gamification, questa teoria aiuta a capire come la

connessione sociale (relazione), le sfide (competenza) e la libertà di scelta (autonomia) possono migliorare l'engagement e la motivazione intrinseca. Ad esempio, le applicazioni gamificate che incoraggiano il gioco di squadra o offrono diverse opzioni di gioco possono soddisfare questi bisogni psicologici (H. Treiblmaier et al., 2018). In breve, integrando i concetti della SDT nella gamification, si possono creare esperienze più coinvolgenti e motivanti che rispondono ai bisogni fondamentali degli utenti, promuovendo così un maggiore coinvolgimento e benessere psicologico.

- **Social Learning Theory e Social Cognitive Theory (SLT e SCT)**

La Social Learning Theory e la Social Cognitive Theory sono due teorie psicologicamente strettamente correlate che esplorano come gli individui imparino e si comportino in un contesto sociale. Queste teorie enfatizzano il ruolo dell'osservazione, dell'imitazione e del modello nel processo di apprendimento.

Nel contesto della gamification, queste teorie offrono importanti intuizioni. Ad esempio, i modelli virtuali come gli avatar, usati frequentemente in ambienti di marketing o apprendimento gamificati, possono influenzare socialmente gli atteggiamenti e i comportamenti umani. Inoltre, un'applicazione gamificata che permette agli utenti di ripetere l'esperienza può aumentare la ritenzione delle informazioni. I meccanismi di gioco come i badge sono stati dimostrati utili nell'aumentare la motivazione degli utenti a proporre idee, eseguire transazioni e utilizzare servizi più attivamente. Combinando l'apprendimento osservativo e i fattori cognitivi personali e ambientali, SLT e SCT forniscono un quadro teorico per comprendere come la gamification possa essere utilizzata per influenzare e motivare efficacemente il comportamento e l'atteggiamento degli utenti in contesti sociali (H. Treiblmaier et al., 2018).

### 1.3.2 Stato dell'arte sulla classificazione dei framework di gamification

Questa sezione presenta le principali proprietà dei principali framework di gamification, estrapolati dalla revisione della letteratura svolta. I framework sono stati categorizzati in base al periodo, al contesto e all'ambito.

- Nel 2004 Robin Hunicke, Marc LeBlanc e Robert Zubek crearono il framework MDA (Mechanics, Dynamics, Aesthetics). Esso è un modello di analisi e progettazione per il game design e la gamification. Il framework suddivide l'esperienza di gioco in tre componenti principali:
  - Mechanics (Meccaniche): rappresentano le regole del gioco, inclusi algoritmi, dati e funzionalità di base che definiscono come il gioco opera tecnicamente. Esempi di meccaniche sono i sistemi di punti, le risorse e le regole di progressione.
  - Dynamics (Dinamiche): sono i comportamenti emergenti che si sviluppano quando i giocatori interagiscono con le meccaniche. Le dinamiche includono gestione delle risorse, cooperazione, competizione ed economie di gioco.
  - Aesthetics (Estetica): si riferisce all'esperienza emotiva del giocatore, comprendendo l'aspetto visivo, il suono, la narrativa e le emozioni suscitate dal gameplay. Il framework identifica otto tipi di estetiche comuni: sensazione, fantasia, narrazione, sfida, compagnia, scoperta, espressione e sottomissione.

Il framework MDA è utilizzato nella gamification per progettare esperienze motivanti e coinvolgenti attraverso elementi ludici. Le meccaniche possono includere badge, classifiche e punti; le dinamiche possono coinvolgere competizione e cooperazione; l'estetica mira a creare esperienze gratificanti e divertenti (Angelia et al., 2021). Questo framework è uno standard nel game design e nella gamification, facilitando la comunicazione tra designer, sviluppatori e ricercatori e influenzando settori come l'istruzione, la salute e il marketing (Cortellessa et al., 2007). Il framework MDA continua a essere ancora oggi una risorsa fondamentale per comprendere e progettare esperienze ludiche nelle applicazioni di gamification (Kusuma et al., 2018).

- Il framework "Six Steps to Gamification", presentato da Werbach e Hunter nel 2012, noto anche come "6D", inizia con la definizione degli obiettivi aziendali, per poi concentrarsi sui comportamenti attesi, la descrizione dei giocatori, la progettazione dei cicli di attività senza

trascurare il divertimento e infine l'implementazione del sistema di gamification con gli strumenti appropriati (Werbach and Hunter, 2012). Sebbene non lo dichiari esplicitamente, questo framework mostra una leggera influenza dal framework di progettazione MDA di Hunicke. Questa influenza è evidente nella "Piramide degli Elementi di Gamification" che include meccaniche, dinamiche e componenti rilevanti, servendo da base per vari altri framework di progettazione della gamification (Mora et al., 2015).

- In parallelo, un framework più semplice denominato GAME, proposto da Marczewski nel 2012, si articola in 2 fasi. La fase iniziale coinvolge la pianificazione e la progettazione, con l'acquisizione di informazioni chiave tramite sondaggi, inclusi i tipi di utenti nel contesto della gamification (basati sul tipo di utente Hedax, derivato da Bartle's del 2005). Successivamente, si sviluppa la migliore soluzione del gioco per obiettivi e coinvolgimento, misurando le attività e i risultati degli utenti. Questo framework applica un proprio modello di motivazione chiamato RAMP (Relatedness, Autonomy, Mastery, Purpose) che prevede l'arricchimento continuo nel tempo (Mora et al., 2015). Inoltre, Marache-Francisco e Brangier nel 2013 propongono un processo di progettazione della Gamification basato sui principi dell'interazione uomo-computer (HCI). Questi studiosi identificano diverse dimensioni al di fuori dei componenti e delle pratiche della gamification che possono essere utilizzate per definire un quadro chiaro. Queste, includono la dimensione sensoriale-motoria, la motivazione emotiva e l'impegno, infine la dimensione cognitiva dell'interazione. Il processo di progettazione consiste in due fasi principali e iterative: l'analisi del contesto, "User-Centered Design", e la concezione iterativa dell'esperienza di gamification. Inoltre, viene menzionato un set di strumenti per la gamification, chiamato Principi Fondamentali, per assistere i progettisti nel processo (Mora et al., 2015).
- De Paz nel 2013 ha suggerito un insieme di passaggi per la gamification che si ispirano in parte ai "Six Steps to Gamification di Werbach e Hunter" (Mora et al., 2015). Il suo metodo si articola in tre fasi: definizione degli obiettivi aziendali, progettazione base e impiego di elementi di gioco, seguiti da implementazione e manutenzione, raccomandando l'uso di metriche per valutare il successo.
- Robinson e Nellotti nel 2013 hanno rivelato che, pur essendo utili, i framework esistenti non soddisfacevano completamente i loro requisiti per la progettazione della Gamification, Hanno quindi creato sei categorie di elementi di gamification, derivati da varie fonti accademiche

che riguardano aspetti generali del gioco, regole, caratteristiche sociali, incentivi, risorse e vincoli, nonché feedback e informazioni sullo stato (Mora et al., 2015).

- Francisco-Aparicio et al., sempre nel 2013, hanno proposto un framework che consiste di scegliere meccaniche di gioco adatte per soddisfare bisogni psicologici e sociali, basandosi sulla teoria dell'autodeterminazione (SDT) (Mora et al., 2015). Il loro approccio valuta l'efficacia della gamification attraverso criteri di divertimento, giocabilità, con attività essenziali che includono l'analisi dell'utente finale, gli obiettivi principali e l'identificazione trasversale, l'implementazione e l'analisi dell'efficacia.
- Nel 2013, Versteeg ha definito un framework semplificato per la progettazione etica della gamification persuasiva. Questo unisce un quadro etico normativo con metodologie per analizzare l'etica delle tecnologie persuasive, includendo i principi morali e valori, indagini concettuali, coinvolgimento stakeholder, valutazione e iterazione (H. Treiblmaier et al., 2018).
- Yu-kai Chou nello stesso anno ha proposto l'Octalysis, un framework che pone grande enfasi sulla motivazione umana del design della gamification, basandosi su un approccio di "Human-Focused Design", che si oppone a un design focalizzato sulla funzionalità per ottenere rapidamente il risultato desiderato (Mohanty et al., 2023). Il framework è rappresentato da un ottagono, con otto "core drive" rappresentati uno per lato.
- Infine, nel 2015, Al Marshedi ed altri studiosi hanno proposto un framework per aumentare la sostenibilità dell'impatto delle applicazioni gamificate, basandosi sulla teoria del "Flow Dimension" di Csikszentmihalyi e sugli elementi di motivazione di Pink e sulla SDT, con un focus sul Design Centrato sull'Utente (H. Treiblmaier et al., 2018). Questo framework integra scopo, maestria, razionalità e flusso, servendo come guida per i designer che vogliono creare esperienze rilevanti e coinvolgenti a lungo termine.

Successivamente al 2015 c'è stata una tendenza crescente verso l'applicazione e l'adattamento dei framework esistenti in nuovi contesti e settori. La ricerca si è spesso concentrata su come personalizzare e ottimizzare le strategie di gamification per diversi tipi di utenti e contesti, piuttosto che sviluppare interamente nuovi framework da zero. Dal 2015 in poi, dunque, la corsa dei ricercatori per l'ideazione di nuovi framework di gamification è rallentata vertiginosamente. Ad oggi i framework più rilevanti ed utilizzati sono tutti stati presentati prima del 2015. La ricerca sulla gamification si è focalizzata meno sull'ideazione di nuovi framework e più sull'applicazione di quelli

esistenti a diversi contesti. Ciò era stato preannunciato da Gartner nel 2013, il quale sosteneva che in quell'anno dopo aver superato un periodo di disillusione in cui egli aveva previsto il fallimento 80% delle applicazioni gamificate a causa di cattivi design, l'attenzione si sarebbe spostata verso l'ottimizzazione dell'uso dei framework già esistenti. Questo processo ha richiesto un approccio più mirato e strategico, sottolineando l'importanza di una chiara strategia di design per il successo dell'applicazione della gamification (Mora et al., 2015). Nonostante la carenza di nuovi framework, la gamification ha visto un rinnovato interesse e applicazioni in settori come l'educazione, la formazione, marketing, le vendite e le risorse umane, affermandosi come un approccio efficace e versatile nel panorama tecnologico e aziendale, adattandosi e integrandosi in vari settori.

## 1.4 Elementi caratteristici della gamification

La gamification è stata presentata come la pratica che prevede l'applicazione di elementi e tecniche di gioco in ambiti diversi dai giochi stessi. Questa tecnica non deve essere confusa con l'integrazione completa di giochi autonomi in prodotti, servizi o processi lavorativi. La gamification si concentra sull'adattamento e sull'impiego di principi e componenti ludici in contesti non tradizionalmente associati al gioco, per stimolare motivazione e azioni desiderate attraverso un approccio ludico. Questi elementi fondamentali della gamification vanno ben oltre la semplice assegnazione di punti e comprendono una vasta gamma di strumenti motivazionali intrinseci (Mekler et al., 2013).

Sono analizzate ora in dettaglio gli elementi chiave maggiormente presenti nelle applicazioni di gamification.

- **Feedback:** è una risposta immediata alle azioni degli utenti. Nei giochi per computer, ad esempio, può essere rappresentato da punti, tempo rimanente o livelli di energia. Il feedback aiuta gli utenti a capire l'esito delle loro azioni, fornendo un chiaro indicatore di successo o insuccesso.
- **Trasparenza:** fondamentale per un uso efficace della gamification, assicura che i dati utilizzati, come traguardi raggiunti o confronti con altri utenti, siano chiari e facilmente comprensibili.

- **Obiettivi e Compiti:** in contesti gamificati, è cruciale impostare obiettivi e compiti che guidino il comportamento degli utenti, dovrebbero essere in linea con il progresso individuale dell'utente e adattarsi al contesto del sistema.
- **Storytelling:** raccontare storie rende gli obiettivi e le azioni all'interno di un sistema gamificato più memorabili e coinvolgenti. Una narrazione continua e coinvolgente, collegata a obiettivi intermedi e feedback diretti, può avere un forte impatto motivazionale.
- **Punti:** elemento fondamentale nei sistemi gamificati, possono essere utilizzati internamente per monitorare attività e progressi degli utenti o visibili esternamente come indicatore di successo.
- **Livelli:** i livelli traducono il successo nell'accumulo di punti in progressi tangibili, fungendo da indicatore di progresso e da stimolo motivazionale.
- **Badge:** simboli distintivi come badge, titoli e adesivi in contesti gamificati indicano risultati raggiunti o competenze acquisite.
- **Onboarding:** il principio dell'onboarding sottolinea l'importanza delle prime interazioni con un sistema, introducendo immediatamente gli utenti nel contesto gamificato.
- **Contesto:** la competizione, sia personale sia contro altri giocatori, è un componente frequente nei giochi e nei sistemi gamificati.
- **Collaborazione:** la collaborazione incoraggia gli utenti a lavorare insieme per raggiungere obiettivi comuni, soddisfacendo le esigenze sociali e creando dinamiche di gruppo.
- **Tempo:** il tempo e la pressione del tempo servono sia come elementi di feedback sia come risorse critiche e fattori motivazionali nei giochi e sistemi gamificati.
- **Ripetizione:** offre gli utenti la possibilità di riprovare compiti più volte, incentivando l'esplorazione e la sperimentazione.
- **Personalizzazione:** permette agli utenti di adottare il loro ambiente gamificato, aumentando l'identificazione e l'engagement.
- **L'inatteso:** l'introduzione di elementi sorprendenti come ricompense inaspettate o funzionalità nascoste può rompere la monotonia e mantenere l'interesse degli utenti.

Ognuno di questi elementi, se implementato correttamente, può trasformare un'esperienza ordinaria in un'avventura coinvolgente e motivante, sfruttando le dinamiche del gioco per raggiungere obiettivi specifici. La combinazione di questi componenti in un sistema gamificato crea un'esperienza ricca e multistrato, in grado di coinvolgere e motivare gli utenti in modi diversi e complessi.

## 2. GAMIFICATION FOR MANUFACTURING

### 2.1 Gamification in ambito manifatturiero

La gamification in ambito manifatturiero, nota come Gamification for Manufacturing (GfM), si è affermata come un “tema in rapida crescita” di interesse sia nel mondo accademico che in quello industriale, trovando applicazione in numerosi prodotti e servizi utilizzati quotidianamente. La sua evoluzione e il crescente interesse sono evidenziati dalla distribuzione temporale delle pubblicazioni accademiche. Questa tendenza crescente, tuttavia, non è stata lineare con picchi significativi nel 2016 e nel 2020, e fasi di minore pubblicazione nel 2013, 2014 e 2018, suggerendo una crescita influenzata da fattori variabili (Keepers et al., 2020). Da un’analisi maggiormente dettagliata, emerge che la variabilità annuale può essere attribuita alla dimensione relativamente contenuta del campione esaminato, consistente in 35 articoli. In particolare, fino al 2016, un numero significativo di pubblicazioni condivideva lo stesso primo autore, il Professor Oliver Korn, indicando un’origine comune legata a specifici progetti di ricerca. Ciò sottolinea come, nei suoi primi anni, il campo della gamification nell’ambito manifatturiero sia stato influenzato da un ristretto numero di gruppi di ricerca e progetti. Nonostante ciò, il 2020 si è distinto come l’anno con il maggior numero di pubblicazioni seguito dal 2021, dimostrando un crescente interesse e una diversificazione degli approcci di ricerca (Keepers et al., 2020). L’analisi mette in luce anche la natura emergente della “Gamification for Manufacturing”, con una prevalenza di lavori di progettazione concettuale che indicano un interesse verso la formulazione di approcci teorici e la definizione di linee guida per future ricerche pratiche, come studi di caso e sperimentazioni. Questo è particolarmente rilevante per comprendere le fasi iniziali dello sviluppo di questa disciplina in questo settore, dove la concettualizzazione serve a costruire una base solida per l’esplorazione e l’implementazione futura della gamification nel settore manifatturiero (Keepers et al., 2022).

Interessante notare la limitata presenza di casi studio, che riflette le sfide e la complessità nell’implementare pianamente scenari gamificati in contesti industriali reali. Tuttavia, l’elevato numero di esperimenti, in gran parte condotti in ambito di laboratorio accademico, rivela un entusiasmo e una capacità crescenti tra i ricercatori di testare applicazioni pratiche della gamification nel manifatturiero. Questo aspetto sottolinea l’importanza di un approccio sperimentale per validare

le teorie e i modelli proposti, anche se la ricerca in contesti reali rimane l'obiettivo finale (Liu et al., 2018).

Nell'ambito della GfM il settore dell'assemblaggio generale si distingue per avere ricevuto la maggiore attenzione nelle ricerche, riflettendo l'interesse concentrato su progetti focalizzati sia nei contesti di lavoro protetto sia nell'industria automobilistica (Roh et al., 2016).

Questi ambienti, caratterizzati da intensivi processi di assemblaggio, hanno dimostrato le potenzialità della gamification for Manufacturing di migliorare l'efficienza e il coinvolgimento dei lavoratori in tali operazioni. Questa tendenza suggerisce che l'assemblaggio può offrire opportunità significative per l'adozione della gamification, benché queste osservazioni non stabiliscano definitivamente i contesti più adatti al successo della GfM. Oltre all'assemblaggio, il "picking degli ordini" emerge come un altro processo critico che beneficia della GfM, con studi che rappresentano una porzione considerevole della ricerca esaminata. Questo interesse per l'applicazione della GfM in attività che implicano un'importante componente di lavoro umano sottolinea il valore dell'elemento umano nella produzione contemporanea, nonostante la spinta verso l'automazione (Ulmer et al., 2020).

La persistenza di processi manuali nell'era dell'industria 4.0 pone in evidenza l'esigenza di strategie innovative come la GfM per ottimizzare l'efficacia operativa e l'engagement dei lavoratori. La gamification si propone come strumento per valorizzare il ruolo degli operatori umani, incentivando la produttività e migliorando la qualità del lavoro attraverso dinamiche ludiche e di sfida che rendono più gratificanti le operazioni quotidiane. Inoltre, l'evoluzione verso l'operatore 5.0, che integra competenze digitali e flessibilità nelle mansioni tradizionali, può trarre vantaggio dall'implementazione della GfM, particolarmente in quei settori dove l'automazione completa non è praticabile o desiderabile. La gamification può così agire da catalizzatore per l'innovazione, offrendo modalità alternative per l'adattamento dei lavoratori ai cambiamenti tecnologici e ai nuovi paradigmi produttivi (Roh et al., 2016).

La ricerca sulla GfM si trova quindi in una fase promettente, con il potenziale di espandersi oltre i confini attuali e di esplorare nuove applicazioni che potrebbero rivoluzionare ulteriormente il settore manifatturiero. L'approfondimento delle dinamiche tra uomo e macchina, il miglioramento delle interfacce utente e l'incorporazione di elementi di realtà aumentata e virtuale sono solo alcune delle direzioni future che potrebbero arricchire ulteriormente il campo della GfM, ampliandone le sue applicazioni e il suo impatto sull'industria manifatturiero globale (Ulmer et al., 2020).

Si evince, dunque, come la Gamification in ambito manifatturiero sia un campo in rapida evoluzione, caratterizzato da una progressiva diversificazione dei tempi di ricerca e dall'ampliamento delle metodologie di studio. La crescita del numero di pubblicazioni e l'interesse crescente verso questo tema riflettono il potenziale della gamification di rivoluzionare questo settore, promuovendo l'innovazione e migliorando l'efficienza e l'engagement dei lavoratori.

## 2.2 Human-Robot Collaboration

La collaborazione uomo-robot (HRC) rappresenta un punto di svolta nell'evoluzione dell'industria 4.0, segnando un cambiamento epocale nel panorama manifatturiero globale. Nel cuore di questo ci sono i robot collaborativi, anche chiamati "Cobot", che si distinguono per la loro capacità di lavorare al fianco degli operatori umani. Questi sistemi avanzati non sono semplici automi che eseguono compiti ripetitivi, ma veri e propri partner capaci di adattarsi e reagire alle esigenze e ai comportamenti umani. I cobot rappresentano un mix rivoluzionario di intelligenza umana e prestazioni meccaniche. Contrariamente ai robot tradizionali, che operano in ambienti isolati, i cobot sono progettati per interagire in modo sicuro e diretto con gli operatori umani (Gervasi et al., 2020). Questa cooperazione apre nuove strade per l'ottimizzazione dei processi produttivi, dove la precisione e la forza dei robot si combinano con il pensiero critico e la flessibilità cognitiva umana. Inoltre, la collaborazione uomo-robot va oltre la mera esecuzione di compiti: essa stimola un ambiente di lavoro più dinamico, creativo e adattabile (Gervasi et al., 2022).

Nell'ambito HRC, sicurezza ed ergonomia rivestono un ruolo fondamentale. La sicurezza si concentra sulla prevenzione di contatti pericolosi tra uomini e robot. Questi aspetti includono la riduzione di carichi biomeccanici e la gestione dello stress legato all'interazione coi robot. La collaborazione uomo-robot è il fulcro di un nuovo paradigma produttivo in cui l'efficienza meccanica si integra con l'ingegnosità e l'adattabilità umana. I cobot supportano gli operatori in compiti fisicamente impegnativi, riducendo la fatica e consentendo loro di concentrarsi su attività che richiedono giudizio critico e creatività. Questo equilibrio tra forza meccanica e abilità umane porta a una produzione più snella, flessibile e di qualità superiore (Baraglia et al., 2016).

Franceschini e altri ricercatori nel 2019 hanno proposto un metodo innovativo per valutare e analizzare gli errori nella collaborazione uomo-robot, migliorando l'approccio FMECA che riguarda la "Failure Mode", gli "Effects" e la "Criticality Analysis" (Franceschini et al., 2020). Utilizzando la tecnica ZMII, Zero Method Interval of Influence, si può risolvere il problema della mancanza di consenso tra gli esperti nella valutazione dei rischi, che spesso deriva dall'assenza di dati storici specifici per i processi con la HRC. Questa tecnica di aggregazione permette di stabilire la priorità dei rischi identificati dagli esperti senza la necessità di un loro accordo unanime. La ZMII, quindi, facilita una valutazione più oggettiva e sistematica dei rischi, migliorando l'affidabilità del processo di analisi anche in contesti nuovi e con dati limitati (Franceschini et al., 2020).

Guardando al futuro, l'HRC si prefigura come un elemento chiave per un'industria sempre più interconnessa e atomizzata. Il ruolo dei cobot continuerà a evolversi, spostandosi da semplici assistenti a veri e propri collaboratori capaci di apprendere, adattarsi e prendere decisioni autonome. Questa evoluzione, sostenuta da progressi nell'intelligenza artificiale e nell'apprendimento automatico, promette di rendere la collaborazione uomo-robot ancora più intuitiva, efficace e trasformativa per l'industria del futuro (Charalambous et al., 2017).

## 2.3 Gamification nel controllo qualità

La gamification nel controllo qualità, in particolare nei processi di assemblaggio, rappresenta una frontiera innovativa per affrontare le sfide legate all'efficienza, alla precisione e al coinvolgimento dei lavoratori. Integrare elementi ludici nei processi di assemblaggio non solo facilita la formazione degli operatori, ma può anche avere un impatto significativo sull'adempimento degli standard di qualità e sulla riduzione degli errori di produzione (MODUL University Vienna et al., 2018). Tradizionalmente, il controllo qualità nei processi di assemblaggio si è concentrato su procedure standardizzate e su rigidi protocolli di ispezione. Tuttavia, questo approccio può non essere sufficientemente flessibile per rispondere alle esigenze di produzioni altamente personalizzate e dinamiche, tipiche dell'era digitale (Chabane et al., 2023). La gamification introduce un nuovo livello di interattività e di personalizzazione, trasformando il controllo qualità da un compito potenzialmente monotono a un'attività stimolante e coinvolgente.

Dunque, nell'ambito dell'avanzamento tecnologico digitale, l'orizzonte di lavoro di assemblaggio e dei metodi formativi correlati si sta evolvendo. L'impiego di principi di gioco in contesti professionali emerge come soluzione promettente per la formazione nel settore dell'assemblaggio, sebbene le ricerche in questo campo siano ancora esigue (Pereira et al., 2018). Si indagano dunque tre principali questioni relative all'assemblaggio industriale e alla gamification:

- Il futuro dell'assemblaggio industriale
- I metodi formativi attuali per gli operatori di assemblaggio
- Il potenziale della gamification in tale formazione

Dagli studi svolti in questo ambito, emergono indicazioni sulle limitazioni dei metodi formativi tradizionali di fronte alle esigenze future, sottolineando come le metodologie basate sulla realtà aumentata possono offrire vantaggi aggiuntivi. La gamification, coinvolgendo direttamente gli operatori in lavori che richiedono esperienza pratica, si adatta particolarmente alle necessità dell'assemblaggio basato su competenze specifiche, seppur siano necessari ulteriori studi e analisi sulle implicazioni cognitive e misurazioni fisiologiche per migliorare la progettazione dei sistemi informativi HCI nell'assemblaggio, specialmente nell'ambito della gamification (Ayatulloh et al., 2022).

L'assemblaggio industriale dovrà affrontare una crescente complessità, precisione e variabilità dei requisiti dei prodotti. La progettazione di sistemi di assemblaggio futuri richiederà un'enfasi sulla digitalizzazione e sull'adattamento alle capacità individuali per preservare le prestazioni degli operatori. I nuovi lavoratori incontreranno sfide legate alla complessità dei processi e all'automazione dei sistemi necessitando di processi di lavoro ridisegnati e nuovi approcci formativi per supportare lo sviluppo sostenibile delle competenze. L'uso della gamification in questo contesto mira a migliorare l'esperienza utente (UX) e l'engagement attraverso sistemi interattivi piacevoli, motivando l'esplorazione dei motivi per cui la gamification è considerata promettente per la formazione nell'assemblaggio. Il contributo principale che la gamification apporta è l'investigazione empirica e teorica sull'analisi della fiducia nell'automazione della produzione HRC, adottando il concetto di fiducia interpersonale per studiare l'HRC nell'automazione della produzione. Si distinguono due tipi di fiducia: disposizionale e basata sulla storia, con un focus sulla fiducia basata sulla storia a causa della natura dinamica dell'HRC (Gualtieri et al., 2021).

Sono presentati gli elementi di gamification che possono essere utilizzati nel controllo qualità:

- Punteggi e livelli: l'implementazione di sistemi di punteggio per valutare le prestazioni nel mantenimento degli standard di qualità può stimolare la competitività positiva e l'impegno.

Livelli progressivi possono rappresentare competenze acquisite nell'identificazione e nella risoluzione di qualità.

- **Badge e Riconoscimenti:** badge digitali o altri riconoscimenti possono essere assegnati per il raggiungimento di obiettivi specifici, come zero difetti in un determinato lasso di tempo o per l'identificazione proattiva di potenziali problemi di qualità.
- **Sfide e Missioni:** le sfide possono essere progettate per incoraggiare i lavoratori a concentrarsi su aspetti specifici del controllo qualità, come la precisione dell'assemblaggio o la riduzione dei tempi di inattività dovuti ad errori.
- **Feedback istantaneo:** la gamification permette di fornire riscontri immediati sulle prestazioni, aiutando i lavoratori a comprendere in tempo reale dove possono migliorare e incentivandoli a mantenere elevati standard di qualità.

I benefici che la gamification può apportare al controllo qualità tramite queste metriche possono essere:

- **Maggiore coinvolgimento:** trasformare il controllo qualità in un'attività più interattiva aumentando il coinvolgimento e la motivazione dei lavoratori. Ciò si traduce in un maggiore attaccamento agli standard di qualità.
- **Apprendimento continuo:** l'approccio dell'attenzione e del coinvolgimento può ridurre significativamente gli errori di produzione e migliorare la coerenza del prodotto finale.
- **Cultura del miglioramento Continuo:** la gamification può contribuire a creare una cultura aziendale focalizzata sul miglioramento continuo, dove ogni lavoratore si sente parte attiva del processo di assicurazione della qualità.

L'adozione della gamification nel controllo qualità richiede un'attenta pianificazione e progettazione per assicurare che gli elementi di gioco siano pertinenti e supportino gli obiettivi di produzione. È fondamentale mantenere un equilibrio tra l'aspetto ludico e le esigenze di serie del controllo qualità, assicurando che la gamification non distraiga dall'obiettivo finale di produrre un bene di alta qualità. Inoltre, è necessario considerare le diverse motivazioni e preferenze dei lavoratori per garantire che la gamification sia inclusiva ed efficace per tutti.

### **3. APPLICAZIONE DEI FRAMEWORK E DELLE TEORIE DI GAMIFICATION**

#### **3.1 Obiettivo della tesi**

L'obiettivo di questo lavoro è quello di sfruttare alcune delle teorie e dei framework di gamification presentati per introdurre delle metriche di gamification nel contesto manifatturiero. In particolare, l'obiettivo è quello di trasformare un processo di assemblaggio HRC in un vero e proprio gioco, in modo tale da poter fare delle considerazioni sugli impatti che può apportare la gamification in questo settore. Per far ciò, sono state svolte delle analisi delle principali teorie e dei principali framework, al fine di creare un gioco adatto a un processo di assemblaggio. Successivamente, è stato svolto un esperimento nel laboratorio Mind4Lab del Politecnico di Torino con un campione di 15 partecipanti che hanno eseguito sia la prova di assemblaggio "gamificata", frutto delle considerazioni presentate in questo capitolo, sia la prova di assemblaggio standard. Infine, sono stati analizzati e confrontati i dati ottenuti dalle prove dell'esperimento.

#### **3.2 Dai Framework al gioco**

In questo paragrafo sono presentati nuovamente alcuni dei principali framework e delle principali teorie di gamification presentati nei capitoli precedenti, con l'obiettivo di realizzare grazie a questi un vero e proprio gioco da proporre in un processo di assemblaggio in collaborazione con un robot. Verranno richiamati i seguenti framework citati in precedenza: 6D (Werbach and Hunter 2012) e MDA (Hunicke et al, 2004), oltre che la "Flow Theory" (Csikszentmihalyi, 1997) e la "Cognitive Load Theory" (Sweller et al., 1991).

In primo luogo, per inquadrare il contesto è stato sfruttato il framework 6D (Figura 3.1):

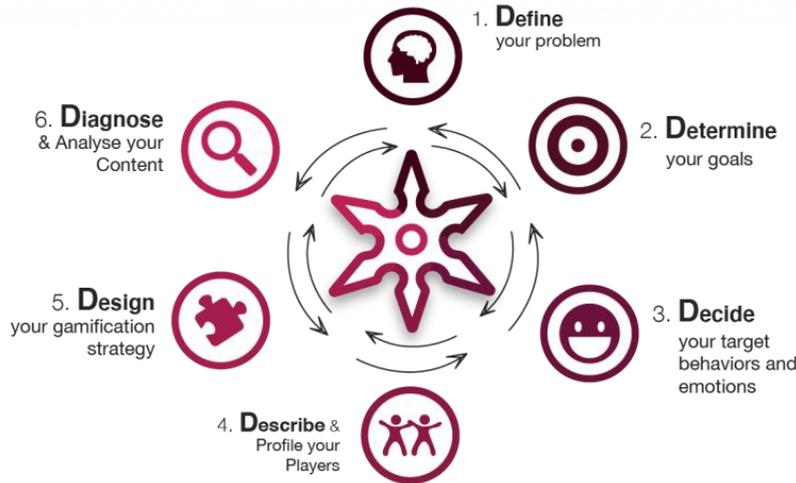


Figura 3.1 Framework 6D (<https://corp.gametize.com/playbook/>)

1. **Define your problem:** un processo di assemblaggio in collaborazione con un robot che può diventare alienante.
2. **Determinate your goals:** creare un gioco partendo dalla attuale routine di assemblaggio, che sia maggiormente stimolante per l'operatore.
3. **Decide your target behaviors and emotions:** l'obiettivo è che l'utente che si interfaccia col gioco trovi degli stimoli diversi rispetto alla routine originaria.
4. **Describe and profile your players:** Gli utenti finali del gioco saranno, idealmente, gli operatori all'interno delle aziende manifatturiere.
5. **Design your gamification strategy:** dividere il processo di assemblaggio in sotto-processi più brevi al fine di cercare un maggior coinvolgimento da parte dell'operatore durante lo svolgimento della prova.
6. **Diagnose and analyse your content:** Per un'analisi più profonda sfruttiamo il framework MDA e altre teorie di Gamification.

Dunque, sfruttando il framework 6D è stato inquadrato l'obiettivo del gioco e una prima strategia di partenza: al fine di perseguire un maggior coinvolgimento da parte dell'utente che svolge la prova di assemblaggio, il processo è stato suddiviso in sotto-processi. Ognuno di essi sarà un livello della missione di gioco che consisterà nel completamento dell'assemblaggio.

Per sviluppare questa idea di gioco sono stati sfruttati altri framework e teorie. Il framework di riferimento è stato il Framework MDA: è utile richiamarne i concetti. Esso, è un approccio formale alla comprensione dei giochi, che tenta di analizzare e progettare i giochi in base a tre componenti principali (Figura 3.2).

- **Mechanics:** le regole e le azioni accessibili nel gioco.
- **Dynamics:** processi che descrivono come le azioni rispondono l'una all'altra nel gioco.
- **Aesthetics:** le sensazioni dei giocatori mentre giocano al gioco. Questa è definita nelle seguenti metriche (Hunicke et al., 2004):
  - Sensation: senso di piacere derivante dal provare qualcosa di nuovo;
  - Challenge: essere sfidati a completare determinati compiti;
  - Fellowship: scoprire cose nuove attraverso l'esplorazione o provando nuove strategie;
  - Discovery: essere coinvolti in una rete di socializzazione;
  - Fantasy: capacità di esprimere le proprie scelte nel gioco;
  - Narrative: immersione nel gioco;
  - Expression: devozione al gioco;
  - Submission: trama coinvolgente.

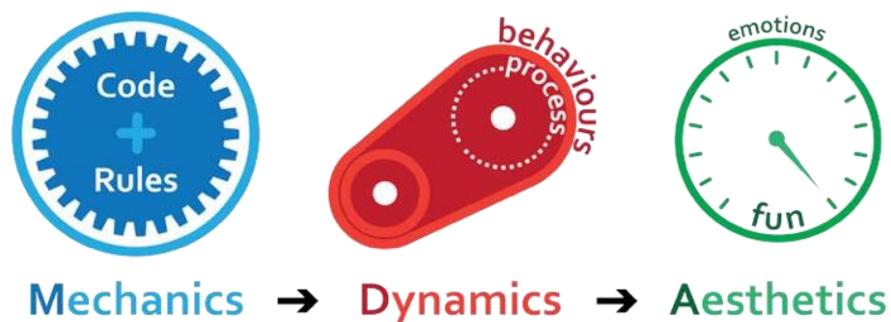


Figura 3.2 MDA Framework (Schnabel et al., 2014)

È fondamentale per il framework che in un gioco la parte centrale non sia la sua forma o il suo aspetto, bensì le regole e le interazioni che consentono ai giocatori di interagire con esso (Hunicke et al 2004). Per comprendere come far suscitare agli operatori le Aesthetics del framework MDA, sono state sfruttati alcuni concetti delle seguenti teorie già presentate in precedenza:

**Gamification e Flow:** La Flow Theory, presentata nel capitolo delle teorie di gamification, è un modello psicologico che descrive lo stato mentale di concentrazione totale e di attivazione che si verifica quando le persone sono impegnate in un'attività che è al contempo impegnativa e gratificante. Secondo la Flow Theory, idealmente le persone che sperimentano il “Flow” sono completamente immerse nell'attività che stanno svolgendo, perdono la consapevolezza del tempo e del proprio sé e provano una sensazione di benessere e soddisfazione (Csikszentmihalyi, 1997). L'obiettivo è quello

di creare un gioco che permetta all'operatore, durante la routine di assemblaggio, di provare sensazioni di benessere e soddisfazione (Figura 3.3). Dalla letteratura si evince che gli ideatori del gioco per creare un'esperienza di Flow devono progettare giochi che siano (Treiblmaier et al., 2018):

- Né troppo difficili né troppo facili: è necessario il giusto compromesso tra “Anxiety” e “Boredom”;
- Ricompensanti: devono offrire un senso di soddisfazione e di realizzazione.

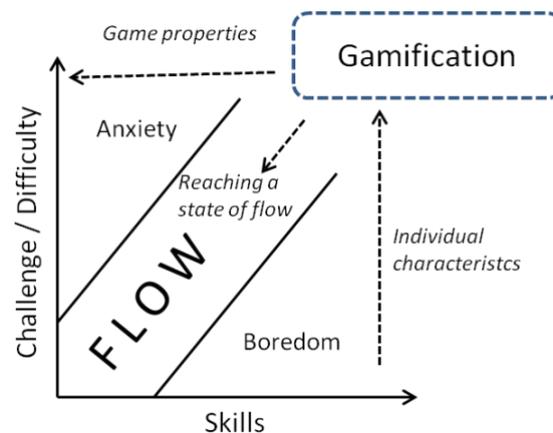


Figura 3.3 Gamification e Flow Theory (Treiblmaier et al., 2018)

**Cognitive Load Theory:** la Cognitive Load Theory, anch'essa presentata dettagliatamente in precedenza, è una teoria che si occupa del carico cognitivo, ovvero della quantità di informazioni che la mente umana può elaborare contemporaneamente. Secondo questa teoria, è importante ridurre il carico cognitivo dei giocatori per evitare che si sentano sopraffatti e perdano interesse nel gioco (Sweller et al., 1991). Nella figura 4 è riportato uno schema logico che sintetizza conclusioni successive inerenti alla Cognitive Load Theory (Sweller et al., 1998). La Gamification può portare ad aumentare o ridurre l'Intrinsic cognitive load, l'Extraneous load e il Germane load. Coloro che hanno partecipato al dibattito sull'efficacia della Gamification in quest'ambito, hanno concluso che essa può modificare le tre tipologie di carico mentale, diminuendo l'Intrinsic cognitive e l'Extraneous load e aumentando il Germane load, così da portare a un calo del carico cognitivo totale percepito, migliorando dunque le performance di un operatore (Figura 3.4). Dalla letteratura si evince sia possibile ridurre il carico cognitivo dei giocatori utilizzando le seguenti strategie (Treiblmaier et al. 2018):

- Dividere il processo di assemblaggio in livelli più piccoli e semplici. Questo renderà il processo più facile da memorizzare e da seguire;

- Fornire ai giocatori istruzioni chiare e concise. Questo aiuterà i giocatori a capire cosa devono fare e a ridurre il rischio di errori;
- Utilizzare un'interfaccia di gioco intuitiva e facile. Questo renderà più facile per i giocatori farsi coinvolgere dal gioco.

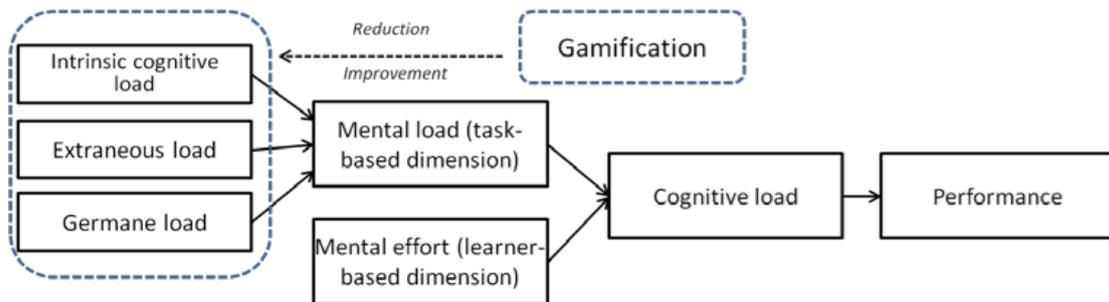


Figura 3.4 Gamification e Cognitive Load Theory (Treiblmaier et al., 2018)

### 3.3 Descrizione del gioco

Il gioco è stato sviluppato all'interno di un processo di assemblaggio con un sistema robotico collaborativo Omron UR3e e gestito attraverso lo strumento di programmazione Node-RED. Esso, mira a coinvolgere gli operatori nel processo di assemblaggio di un tagliapiastrelle, trasformando le operazioni standard in un'esperienza interattiva e formativa. Il gioco si articola in tre livelli principali, ciascuno con una propria durata di riferimento. Inizialmente, si accende il cobot e si preparano le componenti necessarie. L'assemblaggio procede attraverso la semplice pressione di un bottone connesso al cobot, il quale esegue movimenti pre-programmati per completare l'assemblaggio. Con l'avanzare dei livelli, gli operatori sono sfidati a completare ciascuna fase entro i tempi stabiliti, visualizzando feedback in tempo reale sulla dashboard di Node-RED. Il feedback è rappresentato da un cambiamento di colore, verde il successo, rosso per l'insuccesso e da messaggi specifici che indicano l'esito di ogni livello. Un aspetto innovativo del gioco è l'introduzione di clip audio narranti, che accompagnano l'operatore durante le diverse fasi del gioco. L'obiettivo delle note vocali è quello di allineare gli obiettivi dell'operatore con quelli aziendali. Queste clip, registrate con una voce femminile e modificate per adattarsi al contesto ludico mediante l'uso di effetti audio specifici, contribuiscono a creare un'atmosfera coinvolgente e dinamica.

Il gioco è di seguito presentato in maniera schematica con il proprio nome, il proprio obiettivo, le sue regole e i suoi premi.

- **Nome:** “Innovative-cut game”.
- **Obiettivo del gioco:** L’obiettivo del gioco, spiegato nella clip audio introduttiva, è quello di portare a termine la missione di soddisfare un ordine di taglia piastrelle per cui è necessario l’aiuto di ottimi operatori. Per completare la missione di assemblaggio, è necessario superare tutti e 3 i livelli di cui si compone, collaborando con il cobot Omron UR3e. Attraverso questa attività ludica, si intende ridurre lo stress e l’alienazione degli operatori, migliorando al contempo l’efficienza, la precisione e promuovendo l’apprendimento e l’interazione con le nuove tecnologie di automazione industriale.
- **Regole:** Le regole del gioco, spiegate anche esse nella clip audio di intro, consistono nel raggiungimento della missione di assemblaggio completando tutti i livelli. Ogni livello deve essere terminato prima di poter cominciare il livello successivo. Lo scopo del giocatore è quello di completare i tre livelli entro la soglia di tempo specifica per ognuno di essi, garantendo la qualità di assemblaggio. Una volta superati i livelli e completata la missione, in base al rendimento del giocatore, verrà assegnato ad egli un trofeo. Gli standard dei livelli possono essere aggiornati così da rendere il gioco stimolante anche nel lungo periodo.
- **Premi:** Al termine del gioco, in base al numero di livelli completati in tempo, gli operatori possono ottenere diversi trofei virtuali:
  - Trofeo d’Oro: conferito per l’eccellenza, quando tutti e tre i livelli vengono completati nei tempi correttamente.
  - Trofeo d’Argento: assegnato come riconoscimento di un alto livello di abilità, per aver completato due livelli nei tempi correttamente.
  - Trofeo di Bronzo: ottenuto quando uno o meno livelli sono stati completati nei tempi correttamente, simbolo di determinazione e invito a migliorare.

Ogni trofeo è associato a premi virtuali che possono portare a punti esperienza, che contribuiscono a scalare una classifica interna, a riconoscimenti specifici, come bonus formativi o piccoli incentivi. Nella tabella 3.1 è descritto in maniera schematica il gioco sfruttando il Framework MDA.

<b>Mechanics</b>	<b>Dynamics</b>	<b>Aesthetics</b>
<b>Mission:</b> l'obiettivo del gioco	Assemblare un tagliapiastrelle dalle sue componenti nel minor tempo possibile garantendo la qualità del prodotto finito.	<b>Challenge:</b>
<b>Voce Narrante:</b> il narratore del gioco	All'inizio del gioco la Narratrice introdurrà la missione che il giocatore dovrà compiere. Il Narratore interverrà in più occasioni durante il gioco, porteranno l'utente a un pieno coinvolgimento.	<b>Narrative, Fantasy, Submission</b>
<b>Levels:</b> gli step del gioco	Il livello viene superato quando sono state completate tutte le operazioni necessarie e inerenti al dato livello.	<b>Sensation, Challenge</b>
<b>Feedback visivo:</b> prima tipologia di feedback	Alla fine di ogni livello verrà proiettato un messaggio: questo si illuminerà di verde se il livello è stato completato correttamente, di rosso se il livello non è stato completato correttamente.	<b>Sensation</b>
<b>Feedback uditivo:</b> seconda tipologia di feedback	Alla fine di ogni livello la Narratrice darà un feedback al giocatore sull'esito del livello appena completato	<b>Sensation, Fellowship, Fantasy</b>
<b>Trofei:</b> premi del gioco	In base al tempo e al numero di livelli superati correttamente il giocatore ottiene un trofeo che può essere d'oro, d'argento o di bronzo.	<b>Narrative, Sensation</b>

Tabella 3.1 Schematizzazione del gioco con il framework MDA

## 3.4 Scheda di processo per il Design del Gioco con il Framework MDA

Meccaniche di Gioco:

### 1. **Missione**

- **Obiettivo:** Assemblare un tagliapiastrelle dalle sue componenti nel minor tempo possibile garantendo la qualità del prodotto finito.

### 2. **Livelli**

- Ogni livello viene superato quando sono state completate tutte le operazioni necessarie e inerenti al dato livello.

### 3. **Feedback**

- **Feedback Visivo:** Alla fine di ogni livello lo schermo riprodurrà un messaggio di testo. Questo si illuminerà di verde se il livello è stato completato correttamente, di rosso se il livello non è stato completato correttamente.
- **Feedback Uditivo:** Alla fine di ogni livello verrà riprodotta una clip audio in base al risultato ottenuto nel livello.

### 4. **Voce Narrante**

- All'inizio del gioco una clip audio introdurrà la missione che il giocatore dovrà compiere. Inoltre, sono presenti altre clip audio all'interno del gioco che porteranno l'utente a un pieno coinvolgimento.

Estetica di gioco: tipi di Esperienze Offerte:

### 1. **Narrativa**

- Missione e contesto forniti dalla voce narrante.
- Sensazione di completamento con messaggi di testo colorati (verde per completamento corretto, rosso per errore).
- Sensazione di immersione e coinvolgimento attraverso clip audio in base ai risultati ottenuti.

## 2. Fantasia

- Coinvolgimento attraverso una storia e ambientazione del gioco.

## 3. Sfida

- Superare i livelli completando correttamente le operazioni nel minor tempo possibile.
- In base al tempo e al numero di livelli superati correttamente, il giocatore ottiene un trofeo che può essere d'oro, d'argento o di bronzo.

## 4. Sottomissione

- Impegno continuo nel completare il gioco e migliorare le proprie prestazioni.

Punti di attenzione:

È possibile inserire delle clip audio per mantenere l'attenzione degli operatori e non distrarli troppo con video o immagini durante lo svolgimento dell'assemblaggio, ottenendo maggiore concentrazione e meno alienamento. Inoltre, un gioco così strutturato può rinnovarsi nel tempo e avere un'efficacia nel lungo periodo.

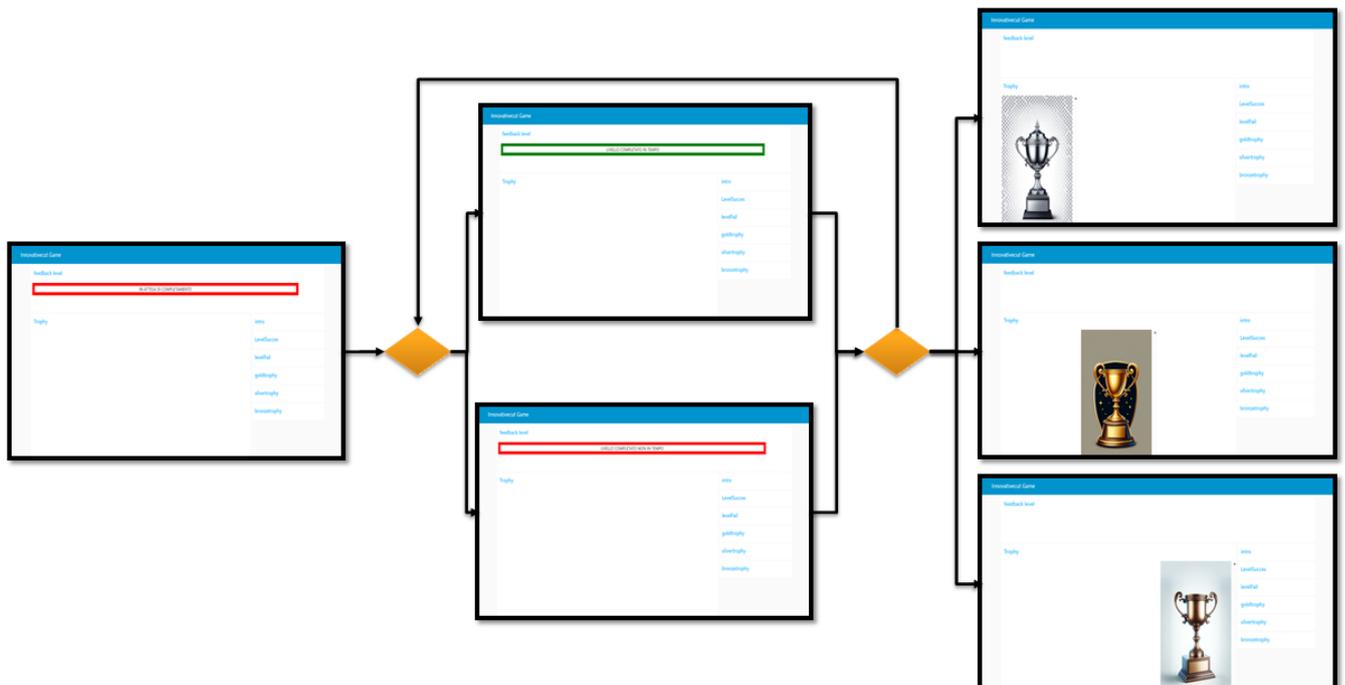


Figura 3.5 Flow chart concettuale dei livelli del gioco Innovative-cut e dei suoi 3 possibili premi

## 4. MATERIALI E METODI

Questo lavoro esamina i dati sperimentali derivanti da una serie di ripetizioni di un processo di assemblaggio condotto nel “Mind 4 Lab”, il Manufacturing Industry 4.0 Lab del Politecnico di Torino. L’esperienza è stata ideata per introdurre metriche di gamification all’interno della routine di assemblaggio svolta con la Human-Robot Collaboration, rendendola quindi un vero e proprio gioco.

L’esperienza è stata svolta da 15 partecipanti, ognuno dei quali ha svolto una prova “gamificata”, composta da 5 ripetizioni, e una prova “non gamificata” anche essa composta da 5 ripetizioni. Il campione totale analizzato è quindi di 30 prove. L’obiettivo è verificare se l’introduzione delle metriche di gamification nella prova di assemblaggio porti a delle differenze rilevanti rispetto alla prova standard.

### 4.1 strumenti utilizzati

In questo paragrafo sono presentati tutti gli strumenti utilizzati durante l’esperienza.

#### 4.1.1 Cobot UR3e

Il cobot UR3e, equipaggiato con una pinza, è il robot collaborativo impiegato per questo esperimento. Grazie alle sue dimensioni ridotte e al peso contenuto, questo robot offre un’elevata flessibilità, potendo essere facilmente spostato e installato in vari punti di un impianto industriale. Esistono due principali metodi per programmare il cobot:

- **Modalità free drive:** un pulsante sul controller touchscreen permette di sbloccare i giunti del robot, consentendo all’operatore di muovere manualmente il braccio robotico fino a raggiungere la posizione desiderata. Questo metodo di programmazione è particolarmente diretto e intuitivo, rendendo semplice l’implementazione di compiti personalizzati.
- **Utilizzo del teach pendant:** questo dispositivo è un tablet touchscreen che facilita la programmazione tramite un’interfaccia utente molto intuitiva. Sono disponibili template predefiniti per accelerare la programmazione di operazioni comuni come pallettizzazione,

dispensazione, manipolazione e assemblaggio, che possono essere eseguite facilmente inserendo pochi dati nei template.

La programmazione del cobot include la definizione di waypoint. Essi sono le coordinate tridimensionali che il centro dell'applicatore deve raggiungere. Questi punti possono essere impostati sia tramite il teach pendant sia manualmente in modalità free drive. Durante l'esperimento, sono state utilizzate entrambe le tecniche per massimizzare i vantaggi di ciascuna. La pinza del cobot è stata programmata per eseguire due azioni: aprire e chiudere. Questa funzionalità è essenziale per operazioni di pick and place o per mantenere fermi i pezzi in posizioni specifiche. La velocità di apertura e chiusura della pinza può essere regolata tramite il touchscreen anche durante l'esecuzione, variando la pressione delle pinze. Questo non solo incide sulla sicurezza ma ottimizza anche l'efficacia del processo: una velocità elevata nelle operazioni di presa accelera le attività ma può incrementare i rischi per l'operatore e la stabilità della presa sul pezzo, riducendo la frequenza degli errori comuni come la caduta di componenti di forma complessa.

Un altro aspetto cruciale nella programmazione è la velocità dei giunti del braccio robotico, che può essere stabilita in fase di progettazione e successivamente modificata durante l'esecuzione del processo. Velocità più alte riducono il tempo totale del processo ma possono aumentare il tasso di difettosità, incidendo sul carico di lavoro fisico e mentale dell'operatore.



Figura 4.1 tablet cobot UR3e (<https://rbtx.com/en-US/components/robots/ur3e-flexible-collaborating-universal-robot>)



*Figura 4.2 Pinza cobot UR3e utilizzata per l'esperimento (<https://rbtx.com/en-US/components/robots/ur3e-flexible-collaborating-universal-robo>)*

#### 4.1.2 Node-RED

Node-RED è uno strumento di programmazione visuale open source sviluppato inizialmente da IBM per collegare dispositivi hardware, API e servizi online in modo facile e intuitivo. È costruito su Node.js, consentendo di creare flussi di dati semplici tramite l'interfaccia drag-and-drop.

Gli utenti possono trascinare “nodi” che rappresentano funzioni e che possono essere programmate con codice JavaScript. Possono essere utilizzati anche servizi su un canvas per creare flussi logici che riescono ad eseguire varie operazioni, come raccogliere dati da sensori. Node-RED è particolarmente popolare nell'ambito dell'IoT per la sua facilità d'uso e la sua flessibilità, permettendo anche a coloro che non sono esperti di programmazione di costruire applicazioni interattive.

Tra le componenti chiave di Node-RED vi sono i nodi “template” e le funzionalità della “Dashboard”. Questi strumenti si sono rivelati fondamentali per la creazione dell'interfaccia di gioco. I nodi template sono estremamente potenti per personalizzare e creare contenuti dinamici. Questi nodi permettono di definire contenuti HTML statici o dinamici, che possono essere integrati con dati in tempo reale provenienti da altri nodi. Grazie ai nodi template è possibile:

- Creare parti di interfaccia utenti personalizzate.
- Integrare HTML, CSS e JavaScript per migliorare la presentazione e l'interazione dei dati.

- Usare i dati dei flussi per modificare dinamicamente il contenuto del template, permettendo così visualizzazioni personalizzate e reattive.

La dashboard di Node-RED è un Add-On che permette di creare interfacce utente interattive direttamente dai flussi di Node-RED. Con la dashboard, gli utenti possono rapidamente costruire una interfaccia grafica per monitorare e controllare i dispositivi IoT o altri dispositivi collegati, come il Cobot UR3e. Le caratteristiche principali della dashboard includono:

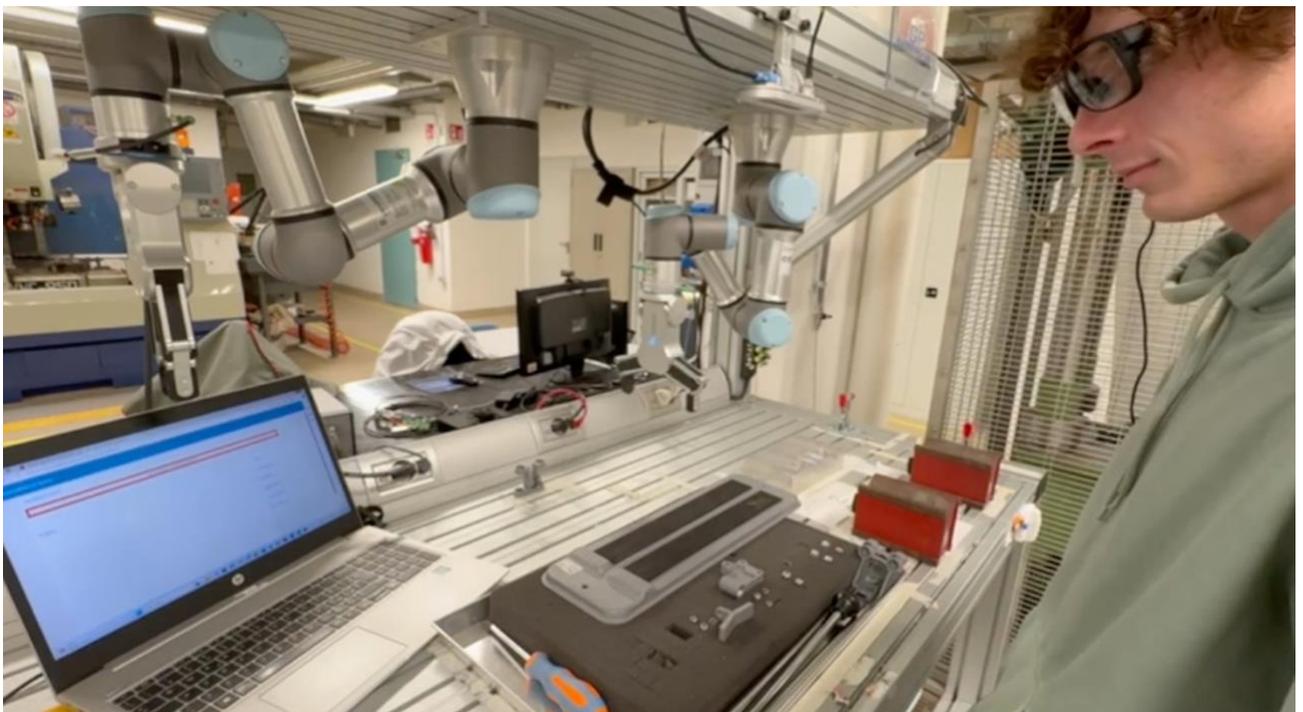
- **Widgets:** include una varietà di widget come sliders, grafici e molto altro, che possono facilmente integrati nei flussi per visualizzare e interagire con i dati.
- **Layout Personalizzabile:** gli utenti possono organizzare e personalizzare il layout della dashboard per adattarlo alle proprie esigenze, organizzando i widget in schede e gruppi.
- **Temi e Stili:** è possibile personalizzare l'aspetto della dashboard con temi e stili predefiniti o personalizzati, adattando l'interfaccia alle preferenze personali o ai requisiti aziendali.
- **Accesso sicuro:** le dashboard possono essere con password per garantire che solo gli utenti autorizzati possono accedere.

Durante l'esperimento è stato utilizzato Node-RED sia nella prova gamificata sia in quella non gamificata. Per sviluppare l'interfaccia del gioco il flusso realizzato si compone dei seguenti nodi:

- **Nodo di "inject":** che fa da Host con il robot, permette la connessione con il PC
- **Nodo "rtde-interface":** che consente il passaggio del segnale all'interno del flusso.
- **Nodo "function 1":** che consente di convertire i segnali del robot in segnali leggibili da Node-RED.
- **Nodo "change: 2 rules":** che consente di trasformare i segnali leggibili da Node-RED nel codice binario. Ogni volta che il partecipante pigia il pulsante per far muovere il cobot, il segnale letto da Node-RED viene convertito nel segnale "1" che permette di azionare il codice presente nella funzione successiva.
- **Nodo "function 2":** in questa funzione vi è il codice JavaScript che gestisce il gioco, che permette cioè che la dashboard restituisca i feedback, i premi e le clip audio centrali per la narrativa del gioco corretti. Inoltre, grazie a questo codice sono stati presi anche i tempi che ogni partecipante impiegava per completare ogni livello, prendendo in considerazione chiaramente solo il tempo in cui l'operatore svolgeva le attività di assemblaggio (Appendice Figura 1 e 2).
- **Nodo di debug:** il nodo di debug è uno strumento essenziale che permette di testare, analizzare e visualizzare il flusso di dati e l'output di un nodo function.

- **Nodi template:** nodi collegati alla function 2 che permettono il collegamento che la dashboard. All'interno di questi nodi è stato inserito del codice HTML che permette di richiamare il percorso delle immagini e delle clip audio utilizzate per l'interfaccia di gioco. Tutti i contenuti audio e visivi utilizzati sono stati caricati in una cartella sul programma GitHub, una piattaforma di hosting facilmente collegabile con Node-RED (Appendice Figura 3).

Nella figura 4.7 è presentato il piano di lavoro durante la prova gamificata.



*Figura 4.3 Piano di lavoro per la prova gamificata*

Per la prova non gamificata è stato utilizzato un flusso di Node-red per tenere traccia, anche in questo caso, dei tempi che ogni partecipante impiegava per svolgere le attività di assemblaggio. In questa prova l'utente non aveva uno schermo e un'interfaccia, ma svolgeva la prova di assemblaggio classica collaborando col cobot. Dunque, non sono state utilizzate per questa prova le funzionalità della dashboard. I nodi utilizzati per questo flusso sono:

- **Nodo di “inject”:** che fa da Host con il robot, permette la connessione con il PC
- **Nodo “rtde-interface”:** che consente il passaggio del segnale all'interno del flusso.
- **Nodo “function 3”:** che consente di convertire i segnali del robot in segnali leggibili da Node-RED.

- **Nodo “change: 2 rules”**: che consente di trasformare i segnali leggibili da Node-RED nel codice binario. Ogni volta che il partecipante pigia il pulsante per far muovere il cobot, il segnale letto da Node-RED viene convertito nel segnale “1” che permette di azionare il codice presente nella funzione successiva.
- **Nodo “function 4”**: Il codice JavaScript presente in questa funzione permette di gestire in maniera ciclica i tempi di ogni fase della prova di assemblaggio, salvando i tempi (Appendice figura 4).
- **Nodo di debug**: il nodo di debug è uno strumento essenziale che permette di testare, analizzare e visualizzare il flusso di dati e l’output di un nodo function.

#### 4.1.3 Empatica E4

Il braccialetto E4 di empatica, realizzato in un progetto spin-off collaborativo con il MIT di Boston. La finalità del progetto era di sviluppare dispositivi in grado di tracciare la salute mentale e fisica degli individui attraverso l’ottenimento di dati corporei in tempo reale, che vengono poi analizzati per ottenere una panoramica dettagliata dell’evoluzione dello stato psicofisico dell’utente. Le misure di interesse per questo lavoro sono l’attività elettro dermica (EDA) e la variabilità frequenza cardiaca (HRV), la prima misurata attraverso un apposito sensore, la seconda attraverso un sensore foto pletismografico (PPG) (Figura 4.14), (figura 4.15).

- **Sensore di attività elettro dermica (EDA)**: Dotato di due elettrodi posizionati sul lato interno del cinturino, direttamente sul polso. Questi elettrodi misurano le variazioni di resistenza elettrica causate dall’aumento di sudorazione, indicativo delle reazioni emotive, grazie alla stimolazione del sistema nervoso simpatico. La conduttanza cutanea, quindi, serve come un affidabile indicatore dello stato emotivo.
- **Sensore foto pletismografico (PPG)**: Incorporato nella struttura del braccialetto, utilizza LED per emettere luce che viene riflessa dal flusso sanguigno. Un fotosensore vicino ai LED rileva questi cambiamenti di luce causati dalle pulsazioni del sangue, permettendo così la misurazione della frequenza cardiaca. Questo sensore utilizza luci di due colori, verde per una misurazione più sensibile e rossa per stabilire un riferimento, migliorando l’accuratezza dei dati raccolti.

Questo dispositivo non solo è stato impiegato per monitorare soggetti con specifiche condizioni mediche come la dislessia, ma ha trovato applicazioni più estese, comprendendo anche individui senza particolari patologie. Questa versatilità lo rende uno strumento prezioso per studi e monitoraggi diversi nel campo della salute.

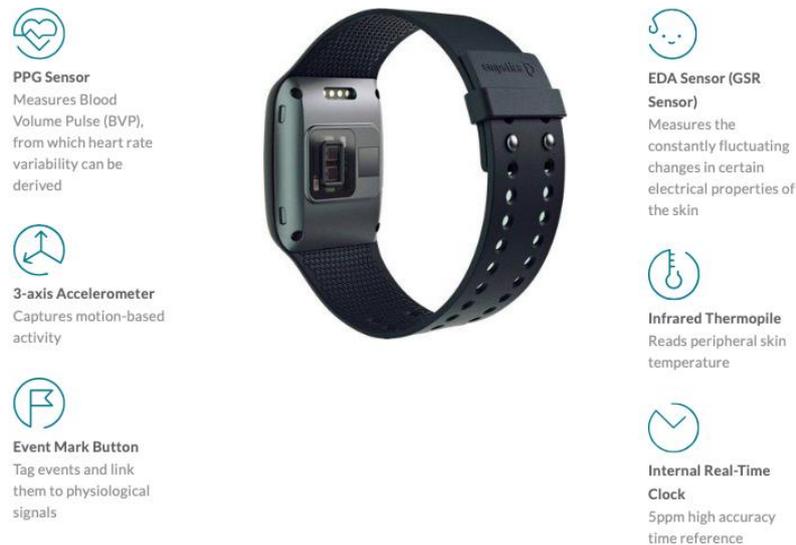


Figura 4.4 Orologio indossabile multifunzionale per il monitoraggio biometrico dotato di sensore PPG per misurare i dati HRV, accelerometro 3-assi per la cattura dell'attività fisica, sensore EDA, termometro a infrarossi per la temperatura periferica della pelle, pulsante per marcare eventi e sincronizzare segnali fisiologici con specifici eventi (<https://www.empatica.com/en-eu/research/e4/>)

#### Technical specifications

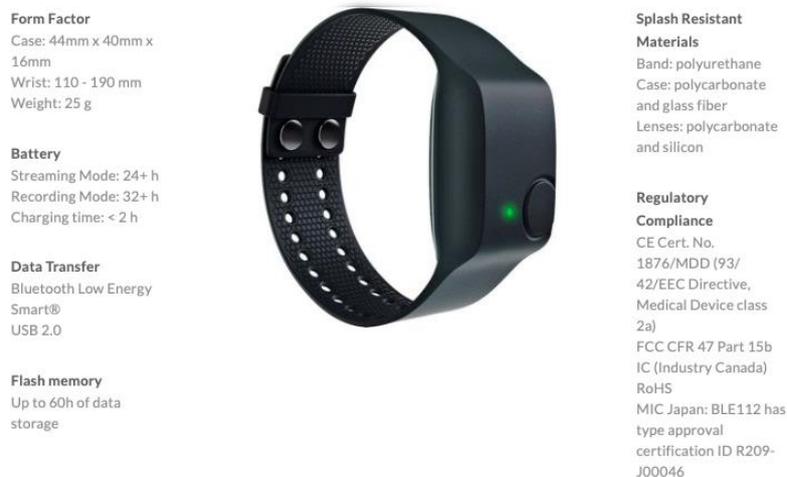


Figura 4.5 Specifiche tecniche orologio Empatica E4 (<https://www.empatica.com/en-eu/research/e4/>)

#### 4.1.4 Tobii pro glasses 3<sup>®</sup>

Durante le sessioni di sperimentazione, oltre alla misurazione di parametri fisiologici attraverso il braccialetto Empatica E4, è stato impegnato il dispositivo Tobii Pro Glasses per raccogliere i dati visivi (Figura 4.16). Questi occhiali, indossati dall'operatore, hanno fornito informazioni dettagliate sulla direzione dello sguardo, sulle dimensioni e sulla velocità dei movimenti pupillari. La capacità di questi occhiali di connettersi a dispositivi di memorizzazione portatili ha permesso la registrazione continua dell'ambiente visivo dell'operatore.

L'analisi dei dati visivi raccolti è stata facilitata dal software Eye Tracker Pro Manager, che ha elaborato i filmati ottenuti per creare mappe visive dettagliate e segmentare le informazioni in base alle diverse fasi dell'esperimento. Questi dati sull'oculo-motricità sono essenziali in numerosi ambiti di ricerca, inclusi la scienza visiva, lo studio delle interazioni sociali e applicazioni commerciali come il marketing e la valutazione dell'usabilità dei prodotti.

La dimensioni della pupilla, ad esempio, sono direttamente correlate allo stress fisico e mentale dell'individuo, mentre l'intensità e la durata dello sguardo offrono indicazioni sul livello di comfort durante l'interazione uomo-macchina. Attraverso la generazione di heat map visuali, è possibile identificare le aree di maggiore concentrazione visiva dell'operatore, fornendo così insight sull'adattamento e sulla crescente familiarità con il robot, evidenziando una progressiva consapevolezza e scurezza nelle interazioni.



Figura 4.6 Occhiali eye tracking Tobii Pro Glasses 3 (<https://www.tobii.com/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3>)

#### 4.1.5 Questionari di valutazione delle percezioni del carico di lavoro

Il primo questionario sottoposto ai partecipanti dell'esperimento del NASA-TLX (Hart et al., 1988). Il NASA Task Load Inde è uno strumento ampiamente utilizzato per valutare il carico di lavoro percepito da un individuo durante l'esecuzione di un compito. Il Nasa-tlx aiuta a comprendere meglio come diversi aspetti di un compito influenzano il carico di lavoro mentale, fisico ed emotivo di una persona (Gervasi et al., 2023) La scala di valutazione è su una base di 20 step, valorizzati da un minimo di 5 a un massimo di 100.

Il Nasa-tlx valuta il carico di lavoro attraverso sei dimensioni distinte:

- 1. Richiesta Mentale (Mental Demand):** quanto mentalmente è impegnativo il compito? Considera elementi come il pensiero, la decisione, il calcolo e la **memoria richiesti**.
- 2. Richiesta Fisica (Physical Demand):** quanto è fisicamente impegnativo il compito? Include considerazioni su movimenti, forza e resistenza necessari.
- 3. Richiesta Temporale (Temporal Demand):** quanta pressione temporale si avverte durante l'esecuzione del compito? Valuta quanto rapidamente devono essere seguite le risposte.
- 4. Prestazione (Performance):** come valuta l'individuo la propria efficienza nel capire il compito? Questo riguarda la soddisfazione personale del soggetto riguardo alla propria performance.
- 5. Sforzo (Effort):** Questo sforzo si ritiene sia stato necessario per completare il compito? Considera il livello di attivazione e l'energia impiegata.
- 6. Frustrazione (Frustration):** Quanto frustrante è stato il compito? Misura il livello di stress e disagio emotivo associato al compito.

Il questionario Nasa-tlx in questo lavoro è stato utilizzato come autovalutazione dopo la prova per l'individuo, in cui egli valuta ciascuna delle sei dimensioni su una scala da basso ad alto (Figura 4.7). Il questionario è stato somministrato utilizzando un PC in sono state salvate le risposte date da ogni partecipante.

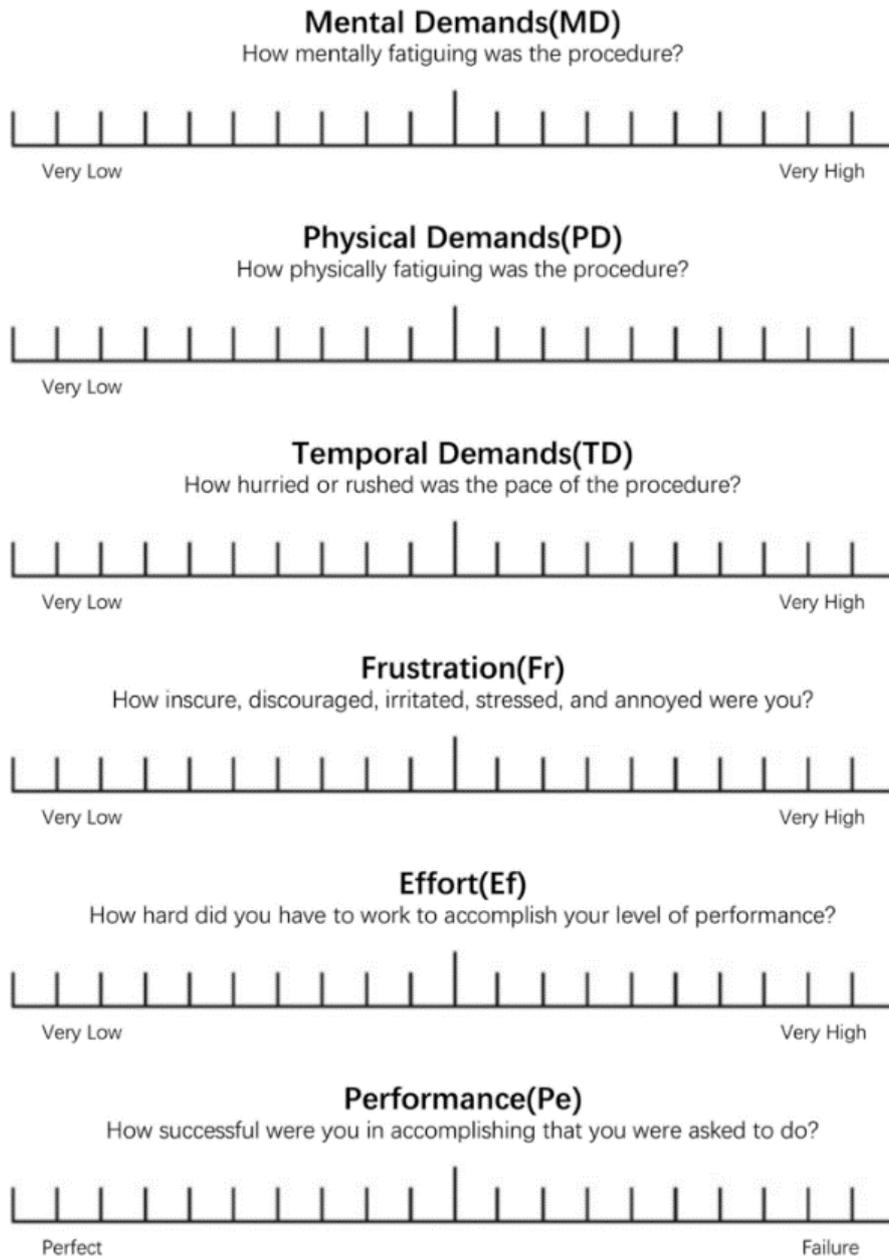


Figura 4.7 Questionario NASA TLX: questionario sottoposto ai partecipanti dopo ognuna delle due prove svolte. In figura sono presentate le 7 misure analizzate. La scala di valutazione è su una base di 20 step, valorizzati da un minimo di 5 a un massimo di 100.

Il secondo questionario sottoposto è il SAM (Self-Assesment Manikin) è uno strumento di valutazione psicologica utilizzato per misurare le relazioni emotive di una persona rispetto a uno stimolo (Bradley et al., 1994). È un metodo non verbale che utilizza una serie di immagini per rappresentare tre dimensioni fondamentali dell'emozione:

1. Emotional Valence (piacevolezza): misurata su una scala che va da molto spiacevole a molto piacevole.
2. Arousal (attivazione): misurata su una scala che va da molto calmo a molto eccitato.
3. Dominance (dominanza): misurata su una scala che va da una sensazione di controllo (alto) a una sensazione di essere controllato (basso).

I partecipanti indicano le loro reazioni emotive selezionando l'immagine che meglio rappresenta la loro risposta emotiva. A ogni immagine è attribuito un valore da 1 a 9 (Figura 4.8).

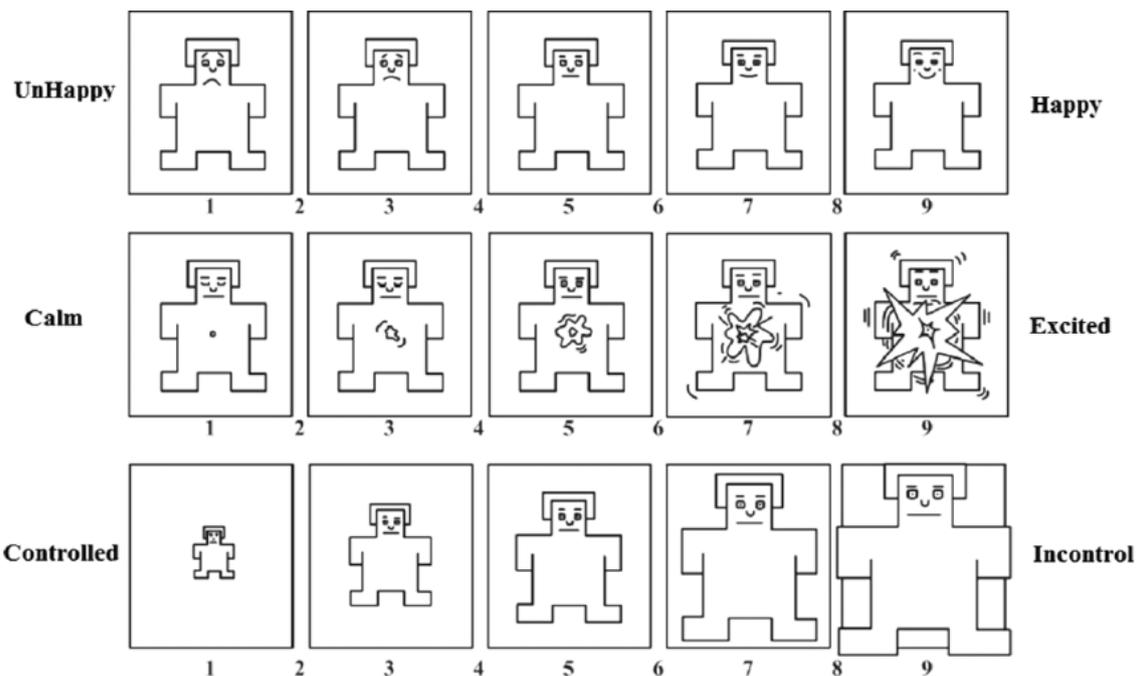


Figura 4.8 Questionario SAM: questionario sottoposto ai partecipanti dopo ognuna delle due prove svolte. In figura sono presentate le immagini raffigurativi i valori da 1 a 9 che il partecipante può attribuire alle metriche del questionario.

L'IMI (Intrinsic Motivation Inventory) è uno strumento psicologico utilizzato per valutare il livello di motivazione intrinseca di una persona in relazione a un'attività specifica. È composto da una serie di sotto-scale che misurano vari aspetti della motivazione e delle esperienze soggettive durante il coinvolgimento in un'attività (Figura 4.9).

Questionnaire of Intrinsic Motivation Inventory (IMI)  
(English Version)

The Scales  
**THE POST-EXPERIMENTAL INTRINSIC MOTIVATION INVENTORY**  
 (Below are listed all 45 items that can be used depending on which are needed.)  
 For each of the following statements, please indicate how true it is for you, using the following scale:

1	2	3	4	5	6	7
Not at all			Somewhat true			Very true

**Interest/Enjoyment**  
 I enjoyed doing this activity very much.  
 This activity was fun to do.  
 I thought this was a boring activity. (R)  
 This activity did not hold my attention at all. (R)  
 I would describe this activity as very interesting.  
 I thought this activity was quite enjoyable.  
 While I was doing this activity, I was thinking about how much I enjoyed it.

**Perceived Competence**  
 I think I am pretty good at this activity.  
 I think I did pretty well at this activity, compared to other students.  
 After working at this activity for a while, I felt pretty competent.  
 I am satisfied with my performance at this task.  
 I was pretty skilled at this activity.  
 This was an activity that I couldn't do very well. (R)

**Effort/Importance**  
 I put a lot of effort into this.  
 I didn't try very hard to do well at this activity. (R)  
 I tried very hard on this activity.  
 It was important to me to do well at this task.  
 I didn't put much energy into this. (R)

**Pressure/Tension**  
 I did not feel nervous at all while doing this. (R)  
 I felt very tense while doing this activity.  
 I was very relaxed in doing these. (R)  
 I was anxious while working on this task.  
 I felt pressured while doing these.

*Figura 4.9 Questionario IMI*

Il questionario UX (User Experience) (Brooke, 1986) è uno strumento utilizzato per valutare l'esperienza complessiva di un utente in relazioni a prodotti interattivi (Figura 4.10).

	1	2	3	4	5	6	7		
annoying	<input type="radio"/>	enjoyable	1						
not understandable	<input type="radio"/>	understandable	2						
creative	<input type="radio"/>	dull	3						
easy to learn	<input type="radio"/>	difficult to learn	4						
valuable	<input type="radio"/>	inferior	5						
boring	<input type="radio"/>	exciting	6						
not interesting	<input type="radio"/>	interesting	7						
unpredictable	<input type="radio"/>	predictable	8						
fast	<input type="radio"/>	slow	9						
inventive	<input type="radio"/>	conventional	10						
obstructive	<input type="radio"/>	supportive	11						
good	<input type="radio"/>	bad	12						
complicated	<input type="radio"/>	easy	13						
unlikable	<input type="radio"/>	pleasing	14						
usual	<input type="radio"/>	leading edge	15						
unpleasant	<input type="radio"/>	pleasant	16						
secure	<input type="radio"/>	not secure	17						
motivating	<input type="radio"/>	demotivating	18						
meets expectations	<input type="radio"/>	does not meet expectations	19						
inefficient	<input type="radio"/>	efficient	20						
clear	<input type="radio"/>	confusing	21						
impractical	<input type="radio"/>	practical	22						
organized	<input type="radio"/>	cluttered	23						
attractive	<input type="radio"/>	unattractive	24						
friendly	<input type="radio"/>	unfriendly	25						
conservative	<input type="radio"/>	innovative	26						

Figura 4.10 Questionario User Experience (UX)

Infine, per valutare anche le impressioni che le metriche di gamification hanno fatto provare ai partecipanti è stato usato il questionario in figura 4.11. Questo questionario è stato utilizzato in un esperimento svolto in un contesto differente da quello di questo lavoro (Nacke et al., 2009). Nonostante ciò, le domande che vengono sottoposte ai partecipanti sono adattabile anche a questa tipologia di studio (Ahmed et al., 2023). Questo questionario permette di valutare quanto le metriche di gamification siano riuscite a far percepire ai partecipanti di star svolgendo un gioco.

## Game Engagement Questionnaire

For the following statements, please choose whether you agree (tick YES), are not sure (tick MAYBE) or disagree (tick NO) about your experience when you played our game:

Sl.	Questionnaire Entries		
1.	<i>I lose track of time.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
2.	<i>Things seem to happen automatically.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
3.	<i>I feel different.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
4.	<i>I feel scared.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
5.	<i>The game feels real.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
6.	<i>If someone talks to me, I don't hear them.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
7.	<i>I get wound up.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
8.	<i>Time seems to kind of stand still or stop.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
9.	<i>I feel spaced out.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
10.	<i>I don't answer when someone talks to me.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
11.	<i>I can't tell that I'm getting tired.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
12.	<i>Playing seems automatic.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
13.	<i>My thoughts go fast.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
14.	<i>I lose track of where I am.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
15.	<i>I play without thinking about how to play.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
16.	<i>Playing makes me feel calm.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
17.	<i>I play longer than I meant to.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
18.	<i>I really get into the game.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO
19.	<i>I feel like I just can't stop playing.</i>		
	<input type="checkbox"/> YES	<input type="checkbox"/> MAYBE	<input type="checkbox"/> NO

Figura 4.11 Questionario Game engagement

## 4.2 Descrizione esperimento e fasi assemblaggio

Delineato il gioco e le metriche di gamification da inserire nel processo di assemblaggio, è stato progettato l'esperimento. Ogni partecipante ha svolto 5 ripetizioni dell'assemblaggio con l'inserimento delle metriche di gamification e 5 ripetizioni dell'assemblaggio standard. La metà del campione ha iniziato le ripetizioni con la prova "gamificata", l'altra metà con la prova "non gamificata", così che l'effetto dell'apprendimento non influenzasse i valori dei risultati a favore di una delle due prove.

L'esperimento è quindi così strutturato:

- Il partecipante firma una liberatoria per l'utilizzo dei suoi dati per questo studio sperimentale. Successivamente viene introdotto alle attività dell'esperimento.
- Subito dopo viene fatto mettere l'orologio dell'Empatica E4
- Viene svolto il training per spiegare al partecipante come svolgere l'assemblaggio
- Viene svolta la baseline di due minuti segnando l'inizio e la fine con i time-stamp dell'Empatica 4.0
- Vengono fatti indossare al partecipante gli occhiali per l'Eye tracking
- Il partecipante inizia la prima prova svolgendo quindi le prime cinque ripetizioni. All'inizio e alla fine di ogni ripetizione l'operatore dovrà pigiare il bottone per segnare un time-stamp in modo tale da isolare i momenti in cui viene svolto effettivamente l'assemblaggio. Durante la prova verranno segnati su un'apposita tabella gli errori commessi dal partecipante ed eventualmente dal robot.
- Conclusa le prime cinque ripetizioni, il partecipante compila dei questionari relativi alla prova appena svolta
- L'operatore svolge la seconda prova. Anche in questo caso durante la prova verranno segnati su un'apposita tabella gli errori commessi dal partecipante ed eventualmente dal robot e alla fine delle ripetizioni vengono svolti gli stessi questionari relativi alla prova appena svolta.
- Dopo che il partecipante ha comunicato le sue impressioni sulle due prove svolte l'esperimento si conclude.

Nella seguente figura 4.12 è riportata la checklist utilizzata durante gli esperimenti.

#### STRUTTURA ESPERIMENTO:

- Firma liberatoria per utilizzo dati
- Spiegazione esperimento in generale (due tipologie di prove: assemblaggio HRC e assemblaggio HRC con gamification)
- Empatica E4 (indossare correttamente e ben aderente, non si deve muovere) → vedi orario
- Spiegazione assemblaggio tile cutter (2 prove guidate, la seconda "libero")
- Almeno 15 minuti dall'inizio per l'empatica
- REGISTRAZIONE BASELINE EMPATICA E4 (2 min di rilassamento totale, NO parlare, NO muoversi, NO occhi aperti)
- Eye-tracking (indossare occhiali e sistemare batteria)
- Connessione Eye-tracking alla wi-fi del dispositivo
- Calibrazione eye-tracking (braccio disteso in avanti e fisso il centro della carta)
- REGISTRAZIONE Baseline eye-tracking (fissare croce di colore rosso per 30 secondi, distanza: 3 mattonelle)
- ESPERIMENTO: tot minuti →
  - **Partecipante:**
    - premere tasto cobot + empatica contemporaneamente all'inizio di ogni assemblaggio.
    - premere tag empatica alla fine di ogni assemblaggio
  - **Esterno:**
    - Controllare e segnare eventuali errori umani o del robot durante le prove nel file apposito
- Sottoporre i questionari dopo ogni tipologia di prova di assemblaggio
- DOMANDE E FEEDBACK (impressione sull'esperienza, come si sente prima e dopo, sensazioni generali (stanchezza, frustrazione, avversione verso la prova, confusione, sentirsi spaesati, distrazione, meno reattività, ecc.)

*Figura 4.12 Checklist utilizzata durante gli esperimenti*

È presentato ora nel dettaglio l'assemblaggio.

Il montaggio del tagliapiastrelle comprende quattro fasi principali, supportate dall'utilizzo di un totale di quindici componenti tra pezzi principali ed elementi di fissaggio come viti, rondelle e dadi (figura 4.2). Le attività possono essere riassunte in quattro step principali:

- Step 1: il cobot inizia prelevando la base del tile cutter e la posiziona nell'area di lavoro dedicata. L'operatore successivamente installa i due supporti specifici per il tagliapiastrelle. Una volta montati i supporti, il cobot si incarica di spostare la base, ormai equipaggiata, verso la posizione successiva.
- Step 2: durante questa fase si assembla il meccanismo principale di taglio. Il cobot gioca un ruolo più attivo, tenendo il componente C2 in una posizione che facilita l'operato dell'operatore. Questa fase si conclude con il posizionamento del sistema di taglio su un vassoio contenente i componenti ancora da assemblare.

- Step 3: Il cobot riporta la base alla posizione iniziale, permettendo all'operatore di montare il meccanismo di taglio sulle relative guide.
- Step 4: Il sistema di taglio, una volta fissato sulle guide nella fase precedente, viene montato sui supporti previsti per tali guide dall'operatore, completando l'assemblaggio. Infine, il cobot riporta il prodotto finito alla posizione di partenza.

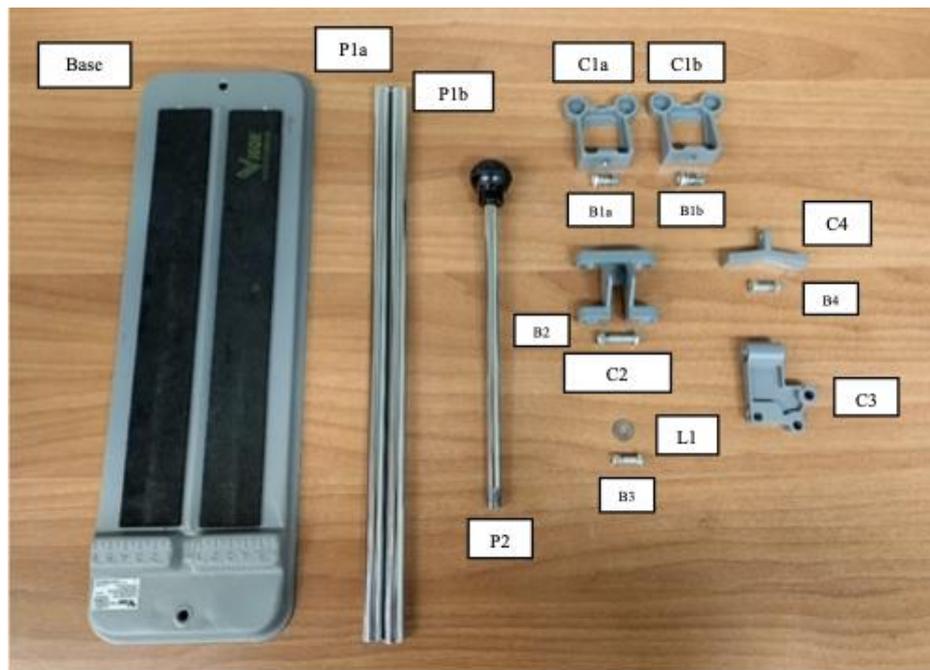


Figura 4.13 Componenti del tagliapiastrelle con i loro tags (Gervasi et al., 2023)

La sequenza prova gamificata è presentata schematicamente nella tabella 4.1:

SEQUENZA PROVA GAMIFICATA	AGENTE
Clip audio introduttiva al gioco	Node-RED
Posizionamento basamento	Robot
Posizionamento e avvitatura parziale supporto Cla	Human
Posizionamento e avvitatura parziale supporto Clb	Human
Feedback visivo e uditivo livello 1	Node-RED
Posizionamento supporto	Robot
Inserimento e avvitatura flangia – supporto	Human
Posizionamento e avvitatura lama	Human
Posizionamento e avvitatura blocca-piastrelle	Human

Feedback visivo e uditivo livello 2	Node-RED
Posizionamento e basamento con supporti Cla e Clb	Robot
Inserimento semi-assemblato nelle aste Pla e Plb	Human
Inserimento asta Pla e Plb nei supporti Cla e Clb	Human
Avviatura finale supporto Cla e Clb	Human
Avviatura asta P2	Human
Feedback visivo e uditivo livello 3	Node-RED
Spostamento prodotto finito	Robot
Esito finale della ripetizione	Node-RED

*Tabella 4.1 sequenza prova gamificata*

La sequenza prova standard è presentata schematicamente nella tabella 4.2:

<b>SEQUENZA PROVA STANDARD</b>	<b>AGENTE</b>
Posizionamento basamento	Robot
Posizionamento e avvitatura parziale supporto Cla	Human
Posizionamento e avvitatura parziale supporto Clb	Human
Posizionamento supporto	Robot
Inserimento e avviatura flangia – supporto	Human
Posizionamento e avvitatura lama	Human
Posizionamento e avviatura blocca-piastrelle	Human
Posizionamento e basamento con supporti Cla e Clb	Robot
Inserimento semi-assemblato nelle aste Pla e Plb	Human
Inserimento asta Pla e Plb nei supporti Cla e Clb	Human
Avviatura finale supporto Cla e Clb	Human
Avviatura asta P2	Human
Spostamento prodotto finito	Robot

*Tabella 4.2 Sequenza prova standard*

Il prodotto completo dell'assemblaggio è dunque un tagliapiastrelle manuale (Figura 4.14). Questo strumento opera attraverso una leva che permette di spingere la lama verso il basso in una direzione ortogonale al piano di taglio, garantendo la necessaria forza e profondità di incisione. Prima di iniziare ogni task di assemblaggio, è stato svolto il disassemblaggio del prodotto finito, organizzando i componenti in uno specifico vassoio sul banco di lavoro (Figura 4.15).



*Figura 4.14 tagliapiastrelle assemblato (44 x 14 x 19 cm) (Gervasi et al., 2023)*



*Figura 4.15 Piano di lavoro nel laboratorio Mind4Lab*

## 4.3 Dati raccolti

I dati raccolti provengono dal bracciale Empatica E4, dagli occhiali per l'Eye tracking di Tobii Pro Glasses, dai questionari, dai tempi presi con Node-RED e dalla tassonomia relativa agli errori umani e del cobot. Nei seguenti paragrafi sono presentate le attività svolte per realizzare i database utilizzati nell'analisi.

### 4.3.1 Attività elettrodermica EDA e variabilità frequenza cardiaca HRV

Grazie al bracciale Empatica E4 sono stati raccolti i dati relativi all'attività elettrodermica (EDA) e la variabilità della frequenza cardiaca (HRV). L'EDA misura la conduttanza della pelle al passaggio della corrente, espressa in microSiemens ( $\mu\text{S}$ ). Le variazioni dell'EDA possono essere di breve durata e rapide (Phasic data), misurate come Skin Conductance Response (SCR), o di lunga durata e lente (Tonic data), misurate come Skin Conductance Level (SCL) (Gervasi et al., 2023).

Il sensore fotopleletismografico (PPG) dell'empatica E4 misura il volume del flusso sanguigno (BVP), che mostra un andamento sinusoidale. L'intervallo intra-battito (IBI) rappresenta la distanza tra due battiti cardiaci consecutivi, ricavata dal segnale PPG. La variabilità della frequenza cardiaca HRV viene sintetizzata tramite due parametri: il valore quadratico medio delle differenze successive dei battiti (RMSSD) e la deviazione standard degli intervalli intra-battito (SDNN). Valori bassi di RMSSD e SDNN indicano stress fisico ed emotivo (Gervasi et al., 2022-Rahma, 2022).

Per creare il database dell'attività elettrodermica EDA è stato usato un software specifico che ha permesso l'individuazione dei valori di interesse. Ottenuti questi valori per ogni partecipante e importati su Microsoft Excel, sono state rimosse le righe relative ai momenti in cui l'operatore non ha effettivamente svolto l'assemblaggio, ed è stata aggiunta un'altra colonna per individuare se la riga di interesse fosse relativa alla prova con HRC gamificata o fosse la prova HRC standard. Pulito il database di ogni partecipante, ne è stato creato uno nuovo unico, relativo a tutti i giocatori (Appendice Figura 5). Per creare il database della variabilità frequenza cardiaca HRV, dopo aver svolto lo stesso procedimento, sono state aggiunte delle colonne per ottenere i valori di RMSSD e SDNN (Appendice Figura 6).

### 4.3.2 Database Questionari

Il database relativo ai dati del NASA TLX è stato realizzato manualmente. Grazie a Microsoft Excel è stata creata la colonna “Punteggio complessivo” che ha permesso di ottenere il punteggio totale per ogni prova dei partecipanti (Appendice Figura 7). Il database relativo agli altri questionari è stato realizzato invece automaticamente grazie alle funzionalità di Google Form, tramite cui i questionari sono stati sottoposti ai giocatori e sono state raccolte le risposte (Appendice Figura 8).

### 4.3.3 Database della durata delle prove e della difettosità di processo

Il database inerente alla durata delle prove è stato realizzato manualmente dopo aver preso i tempi in secondi per ogni livello e ogni ripetizione tramite le funzionalità di Node-RED (Appendice Figura 9). Il database relativo ai difetti è stato ottenuto grazie alla raccolta degli errori commessi dai partecipanti e dal robot durante le ripetizioni delle prove in un apposito file Excel (Appendice Figura 10). Le tipologie di errore prese in considerazione sono state scelte in base alle più frequenti per un processo di assemblaggio con la HRC (Gervasi et al., 2023). È stato creato manualmente in seguito un database in cui sono stati segnati gli errori umani totali, senza specificarne la tipologia, per ogni ripetizione (Appendice Figura 11).

### 4.3.4 Database Eye tracking

Per creare il database per i dati dell’Eye tracking è stato utilizzato Tobii Pro Glasses 3 che ha permesso, in primo luogo, di tagliare i video di ogni prova così da ricavare i dati solo dei momenti di interesse per ogni modalità. Successivamente, i dati di ogni prova sono stati esportati e poi importati in un file Excel. Infine, i dati di ogni prova sono stati raccolti in unico database (Appendice Figura 12).

## 5. ANALISI DEI RISULTATI

In questa sezione è presentata l'analisi svolta tramite il software statistico RStudio. I risultati sono relativi ai dati raccolti dal bracciale Empatica E4, dai questionari, dai tempi presi con Node-RED, dalla tassonomia relativa agli errori umani e dall'Eye tracking di Tobii Pro Glasses. Per quanto riguarda i questionari sottoposti ai partecipanti, sono riportate le analisi svolte sul NASA TLX, sul SAM e sul GEQ.

### 5.1 Analisi dei parametri fisiologici

Le analisi in questo paragrafo mirano a valutare lo stato emotivo dell'operatore, esaminando le differenze che possono emergere a seconda della modalità di esecuzione delle prove. L'obiettivo è determinare se l'introduzione di metriche di gamification abbia influenzato lo stato emotivo dell'operatore. Sono stati presi in considerazione i seguenti parametri: SRC (attività fasica che si riferisce alle fluttuazioni a breve termine dell'EDA, suscitate da uno stimolo solitamente identificato e presentato esternamente) che corrisponde ai phasicData; SCL (attività tonica che si riferisce alle fluttuazioni a lungo termine dell'EDA, non specificamente provocate da stimoli esterni) che corrisponde ai tonicData; RMSSD e SDNN. Le variabili di risposta di questo studio sono quindi questi parametri, la variabile esplicativa invece è la modalità di esecuzione (HRC gamificato o HRC standard). Il livello di significatività adottato è pari a:  $\alpha = 0,05$ .

In questa prima parte è presentata l'analisi relative ai parametri legati all'EDA. È stata svolta una normalizzazione Min-Max per partecipante in quanto ogni giocatore ha svolto entrambe le tipologie di prove, sfruttando il software statistico Rstudio, Successivamente, sono state ottenute le statistiche descrittive e gli istogrammi delle distribuzioni.

Prova	Statistica	tonicData SCL ( $\mu\text{S}$ )	phasicData SCR ( $\mu\text{S}$ )
HRC gamificato	Media	0,375	0,0998
	Errore standard	0,000794	0,000369
	Mediana	0,357	0,0567
	Deviazione standard	0,245	0,114
	Varianza	0,0598	0,0129
HRC	Media	0,411	0,108
	Errore standard	0,000987	0,000428
	Mediana	0,354	0,0620
	Deviazione standard	0,282	0,122
	Varianza	0,0797	0,0150

Tabella 5.1 Statistiche descrittive tonicdata (SCL) e phasicdata (SCR) per la prova gamificata e non gamificata relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolto da tutti i partecipanti

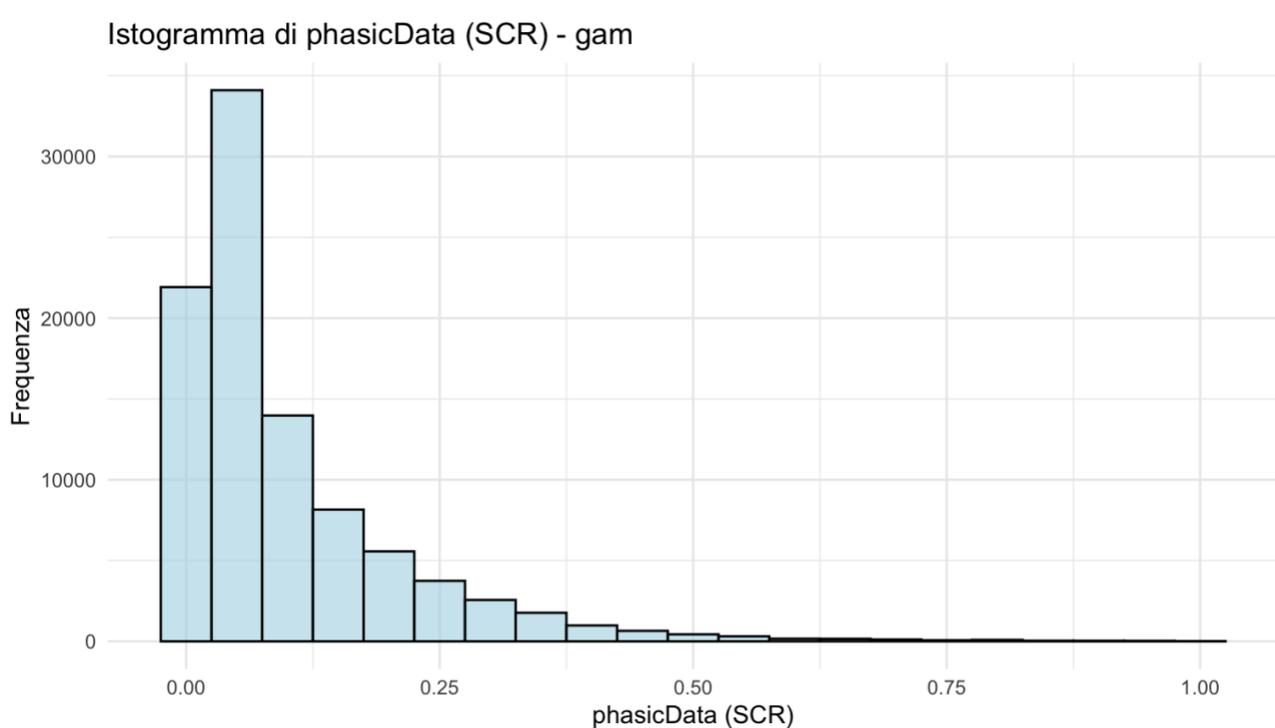


Figura 5.1 Istogramma phasicdata (SCR) per la prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolto da tutti i partecipanti

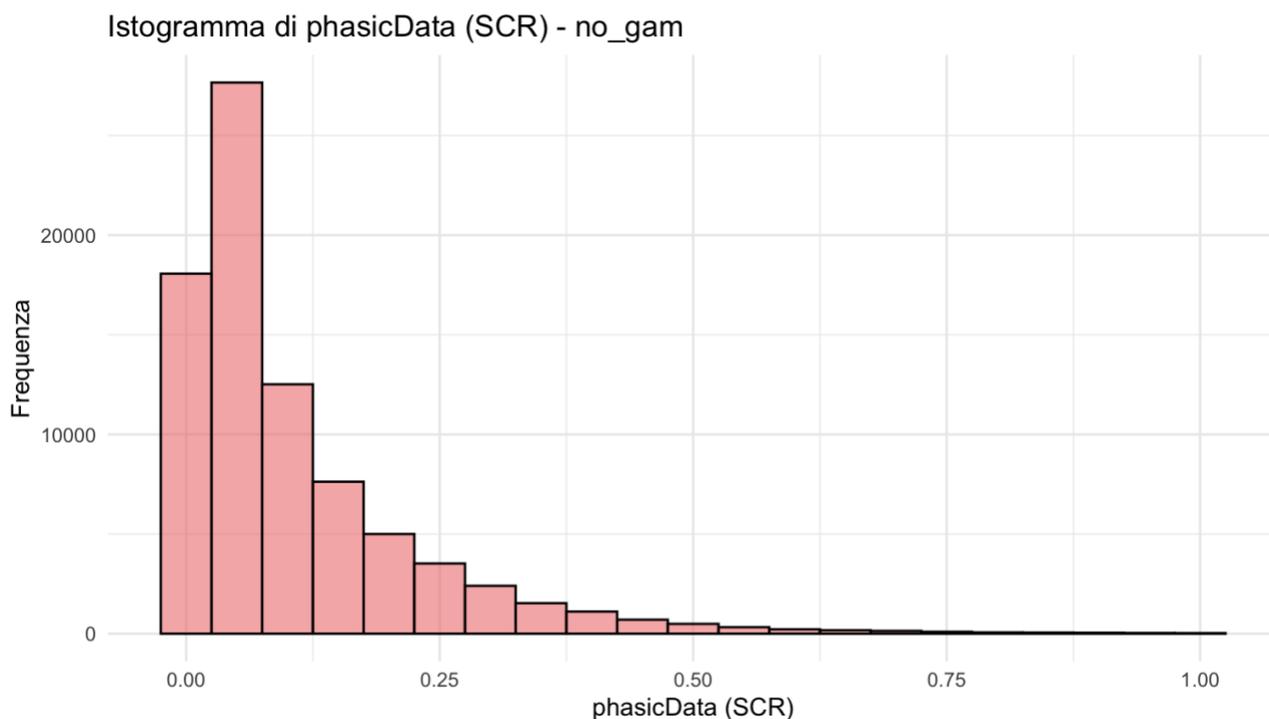


Figura 5.2 Istogramma phasicdata (SCR) per la prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

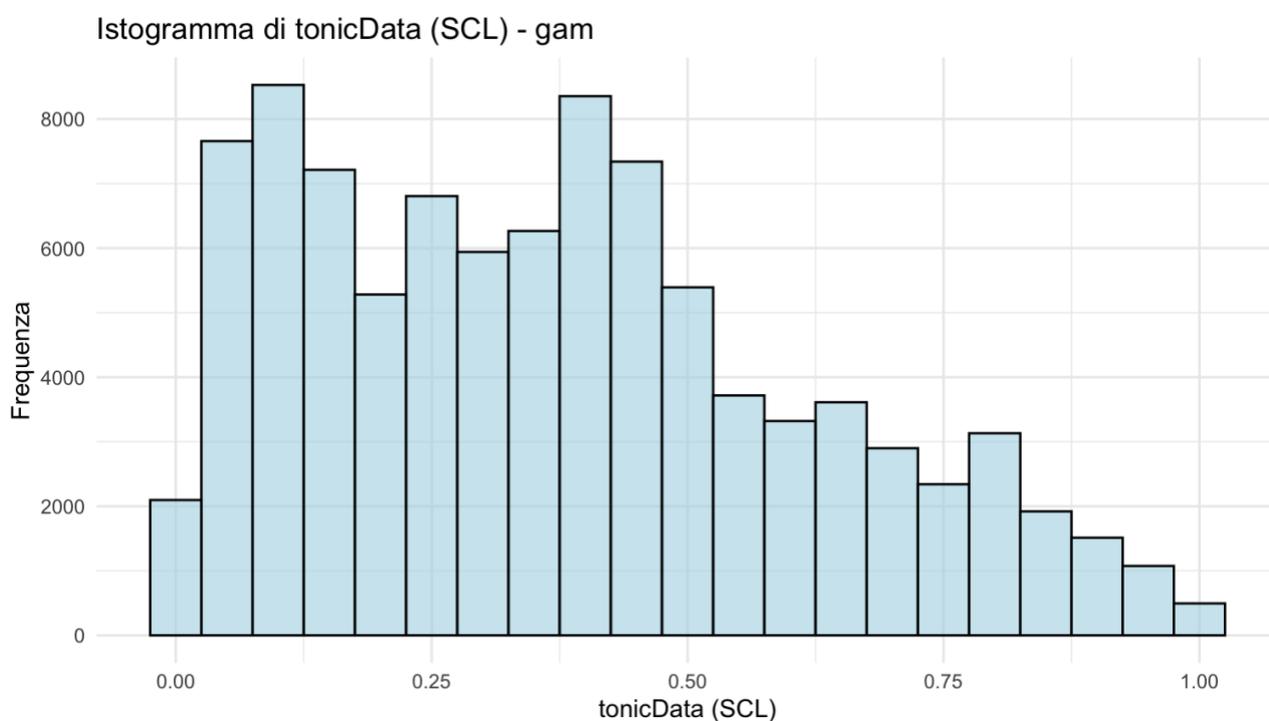
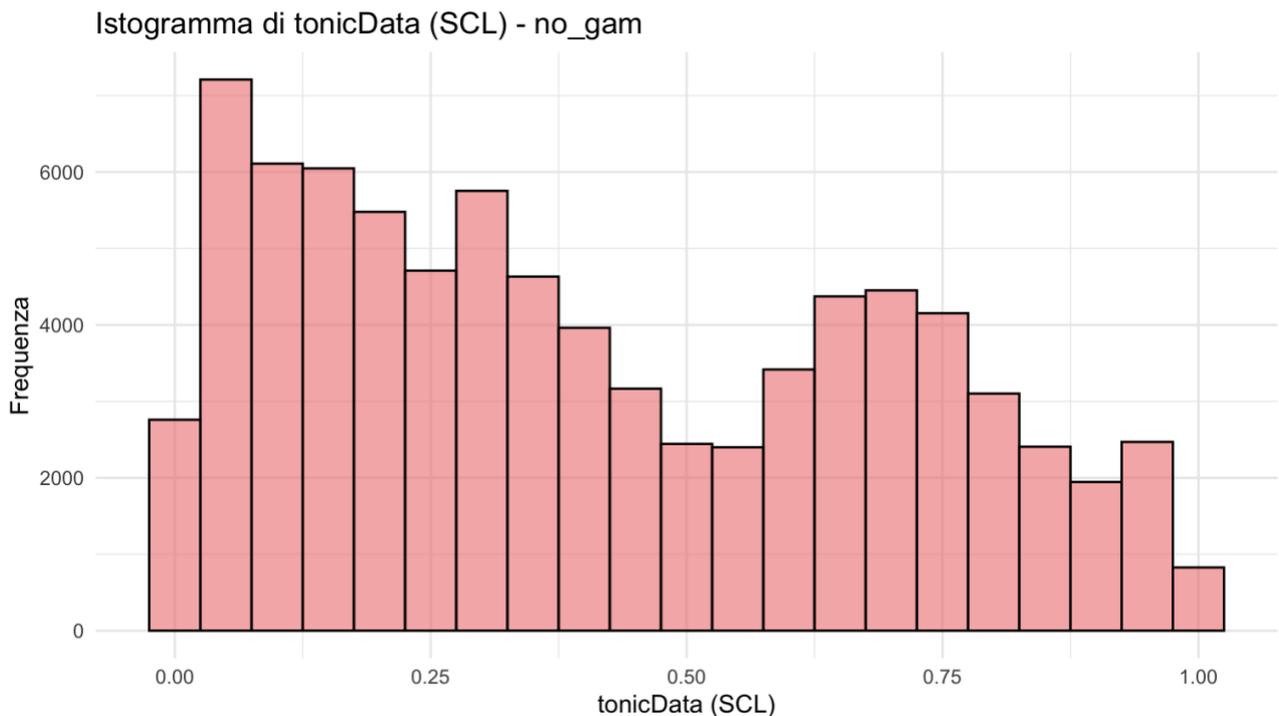


Figura 36 Istogramma tonicdata (SCL) per la prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti



*Figura 5.3 Istogramma tonicdata (SCL) per la prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti*

Dalle statistiche descrittive e dagli istogrammi si evince che le distribuzioni dei phasicData e tonicData, per entrambe le tipologie di prova, presentano una asimmetria positiva in quanto la media è maggiore della mediana. Inoltre, sia la media che la mediana per le due metriche è maggiore nella prova gamificata. Valori alti dei parametri SCR e SCL segnalano uno stato di stress fisico ed emotivo dell'individuo. È stato verificato in seguito se le differenze tra le due prove sono significative statisticamente. L'obiettivo, quindi, è testare l'ipotesi nulla che le distribuzioni delle task gamificata e standard sono statisticamente identiche. Sono presentati, come primo step di questa analisi, dei grafici Q-Q Plot e il test Kolmogorov-Smirnov per verificare la normalità del database, test utilizzato per testare la normalità di un dataset molto ampio con un certo grado di significatività. Non è stato svolto il test Shapiro-Wilk, test statistico più diffuso per testare la normalità di una distribuzione, poiché il campione supera il limite per questo test che corrisponde a 5000 osservazioni.

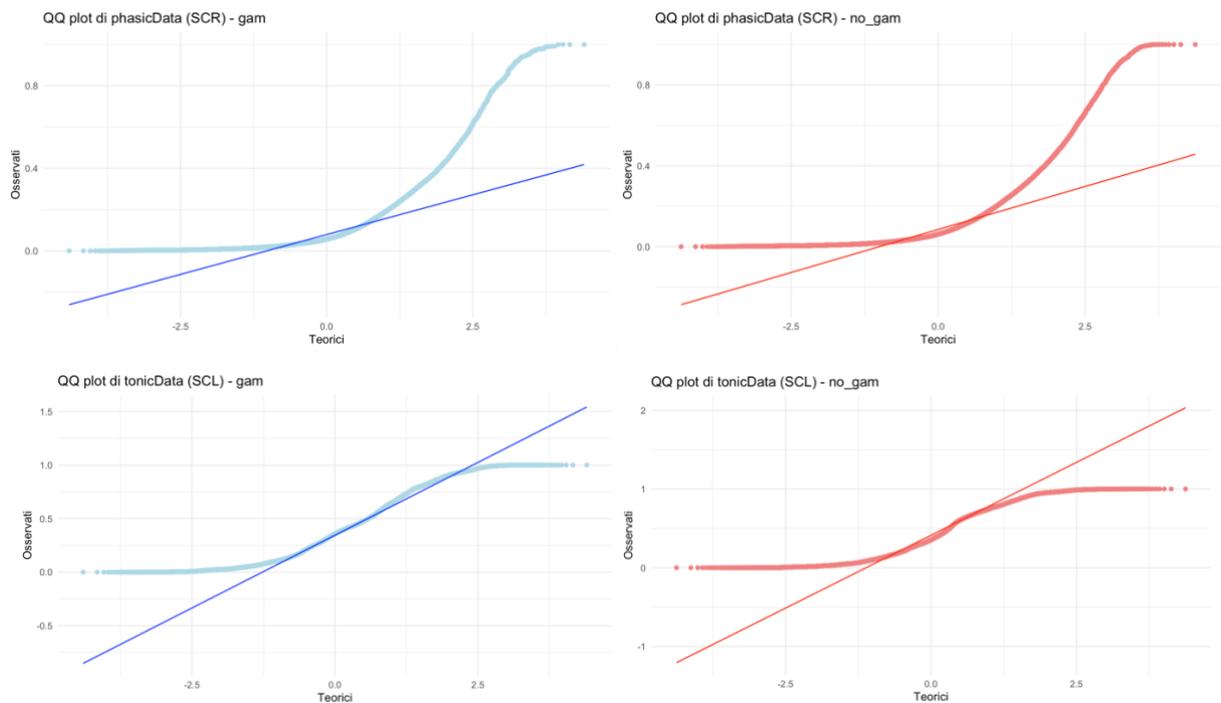


Figura 5.4 Q-Q plot phasicdata e tonicdata delle distribuzioni della prova gamificata e della prova non gamificata

Kolmogorov-Smirnov test SCR		
Prova	D	p-value normalità
HRC gamificato	0,19539	<0,01
HRC	0,19342	<0,01

Tabella 5.2 Kolmogorov-Smirnov test SCR per la prova gamificata e per la prova non gamificata

Kolmogorov-Smirnov test SCL		
Prova	D	p-value normalità
HRC gamificato	0,065282	<0,01
HRC	0,086588	<0,01

Tabella 5.3 Kolmogorov-Smirnov test SCL per la prova gamificata e per la prova non gamificata

I grafici e il risultato del Kolmogorov-Smirnov mostrano che le distribuzioni non sono approssimabili a una normale. La statistica “D” misura la massima differenza assoluta tra la distribuzione cumulativa osservata dei dati e la distribuzione cumulativa della distribuzione normale teorica. Il p-value molto basso, inferiore a 0,01 per entrambe le distribuzioni, indica che è possibile rifiutare l’ipotesi nulla secondo cui i dati seguano una distribuzione normale.

Dunque, è stato necessario adottare un test non parametrico. I dati di questo database non sono indipendenti perché tutti i partecipanti hanno svolto sia la prova gamificata sia quella non gamificata. È stato scelto, quindi, il Wilcoxon Signed-Rank test per testare l'ipotesi nulla che le distribuzioni dei tonicData e dei phasicData per le due prove siano uguali. Questo test è l'equivalente non parametrico del t-test per campioni appaiati per database che potrebbero essere dipendenti. La statistica di questo test è la "V": questa metrica rappresenta la somma dei ranghi dei dati che mostrano una differenza positiva tra le due condizioni. Un valore alto di V suggerisce che ci sono molte differenze positive tra le condizioni, mentre un valore basso suggerisce poche differenze positive e molte negative. Il database analizzato è molto vasto, dunque è stato necessario, dopo aver svolto la normalizzazione Min-Max, svolgere il test per ciascun partecipante separatamente sui campioni di entrambe le prove. Successivamente, è stato calcolato il p-value combinato utilizzando il test di Fisher. Infine, sono stati calcolati valori medi dei tonicData e dei phasicData. Nelle seguenti tabelle e figure sono presentati i risultati del test e i boxplot relativi alle due metriche per entrambe le prove.

<b>Wilcoxon Signed-Rank test SCR</b>	
Statistica	V=6728294
P-value	≈ 0

*Tabella 5.4 Wilcoxon Signed-Rank test SCR*

<b>Wilcoxon Signed-Rank test SCL</b>	
Statistica	V=6337733
P-value	≈ 0

*Tabella 5.5 Wilcoxon Signed-Rank test SCL*

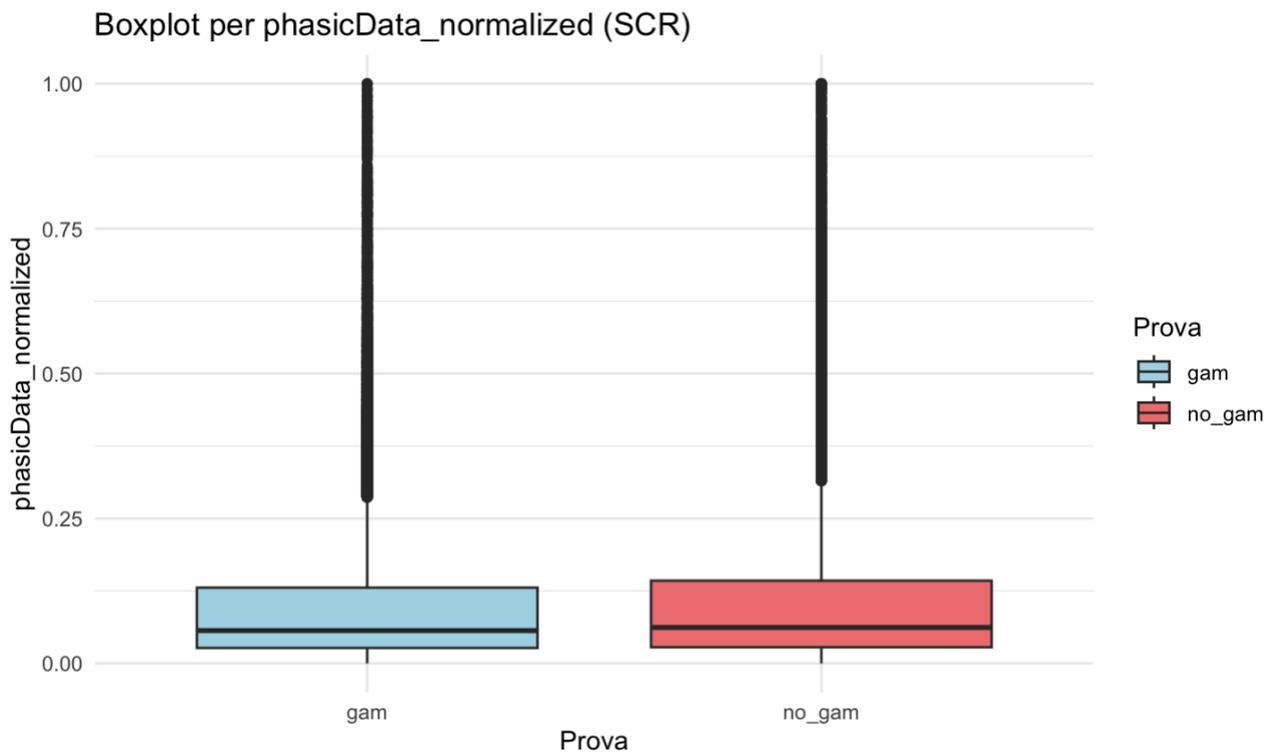


Figura 5.5 Boxplot SCR per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

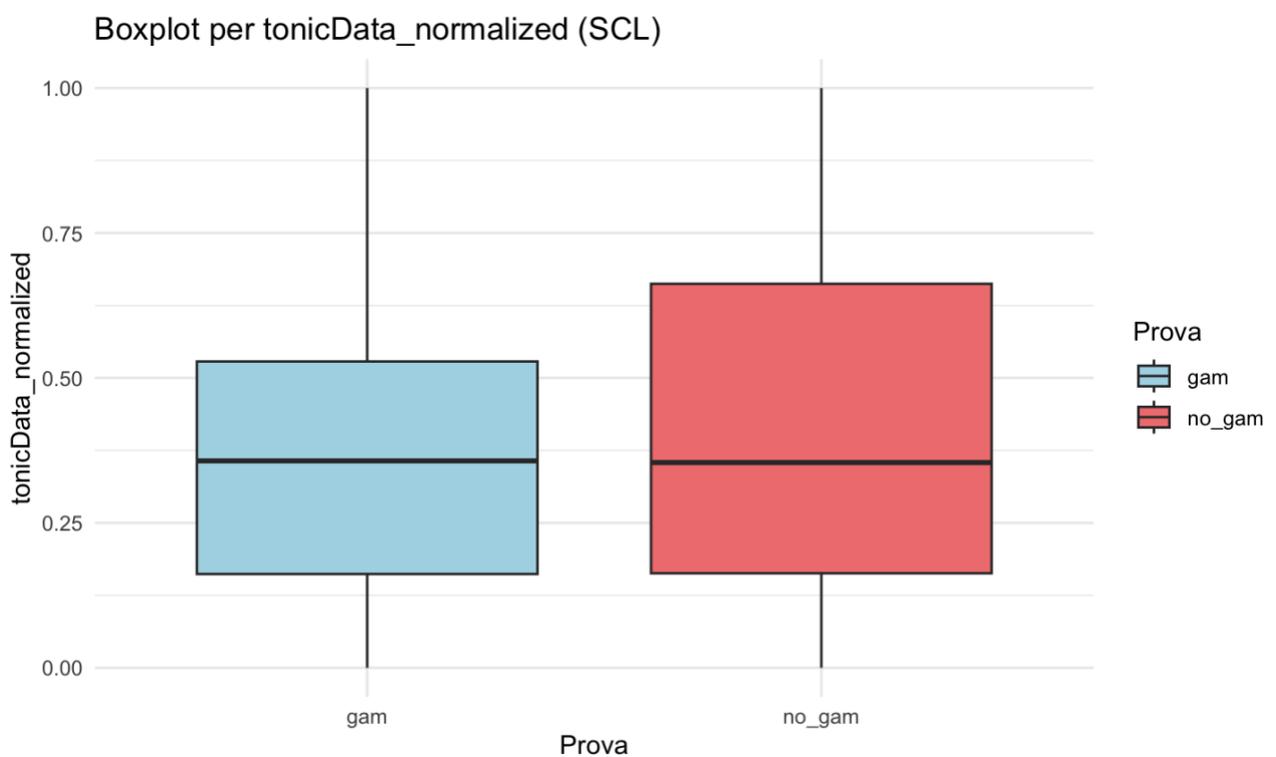


Figura 5.6 Boxplot SCL per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

I risultati del Wilcoxon Signed-Rank test indicano differenze significative tra le due prove sia per la metrica SCR sia per SCL. È possibile rifiutare l'ipotesi nulla che le distribuzioni delle due modalità siano uguali. La SCR misura le risposte rapide e transitorie della pelle associate a stimoli specifici ed è indicativa per risposte a breve termine a eventi esterni. La presenza numerosa di outlier in entrambe le condizioni, visionabili nel boxplot, suggerisce che vi sono stati molti eventi specifici che hanno provocato risposte rapide e transitorie nei partecipanti. La SCL misura la conduttanza elettrica della pelle che varia lentamente ed è associata alla risposta tonica del sistema nervoso autonomo: rappresenta l'arousal a lungo termine, ossia uno stato fisiologico e psicologico di attivazione del sistema nervoso autonomo. I risultati complessivi indicano che la prova non gamificata è associata a risposte a stimoli specifici più variabili e a livelli di arousal tonico più alti (SCL) rispetto alla prova gamificata. La gamification, dunque, sembra ridurre i livelli di stress a lungo termine e diminuire la variabilità dell'arousal tonico. Questo indica che un ambiente gamificato potrebbe essere meno stressante e più stabile per gli operatori.

È presentata ora l'analisi sui parametri della variabilità della frequenza cardiaca HRV. È stata svolta anche in questo caso una normalizzazione Min-Max per partecipante sfruttando il software statistico Rstudio. Successivamente, sono state ottenute le statistiche descrittive e i relativi istogrammi. Sono visualizzabili nelle seguenti tabelle le statistiche descrittive del database originale e di quello normalizzato. Il resto delle analisi è stato svolto sul database normalizzato ma sono riportati, infine, anche i boxplot relativi al database non normalizzato.

Prova	Statistica	RMSSD (ms)	SDNN (ms)
HRC gamificato	Media	55,6	49,9
	Errore standard	0,383	0,303
	Mediana	45,8	44,6
	Deviazione standard	33,89	26,9
	Varianza	1148,53	723,61
HRC	Media	53,2	47,8
	Errore standard	0,333	0,282
	Mediana	46,4	43,0
	Deviazione standard	28,3	23,9
	Varianza	800,89	573

Tabella 5.6 Statistiche descrittive RMSSD e SDNN per la prova gamificata e per la prova non gamificata relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Prova	Statistica	RMSSD	SDNN
HRC gamificato	Media	0,258	0,282
	Errore standard	0,00219	0,00216
	Mediana	0,197	0,241
	Deviazione standard	0,194	0,192
	Varianza	0,0378	0,0367
HRC	Media	0,250	0,290
	Errore standard	0,00224	0,00214
	Mediana	0,208	0,256
	Deviazione standard	0,190	0,182
	Varianza	0,0362	0,0331

Tabella 5.7 statistiche descrittive RMSSD normalizzato e SDNN normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Distribuzione di RMSSD per gam

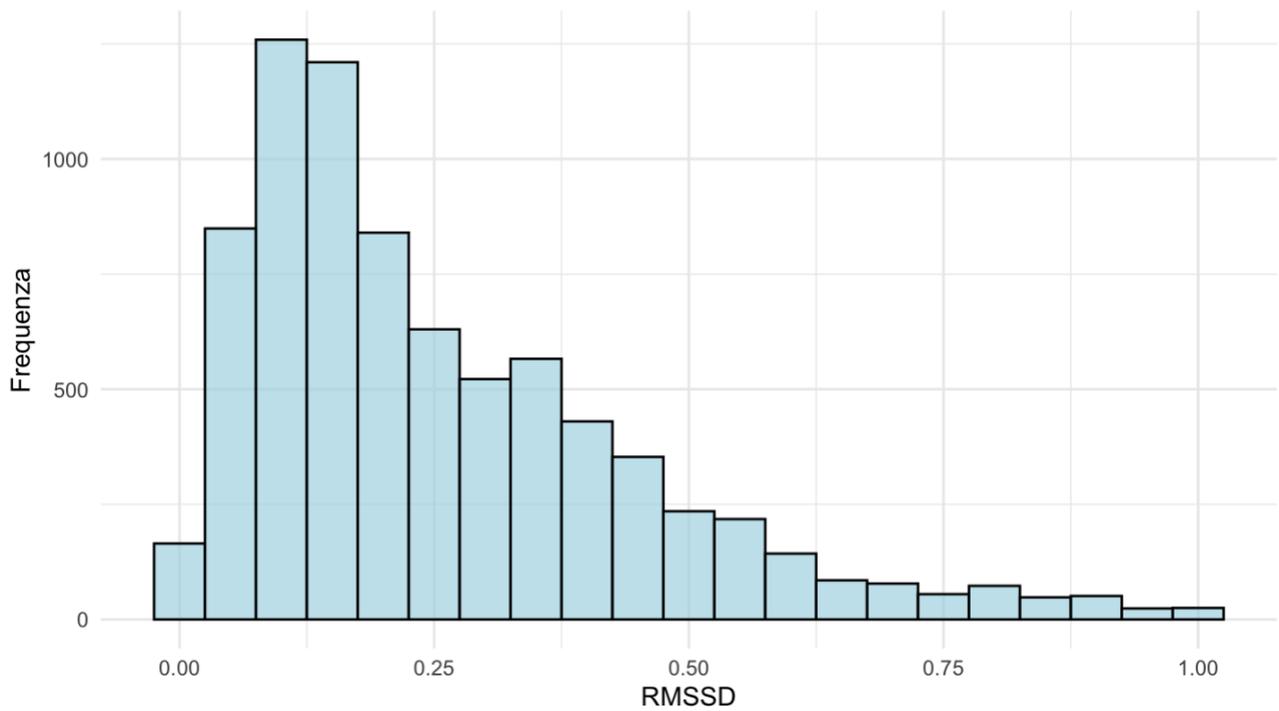


Figura 5.7 Istogramma RMSSD normalizzato per la prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Distribuzione di RMSSD per no\_gam

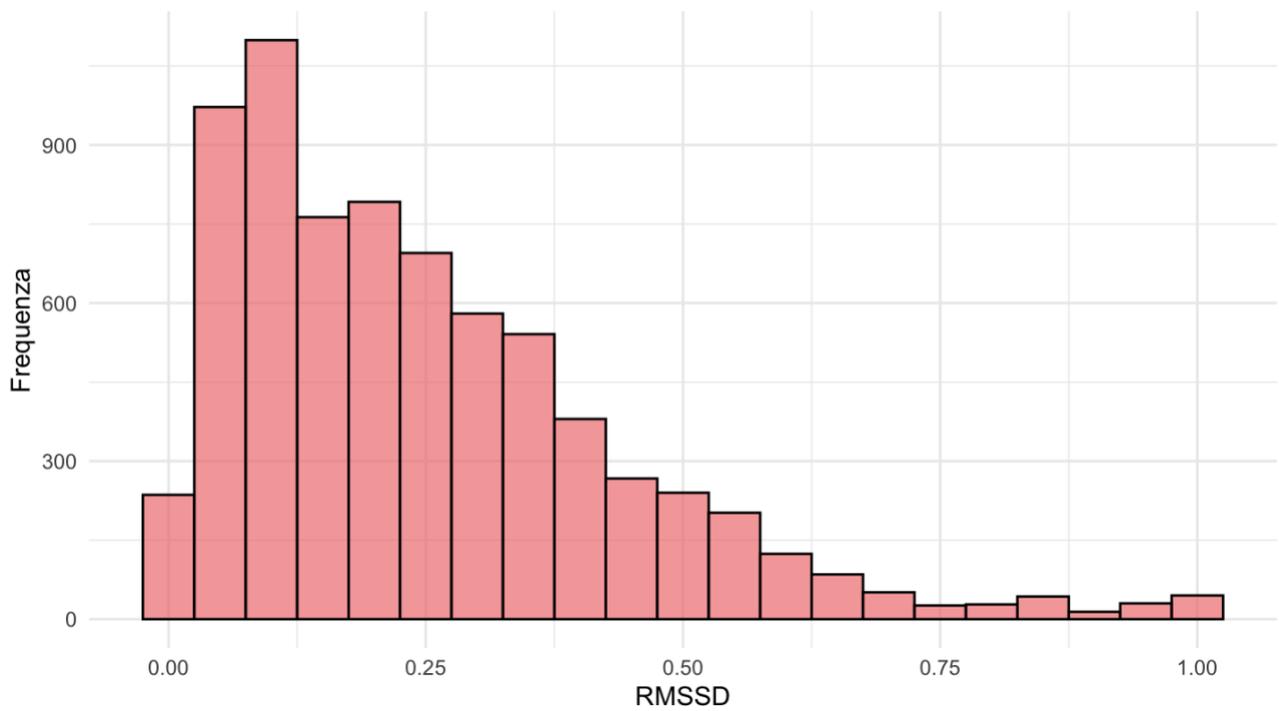


Figura 5.8 Istogramma RMSSD normalizzato per la prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

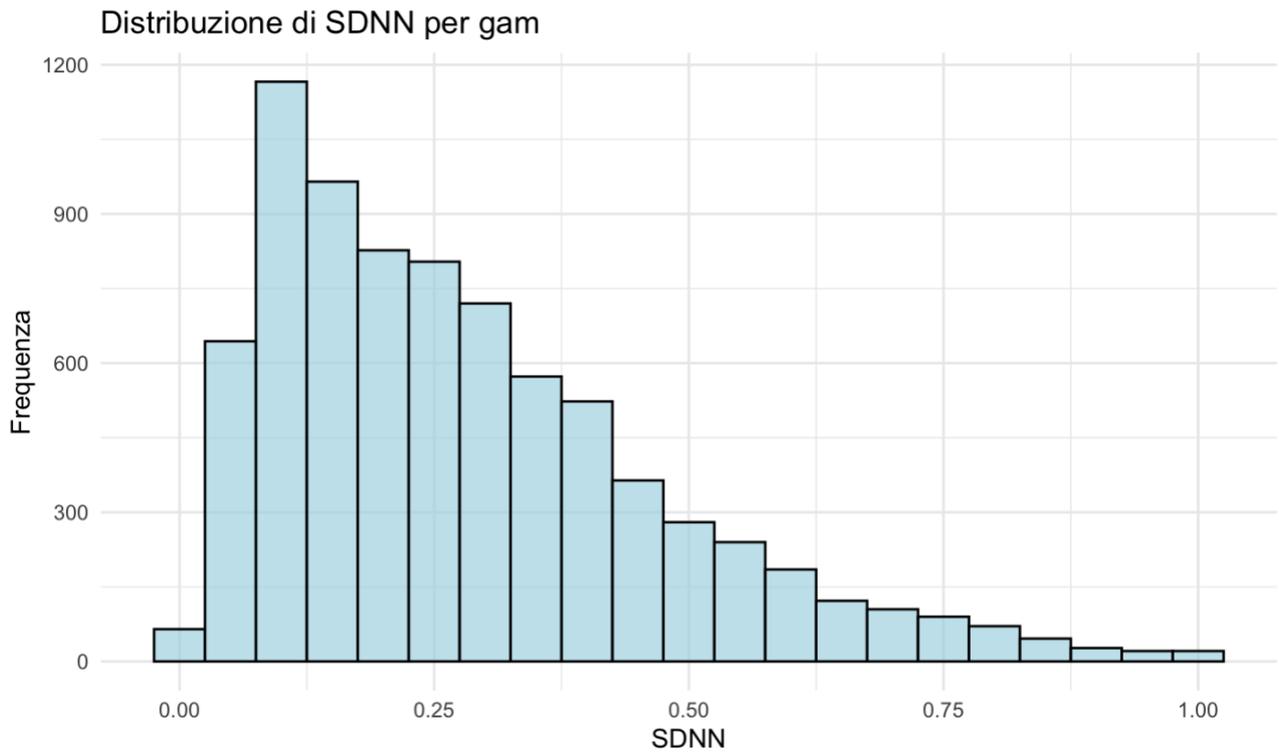


Figura 5.9 Istogramma SDNN normalizzato per la prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

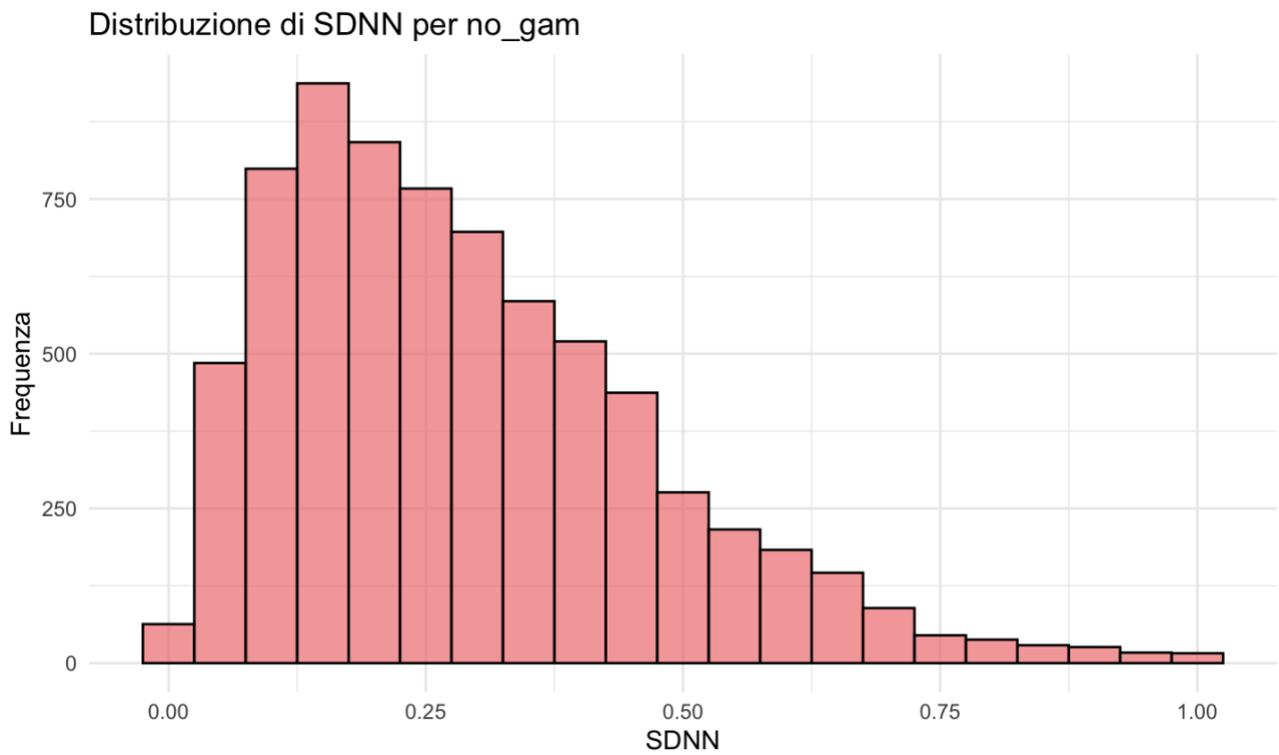


Figura 5.10 Istogramma SDNN normalizzato per la prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Dalle statistiche descrittive e dagli istogrammi si evince che le distribuzioni dell'RMSSD e dell'SDNN, per entrambe le tipologie di prova, presentano una asimmetria positiva in quanto la media è maggiore della mediana. Inoltre, sia la media che la mediana per le due metriche è maggiore nella prova gamificata. Segnali più bassi di questi due parametri fisiologici segnalano una condizione di stress fisico ed emotivo dell'individuo maggiore. È interessante, dunque, verificare se queste differenze sono significative statisticamente. In primo luogo, sono presentati dei grafici Q-Q Plot e il test Kolmogorov-Smirnov per verificare la normalità del database. Anche in questo non è stato svolto il test Shapiro-Wilk poiché il campione supera il limite per questo test di 5000 osservazioni.

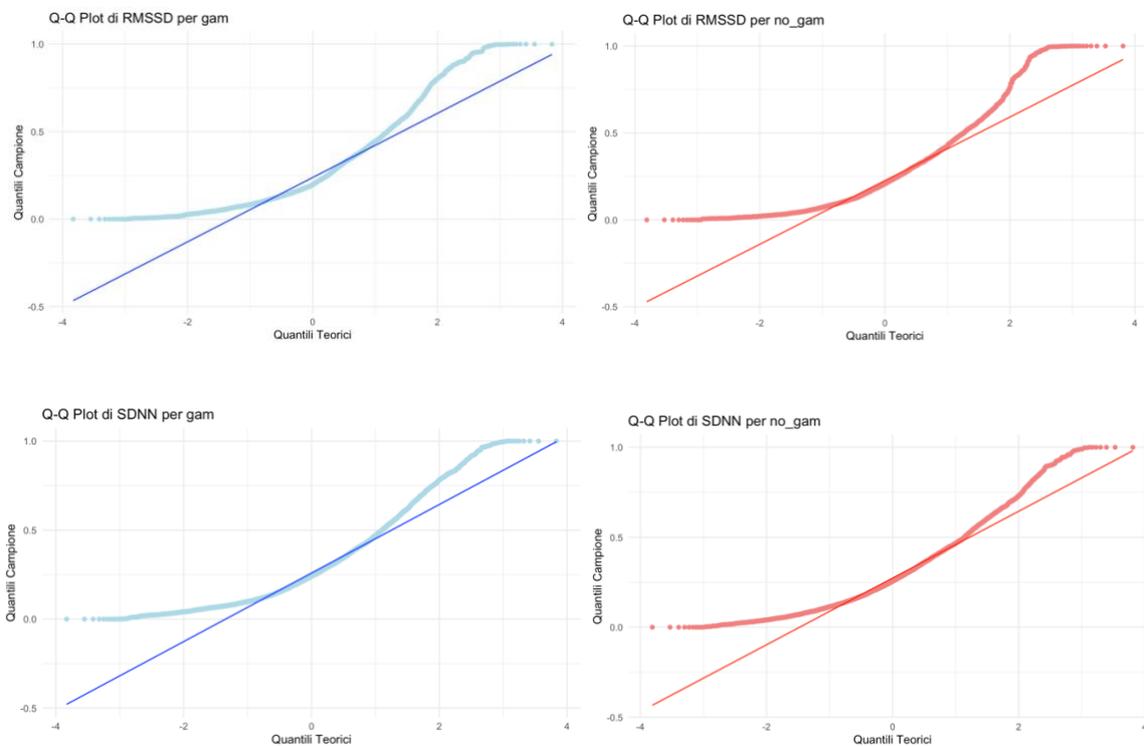


Figura 5.11 Q-Q Plot RMSSD normalizzato e SDNN normalizzato delle distribuzioni della prova gamificata e della prova non gamificata

Kolmogorov-Smirnov test RMSSD		
Prova	D	p-value normalità
HRC gamificato	0,1243205	<0,01
HRC	0,09901815	<0,01

Tabella 5.8 Kolmogorov-Smirnov test RMSSD normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata

<b>Kolmogorov-Smirnov test SDNN</b>		
<b>Prova</b>	<b>D</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,08748868	<0,01
HRC	0,07699938	<0,01

*Tabella 5.9 Kolmogorov-Smirnov test SDNN normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

I grafici e il risultato del Kolmogorov-Smirnov mostrano che le distribuzioni non sono approssimabili a una normale. Dunque, è stato svolto il test non parametrico Wilcoxon signed-rank test per testare l'ipotesi nulla che le distribuzioni di RMSSD e SDNN per le due prove siano uguali. In questo caso, essendo questo database meno vasto di quello relativo ai dati dell'EDA, il test è stato svolto sull'intero campione di ogni parametro relativo a ogni prova. Infine, sono presentati i relativi boxplot sia dei campioni normalizzati sia dei valori non normalizzati.

<b>Wilcoxon signed-rank test RMSSD</b>	
Statistica	$W=3,939772 \times e^{12}$
P-value	0,1348245

*Tabella 5.10 Wilcoxon signed-rank test RMSSD normalizzato*

<b>Wilcoxon signed-rank test SDNN</b>	
Statistica	$W=4,031128 \times e^{12}$
P-value	0,01572124

*Tabella 5.11 Wilcoxon signed-rank test SDNN normalizzato*

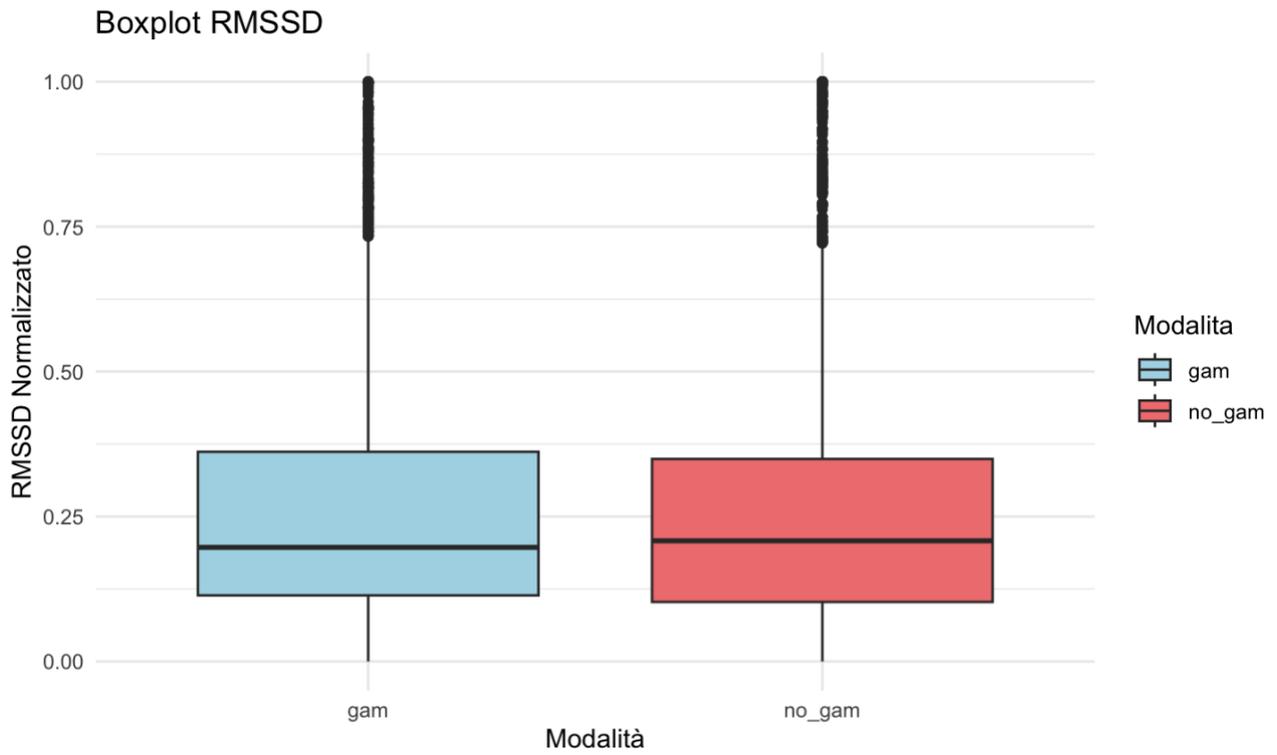


Figura 5.12 Boxplot RMSSD normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

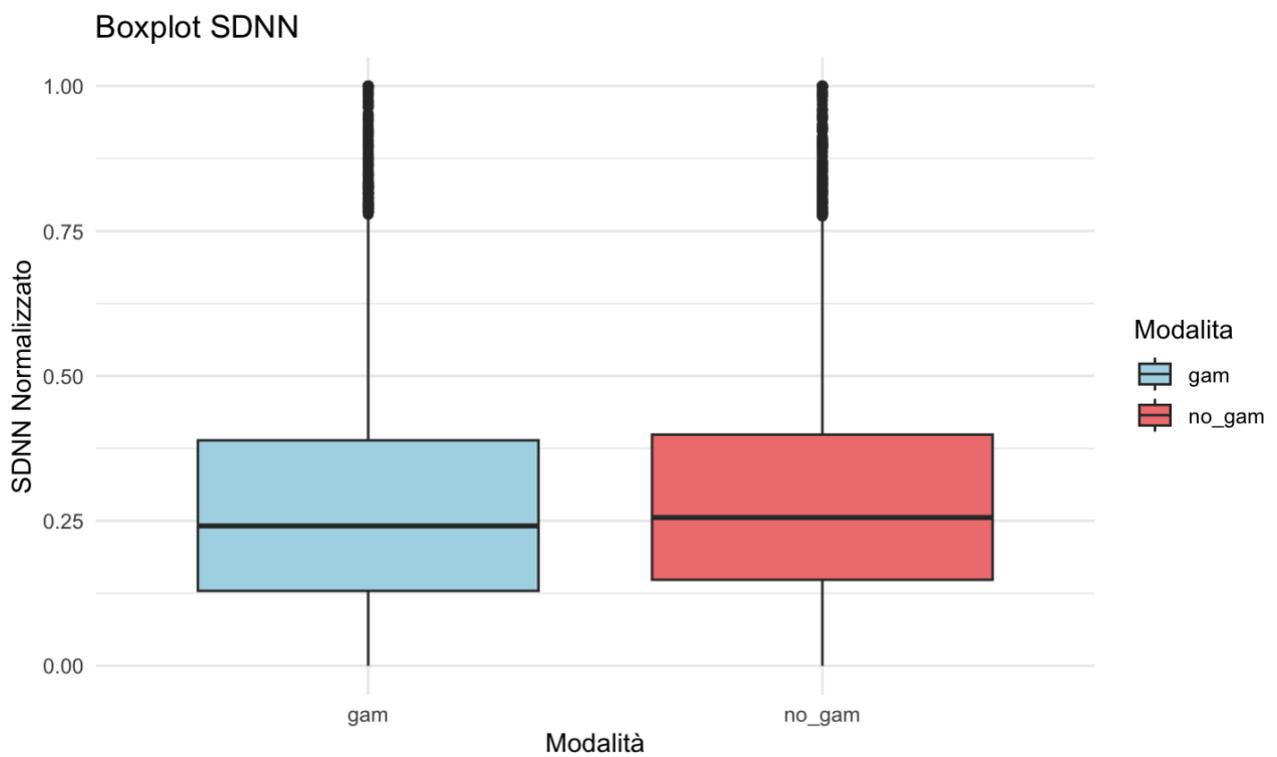


Figura 5.13 Boxplot SDNN normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Il p-value per RMSSD è maggiore di 0,05. Dunque, non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla che le distribuzioni di RMSSD per i due gruppi siano uguali. Il p-value per SDNN, invece, è 0,01572124. In questo caso il test suggerisce che sono presenti differenze statisticamente significative nelle distribuzioni di SDNN tra i due gruppi.

Infine, sono riportati i boxplot per i valori assoluti, i quali confermano i risultati del database normalizzato.

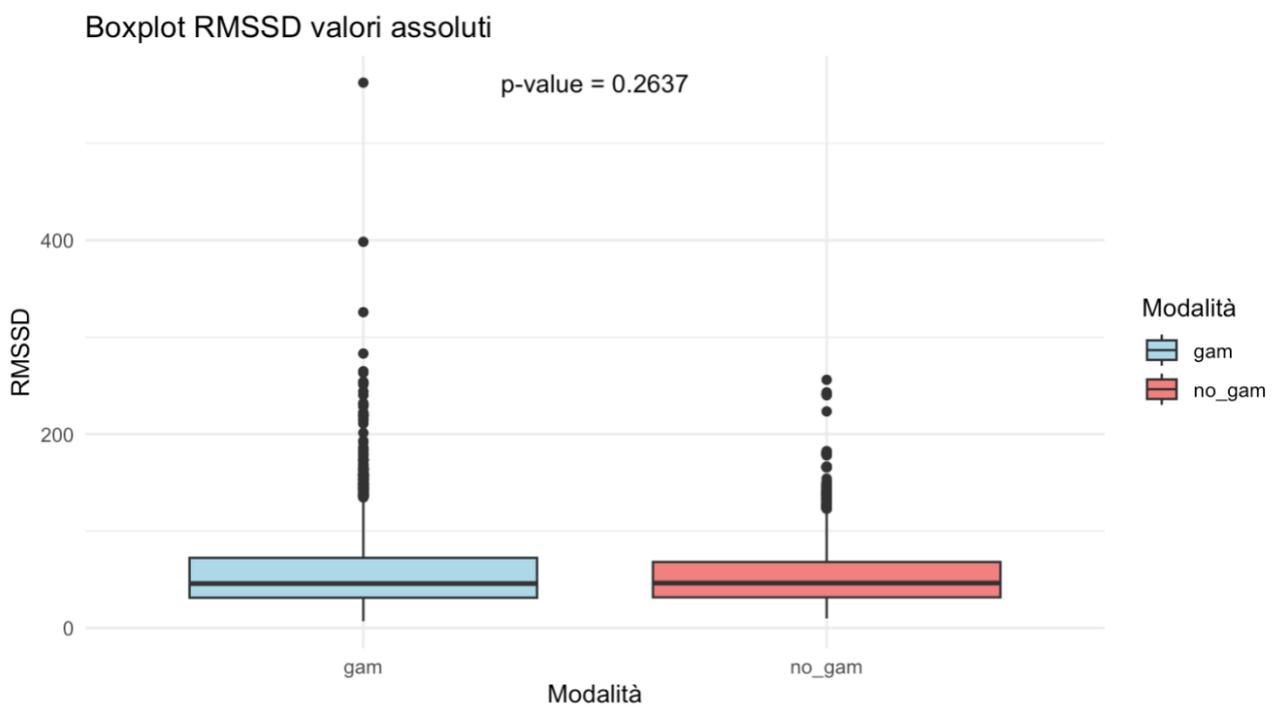


Figura 5.14 Boxplot RMSSD per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

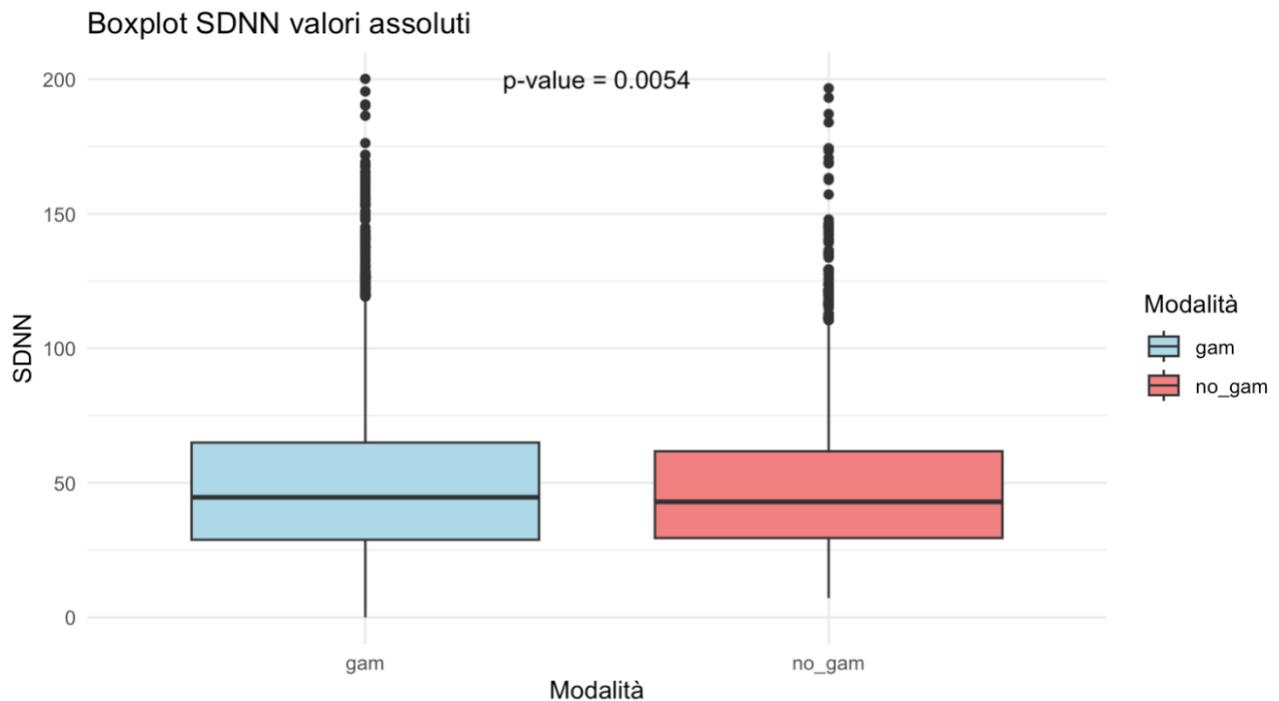


Figura 5.15 Boxplot SDNN normalizzato per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Anche in questo caso la differenza nell'SDNN è significativa. Cercando di interpretare i risultati, essendo i valori della prova gamificata maggiori, il test mostra come la prova gamificata ha un effetto positivo sul sistema nervoso autonomo, migliorando la variabilità della frequenza cardiaca. La gamification, dunque, potrebbe aver ridotto lo stress e l'ansia nei partecipanti rispetto alla prova non gamificata, partendo da una maggiore variabilità della frequenza cardiaca e quindi a un SDNN più elevato.

## 5.2 Analisi dei risultati del questionario NASA TLX

Nel database relativo ai risultati ottenuti dal questionario NASA TLX, già normalizzato durante la creazione del database stesso, sono state svolte diverse analisi, iniziando dai valori totali calcolati per ogni prova svolta da ogni partecipante. Sono state eseguite in primo luogo delle analisi sulle statistiche descrittive, successivamente, dopo aver constatato la normalità del database, è stato verificato se vi fossero differenze significative tra i valori medi delle due tipologie di prove.

Prova	Statistica descrittiva punteggio Totale	
HRC gamificato	Media	42,644
	Errore standard	3,692186
	Mediana	42,667
	Deviazione standard	14,29978
	Varianza	204,4836
	Minimo	19,33
	Massimo	70,33
HRC	Media	45,13356
	Errore standard	3,592689
	Mediana	46
	Deviazione standard	13,91442
	Varianza	193,6112
	Minimo	11
	Massimo	68,67

*Tabella 5.12 Statistica descrittiva punteggio Totale NASA TLX per la prova gamificata e non gamificata relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti*

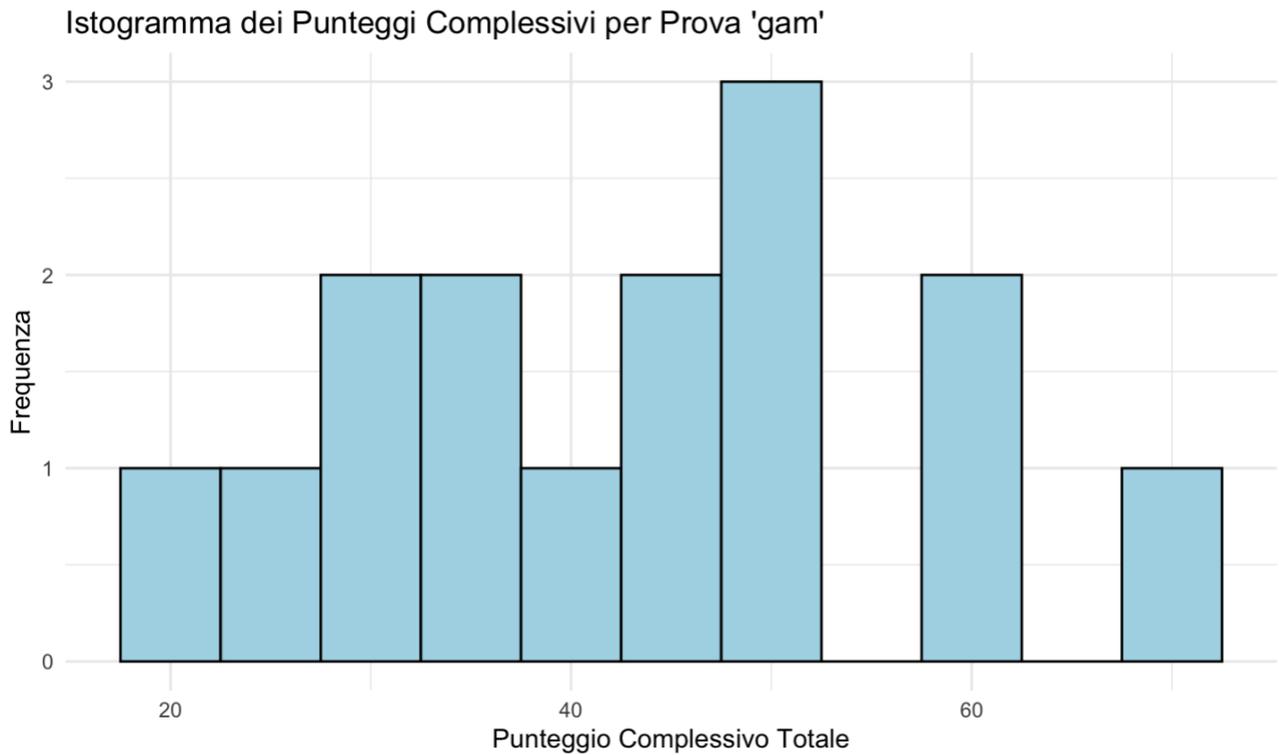


Figura 5.16 Istogramma dei punteggi complessivi NASA TLX per la prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

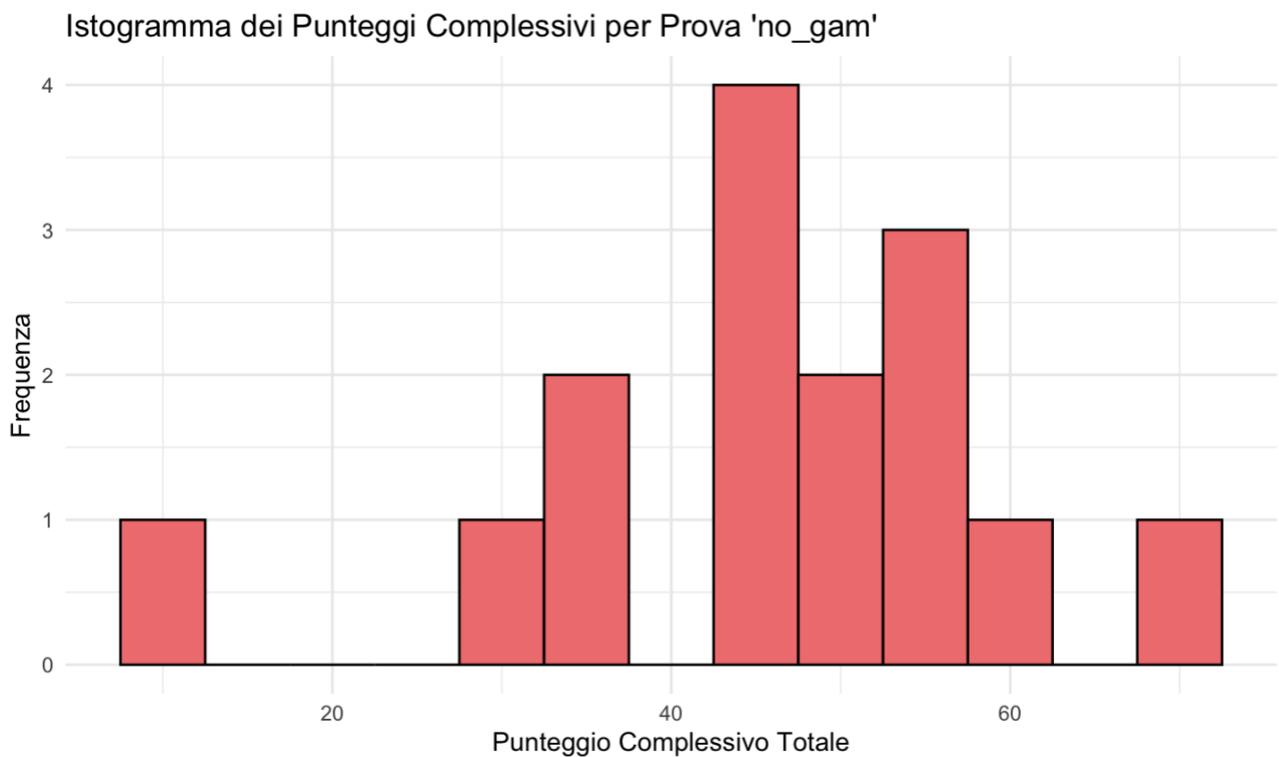


Figura 5.17 Istogramma dei punteggi complessivi NASA TLX per la prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Si evince che il gruppo della prova non gamificata abbia punteggi medi più alti e una variabilità simile al gruppo della prova gamificata. Inoltre, la mediana è leggermente superiore alla media nel gruppo della prova non gamificata. Questo suggerisce la possibile presenza di alcuni valori estremamente bassi che influenzano la distribuzione dei dati. Nel seguito è analizzata la significatività statistica di questi risultati dopo aver confermato l'ipotesi nulla di normalità dello Shapiro-Wilk test. In questo caso è possibile usare questo test data la dimensione più ridotta dei campioni.

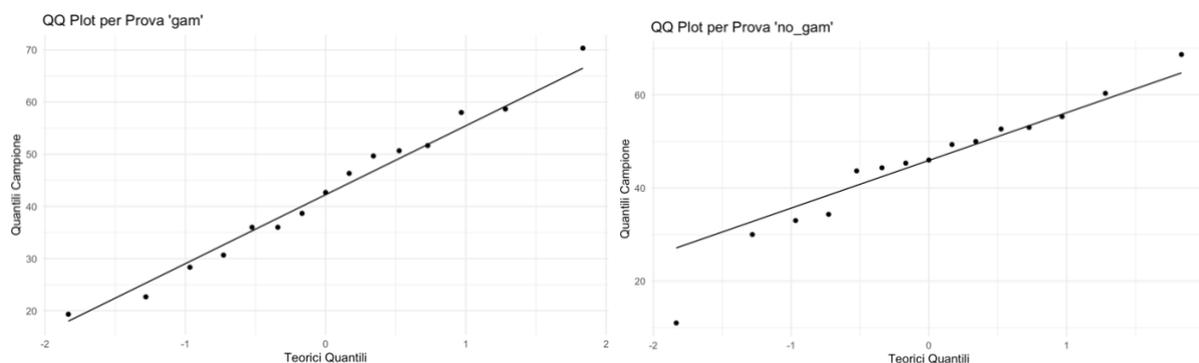


Figura 5.18 Q-Q Plot Punteggi totali NASA TLX per la prova gamificata e per la prova standard

Shapiro -Wilk test		
Prova	W	p-value normalità
HRC gamificato	0,98245	0,9835
HRC	0,94817	0,4962

Tabella 5.13 Shapiro -Wilk sui punteggi totali NASA TLX per la prova gamificata e per la prova non gamificata

Lo Shapiro - Wilk test conferma i risultati già intuibili dai grafici QQ plot. La statistica W rappresenta il risultato di un test di adattamento che misura quanto bene i dati si adattano a una distribuzione normale. Un valore di W vicino a 1 indica che i dati sono distribuiti normalmente. Inoltre, i p-value sono entrambi maggiori di 0,05, dunque non ci sono ragioni per rifiutare l'ipotesi nulla di normalità. Testata la normalità, è stato svolto un t-test appaiato, in quanto le varianze dei due gruppi sono abbastanza omogenee e i dati raccolti sono di due prove differenti e vi sono dati ripetuti per ogni partecipante. Il test è stato svolto sotto l'ipotesi nulla che non vi sia una variazione significativa tra la differenza tra la media della prova HRC gamificata e quella HRC standard. Infine, sono stati realizzati dei boxplot.

Test t Appaiato	
Valore di t	T = -1,0058
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,3316
Intervallo di confidenza al 95%	(-7,798066 ; 2,818955)
Differenza media	-2,489556

Tabella 5.14 test t Appaiato per i punteggi totali NASA TLX

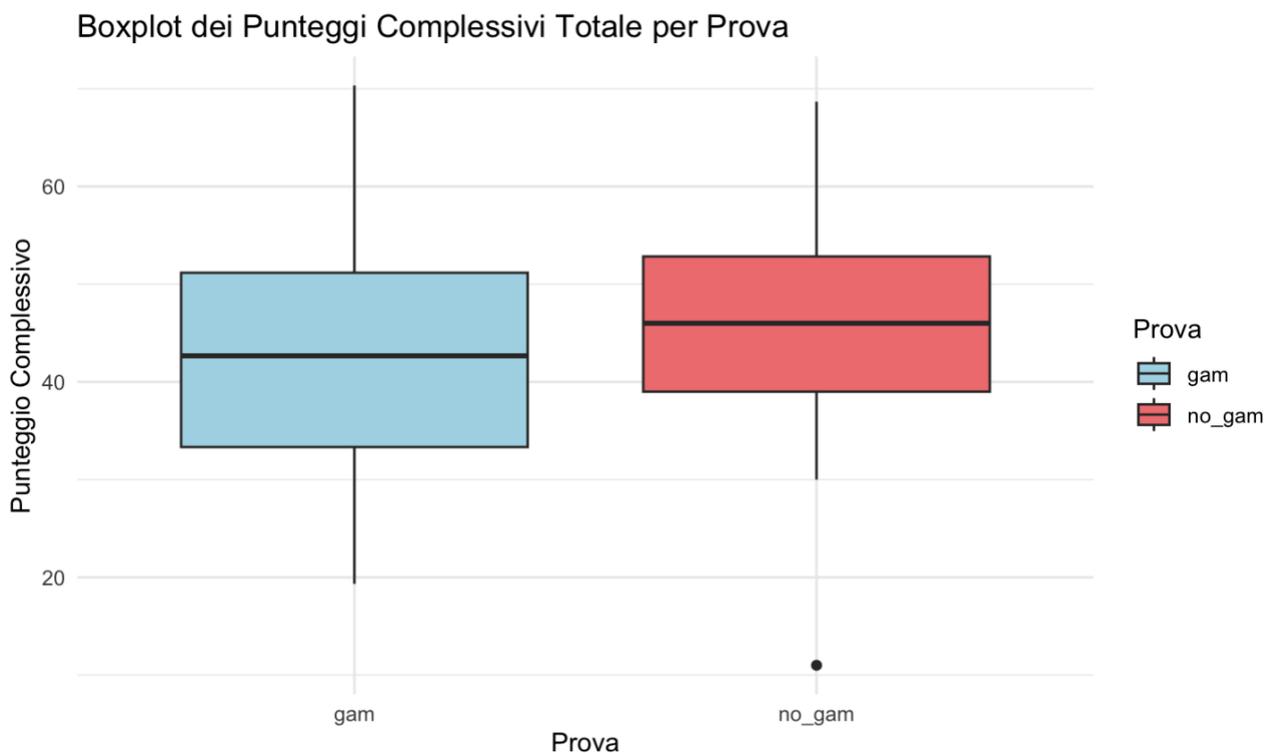


Figura 5.19 Boxplot punteggi totali NASA TLX per la prova gamificata e per la prova standard relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolta da tutti i partecipanti

Il valore negativo della t indica che il primo gruppo, quello della prova gamificata, ha una media inferiore rispetto al secondo gruppo, quello della prova standard. Dunque, sembra che vi sia anche in questo caso una differenza positiva tra la task gamificata e quella standard: un maggior valore dei punteggi totali del NASA TLX relativi alla prova non gamificata indicano uno stress complessivo maggiore per questa tipologia di modalità provato dagli individui. Nonostante ciò, il test dimostra che questa differenza non è statisticamente significativa essendo il p-value maggiore a 0,05. Dunque, come suggerisce anche l'intervallo di confidenza, non è possibile rigettare l'ipotesi nulla.

È stata svolta una successiva analisi sulle tre misure più rilevanti di questo studio del NASA TLX per ottenere ulteriori risultati significativi: Performance, Mental demand ed Effort. L'analisi è stata svolta sia per i valori pesati, sia per i valori assoluti. È stato eseguito lo stesso processo di analisi adottato per i punteggi complessivi totali. È presentata inizialmente l'analisi dei valori dei dati pesati di queste tre metriche.

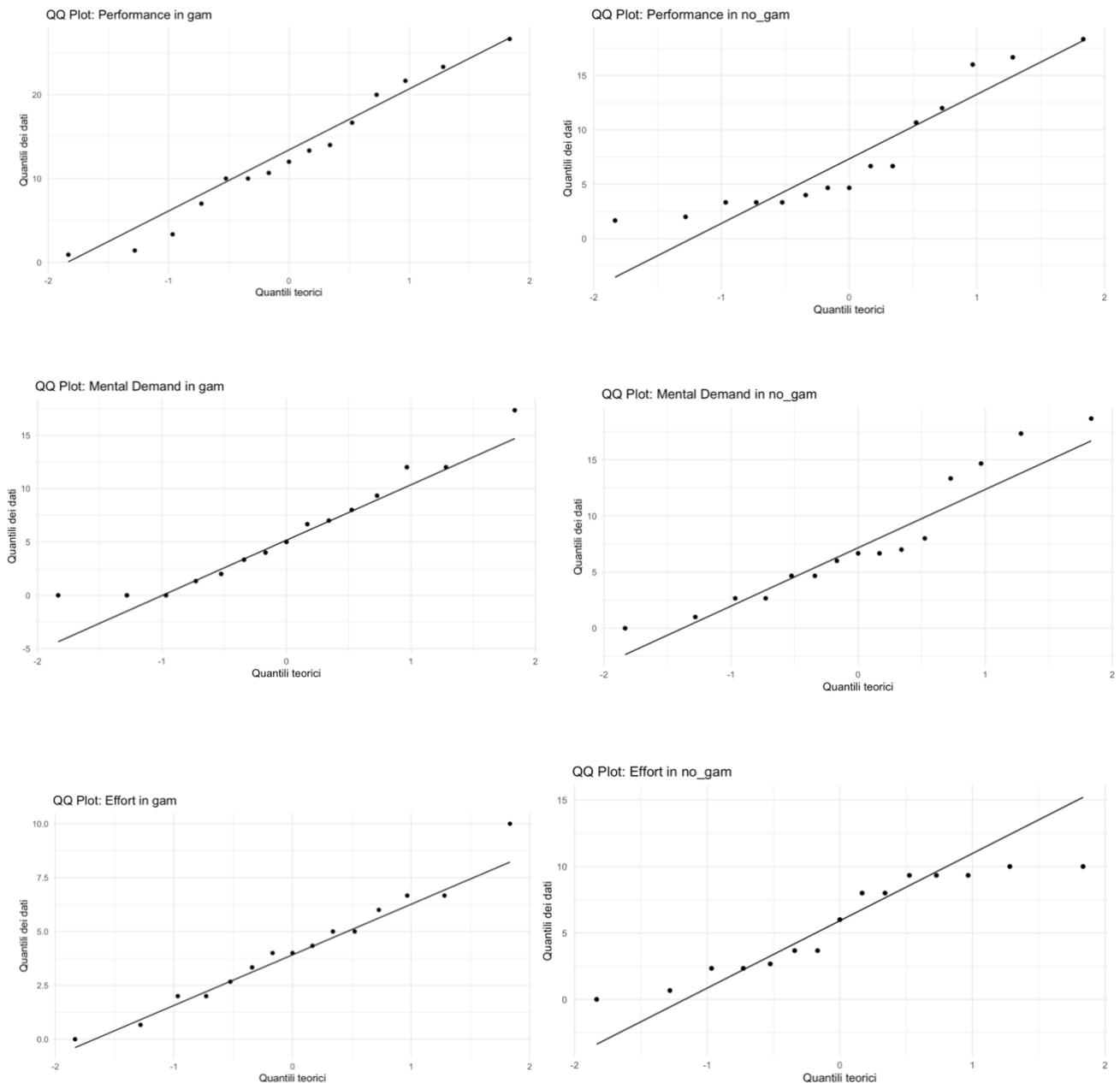


Figura 5.20 Q-Q Plot Performance, Mental Demand ed Effort per la prova gamificata e per la prova standard

<b>Shapiro - Wilk test Performance</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,93176	0,2899
HRC	0,8591	0,02342

*Tabella 5.15 Shapiro - Wilk test Performance pesato per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

<b>Shapiro - Wilk test Mental Demand</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,92745	0,2498
HRC	0,90734	0,1233

*Tabella 5.16 Shapiro - Wilk test Mental Demand pesato per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

<b>Shapiro - Wilk test Effort</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,9726	0,8944
HRC	0,8804	0,04817

*Tabella 5.17 Shapiro - Wilk test Effort pesato per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

Si può rifiutare l'ipotesi nulla di normalità per i dati relativi alla prova non gamificata della metrica Performance e per i dati relativi alla prova standard della metrica Effort, seppur per quest'ultima il p-value di 0,04817 sia molto vicino a 0,05 che rappresenta la soglia per non rifiutare l'ipotesi nulla. Dunque, per confrontare le distribuzioni di questi parametri è stato utilizzato il Test Wilcoxon per campioni appaiati per la Performance e l'Effort e il test t appaiato per la Mental Demand, in quanto la distribuzione dei dati di quest'ultimo parametro è approssimabile a una normale (p-value di 0,2498 nella prova gamificata e di 0,1233 per la prova non gamificata). Infine, sono presentati dei boxplot.

<b>Test Wilcoxon Performance</b>	
Statistiche	V=119
P-value	0,0001221

*Tabella 5.18 Test Wilcoxon Performance pesato*

Test Wilcoxon Effort	
Statistiche	V=31
P-value	0,1874

Tabella 5.19 Test Wilcoxon Effort pesato

Test t appaiato Mental Demand	
Valore di t	t = -1,3308
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,2045
Intervallo di confidenza al 95%	(-4,526919 ; 1,06053)
media HRC gamificato-media HRC	-1,733333

Tabella 5.20 Test t appaiato Mental Demand pesato

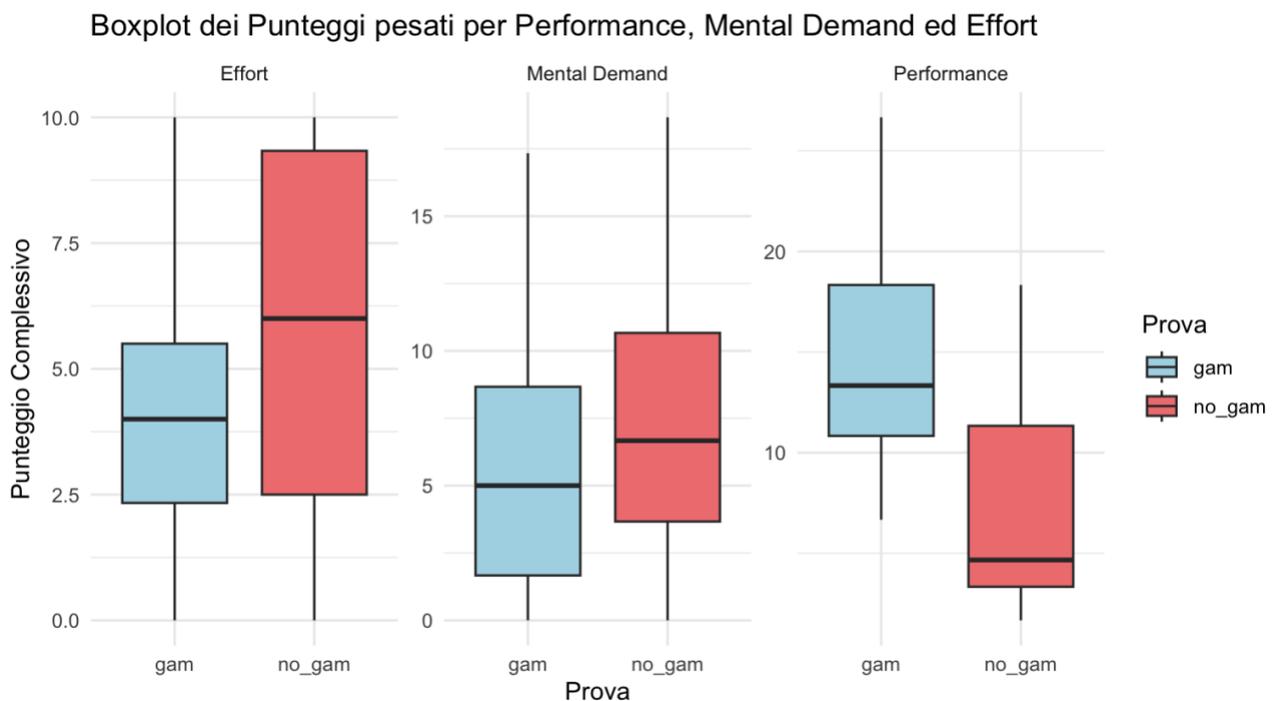


Figura 5.21 Boxplot delle Performance, della Mental Demand e dell'Effort pesati per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Dai risultati si evince che c'è una differenza altamente significativa (p-value di 0,0001221 e V=119) tra le due prove per la metrica delle Performance. Le Performance sono l'unica metrica del NASA TLX per cui valori alti corrispondono a conseguenze positive per una data analisi e in questo caso i valori maggiori sono per la prova gamificata. È possibile, dunque, rifiutare l'ipotesi nulla: ciò suggerisce che la gamificazione ha un effetto significativo sulle performance. È interessante anche il

risultato ottenuto per l'Effort e la Mental demand: non vi è una differenza statisticamente significativa tra le prove gamificate e standard. Dunque, a parità di sforzo e impegno mentale, le performance sono state ritenute più rilevanti dagli operatori nella prova gamificata. È importante sottolineare anche come seppur i punteggi complessivi totali non abbiano differenze significative per le due tipologie di prove, così come per l'Effort e la Mental Demand, le Performance abbiano invece una differenza significativa a favore delle prove gamificate.

È riportata ora l'analisi sui valori assoluti di queste metriche.

<b>Shapiro - Wilk test Performance</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,90352	0,1077
HRC	0,90376	0,1086

*Tabella 5.21 Shapiro - Wilk test Performance valori assoluti per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

<b>Shapiro - Wilk test Mental Demand</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,96632	0,8004
HRC	0,96256	0,7368

*Tabella 5.22 Shapiro - Wilk test Mental Demand valori assoluti per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

<b>Shapiro - Wilk test Effort</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,9258	0,2359
HRC	0,96254	0,7365

*Tabella 5.23 Shapiro - Wilk test Effort valori assoluti per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

Non si può rifiutare l'ipotesi nulla di normalità per nessuna metrica. È stato dunque svolto il test parametrico t appaiato. Infine, sono presentati i relativi boxplot.

<b>Test t appaiato Performance</b>	
Valore di t	t = 7,8779
Gradi di libertà (df)	14
P-value	≈0,01
Intervallo di confidenza al 95%	(16,3817 ; 29,26183)
media HRC gamificato-media HRC	23

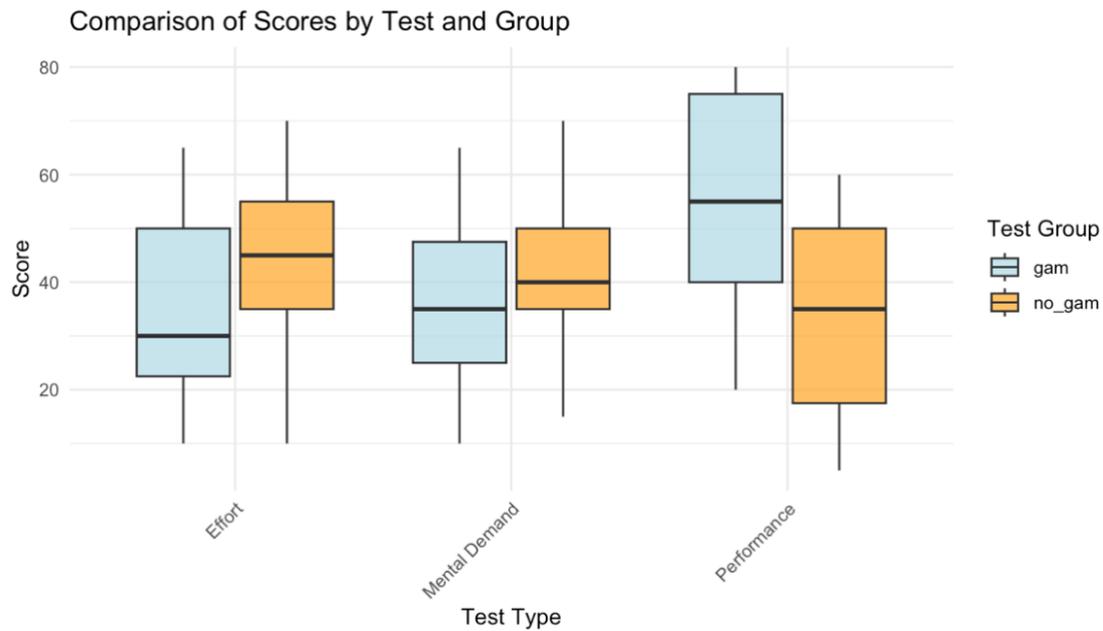
*Tabella 5.24 Test t appaiato Performance valori assoluti*

<b>Test t appaiato Mental Demand</b>	
Valore di t	t = -0,83592
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,4172
Intervallo di confidenza al 95%	(-15,451734 ; 6,785067)
media HRC gamificato-media HRC	-4,333333

*Tabella 5.25 Test t appaiato Mental Demand valori assoluti*

<b>Test t appaiato Effort</b>	
Valore di t	t = -2,4286
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,02992
Intervallo di confidenza al 95%	(-21,342338 ; -1,324329)
media HRC gamificato-media HRC	-11,33333

*Tabella 5.26 Test t appaiato Effort valori assoluti*



*Figura 55* Boxplot dei valori assoluti delle Performance, della Mental Demand ed dell'Effort pesati per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Dai risultati si evince che vi è una differenza altamente significativa tra le due prove per la metrica del valore assoluto delle Performance del NASA TLX. Inoltre, in questo caso anche il parametro relativo all'Effort presenta una differenza significativa tra le due prove: essendo il valore di  $t$  negativo si comprende che il valore è maggiore per la prova non gamificata, come visualizzabile anche dai boxplot. Il test, quindi, suggerisce che la gamificazione abbia influito positivamente anche nell'effort percepito dagli individui.

### 5.3 Analisi dei risultati del questionario SAM

In questo paragrafo sono analizzati i risultati ottenuti dal questionario SAM. Sono riportate inizialmente le statistiche descrittive e gli istogrammi relativi alle metriche del SAM, successivamente sono presentati i grafici Q-Q plot ed è stata testata la normalità delle distribuzioni con lo Shapiro-Wilk test.

<b>Prova</b>	<b>Statistica</b>	<b>Emotional Valence</b>	<b>Arousol</b>	<b>Dominance</b>
HRC	Media	5,8	3,4	6,733
	Errore standard	0,393	0,4	0,248
	Mediana	6	3	7
	Deviazione standard	1,521	1,549	0,961
	Varianza	2,314	2,4	0,923
	Minimo	3	1	5
	Massimo	8	6	9
HRC gamificato	Media	6,333	3,733	6,6
	Errore standard	0,374	0,358	0,423
	Mediana	7	3	7
	Deviazione standard	1,447	1,387	1,63
	Varianza	2,095	1,923	2,68
	Minimo	4	2	2
	Massimo	9	6	8

Tabella 5.27 Statistiche descrittive parametri SAM relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

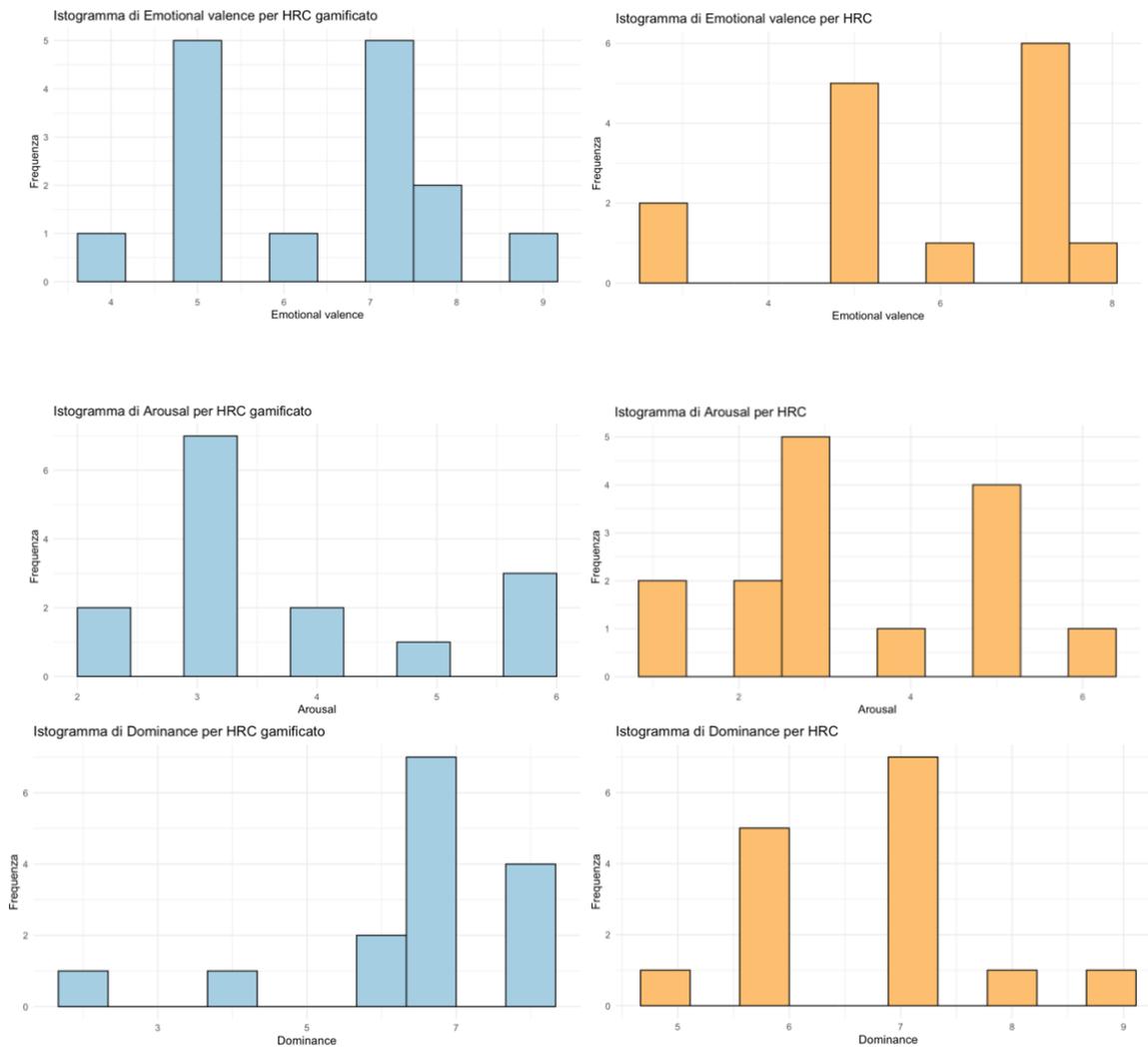


Figura 5.22 Istogrammi parametri SAM per la prova gamificata e per la prova non gamificata

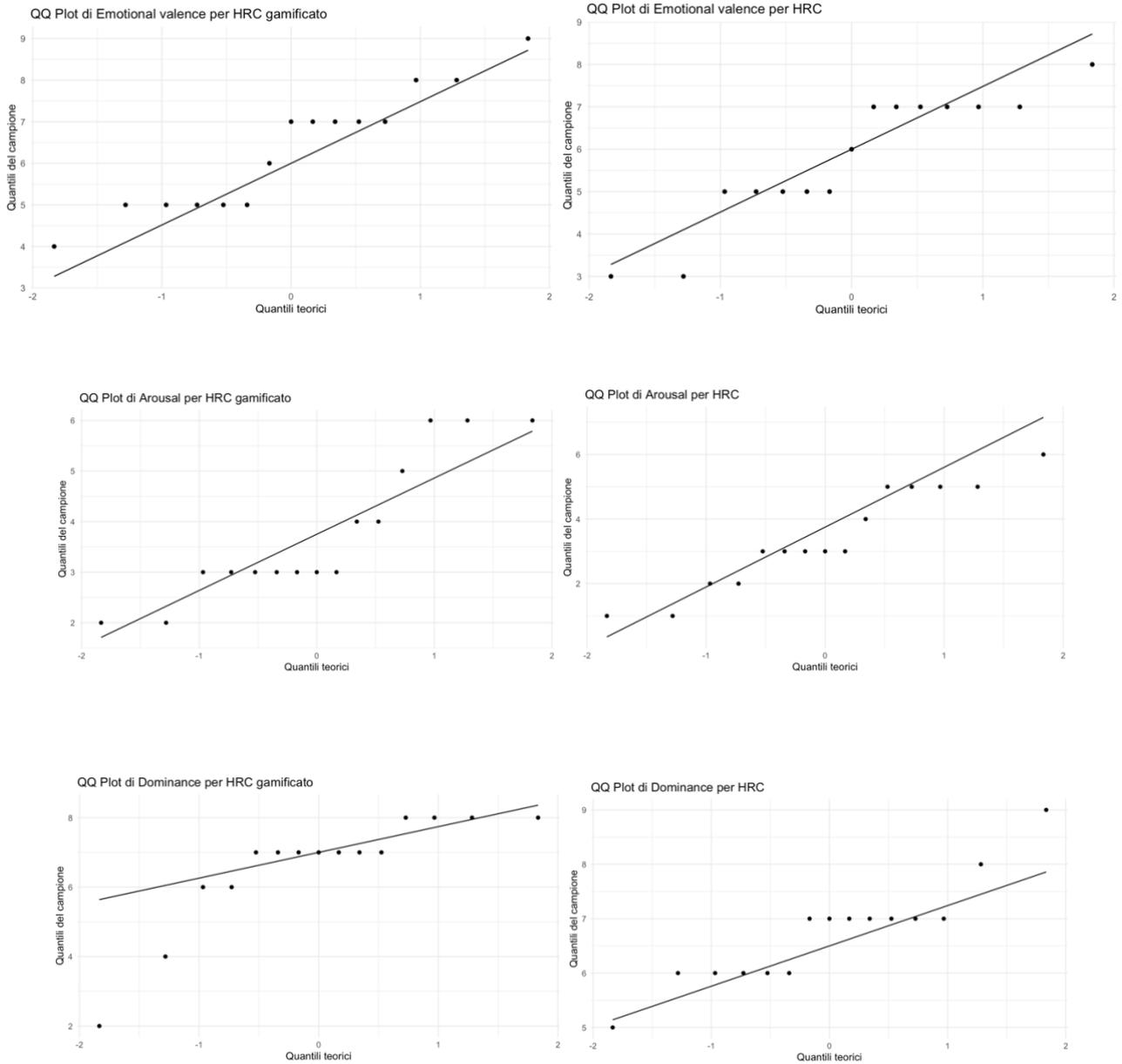


Figura 5.23 Q-Q Plot parametri SAM per la prova gamificata e la prova standard

Shapiro - Wilk test Emotional Valence		
Prova	W	p-value normalità
HRC gamificato	0,9151	0,1621
HRC	0,86909	0,03272

Tabella 5.28 Shapiro - Wilk test Emotional Valence per la prova gamificata e per la prova non gamificata

<b>Shapiro - Wilk test Arousal</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,74344	0,0007545
HRC	0,88449	0,05539

*Tabella 5.29 Shapiro - Wilk test Mental Demand per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

<b>Shapiro - Wilk test Dominance</b>		
<b>Prova</b>	<b>W</b>	<b>p-value normalità</b>
HRC gamificato	0,693627	0,00064893
HRC	0,919384	0,06736

*Tabella 5.30 Shapiro - Wilk test Dominance per la prova gamificata e per la prova non gamificata*

Data l'evidenza che alcune distribuzioni non seguono la normalità, in particolare nessuna metrica è distribuita normalmente sia nella prova gamificata sia nella standard, è appropriato considerare test non parametrici per confrontare le due modalità. È stato svolto il test Wilcoxon Signed-Rank per confrontare le distribuzioni delle due prove relative alle tre metriche. Successivamente, sono presentati i relativi boxplot.

<b>Test Wilcoxon Signed-Rank Emotional Valence</b>	
Statistiche	V=9
P-value	0,2293

*Tabella 5.31 Test Wilcoxon Signed-Rank Emotional Valence*

<b>Test Wilcoxon Signed-Rank Arousal</b>	
Statistiche	V=24
P-value	0,4427

*Tabella 5.32 Test Wilcoxon Signed-Rank Arousal*

<b>Test Wilcoxon Signed-Rank Dominance</b>	
Statistiche	V=44
P-value	0,9421

*Tabella 5.33 Test Wilcoxon Signed-Rank Dominance*

Boxplot di Emotional valence per HRC e HRC gamificato

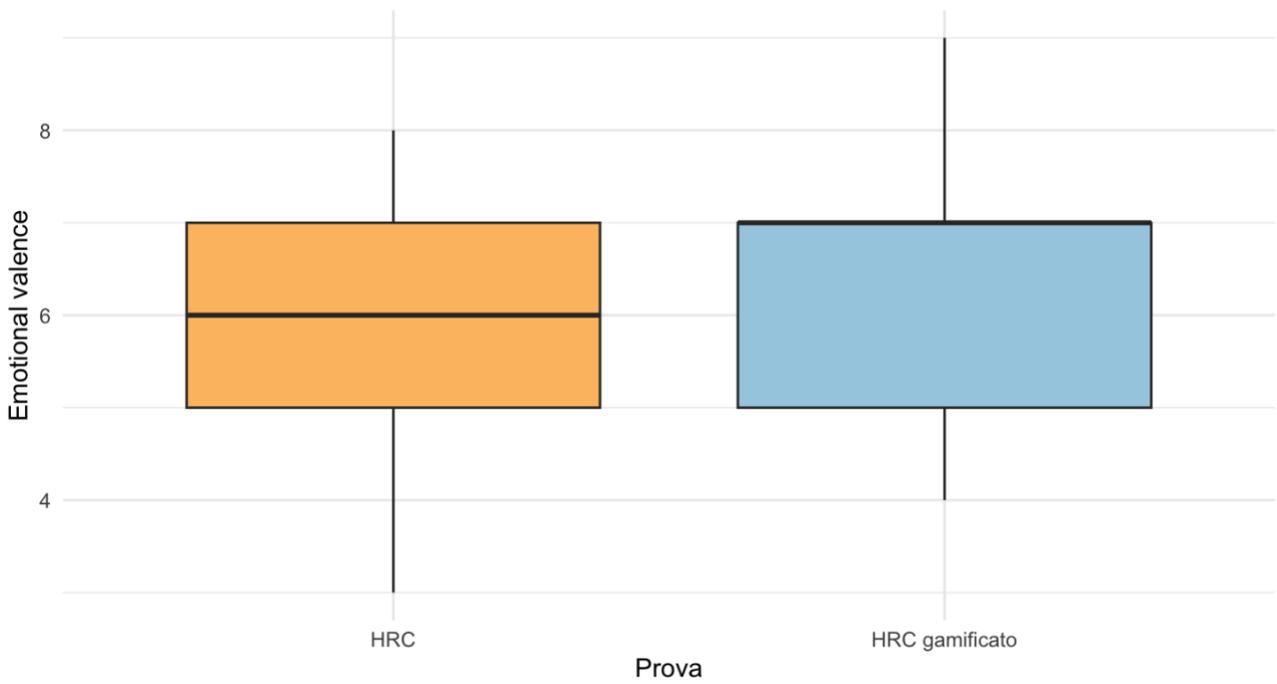


Figura 5.24 Boxplot dell'Emotional Valence per la prova gamificata e la prova standard relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Boxplot di Arousal per HRC e HRC gamificato

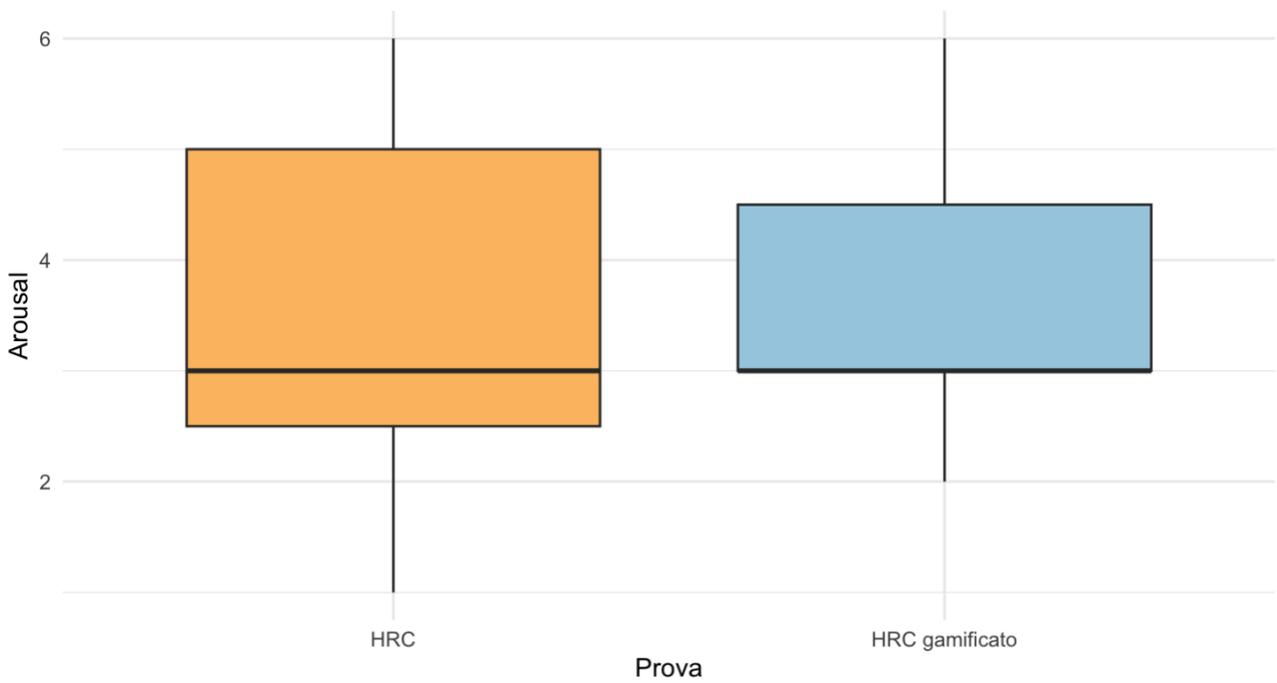


Figura 5.25 Boxplot dell'Arousal per la prova gamificata e la prova standard relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

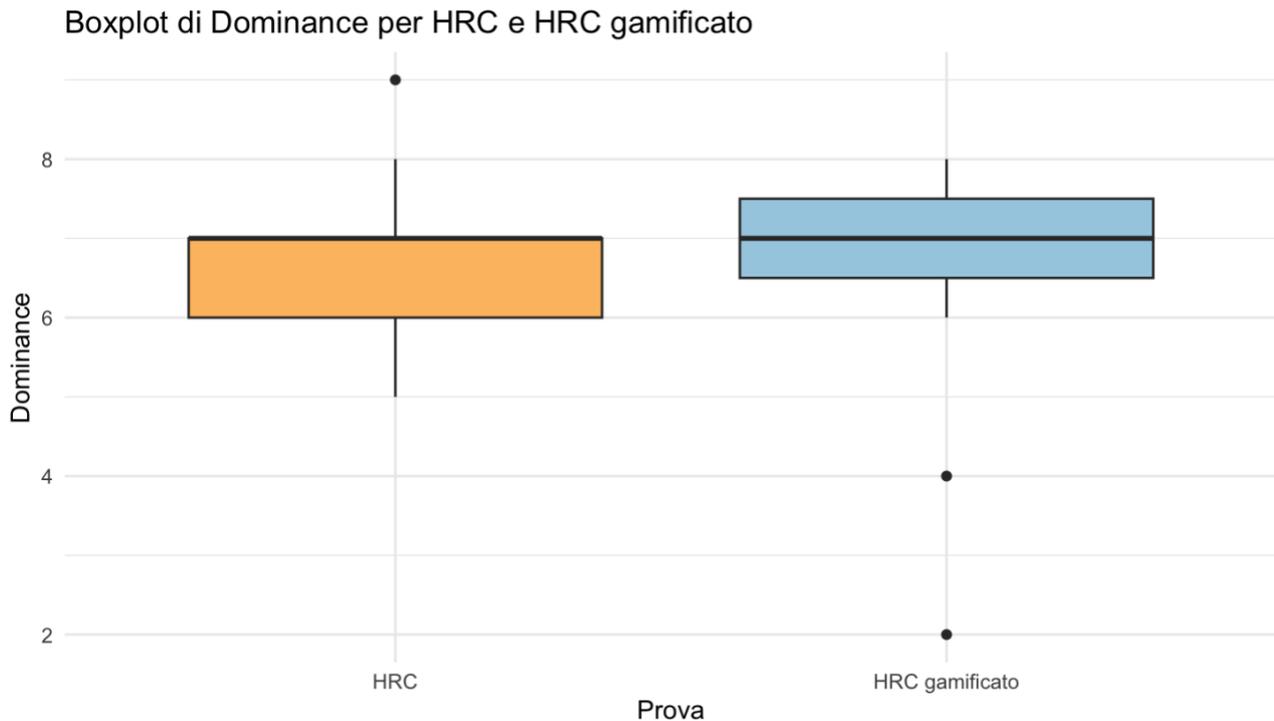


Figura 5.26 Boxplot della Dominance per la prova gamificata e la prova standard relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Dai boxplot e dai test Wilcoxon Signed-Rank si evince che non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla che vi sia una differenza apportata dalla gamification nelle tre metriche caratteristiche del SAM. Le V basse e i p-value maggiori di 0,05, indicano che non ci sono differenze significative tra le due modalità.

## 5.4 Analisi dei risultati del questionario GEQ

Per analizzare i risultati il questionario GEQ su RStudio, sono state trasformate le risposte (YES, MAYBE e NO) in valori numerici (rispettivamente 3,2 e 1) sfruttando RStudio.

Vista la difficoltà ad analizzare le risposte ad un questionario di questo tipo, è stata approfondita esclusivamente la domanda "I really get into the game" per verificare se la prova gamificata abbia effettivamente trasmesso l'idea di gioco ai partecipanti che l'hanno svolta. È stato usato il test non parametrico Wilcoxon Signed-Ranked dati appaiati, essendo il dataset dei risultati non distribuito normalmente, per verificare l'ipotesi nulla che non ci sia alcuna differenza tra la modalità HRC

gamificata e HRC standard in termini di quanto i partecipanti si siano sentiti immersi nel gioco. Sono presentati successivamente i boxplot relativi ai risultati di questa analisi per le due prove.

Test Wilcoxon Signed-Rank	
Statistiche	$V \approx 0$
P-value	0,04771

Tabella 5.34 Test Wilcoxon Signed-Rank GEQ "I really get into the game"

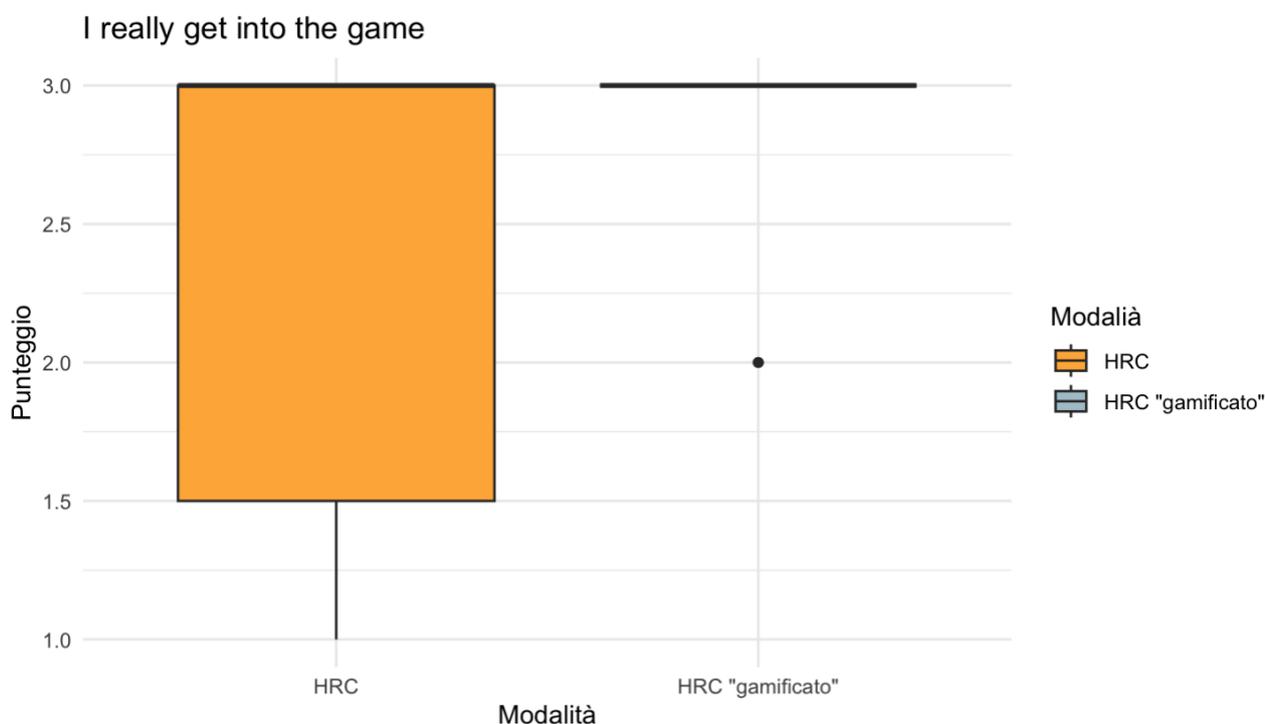


Figura 5.27 Boxplot del GEQ per la domanda "I really get into the game" relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti per la prova gamificata e non gamificata

Un valore prossimo allo 0 per la statistica "V" indica che tutte le differenze tra le due condizioni sono non positive, il che è un'indicazione piuttosto forte della direzione delle differenze tra le due prove. Con un p-value di 0,04771, inferiore al livello di significatività di 0,05, è possibile rifiutare l'ipotesi nulla. Inoltre, dai boxplot si evince come la prova gamificata abbia avuto come risposta quasi esclusivamente "YES" alla domanda "I really get into the game" del questionario GEQ . Dunque, vi è una differenza significativa nell'immersione nel gioco tra le due modalità. L'elemento di gamificazione sembra quindi aver influenzato significativamente il livello di immersione dei partecipanti nel gioco

## 5.5 Analisi delle durate

Per ottenere dei risultati dal dataset relativo ai tempi impiegati per ogni livello per le cinque ripetizioni di ogni prova, è stata svolta in primo luogo una normalizzazione Min-Max sull'intero dataset. Una normalizzazione min-max per partecipante per questo tipo di database avrebbe portato a una distorsione dei risultati, siccome sarebbe potuto accadere che uno dei due set di dati, HRC gamificato e HRC, contenesse il valore massimo della durata di un livello e che l'altro il valore minimo. Una normalizzazione sull'intero dataset, invece, permette una visione completa di come ciascuna prova si posiziona rispetto all'intera distribuzione delle misurazioni tra tutti i partecipanti.

Una volta normalizzato il database, sono state elaborate le statistiche descrittive e gli istogrammi sul totale dei livelli relativi alla prova gamificata e alla prova non gamificata per le due tipologie di prove. Per farlo, è stato creato una colonna per il totale della durata per ogni riga su RStudio, la quale contiene la somma di tutti i tempi di ogni livello per le due tipologie di prova. Sono stati individuati anche per la prova standard dei livelli, identificandoli con gli step di assemblaggio della task.

Prova	Statistica descrittiva	
HRC gamificato	Media	3,36
	Errore standard	0,366
	Mediana	3,26
	Deviazione standard	1,42
	Varianza	2,01
	Minimo	1,40
	Massimo	6,19
HRC	Media	5,81
	Errore standard	0,619
	Mediana	5,58
	Deviazione standard	2,40
	Varianza	5,75
	Minimo	1,92
	Massimo	9,24

Tabella 5.35 Statistiche descrittive durate normalizzate totali per la prova gamificata e non gamificata relative al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

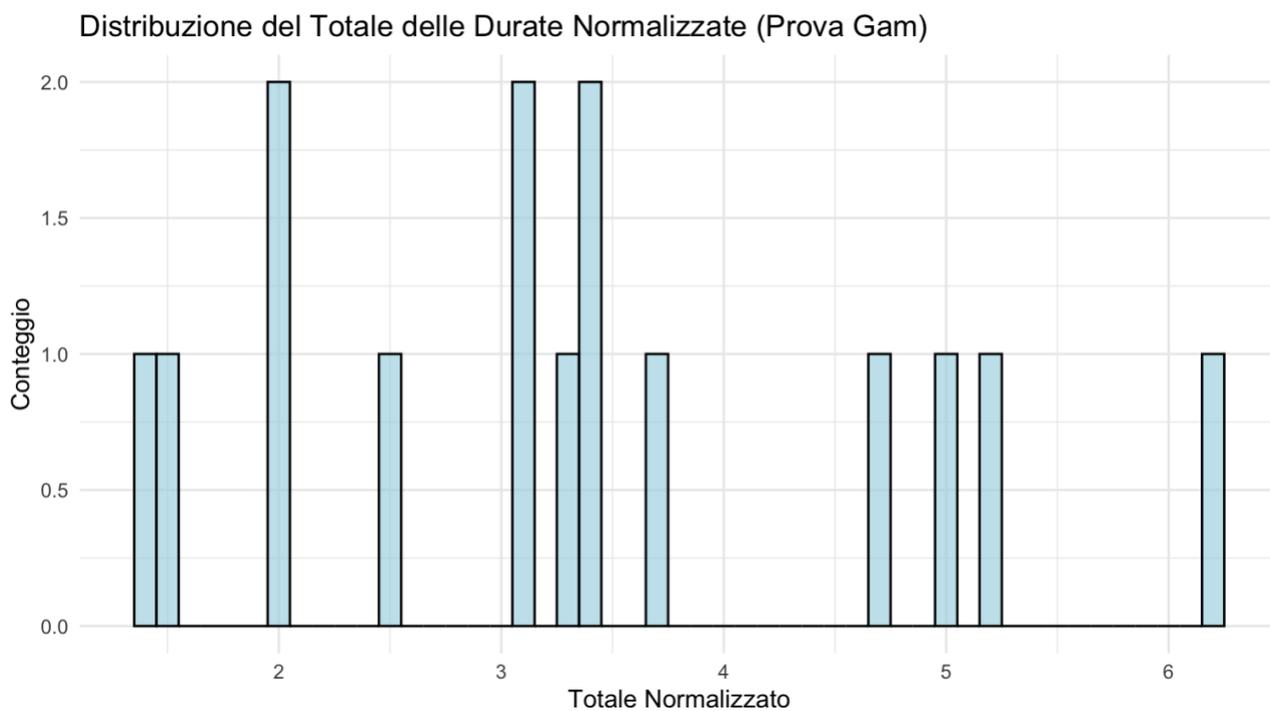


Figura 5.28 Istogramma distribuzione durate normalizzate totali prova gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolto da tutti i partecipanti

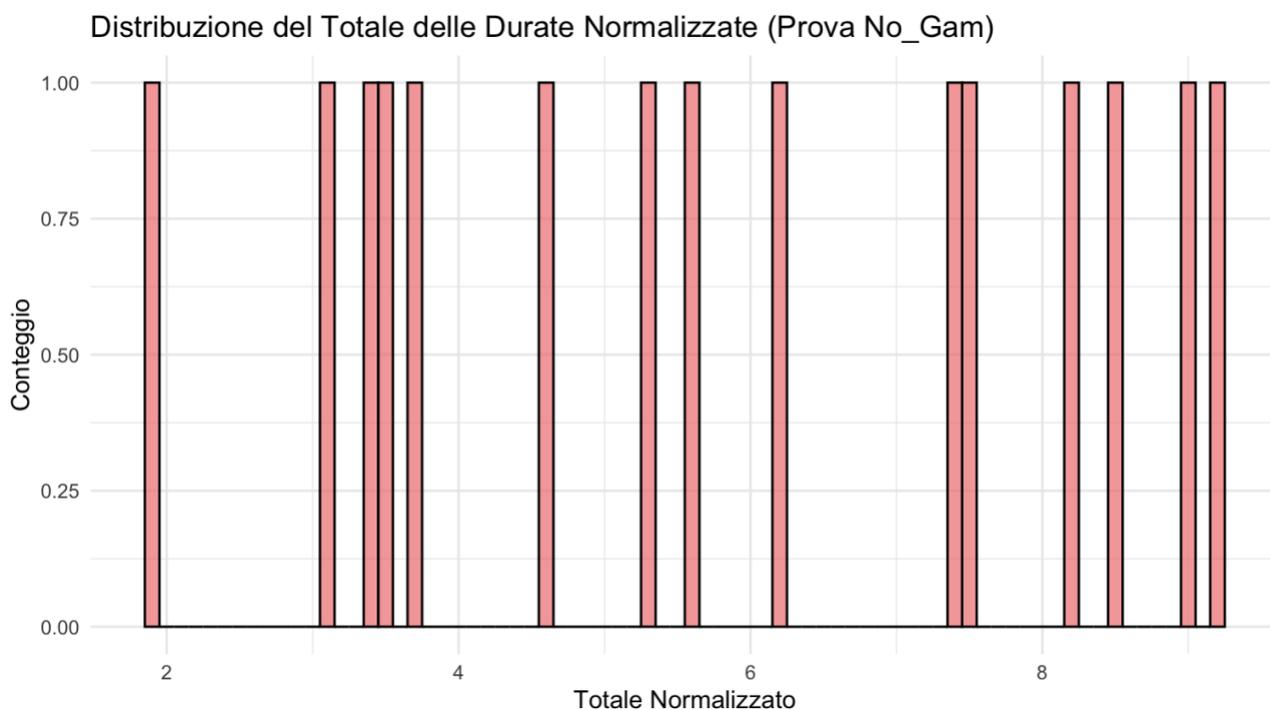


Figura 5.29 Istogramma distribuzione durate normalizzate totali prova non gamificata relativo al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolto da tutti i partecipanti

È stata verificata poi la normalità delle distribuzioni. Per testarla sono stati usati dei grafici Q-Q Plot e il test Shapiro-Wilk.

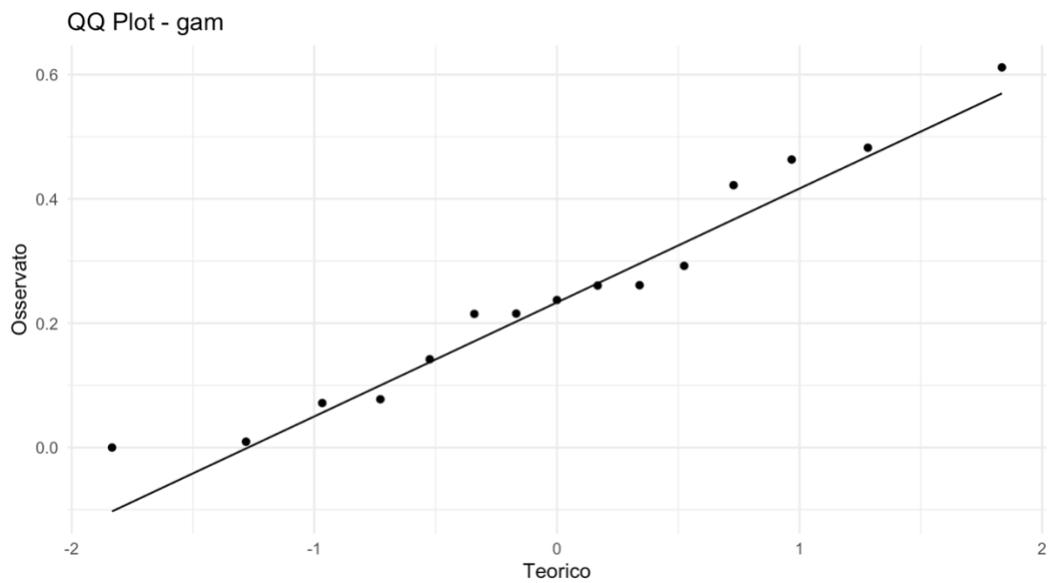


Figura 5.30 Q-Q Plot durate normalizzate totali per la prova gamificata

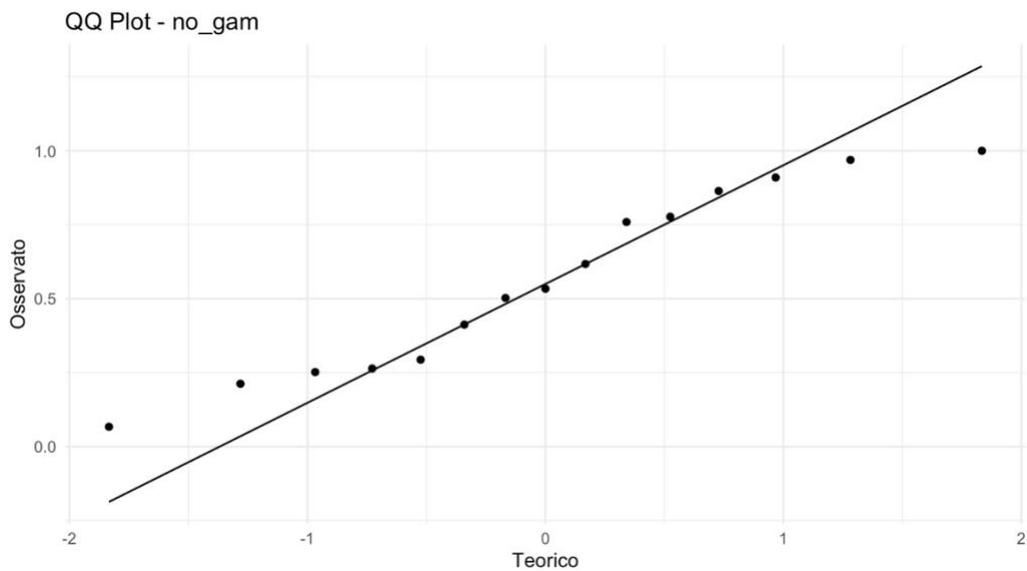


Figura 5.31 Q-Q Plot durate normalizzate totali per la prova non gamificata

Shapiro -Wilk test durate normalizzate totali		
Prova	W	p-value normalità
HRC gamificato	0,95129	0,545
HRC	0,93869	0,3662

Tabella 5.36 Shapiro -Wilk test durate normalizzate totali per la prova gamificata e per la prova non gamificata

Come è visibile anche dai grafici Q-Q Plot, lo Shapiro-Wilk test ha dato come risultati dei p-value molto alti. Dunque, si accetta l'ipotesi nulla di normalità del database.

Per confrontare le medie tra le prove gamificate e standard è stata svolto il Test t.

Test t appaiato durate normalizzate totali	
Valore di t	t = -4,6235
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,0003944
Intervallo di confidenza al 95%	(-0,4560217 ; -0,167007)
media HRC gamificato-media HRC	-0,3115147

Tabella 5.37 Test t appaiato durate normalizzate totali

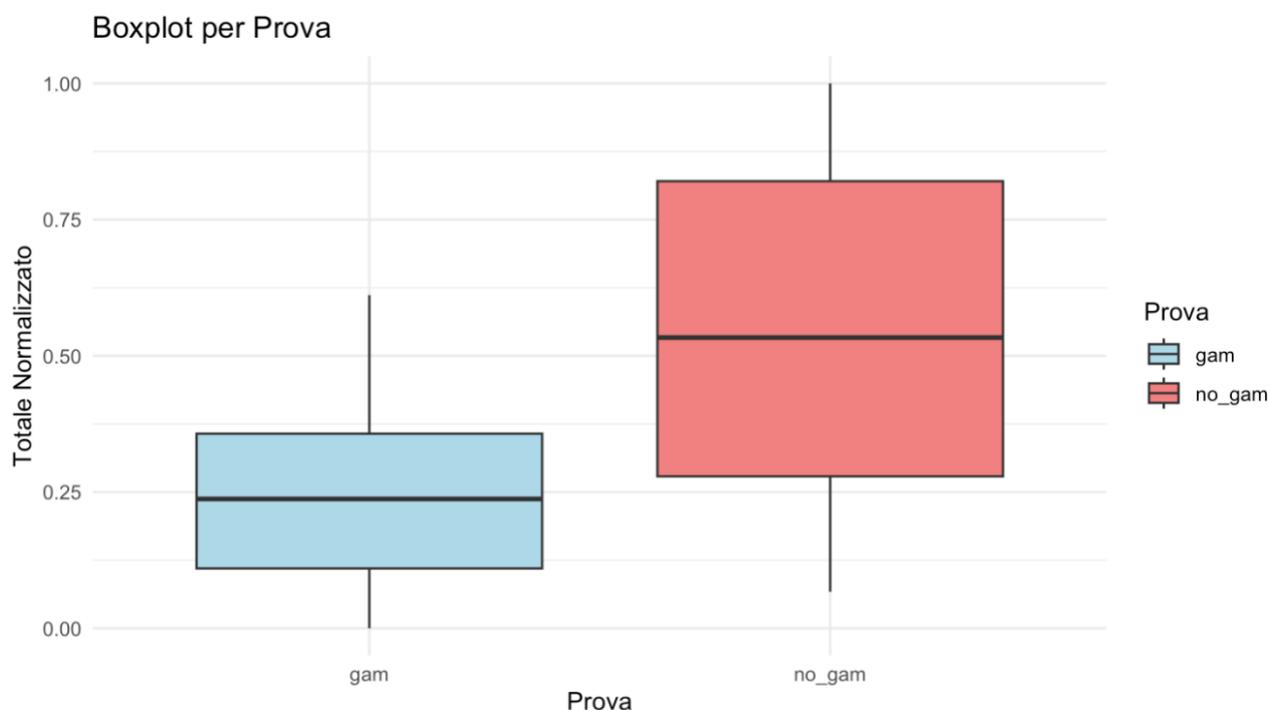


Figura 5.32 Boxplot durate normalizzate totali della prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Il p-value estremamente basso indica che è possibile rifiutare l'ipotesi nulla che le medie dei due gruppi siano uguali. L'intervallo di confidenza non include lo 0, il che rafforza ulteriormente la conclusione che esiste una differenza significativa. Il test, dunque, suggerisce che la prova HRC tende ad avere tempi più lunghi rispetto alla prova HRC gamificata.

È riportata ora l'analisi sul database originale senza alcuna normalizzazione. È stato creato, anche in questo caso, una colonna per il totale della durata per ogni riga su RStudio, la quale contiene tutti i

tempi di ogni livello per le due tipologie di prova. Dopo aver svolto lo Shapiro-Wilk test ed aver verificata la normalità è stato eseguito il t-test appaiato.

Shapiro -Wilk test		
Prova	W	p-value normalità
HRC gamificato	0,95129	0,545
HRC	0,93869	0,3662

Tabella 5.38 Shapiro-Wilk test durate totali per la prova gamificata e per la prova non gamificata

t-test Appaiato	
Statistica t	-4,5228
Gradi di libertà	df = 14
P-value	0,0004779
Intervallo di confidenza al 95%	(-370,1945 ; -132,0295)
Differenza medie HRC gamificato e HRC	-251,112

Tabella 5.39 t-test Appaiato durate totali

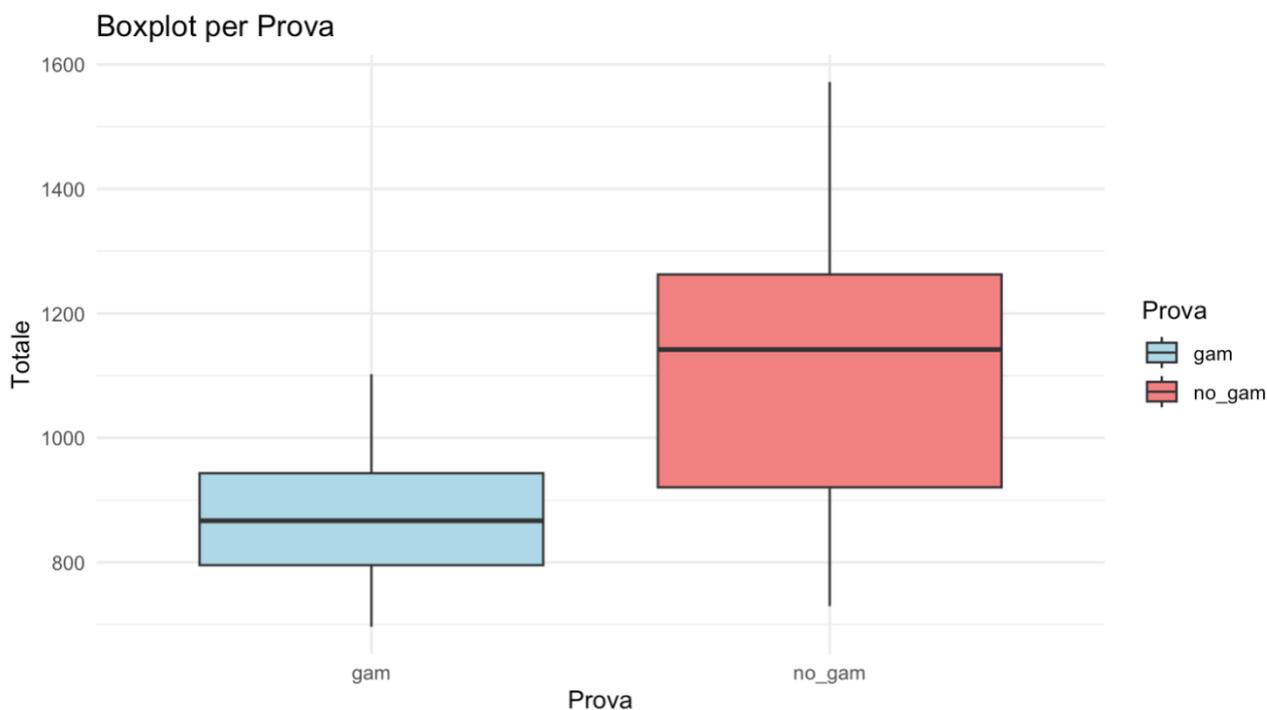


Figura 5.33 Boxplot durata totale della prova gamificata e non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

I risultati indicano che vi è una differenza significativa tra le durate delle due prove. Questo risultato suggerisce anche in questo caso che la condizione di non gamificazione tende ad aumentare le durate complessive rispetto alla condizione di gamificazione.

È stata svolta un'ulteriore analisi per verificare se esistesse una differenza significativa tra le misurazioni dei tempi della prima ripetizione rispetto a quella finale (la quinta) per le due tipologie di prove svolte dai partecipanti dell'esperimento. Sono state dunque sommate le tre colonne relative ai tempi dei livelli della prima ripetizione e quelle relative ai tempi delle ultime ripetizioni. L'obiettivo di questa analisi è valutare se la gamification ha apportato un miglioramento significativo nella velocità di apprendimento dell'assemblaggio o se è possibile trarre altre conclusioni.

Per svolgere questa analisi è stata calcolata la media delle differenze tra la prima e l'ultima ripetizione per ciascuna prova e, successivamente, è stato eseguito il test U di Mann-Whitney per confrontare queste medie tra i due gruppi, sotto l'ipotesi nulla che le differenze tra la prima e l'ultima ripetizione per le due prove siano uguali. È stato utilizzato questo test, adatto per campioni non correlati, in quanto è stata ipotizzata l'indipendenza tra le due misure a confronto. Infine, sono presentati i boxplot.

Test U di Mann -Whitney	
Statistiche	W=158,5
P-value	0,0591

Tabella 5.40 Test U di Mann -Whitney della differenza della durata tra l'ultima e la prima ripetizione

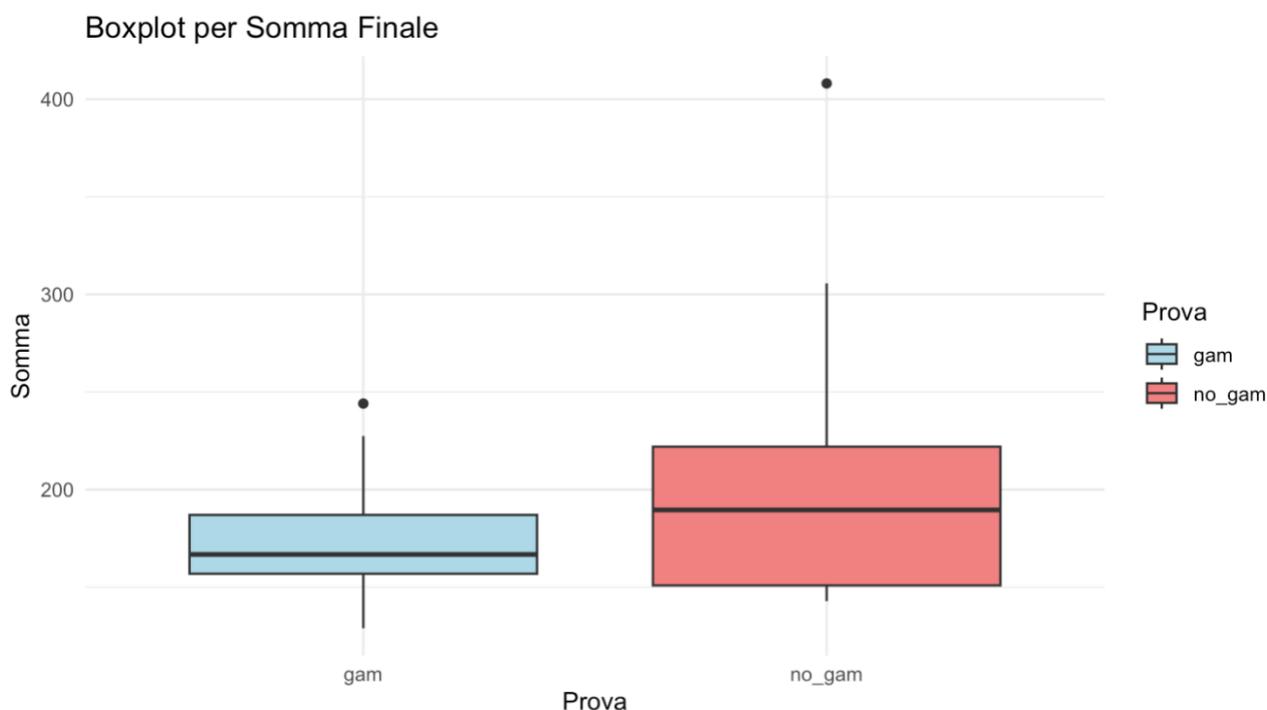


Figura 5.34 Boxplot differenza della durata tra l'ultima e la prima ripetizione per la prova gamificata e non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

Il risultato del test U di Mann-Whitney mostra che non ci sono variazioni statisticamente significative tra le differenze per le prime e le ultime ripetizioni delle due prove. Il p-value, seppur di poco, è superiore a 0,05 non permette di rifiutare l'ipotesi nulla. Osservando però i boxplot, si evince che l'ampiezza delle differenze tra la durata delle prime ripetizioni rispetto alle ultime è maggiore nelle prove non gamificate. Inoltre, queste differenze sono prevalentemente negative, ciò significa che le quinte ripetizioni sono durate più tempo delle prime. Ciò potrebbe essere dovuto a diversi fattori, come la motivazione individuale o l'assenza di elementi stimolanti come quelli presenti nella prova gamificata. In particolare, questo potrebbe implicare che senza elementi di gioco i partecipanti possono perdere interesse e motivazione nel tempo e quindi, allo stesso modo, che grazie alla gamification le attività per gli operatori possono sembrare meno alienanti e più stimolanti, oltre che aiutare a mantenere alte le performance, anche nel lungo periodo.

## 5.6 Analisi degli errori umani totali

Sono analizzati in questo paragrafo gli errori individuati durante le due tipologie di prova. Sono stati presi in considerazione solo gli errori umani ed è stato dato lo stesso peso ad ogni tipo di errore. L'analisi è stata svolta sugli errori totali per prova. È stata creata dunque un'ulteriore colonna con la somma degli errori svolti in ogni livello di ogni ripetizione, individuando, anche in questo caso, come livelli gli step di assemblaggio per la prova standard. Dunque, svolta la normalizzazione Min-Max, è stata testata l'ipotesi nulla che gli errori nella prova gamificata e quella non gamificata non abbiano differenze significative.

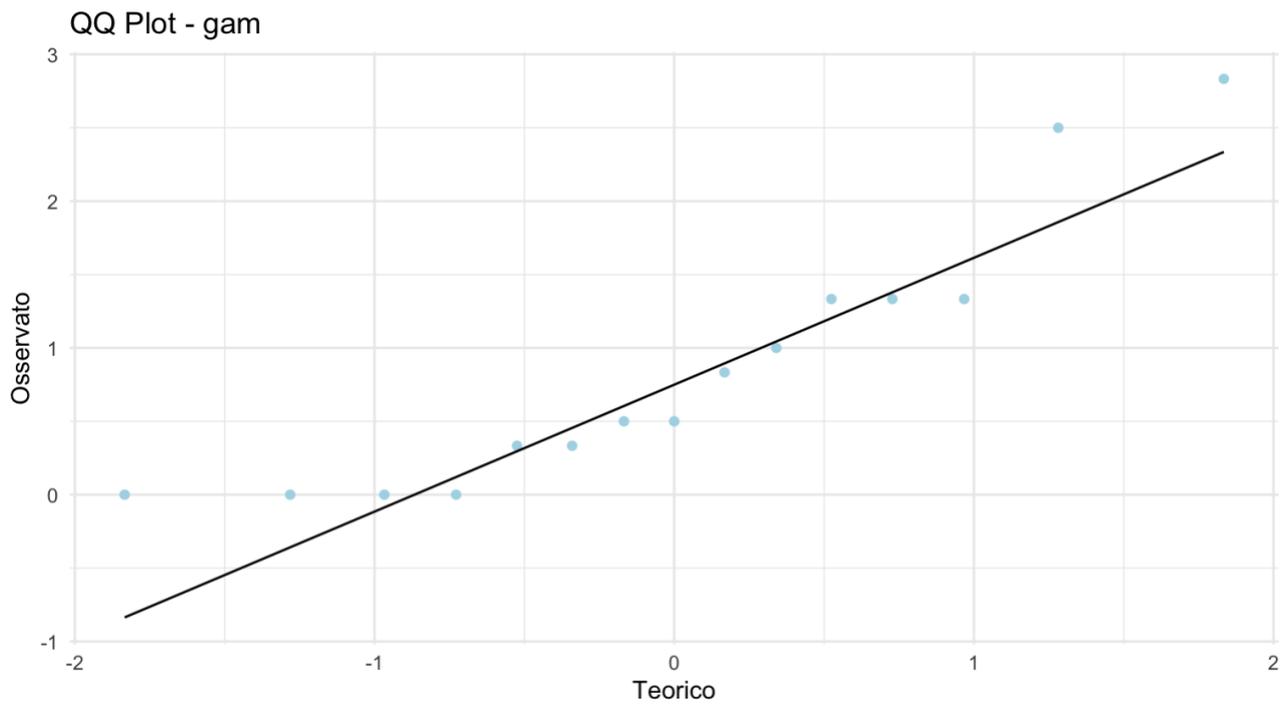


Figura 5.35 Q-Q Plot totale errori umani prova gamificata

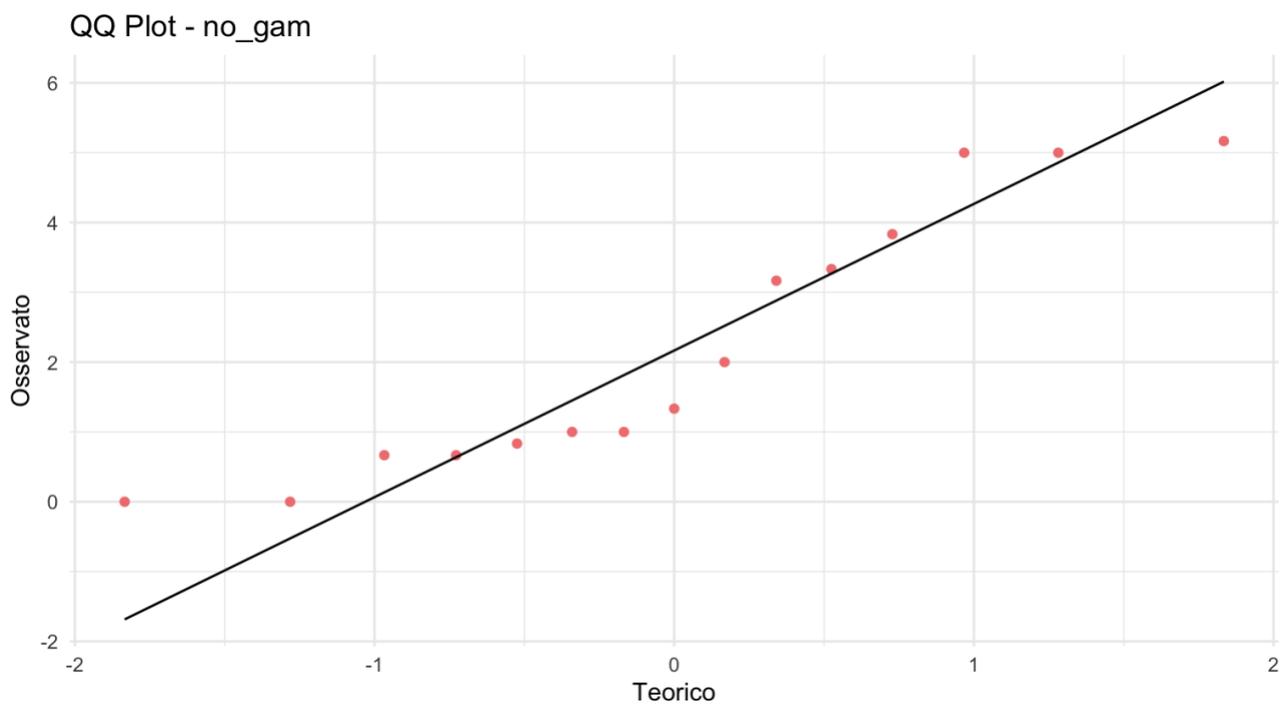


Figura 5.36 Q-Q Plot totale errori umani prova non gamificata

Shapiro -Wilk test		
Prova	W	p-value normalità
HRC gamificato	0,98245	0,9835
HRC	0,94817	0,4962

Tabella 5.41 Shapiro -Wilk test totale errori umani per la prova gamificata e per la prova non gamificata

Entrambe le distribuzioni possono essere approssimate a una normale, dunque è stato svolto il test t appaiato. Successivamente, sono riportati i boxplot.

Test t Appaiato totale errori umani	
Valore di t	t = -1,1191
Gradi di libertà (df)	14
P-value	0,2819
Intervallo di confidenza al 95%	(-1,4906685; 0,4684463)
media HRC gamificato-media HRC	-0,51111111

Tabella 5.42 test t Appaiato totale errori umani

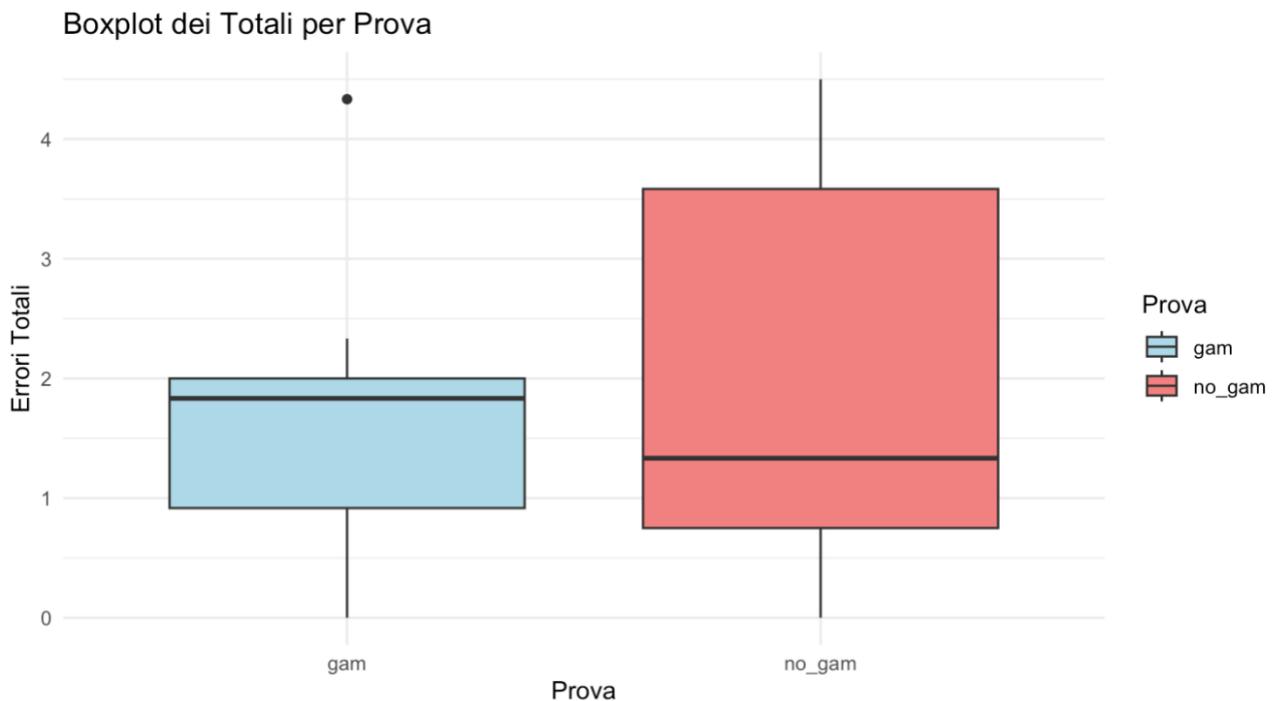


Figura 5.37 Boxplot totale errori umani per la prova gamificata e per la prova non gamificata relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

I risultati indicano che non vi è una differenza significativa tra le due prove. La differenza osservata tra le medie del totale degli errori umani relative alle due tipologie di prova non è abbastanza grande da essere considerata statisticamente significativa.

## 5.7 Analisi dei risultati dell'Eye Tracking

Sono state analizzate le principali metriche del database dei dati relativi all'Eye Tracking testando anche in questo caso l'ipotesi nulla che non vi siano differenze significative tra la prova gamificata e la prova standard con un errore di prima specie di 0,05. I dati ottenuti sono stati normalizzati con la normalizzazione Min-Max per partecipante. Relativamente a questo database sono riportati unicamente i boxplot delle metriche principali, in quanto queste metriche sono difficilmente confrontabili per le due tipologie di prova. Ciò è dovuto al fatto che vi è una differenza sostanziale tra la prova gamificata e quella standard: la presenza di uno schermo nella prova gamificata che può compromettere i dati per questa indagine, essendo il campo visivo dei partecipanti differente nelle due tipologie di task. Nonostante ciò, è stata svolta un'analisi delle distribuzioni dei vari parametri e sono riportati di seguito i boxplot relativi alle varie metriche per le due tipologie di prove con i rispettivi p-value.

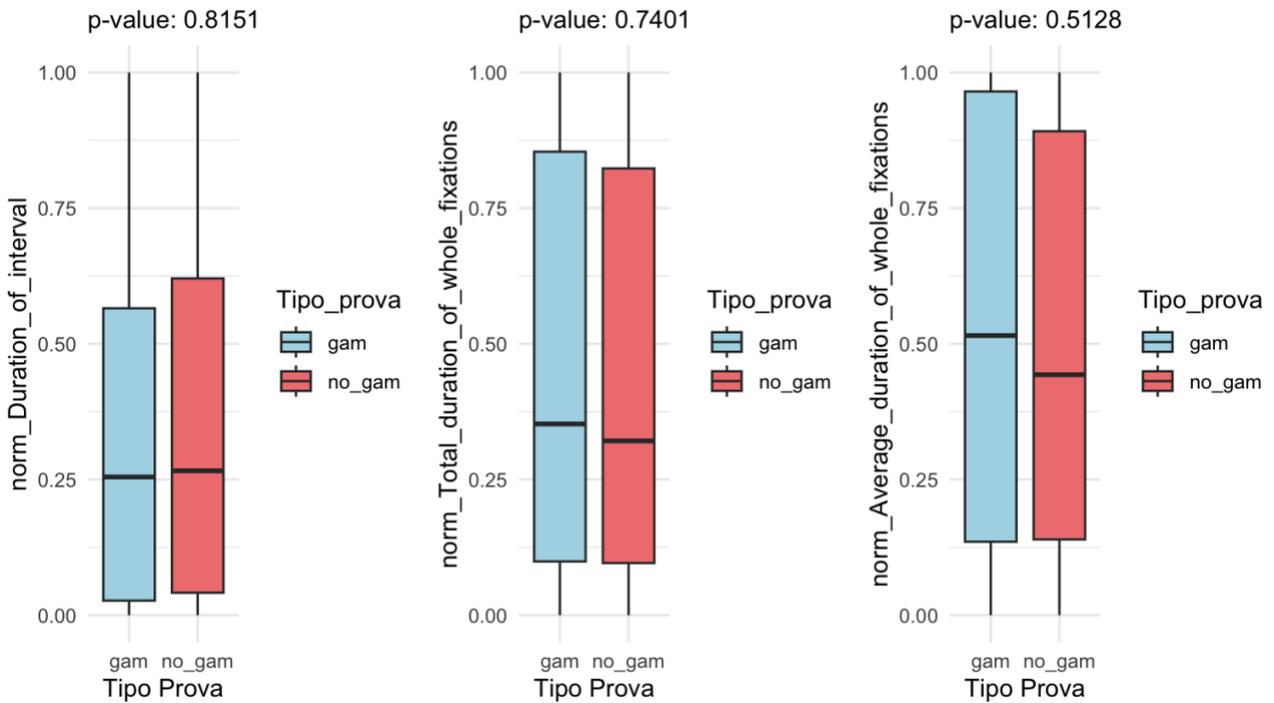


Figura 5.38 Boxplot della durata di intervallo, durata totale delle fissazioni e la durata media totale delle fissazioni, relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

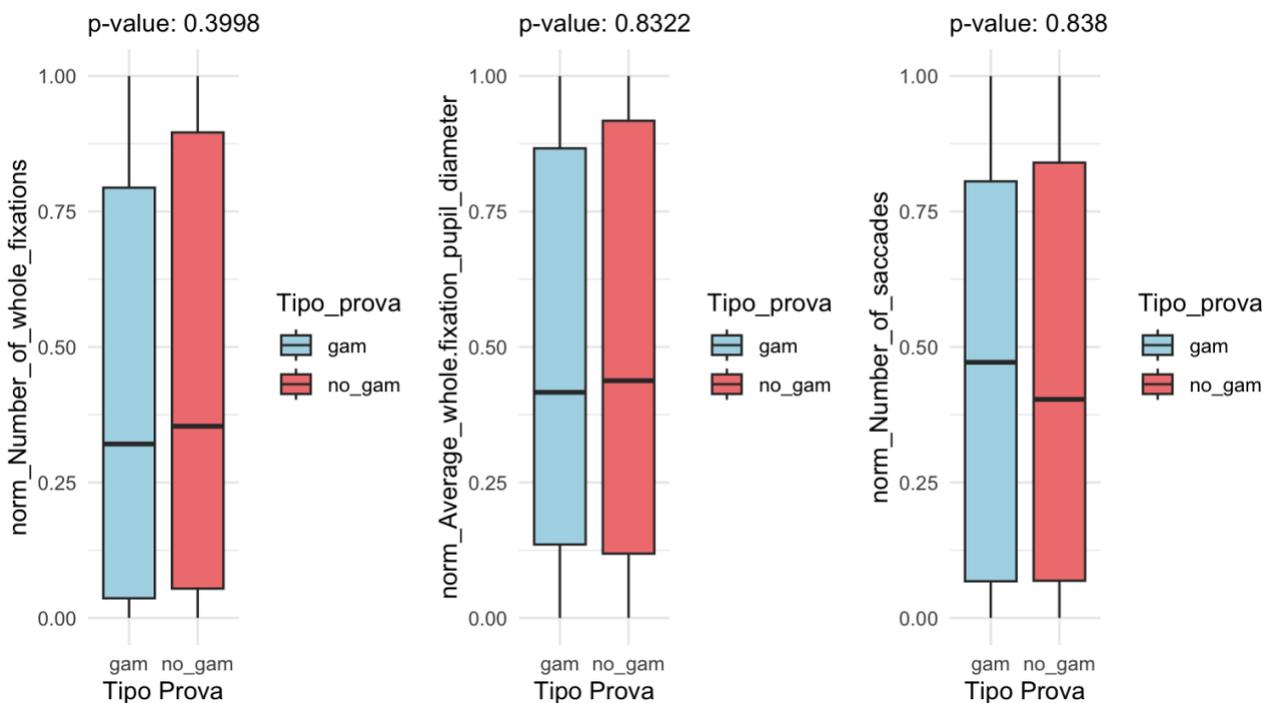


Figura 5.39 Boxplot del numero delle fissazioni, diametro medio delle pupille durante le fissazioni, numero delle saccadi, relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

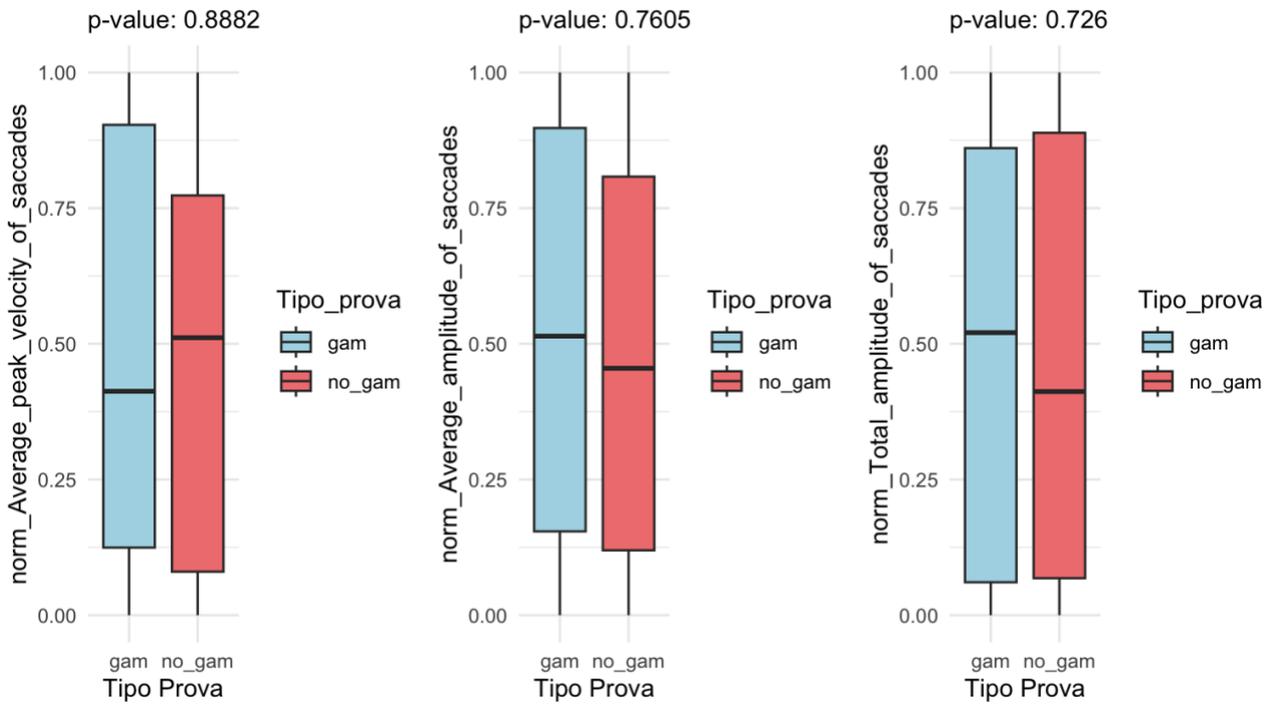


Figura 5.40 Boxplot della velocità media di picco della saccadi, ampiezza media delle saccadi, ampiezza totale delle saccadi average peak velocity of saccades, relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

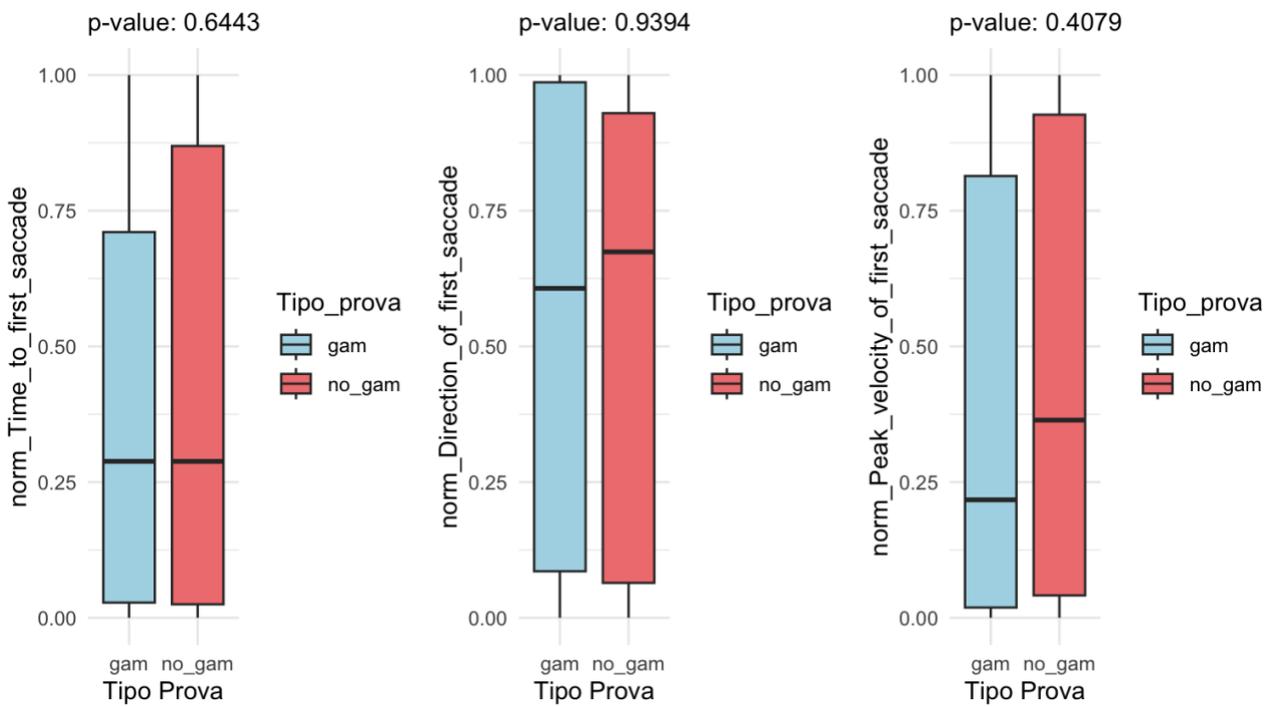


Figura 5.41 Boxplot del tempoper la prima saccade, direzione della prima saccade, velocità della prima saccade, relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperimento svolto da tutti i partecipanti

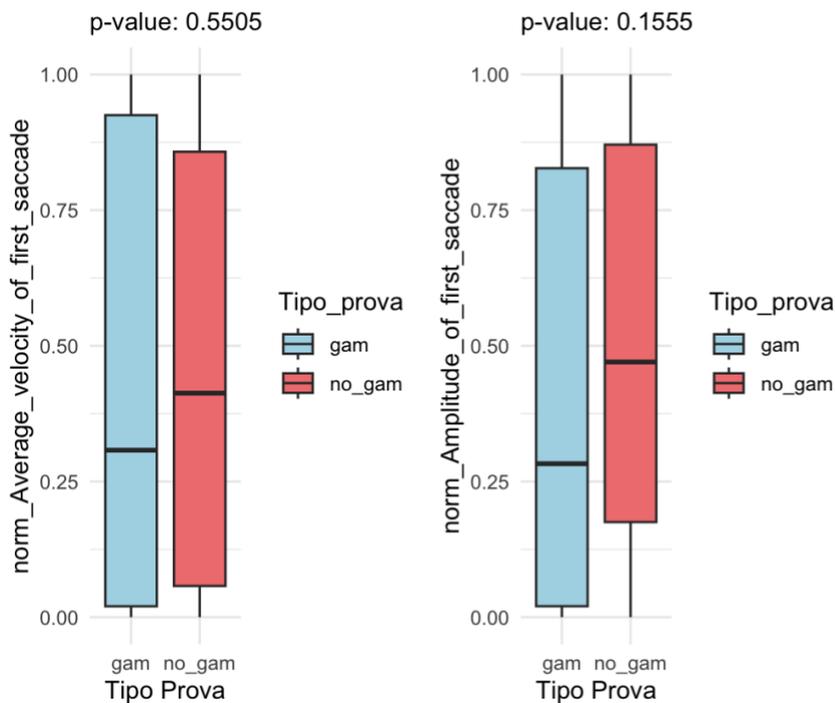


Figura 5.42 Boxplot della velocità media della prima saccade, ampiezza della prima saccade, relativi al database unico creato con i dati ottenuti dall'esperienza svolto da tutti i partecipanti

I p-value per ogni metrica sono maggiori di 0,05, dunque non vi è una differenza statisticamente significativa tra le medie delle metriche di Eye Tracking analizzate rispetto alla prova prova gamificata e a quella standard. Non si può rifiutare dunque l'ipotesi nulla. Questo risultato può essere comunque interpretato. La mancanza di differenze significative suggerisce che l'aggiunta della gamificazione non ha influenzato negativamente le metriche dell'Eye Tracking. Questo può essere visto come un segnale positivo, indicando che la gamificazione non ha distratto o alterato il comportamento visivo degli utenti in modo significativo.

## 6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si è posto l'obiettivo di ideare, strutturare e dar vita un gioco in ambito manifatturiero sfruttando delle metriche di gamification, di svilupparlo inserendo all'interno di una task di assemblaggio queste metriche, di testarlo in un esperimento con un campione di 15 individui che hanno svolto ognuno sia la task di assemblaggio gamificata sia la task originale standard e, infine, di valutare gli impatti della gamification analizzando i dati ottenuti dagli strumenti utilizzati durante l'esperimento.

Nell'elaborato è presentata un'analisi della letteratura sulle origini e gli sviluppi della gamification in generale e della gamification nel settore manifatturiero. Successivamente, sono state riportate le principali teorie e i principali framework legati a questo ambito e sono stati presentati i passaggi svolti e gli strumenti utilizzati per la realizzazione del gioco testato durante l'esperimento.

Le analisi svolte hanno riguardato molte dimensioni della collaborazione tra uomo e robot, alcune di interesse prettamente industriale come l'efficienza del processo produttivo e l'analisi dei difetti, altre più incentrate sul benessere dell'operatore, come analisi dello stress fisico e mentale. I risultati ottenuti indicano che la task gamificata è stata associata a risposte a stimoli specifici meno variabili (SCR) e a livelli di arousal tonico più bassi (SCL) rispetto alla task standard. Ciò suggerisce che un ambiente gamificato può ridurre i livelli di stress a lungo termine e diminuire la variabilità dell'arousal tonico, creando un ambiente meno stressante e più stabile per gli operatori.

Inoltre, i risultati mostrano che la gamification ha un effetto positivo sul sistema nervoso autonomo, migliorando la variabilità della frequenza cardiaca, il che si traduce in un SDNN più elevato.

Il questionario NASA TLX testimonia come i partecipanti all'esperimento abbiano percepito complessivamente meno stress nella prova gamificata, oltre che uno stimolo positivo legato ai rendimenti delle loro performance. Il questionario GEQ conferma che gli individui si siano realmente sentiti all'interno di un gioco. Inoltre, seppur non siano statisticamente significativi i risultati sulle differenze del numero di difetti nelle due prove di assemblaggio, sono significativi i miglioramenti delle durate dello svolgimento della task con le metriche di gamification. Infine, i risultati dell'analisi dell'Eye Tracking non riscontrando differenze significative tra le due modalità, dimostrando che la gamificazione non ha distratto o alterato il comportamento visivo degli utenti.

I risultati, dunque, suggeriscono che la gamification potrebbe avere un impatto significativo in questo settore. Integrando elementi di gioco nelle attività di lavoro quotidiane si può mantenere un alto livello di motivazione e ridurre la sensazione di alienazione, migliorando la qualità del lavoro e le performance degli operatori. Inoltre, questa disciplina può portare grandi miglioramenti nella

formazione degli operatori, velocizzandone l'apprendimento, soprattutto nell'utilizzo di nuove tecnologie.

Lo studio ha dunque evidenziato che la gamification potrebbe avere un impatto rilevante nel manufacturing, migliorando l'engagement, riducendo lo stress, aumentando la precisione e l'efficienza operativa. Tuttavia, l'implementazione di metriche di gamification richiede una progettazione attenta e mirata, adatta alle specifiche esigenze del settore. Futuri studi potrebbero esplorare ulteriormente l'applicazione della gamification nel manufacturing con diverse tipologie di collaborazione uomo-robot. Inoltre, sarebbe interessante analizzare l'impatto della gamification su scala più ampia e in contesti reali, al di fuori dell'ambiente di laboratorio, al fine di validare ulteriormente i risultati ottenuti in ambito sperimentale e per adattare le strategie di gamification alle esigenze dinamiche del settore industriale.

I risultati ottenuti sono limitati alle condizioni di svolgimento dell'esperimento e al campione ridotto analizzato. Tuttavia, è importante sottolineare che il processo di HRC testato è molto simile a quello effettivamente utilizzato in azienda. Pertanto, nonostante le limitazioni, questo esperimento può fornire informazioni preziose e significative per il contesto industriale. Un aspetto cruciale da considerare è l'integrazione di clip audio durante il processo di assemblaggio. L'uso di audio può aiutare a mantenere alta l'attenzione degli operatori, riducendo il rischio di distrazione che potrebbe derivare dall'uso di video o immagini durante le attività di assemblaggio. Questo approccio favorisce una maggiore concentrazione e diminuisce il senso di alienamento, contribuendo a migliorare l'efficacia e la qualità del lavoro. Inoltre, è essenziale considerare l'implementazione di un gioco rinnovabile nel contesto dell'assemblaggio. Il gioco presentato può essere un esempio di questo tipo di gioco, che non solo aggiunge elemento di novità e sfida continua per gli operatori, ma può anche contribuire a mantenere l'interesse e la motivazione nel tempo. Un gioco rinnovabile, infatti, può essere costantemente aggiornato o modificato per mantenere l'engagement degli utenti, rendendo l'esperienza lavorativa più dinamica e stimolante.

L'esperimento svolto rappresenta un contributo utile agli studi esplorativi nell'ambito della Gamification for Manufacturing, fornendo spunti per ulteriori ricerche e approfondimenti replicabili in contesti simili a quello descritto, ma ambisce anche a fungere da base di partenza per futuri studi riguardanti la concreta applicazione della gamification in questo settore, stimolando nuove analisi e applicazioni pratiche.

## 7. APPENDICE

Nella Figura Appendice 1 è riportato il codice JavaScript utilizzato nella funzione 2 del flusso di Node-RED che gestisce i meccanismi centrali del gioco.

```
var level = context.get('level') || 0;
var levelsCompletedInTime = context.get('levelsCompletedInTime') || 0;
var introPlayed = context.get('introPlayed') || false;
var waitingForNextPress = context.get('waitingForNextPress') || false;
var startTime = context.get('startTime');
var timeLimits = [90, 100, 50, 130];

function sendUpdate(payload, audioEvent) {
  if (audioEvent) {
    // Includiamo l'identificativo dell'evento audio solo se necessario
    payload.audioEvent = audioEvent;
  }
  node.send({payload: payload});
}

if (msg.payload === 1) {
  if (level == 0 && !introPlayed) {
    sendUpdate({}, 'intro');
    context.set('introPlayed', true);
    context.set('waitingForNextPress', true);
  } else if (waitingForNextPress) {
    context.set('waitingForNextPress', false);
  } else if (!startTime && introPlayed && !waitingForNextPress) {
    level++;
    context.set('level', level);
    if (level <= 4) {
      startTime = Date.now();
      context.set('startTime', startTime);
      // Inviame l'aggiornamento senza evento audio per iniziare il livello
      sendUpdate({level: level, status: 'Iniziato', startTime: startTime});
    } else {
      // Gestione del termine del gioco e invio dell'evento trofeo
      var eventKey = levelsCompletedInTime === 4 ? 'goldTrophy' :
        levelsCompletedInTime === 3 ? 'silverTrophy' :
        'bronzeTrophy';
      sendUpdate({
        level: level,
        status: 'Gioco Finito',
        gameFinished: true,
        showGoldTrophy: levelsCompletedInTime === 4,
        showSilverTrophy: levelsCompletedInTime === 3,
        showBronzeTrophy: levelsCompletedInTime <= 2
      }, eventKey);
      // Reset dopo la fine del gioco
      context.set('level', 0);
      context.set('levelsCompletedInTime', 0);
      context.set('introPlayed', false);
      context.set('waitingForNextPress', false);
    }
  } else if (startTime) {
```

Figura Appendice 1: codice JavaScript utilizzato su Node-RED per lo sviluppo delle regole del gioco. Il nodo che contiene questo codice è collegato ai nodi template permettono, grazie al collegamento con la dashboard, di animare il gioco (Parte 1)

```

var endTime = Date.now();
var duration = (endTime - startTime) / 1000;
var completedInTime = duration <= timeLimits[level - 1];
if (completedInTime) levelsCompletedInTime++;
// Aggiornamento dello stato del livello con o senza successo
sendUpdate({
  level: level,
  status: 'Finito',
  duration: duration,
  completedInTime: completedInTime
}, completedInTime ? 'levelSuccess' : 'levelFail');
context.set('levelsCompletedInTime', levelsCompletedInTime);
context.set('startTime', null); // Reset per il prossimo livello
}
} else {
  return null; // Se il bottone non è premuto
}

```

Figura Appendice 2: codice JavaScript utilizzato su Node-RED per lo sviluppo delle regole del gioco. Il nodo che contiene questo codice è collegato ai nodi template permettono, grazie al collegamento con la dashboard, di animare il gioco (Parte 2)

Nella Figura Appendice 2 è riportato il codice di due dei vari nodi template utilizzati sul flusso di Node-Red per ottenere le varie metriche della task gamificata. In particolare, è presentato il codice necessario per proiettare sulla dashboard il feedback visivo e il trofeo d'oro.

Feedback visivo livello:

```

<div ng-if="!msg.payload.gameFinished"
  style="background-color: {{msg.payload.completedInTime ? 'green':
'red'}}; color: white; padding: 10px; text-align: center;">
  <p style="margin: 0;">{{msg.payload.status === 'Finito' ?
(msg.payload.completedInTime ? 'Livello completato in
tempo' : 'Livello completato non in tempo') : 'In attesa di
completamento'}}</p>
</div>

```

Trofeo oro:

```



```

Figura Appendice 3 Codice nodi template di Node-RED per il Feedback visivo di ogni livello livello e per il Trofeo oro

Nella Figura Appendice 3 è riportato il codice JavaScript utilizzato nella Funzione 4 del flusso di Node-RED utilizzata per tenere traccia dei tempi della task standard non gamificata.

```
let livello = context.get('livello') || 0;
let ultimoSegnale = context.get('ultimoSegnale') || 0;
let tempolnizio = context.get('tempolnizio') || 0;

if (msg.payload === 1) {
  let tempoCorrente = Date.now();
  let tempoPassatoDalUltimoSegnale = (tempoCorrente - ultimoSegnale) / 1000;

  if (tempoPassatoDalUltimoSegnale >= 5) {
    context.set('ultimoSegnale', tempoCorrente);

    if (livello > 0) {
      let tempoPassatoDallinizioLivello = (tempoCorrente - tempolnizio) / 1000;
      node.send({payload: `Livello ${livello} completato in ${tempoPassatoDallinizioLivello.toFixed(2)} secondi.`});
    }

    if (livello === 3) {
      livello = 0;
      node.status({fill: "blue", shape: "ring", text: "Ciclo completato. Pronto per ricominciare."});
      // Non resettare tempolnizio qui perché il livello è finito e stiamo aspettando il prossimo segnale
    } else {
      livello++;
      tempolnizio = tempoCorrente; // Aggiorna il tempo d'inizio per il nuovo livello
      context.set('tempolnizio', tempolnizio);
      node.status({fill: "green", shape: "dot", text: `Livello ${livello} iniziato.`});
    }

    context.set('livello', livello);
  } else {
    // Invia un messaggio di debug se il segnale viene ricevuto prima dei 5 secondi
    node.send({payload: `Attendere ancora ${5 - tempoPassatoDalUltimoSegnale}.toFixed(2)} secondi prima di inviare un nuovo segnale.`});
  }
} else {
  // Gestire eventuali altri casi, se necessario
}
```

Figura Appendice 4 Funzione 4: codice JavaScript per tenere traccia dei tempi della task non gamificata. Il nodo che contiene questo codice in questo caso non è collegato a nodi template in quanto non è utilizzata la dashboard per la task non gamificata.

Nella Figura Appendice 4 sono riportate le prime righe del database relativo all'attività elettrodermica EDA creato per svolgere le analisi sui parametri fisiologici dell'attività fasica SCR e dell'attività tonica SCL.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Time	EDA	tonicData	phasicData	driver	tonicDriver	phasicDriverRaw	Prova	Partecipante
2	1707,25	10,31723371	9,873861577	0,443372138	0,366669643	9,813052866	0,37097607	no_gam	P1
3	1707,5	10,30469073	9,868033794	0,436656941	0,41069006	9,809476123	0,410658893	no_gam	P1
4	1707,75	10,29503065	9,862396371	0,432634276	0,468034517	9,80618781	0,446630146	no_gam	P1
5	1708	10,29141408	9,85695757	0,434456509	0,573462071	9,803198929	0,566663681	no_gam	P1
6	1708,25	10,29675482	9,851725975	0,445028842	0,673460961	9,800520481	0,719905947	no_gam	P1
7	1708,5	10,30668059	9,846710454	0,45997014	0,653027533	9,798163466	0,695193886	no_gam	P1
8	1708,75	10,31275175	9,841920123	0,470831623	0,535101505	9,796138886	0,504386072	no_gam	P1
9	1709	10,31415489	9,837364322	0,476790568	0,454673477	9,794457742	0,445182806	no_gam	P1
10	1709,25	10,31158393	9,833052584	0,478531348	0,413262302	9,793131036	0,417221092	no_gam	P1
11	1709,5	10,30490592	9,828994615	0,475911309	0,382546111	9,792169768	0,367763866	no_gam	P1
12	1709,75	10,29608789	9,825200273	0,470887617	0,393510804	9,791584939	0,375391847	no_gam	P1
13	1710	10,28820826	9,821679551	0,466528708	0,513111729	9,791387552	0,435558009	no_gam	P1
14	1710,25	10,29170624	9,818442564	0,473263673	0,971337887	9,791489061	0,751311867	no_gam	P1
15	1710,5	10,34025257	9,815496217	0,524756354	2,061798989	9,791786708	1,890903995	no_gam	P1
16	1710,75	10,47621893	9,812841733	0,663377199	3,522821536	9,792270168	3,708183985	no_gam	P1
17	1711	10,70022143	9,810476352	0,889745082	4,457591366	9,79292912	4,826843239	no_gam	P1
18	1711,25	10,96361343	9,808394549	1,155218879	4,325947764	9,793753239	4,561304132	no_gam	P1
19	1711,5	11,20659383	9,806588888	1,400004939	3,364737784	9,794732204	3,46322117	no_gam	P1
20	1711,75	11,37910146	9,805050628	1,574050829	2,164618341	9,79585569	1,976924698	no_gam	P1
21	1712	11,47646619	9,803770149	1,672696043	1,385851357	9,797113376	1,230132938	no_gam	P1
22	1712,25	11,51831657	9,802737256	1,715579312	1,001398875	9,798494937	1,085998673	no_gam	P1
23	1712,5	11,50564998	9,80194138	1,703708601	0,629552023	9,799990052	0,54356689	no_gam	P1
24	1712,75	11,45208542	9,801371729	1,65071369	0,474651185	9,801588396	0,336403972	no_gam	P1
25	1713	11,38561478	9,801017382	1,584597397	0,645424336	9,803279648	0,670071693	no_gam	P1
26	1713,25	11,32041808	9,800867357	1,519550728	0,826550846	9,805053484	0,885074829	no_gam	P1
27	1713,5	11,25794458	9,800910656	1,457033929	0,860197282	9,80689958	0,875611362	no_gam	P1
28	1713,75	11,19741432	9,801136293	1,396278027	0,81945692	9,808807615	0,817888635	no_gam	P1
29	1714	11,138577	9,80153331	1,337043691	0,770668296	9,810767264	0,769317865	no_gam	P1
30	1714,25	11,08137873	9,802090792	1,279287941	0,726018088	9,812768206	0,725520271	no_gam	P1

Figura Appendice 5 Database relativo all'attività elettrodermica EDA utilizzato per analisi parametri fisiologici SCR e SCL. La prima colonna indica il tempo in quarti di secondo intercorso tra l'attivazione dell'orologio di Empatica E4 e il momento in cui è stato rilevato il dato; la seconda colonna indica i valori ottenuti dell'EDA; la terza i tonicData relativi alla SCL, la quarta i phasicData relativi alla SCR; la quinta, la sesta e la settima i valori Driver; l'ottava la tipologia di prova; la nona il partecipante a cui sono legati i dati di una certa

Nella Figura Appendice 5 sono riportate le prime righe del database relativo alla variabilità della frequenza cardiaca HRV creato per svolgere le analisi sui parametri fisiologici RMSSD e SDNN.

	A	B	D	E	F	G	H
1	Partecipante	Modalità	IBI	Differenza	quadrato	RMSSD	SDNN
2	P1	no_gam	0,8125	-0,125	0,015625	65,1770426	56,9616442
3	P1	no_gam	0,6875	-0,109375	0,01196289	52,0572852	47,005028
4	P1	no_gam	0,578125	0,09375	0,00878906	38,9059362	51,3489898
5	P1	no_gam	0,671875	0,03125	0,00097656	35,2862181	33,3658695
6	P1	no_gam	0,703125	-0,03125	0,00097656	33,8741928	45,3125
7	P1	no_gam	0,671875	0,03125	0,00097656	33,8741928	53,125
8	P1	no_gam	0,703125	0,015625	0,00024414	32,7752765	56,8758585
9	P1	no_gam	0,71875	0,03125	0,00097656	37,9529931	61,3368326
10	P1	no_gam	0,75	-0,03125	0,00097656	36,9754986	56,8543919
11	P1	no_gam	0,71875	0,03125	0,00097656	38,5909032	54,0363015
12	P1	no_gam	0,75	0,015625	0,00024414	38,5909032	47,6242208
13	P1	no_gam	0,765625	0	0	39,5284708	49,9022482
14	P1	no_gam	0,765625	0,078125	0,00610352	40,745015	58,5468562
15	P1	no_gam	0,84375	0	0	32,4006896	70,5724362
16	P1	no_gam	0,84375	0,03125	0,00097656	33,8741928	77,6391141
17	P1	no_gam	0,875	0,015625	0,00024414	37,9529931	77,4974798
18	P1	no_gam	0,890625	-0,0625	0,00390625	37,9529931	68,4831469
19	P1	no_gam	0,828125	-0,015625	0,00024414	32,7752765	51,4439926
20	P1	no_gam	0,8125	-0,046875	0,00219727	32,7752765	42,3895624
21	P1	no_gam	0,765625	-0,03125	0,00097656	29,6463531	33,65728
22	P1	no_gam	0,734375	-0,03125	0,00097656	27,9508497	33,65728
23	P1	no_gam	0,703125	-0,03125	0,00097656	30,0552876	35,7672598
24	P1	no_gam	0,671875	0	0	28,8110764	34,9734833
25	P1	no_gam	0,671875	0,03125	0,00097656	41,3398642	30,8173171
26	P1	no_gam	0,703125	0,0625	0,00390625	40,4443097	28,8534146
27	P1	no_gam	0,765625	-0,015625	0,00024414	40,4443097	31,4058613
28	P1	no_gam	0,75	-0,015625	0,00024414	47,1346973	31,2890381
29	P1	no_gam	0,734375	0,015625	0,00024414	47,1346973	40,0195265
30	P1	no_gam	0,75	0,015625	0,00024414	49,1629148	43,7778929

Figura Appendice 6 Database relativo alla variabilità della frequenza cardiaca HRV utilizzato per analisi parametri fisiologici RMSSD e SDNN. La prima colonna indica il partecipante a cui sono legati i dati di una certa riga; la seconda la tipologia della prova, la terza i valori ottenuti dell'IBI, estrapolando un dato al secondo; la quarta la differenza tra due valori successivi dell'IBI; la quinta il quadrato delle differenze; la sesta e la settima i valori calcolati di RMSSD e SDNN

Nella Figura Appendice 6 sono riportate le prime righe del database creato per svolgere le analisi sui risultati del NASA TLX.

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Scale</b>	<b>Rating</b>	<b>Weight</b>	<b>Pesi_norm</b>	<b>Punteggio co</b>	<b>Partecipante</b>	<b>Prova</b>
2	Mental Demand	70	0,26666667	0,27	18,6666667	P1	no_gam
3	Physical Demand	60	0	0	0	P1	no_gam
4	Temporal Demand	80	0,26666667	0,27	21,3333333	P1	no_gam
5	Performance	50	0,06666667	0,07	3,33333334	P1	no_gam
6	Effort	60	0,13333333	0,13	8	P1	no_gam
7	Frustration	65	0,26666667	0,27	17,3333333	P1	no_gam
8	Totale			1	68,67	P1	no_gam
9	Mental Demand	65	0,26666667	0,27	17,3333333	P1	gam
10	Physical Demand	50	0	0	0	P1	gam
11	Temporal Demand	75	0,33333333	0,33	25	P1	gam
12	Performance	80	0,13333333	0,13	10,6666667	P1	gam
13	Effort	65	0,06666667	0,07	4,33333334	P1	gam
14	Frustration	65	0,2	0,2	13	P1	gam
15	Totale			1	70,33	P1	gam
16	Mental Demand	45	0	0	0	P2	gam
17	Physical Demand	20	0,06666667	0,07	1,33333333	P2	gam
18	Temporal Demand	45	0,13333333	0,13	6	P2	gam
19	Performance	50	0,26666667	0,27	13,3333333	P2	gam
20	Effort	25	0,2	0,2	5	P2	gam
21	Frustration	15	0,33333333	0,33	5	P2	gam
22	Totale			1	30,6666667	P2	gam
23	Mental Demand	15	0,06666667	0,07	1	P2	no_gam
24	Physical Demand	20	0,13333333	0,13	2,66666667	P2	no_gam
25	Temporal Demand	50	0,2	0,2	10	P2	no_gam
26	Performance	15	0,13333333	0,13	2	P2	no_gam
27	Effort	20	0,13333333	0,13	2,66666667	P2	no_gam
28	Frustration	35	0,33333333	0,33	11,6666667	P2	no_gam
29	Totale			1	30	P2	no_gam
30	Mental Demand	60	0	0	0	P3	gam

*Figura Appendice 7 Database utilizzato per analisi risultati questionario NASA TLX. La prima colonna indica le metriche del NASA TLX; la seconda il rating dato a queste metriche dai partecipanti; la terza i pesi assegnati dai partecipanti; la quarta i pesi normalizzati; la quinta i punteggi ottenuti moltiplicando il rating e i pesi assegnati; la sesta i partecipanti che hanno sostenuto il questionario; la settima la tipologia di prova*



Nella Figura Appendice 9 sono riportate le prime righe del file della Tassonomia degli errori utilizzato durante gli esperimenti per segnare eventuali errori umani o del robot nella task di assemblaggio.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	UMANO											
	Scelta del pezzo errato	Caduta dei pezzi	Posizionamento Del pezzo errato	Assemblaggio errato	Danno del pezzo	Caduta delle viti	Caduta di dadi/rondelle	Input errato al cobot	Scelta errata di viti/dadi/rondelle	Posizionamento Errato di viti/dadi/rondelle	Caduta degli attrezzi	
5	<b>Giocatore 1 (NG-G)</b>											
6	Ripetizione 1	x	x									
7	Ripetizione 2	x										
8	Ripetizione 3											
9	Ripetizione 4											
10	Ripetizione 5											
11	<b>Giocatore 2</b>											
12	Ripetizione 1					x						
13	Ripetizione 2		x									
14	Ripetizione 3											
15	Ripetizione 4											
16	Ripetizione 5											
17	<b>Giocatore 3</b>											
18	Ripetizione 1					x						
19	Ripetizione 2											
20	Ripetizione 3											
21	Ripetizione 4											
22	Ripetizione 5											

Figura Appendice 10 File Tassonomia degli errori. In questo file sono stati segnati gli errori commessi durante le prove, la tipologia errore commesso e il momento in cui è stato commesso durante ogni livello delle 5 ripetizioni di entrambe le tipologie di prova

Nella Figura Appendice 10 è riportato il database creato per svolgere le analisi sul totale degli errori umani commessi durante le ripetizioni delle prove.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Partecipante	Prova	livello1_1	livello2_1	livello3_1	livello1_2	livello2_2	livello3_2	livello1_3	livello2_3	livello3_3	livello1_4	livello2_4	livello3_4	livello1_5	livello2_5	livello3_5
2	P1	no_gam	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1
3	P1	gam	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	P2	no_gam	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	P2	gam	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	P3	no_gam	2	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0
7	P3	gam	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	P4	no_gam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
9	P4	gam	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	P5	no_gam	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
11	P5	gam	0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
12	P6	no_gam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	P6	gam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	P7	no_gam	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
15	P7	gam	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	P8	no_gam	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	P8	gam	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18	P9	no_gam	0	2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
19	P9	gam	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
20	P10	no_gam	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	P10	gam	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
22	P11	no_gam	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	P11	gam	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
24	P12	no_gam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
25	P12	gam	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
26	P13	no_gam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	P13	gam	0	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
28	P14	no_gam	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	P14	gam	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	P15	no_gam	0	2	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1
31	P15	gam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura Appendice 11 Database totale errori umani commessi durante le ripetizioni delle prove. La prima colonna indica il partecipante relativo a una certa riga; la seconda la tipologia di prova; le altre la somma degli errori commessi da un partecipante durante ogni livello delle 5 ripetizioni di entrambe le tipologie di prova

Nella Figura Appendice 11 sono riportate le prime righe del database creato per svolgere le analisi sui parametri dell'Eye Tracking.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Participant	Tipo_prova	Duration_of_int	Total_duration_of	Average_duration_of	Number_of_whole	Average_whole-fi	Number_of_saccades	Average_peak_velocity_of_sacca	Average_amplitude_of_sacca
2	01 NG-G	no_gam	466849	349844	399	876	4,50852	511	217,13	6,06
3	01 NG-G	no_gam	243931	183482	306	599	4,48518	317	163,28	3,51
4	01 NG-G	no_gam	306434	211353	255	828	4,53056	407	166,17	3,73
5	01 NG-G	no_gam	308598	228213	335	682	4,56965	349	161,26	4,03
6	01 NG-G	no_gam	353742	231088	277	834	4,17207	392	193,09	4,67
7	01 NG-G_2	gam	223037	159879	313	510	4,21079	269	172,86	4,64
8	01 NG-G_2	gam	221083	157256	264	596	4,46368	352	171,05	4,29
9	01 NG-G_2	gam	238170	146826	212	691	4,39188	326	176,41	4,23
10	01 NG-G_2	gam	220326	167714	401	418	4,2867	243	185,27	5,56
11	01 NG-G_2	gam	258236	207997	478	435	4,28286	278	174,32	4,99
12	02 G-NG	gam	226650	196416	664	296	3,76081	208	240,5	8,13
13	02 G-NG	gam	173216	148318	662	224	3,63936	155	277,75	10,25
14	02 G-NG	gam	178254	143389	593	242	3,63005	180	262,75	9,1
15	02 G-NG	gam	178020	153397	664	231	3,62999	160	265,2	9,67
16	02 G-NG	gam	154961	132600	611	217	3,61973	160	250,28	9,22
17	02 G-NG_2	no_gam	177449	149050	571	261	3,54201	176	258,96	8,56
18	02 G-NG_2	no_gam	144463	121580	553	220	3,53042	138	246,01	9,31
19	02 G-NG_2	no_gam	139181	115579	540	214	3,56732	128	235,11	7,36
20	02 G-NG_2	no_gam	146450	119557	465	257	3,50629	165	250,06	8,43
21	02 G-NG_2	no_gam	143281	125266	704	178	3,512	122	262,6	10,11
22	03 NG-G	no_gam	339140	240766	461	522	4,6779	326	240,69	6,64
23	03 NG-G	no_gam	266745	171180	516	332	4,67431	218	250,23	7,05
24	03 NG-G	no_gam	238423	117032	450	260	4,58389	170	257,94	7,84
25	03 NG-G	no_gam	210144	128713	560	230	4,24746	145	251,64	7,56
26	03 NG-G	no_gam	208999	133903	500	268	4,34788	163	245,97	6,94
27	03 NG-G_2	gam	306265	215921	544	397	4,33667	243	256,58	7,51
28	03 NG-G_2	gam	209950	140114	615	228	4,35249	133	254,7	7,74
29	03 NG-G_2	gam	214343	148659	525	283	4,2259	187	268,3	8,1
30	03 NG-G_2	gam	185579	110279	450	245	4,26461	165	253,91	8,13

Figura Appendice 12 Database utilizzato per analisi parametri dell'Eye Tracking. La prima colonna indica il partecipante; la seconda la tipologia di prova; le altre colonne le metriche di Eye Tracking analizzate ed estrapolate dal Tobii Pro Glasses

# INDICE FIGURE

FIGURA 3.1 FRAMEWORK 6D ( <a href="https://corp.gametize.com/playbook/">HTTPS://CORP.GAMETIZE.COM/PLAYBOOK/</a> ) .....	31
FIGURA 3.2 MDA FRAMEWORK (SCHNABEL ET AL., 2014) .....	32
FIGURA 3.3 GAMIFICATION E FLOW THEORY (TREIBLMAIER ET AL., 2018) .....	33
FIGURA 3.4 GAMIFICATION E COGNITIVE LOAD THEORY (TREIBLMAIER ET AL., 2018) .....	34
FIGURA 3.5 FLOW CHART CONCETTUALE DEI LIVELLI DEL GIOCO INNOVATIVE-CUT E DE SUOI 3 POSSIBILI PREMI.....	38
FIGURA 4.1 TABLET COBOT UR3E ( <a href="https://rbtx.com/en-us/components/robots/ur3e-flexible-collaborating-universal-robot">HTTPS://RBTX.COM/EN-US/COMPONENTS/ROBOTS/UR3E-FLEXIBLE- COLLABORATING-UNIVERSAL-ROBOT</a> ) .....	40
FIGURA 4.2 PINZA COBOT UR3E UTILIZZATA PER L'ESPERIMENTO ( <a href="https://rbtx.com/en-us/components/robots/ur3e-flexible-collaborating-universal-robo">HTTPS://RBTX.COM/EN- US/COMPONENTS/ROBOTS/UR3E-FLEXIBLE-COLLABORATING-UNIVERSAL-ROBO</a> ) .....	41
FIGURA 4.3 PIANO DI LAVORO PER LA PROVA GAMIFICATA .....	43
FIGURA 4.4 OROLOGIO INDOSSABILE MULTIFUNZIONALE PER IL MONITORAGGIO BIOMETRICO DOTATO DI SENSORE PPG PER MISURARE I DATI HRV, ACCELEROMETRO 3-ASSI PER LA CATTURA DELL'ATTIVITÀ FASICA, SENSORE EDA, TERMOMETRO A INFRAROSSI PER LA TEMPERATURA PERIFERICA DELLA PELLE, PULSANTE PER MARCARE EVENTI E SINCRONIZZARE SEGNALI FISIOLOGICI CON SPECIFICI EVENTI ( <a href="https://www.empatica.com/en-eu/research/e4/">HTTPS://WWW.EMPATICA.COM/EN-EU/RESEARCH/E4/</a> ).....	45
FIGURA 4.5 SPECIFICHE TECNICHE OROLOGIO EMPATICA E4 ( <a href="https://www.empatica.com/en-eu/research/e4/">HTTPS://WWW.EMPATICA.COM/EN- EU/RESEARCH/E4/</a> ).....	45
FIGURA 4.6 OCCHIALI EYE TRACKING TOBII PRO GLASSES 3 .....	46
( <a href="https://www.tobii.com/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3">HTTPS://WWW.TOBI.COM/PRODUCTS/EYE-TRACKERS/WEARABLES/TOBII-PRO-GLASSES-3</a> ) .....	46
FIGURA 4.7 QUESTIONARIO NASA TLX: QUESTIONARIO SOTTOPOSTO AI PARTECIPANTI DOPO OGNUNA DELLE DUE PROVE SVOLTE. IN FIGURA SONO PRESENTATE LE 7 MISURE ANALIZZATE. LA SCALA DI VALUTAZIONE È SU UNA BASE DI 20 STEP, VALORIZZATI DA UN MINIMO DI 5 A UN MASSIMO DI 100.....	48
FIGURA 4.8 QUESTIONARIO SAM: QUESTIONARIO SOTTOPOSTO AI PARTECIPANTI DOPO OGNUNA DELLE DUE PROVE SVOLTE. IN FIGURA SONO PRESENTATE LE IMMAGINI RAFFIGURATIVI I VALORI DA 1 A 9 CHE IL PARTECIPANTE PUÒ ATTRIBUIRE ALLE METRICHE DEL QUESTIONARIO. ....	49
FIGURA 4.9 QUESTIONARIO IMI .....	50
FIGURA 4.10 QUESTIONARIO USER EXPERIENCE (UX) .....	51
FIGURA 4.11 QUESTIONARIO GAME ENGAGEMENT .....	52
FIGURA 4.12 CHECKLIST UTILIZZATA DURANTE GLI ESPERIMENTI.....	54
FIGURA 4.13 COMPONENTI DEL TAGLIAPIASTRELLE CON I LORO TAGS (GERVASI ET AL., 2023) .....	55
FIGURA 4.14 TAGLIAPIASTRELLE ASSEMBLATO (44 X 14 X 19 CM) (GERVASI ET AL., 2023).....	57
FIGURA 4.15 PIANO DI LAVORO NEL LABORATORIO MIND4LAB .....	57
FIGURA 5.1 ISTOGRAMMA PHASICDATA (SCR) PER LA PROVA GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI.....	61
FIGURA 5.2 ISTOGRAMMA PHASICDATA (SCR) PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	62
FIGURA 5.3 ISTOGRAMMA TONICDATA (SCL) PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	63
FIGURA 5.4 Q-Q PLOT PHASICDATA E TONICDATA DELLE DISTRIBUZIONI DELLA PROVA GAMIFICATA E DELLA PROVA NON GAMIFICATA.....	64
FIGURA 5.5 BOXPLOT SCR PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	66
FIGURA 5.6 BOXPLOT SCL PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	66
FIGURA 5.7 ISTOGRAMMA RMSSD NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	69
FIGURA 5.8 ISTOGRAMMA RMSSD NORMALIZZATO PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	69

FIGURA 5.9 ISTOGRAMMA SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	70
FIGURA 5.10 ISTOGRAMMA SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	70
FIGURA 5.11 Q-Q PLOT RMSSD NORMALIZZATO E SDNN NORMALIZZATO DELLE DISTRIBUZIONI DELLA PROVA GAMIFICATA E DELLA PROVA NON GAMIFICATA .....	71
FIGURA 5.12 BOXPLOT RMSSD NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	73
FIGURA 5.13 BOXPLOT SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	73
FIGURA 5.14 BOXPLOT RMSSD PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	74
FIGURA 5.15 BOXPLOT SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	75
FIGURA 5.16 ISTOGRAMMA DEI PUNTEGGI COMPLESSIVI NASA TLX PER LA PROVA GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	77
FIGURA 5.17 ISTOGRAMMA DEI PUNTEGGI COMPLESSIVI NASA TLX PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	77
FIGURA 5.18 Q-Q PLOT PUNTEGGI TOTALI NASA TLX PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA STANDARD .....	78
FIGURA 5.19 BOXPLOT PUNTEGGI TOTALI NASA TLX PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA STANDARD RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	79
FIGURA 5.20 Q-Q PLOT PERFORMANCE, MENTAL DEMAND ED EFFORT PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA STANDARD.....	80
FIGURA 5.21 BOXPLOT DELLE PERFORMANCE, DELLA MENTAL DEMAND E DELL'EFFORT PESATI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI.....	82
FIGURA 5.22 ISTOGRAMMI PARAMETRI SAM PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA.....	87
FIGURA 5.23Q-Q PLOT PARAMETRI SAM PER LA PROVA GAMIFICATA E LA PROVA STANDARD .....	88
FIGURA 5.24 BOXPLOT DELL'EMOTIONAL VALENCE PERLA PROVA GAMIFICATA E LA PROVA STANDARD RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	90
FIGURA 5.25 BOXPLOT DELL'AROUSAL PERLA PROVA GAMIFICATA E LA PROVA STANDARD RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	90
FIGURA 5.26 BOXPLOT DELLA DOMINANCE PERLA PROVA GAMIFICATA E LA PROVA STANDARD RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	91
FIGURA 5.27 BOXPLOT DEL GEQ PER LA DOMANDA "I REALLY GET INTO THE GAME" RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI PER LA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA .....	92
FIGURA 5.28 ISTOGRAMMA DISTRIBUZIONE DURATE NORMALIZZATE TOTALI PROVA GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	94
FIGURA 5.29 ISTOGRAMMA DISTRIBUZIONE DURATE NORMALIZZATE TOTALI PROVA NON GAMIFICATA RELATIVO AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	94
FIGURA 5.30 Q-Q PLOT DURATE NORMALIZZATE TOTALI PER LA PROVA GAMIFICATA.....	95
FIGURA 5.31Q-Q PLOT DURATE NORMALIZZATE TOTALI PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	95

FIGURA 5.32 BOXPLOT DURATE NORMALIZZATE TOTALI DELLA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	96
FIGURA 5.33 BOXPLOT DURATA TOTALE DELLA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	97
FIGURA 5.34 BOXPLOT DIFFERENZA DELLA DURATA TRA L'ULTIMA E LA PRIMA RIPETIZIONE PER LA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI.....	98
FIGURA 5.35 Q-Q PLOT TOTALE ERRORI UMANI PROVA GAMIFICATA .....	100
FIGURA 5.36 Q-Q PLOT TOTALE ERRORI UMANI PROVA NON GAMIFICATA .....	100
FIGURA 5.37 BOXPLOT TOTALE ERRORI UMANI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	101
FIGURA 5.38 BOXPLOT DELLA DURATA DI INTERVALLO, DURATA TOTALE DELLE FISSAZIONI E LA DURATA MEDIA TOTALE DELLE FISSAZIONI, RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	103
FIGURA 5.39 BOXPLOT DEL NUMERO DELLE FISSAZIONI, DIAMETRO MEDIO DELLE PUPILLE DURANTE LE FISSAZIONI, NUMERO DELLE SACCADI, RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI.....	103
FIGURA 5.40 BOXPLOT DELLA VELOCITÀ MEDIA DI PICCO DELLA SACCADI, AMPIEZZA MEDIA DELLE SACCADI, AMPIEZZA TOTALE DELLE SACCADI AVERAGE PEAK VELOCITY OF SACCADES, RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	104
FIGURA 5.41 BOXPLOT DEL TEMPO PER LA PRIMA SACCADA, DIREZIONE DELLA PRIMA SACCADA, VELOCITÀ DELLA PRIMA SACCADA, RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	104
FIGURA 5.42 BOXPLOT DELLA VELOCITÀ MEDIA DELLA PRIMA SACCADA, AMPIEZZA DELLA PRIMA SACCADA, RELATIVI AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	105

## INDICE TABELLE

TABELLA 3.1 SCHEMATIZZAZIONE DEL GIOCO CON IL FRAMEWORK MDA .....	36
TABELLA 4.1 SEQUENZA PROVA GAMIFICATA .....	56
TABELLA 4.2 SEQUENZA PROVA STANDARD .....	56
TABELLA 5.1 STATISTICHE DESCRITTIVE TONICDATA (SCL) E PHASICDATA (SCR) PER LA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	61
TABELLA 5.2 KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST SCR PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	64
TABELLA 5.3 KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST SCL PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	64
TABELLA 5.4 WILCOXON SIGNED-RANK TEST SCR .....	65
TABELLA 5.5 WILCOXON SIGNED-RANK TEST SCL .....	65
TABELLA 5.6 STATISTICHE DESCRITTIVE RMSSD E SDNN PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	68
TABELLA 5.7 STATISTICHE DESCRITTIVE RMSSD NORMALIZZATO E SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	68
TABELLA 5.8 KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST RMSSD NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	71
TABELLA 5.9 KOLMOGOROV-SMIRNOV TEST SDNN NORMALIZZATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	72
TABELLA 5.10 WILCOXON SIGNED-RANK TEST RMSSD NORMALIZZATO .....	72
TABELLA 5.11 WILCOXON SIGNED-RANK TEST SDNN NORMALIZZATO .....	72
TABELLA 5.12 STATISTICA DESCRITTIVA PUNTEGGIO TOTALE NASA TLX PER LA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	76
TABELLA 5.13 SHAPIRO - WILK SUI PUNTEGGI TOTALI NASA TLX PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	78
TABELLA 5.14 TEST T APPAIATO PER I PUNTEGGI TOTALI NASA TLX .....	79
TABELLA 5.15 SHAPIRO - WILK TEST PERFORMANCE PESATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	81
TABELLA 5.16 SHAPIRO - WILK TEST MENTAL DEMAND PESATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	81
TABELLA 5.17 SHAPIRO - WILK TEST EFFORT PESATO PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	81
TABELLA 5.18 TEST WILCOXON PERFORMANCE PESATO .....	81
TABELLA 5.19 TEST WILCOXON EFFORT PESATO .....	82
TABELLA 5.20 TEST T APPAIATO MENTAL DEMAND PESATO .....	82
TABELLA 5.21 SHAPIRO - WILK TEST PERFORMANCE VALORI ASSOLUTI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	83
TABELLA 5.22 SHAPIRO - WILK TEST MENTAL DEMAND VALORI ASSOLUTI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	83
TABELLA 5.23 SHAPIRO - WILK TEST EFFORT VALORI ASSOLUTI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	83
TABELLA 5.24 TEST T APPAIATO PERFORMANCE VALORI ASSOLUTI .....	84
TABELLA 5.25 TEST T APPAIATO MENTAL DEMAND VALORI ASSOLUTI .....	84
TABELLA 5.26 TEST T APPAIATO EFFORT VALORI ASSOLUTI .....	84
TABELLA 5.27 STATISTICHE DESCRITTIVE PARAMETRI SAM RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	86
TABELLA 5.28 SHAPIRO - WILK TEST EMOTIONAL VALENCE PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	88
TABELLA 5.29 SHAPIRO - WILK TEST MENTAL DEMAND PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	89
TABELLA 5.30 SHAPIRO - WILK TEST DOMINANCE PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	89

TABELLA 5.31 TEST WILCOXON SIGNED-RANK EMOTIONAL VALENCE.....	89
TABELLA 5.32 TEST WILCOXON SIGNED-RANK AROUSAL.....	89
TABELLA 5.33 TEST WILCOXON SIGNED-RANK DOMINANCE .....	89
TABELLA 5.34 TEST WILCOXON SIGNED-RANK GEQ "I REALLY GET INTO THE GAME" .....	92
TABELLA 5.35 STATISTICHE DESCRITTIVE DURATE NORMALIZZATE TOTALI PER LA PROVA GAMIFICATA E NON GAMIFICATA RELATIVE AL DATABASE UNICO CREATO CON I DATI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO SVOLTO DA TUTTI I PARTECIPANTI .....	93
TABELLA 5.36 SHAPIRO -WILK TEST DURATE NORMALIZZATE TOTALI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	95
TABELLA 5.37 TEST T APPAIATO DURATE NORMALIZZATE TOTALI .....	96
TABELLA 5.38 SHAPIRO-WILK TEST DURATE TOTALI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA.....	97
TABELLA 5.39 T-TEST APPAIATO DURATE TOTALI .....	97
TABELLA 5.40 TEST U DI MANN -WHITNEY DELLA DIFFERENZA DELLA DURATA TRA L'ULTIMA E LA PRIMA RIPETIZIONE .....	98
TABELLA 5.41 SHAPIRO -WILK TEST TOTALE ERRORI UMANI PER LA PROVA GAMIFICATA E PER LA PROVA NON GAMIFICATA .....	101
TABELLA 5.42 TEST T APPAIATO TOTALE ERRORI UMANI .....	101

## INDICE APPENDICE

FIGURA APPENDICE 1: CODICE JAVASCRIPT UTILIZZATO SU NODE-RED PER LO SVILUPPO DELLE REGOLE DEL GIOCO. IL NODO CHE CONTIENE QUESTO CODICE È COLLEGATO AI NODI TEMPLATE PERMETTONO, GRAZIE AL COLLEGAMENTO CON LA DASHBOARD, DI ANIMARE IL GIOCO (PARTE 1).....	108
FIGURA APPENDICE 2: CODICE JAVASCRIPT UTILIZZATO SU NODE-RED PER LO SVILUPPO DELLE REGOLE DEL GIOCO. IL NODO CHE CONTIENE QUESTO CODICE È COLLEGATO AI NODI TEMPLATE PERMETTONO, GRAZIE AL COLLEGAMENTO CON LA DASHBOARD, DI ANIMARE IL GIOCO (PARTE 2).....	109
FIGURA APPENDICE 3 CODICE NODI TEMPLATE DI NODE-RED PER IL FEEDBACK VISIVO DI OGNI LIVELLO LIVELLO E PER IL TROFEO ORO .....	109
FIGURA APPENDICE 4 FUNZIONE 4: CODICE JAVASCRIPT PER TENERE TRACCIA DEI TEMPI DELLA TASK NON GAMIFICATA. IL NODO CHE CONTIENE QUESTO CODICE IN QUESTO CASO NON È COLLEGATO A NODI TEMPLATE IN QUANTO NON È UTILIZZATA LA DASHBOARD PER LA TASK NON GAMIFICATA. ....	110
FIGURA APPENDICE 5 DATABASE RELATIVO ALL'ATTIVITÀ ELETTRODERMICA EDA UTILIZZATO PER ANALISI PARAMETRI FISIOLGICI SCR E SCL. LA PRIMA COLONNA INDICA IL TEMPO IN QUARTI DI SECONDO INTERCORSO TRA L'ATTIVAZIONE DELL'OROLOGIO DI EMPATICA E4 E IL MOMENTO IN CUI È STATO RILEVATO IL DATO; LA SECONDA COLONNA INDICA I VALORI OTTENUTI DELL'EDA; LA TERZA I TONICDATA RELATIVI ALLA SCL, LA QUARTA I PHASICDATA RELATIVI ALLA SCR; LA QUINTA, LA SESTA E LA SETTIMA I VALORI DRIVER; L'OTTAVA LA TIPOLOGIA DI PROVA; LA NONA IL PARTECIPANTE A CUI SONO LEGATI I DATI DI UNA CERTA.....	111
FIGURA APPENDICE 6 DATABASE RELATIVO ALLA VARIABILITÀ DELLA FREQUENZA CARDIACA HRV UTILIZZATO PER ANALISI PARAMETRI FISIOLGICI RMSSD E SDNN. LA PRIMA COLONNA INDICA IL PARTECIPANTE A CUI SONO LEGATI I DATI DI UNA CERTA RIGA; LA SECONDA LA TIPOLOGIA DELLA PROVA, LA TERZA I VALORI OTTENUTI DELL'IBI, ESTRAPOLANDO UN DATO AL SECONDO; LA QUARTA LA DIFFERENZA TRA DUE VALORI SUCCESSIVI DELL'IBI; LA QUINTA IL QUADRATO DELLE DIFFERENZE; LA SESTA E LA SETTIMA I VALORI CALCOLATI DI RMSSD E SDNN.....	112
FIGURA APPENDICE 7 DATABASE UTILIZZATO PER ANALISI RISULTATI QUESTIONARIO NASA TLX. LA PRIMA COLONNA INDICA LE METRICHE DEL NASA TLX; LA SECONDA IL RATING DATO A QUESTE METRICHE DAI PARTECIPANTI; LA TERZA I PESI ASSEGNATI DAI PARTECIPANTI; LA QUARTA I PESI NORMALIZZATI; LA QUINTA I PUNTEGGI OTTENUTI MOLTIPLICANDO IL RATING E I PESI ASSEGNATI; LA SESTA I PARTECIPANTI CHE HANNO SOSTENUTO IL QUESTIONARIO; LA SETTIMA LA TIPOLOGIA DI PROVA.....	113
FIGURA APPENDICE 8 DATABASE UTILIZZATO PER ANALISI RISULTATI QUESTIONARIO SAM, IMI, USER EXPERIENCE E GEQ .....	114
FIGURA APPENDICE FIGURA APPENDICE 9 DATABASE UTILIZZATO PER ANALISI SULLE DURATE DELLE RIPETIZIONI DELLE PROVE. LA PRIMA COLONNA INDICA IL PARTECIPANTE RELATIVO A UNA CERTA RIGA; LA SECONDA LA TIPOLOGIA DELLA PROVA; LE ALTRE I VARI LIVELLI SVOLTI DURANTE LE 5 RIPETIZIONI.....	114
FIGURA APPENDICE 10 FILE TASSONOMIA DEGLI ERRORI. IN QUESTO FILE SONO STATI SEGNATI GLI ERRORI COMMESSI DURANTE LE PROVE, LA TIPOLOGIA ERRORE COMMESSO E IL MOMENTO IN CUI È STATO COMMESSO DURANTE OGNI LIVELLO DELLE 5 RIPETIZIONI DI ENTRAMBE LE TIPOLOGIE DI PROVA .....	115
FIGURA APPENDICE 11 DATABASE TOTALE ERRORI UMANI COMMESSI DURANTE LE RIPETIZIONI DELLE PROVE. LA PRIMA COLONNA INDICA IL PARTECIPANTE RELATIVO A UNA CERTA RIGA; LA SECONDA LA TIPOLOGIA DI PROVA; LE ALTRE LA SOMMA DEGLI ERRORI COMMESSI DA UN PARTECIPANTE DURANTE OGNI LIVELLO DELLE 5 RIPETIZIONI DI ENTRAMBE LE TIPOLOGIE DI PROVA .....	115
FIGURA APPENDICE 12 DATABASE UTILIZZATO PER ANALISI PARAMETRI DELL'EYE TRACKING. LA PRIMA COLONNA INDICA IL PARTECIPANTE; LA SECONDA LA TIPOLOGIA DI PROVA; LE ALTRE COLONNE LE METRICHE DI EYE TRACKING ANALIZZATE ED ESTRAPOLATE DAL TOBII PRO GLASSES .....	116



## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Ahmed F., Berta R., Bellotti F., Lazzaroni L., Floris F., Barresi G., Carrion J. R., 2023. Socio-Economic Decision Making and Emotion Elicitation with a Serious Game in the Wild. *New Challenges in Serious Game Design, Appl. Sci.* 2023, 13(11)6432. <https://doi.org/10.3390/app13116432>.

Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), pp. 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)

Angelia, F., Suharjito, S., Isa, S.M., 2021. Improving English Learning by Gamification with MDA Framework. *J. Games Game Art Gamification* 5, 33–40. <https://doi.org/10.21512/jggag.v5i2.7474>.

Ayatulloh, M.M., Sulistyowati, W.A., Wolor, C.W., Sasmi, A.A., 2022. Game-based Learning Sustainibility During Social Distance: The Role of Gamification Quality. *European Journal of Educational Research*, Volume 11, Issue 3, 1289 – 1302.

Baraglia, J., Cakmak, M., Nagai, Y., Rao, R., Asada, M., 2016. Initiative in robot assistance during collaborative task execution, in: 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). Presented at the 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI), IEEE, Christchurch, New Zealand, pp. 67–74. <https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451735>.

Bradley, M. M., & Lang, P. J., 1994. Measuring emotion: The Self-Assessment Manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49–59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)

Brooke, J., 1996. SUS -- a quick and dirty usability scale. In: P.W. Jordan, B. Thomas, B.A. Weerdmeester, and I.L. McClelland, eds. *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis, pp. 189-194.

Burke, B., 2014. Gartner redefines gamification. *Gartner*. [online] Available at: [http://blogs.gartner.com/brian\\_burke/2014/04/04/gartner-redefines-gamification/](http://blogs.gartner.com/brian_burke/2014/04/04/gartner-redefines-gamification/) [Accesso: 15 luglio 2024].

Cacioppo, J.T. & Petty, R.E. (1984). The Elaboration Likelihood Model of Persuasion. In: Kinnear, T.C. (ed.), *Advances in Consumer Research*, vol. 11. Provo, UT: Association for Consumer Research, pp. 673-675.

Chabane, B., Komljenovic, D., Abdul-Nour, G., 2023. Converging on Human-Centred Industry, Resilient Processes, and Sustainable Outcomes in Asset Management Frameworks. *Enviromental Systems and Decisions*. <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09943-w>.

Charalambous, G., Fletcher, S.R., Webb, P., 2017. The development of a Human Factors Readiness Level Tool for implementing Industrial Human-Robot Collaboration. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*

91, 2465–2475. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9876-6>.

Cortellessa, V., Di Marco, A., Inverardi, P., 2007. Integrating Performance and Reliability Analysis in a Non-Functional MDA Framework, in: Dwyer, M.B., Lopes, A. (Eds.), *Fundamental Approaches to Software Engineering*, Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 57–71. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-71289-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-71289-3_6).

Csikszentmihalyi, M., 1975. *Beyond Boredom and anxiety: The experience of play in work and games*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

D’Ambrosio, F., 2019, *sociologicamente.it | Huizinga, Caillois e Bateson: quando il gioco diventa oggetto di studio - Sociologicamente*. [online] Available at: <https://sociologicamente.it/huizinga-caillois-e-bateson-quando-il-gioco-diventa-oggetto-di-studio/> [Accesso 15 luglio 2024].

Davis, F.D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), pp. 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>.

Dehue, N., Van De Leemput, C., 2014. What does germane load mean? An empirical contribution to the cognitive load theory. *Front Psychol.* 2014; 5: 1099. Published online 2014 Oct 1. Prepublished online 2014 Mar 6, pp. 1–10, doi: [10.3389/fpsyg.2014.01099](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01099).

Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1980). Self-determination Theory: When Mind Mediates Behavior. *The Journal of Mind and Behavior*, 1(1), pp. 33-43. <https://www.jstor.org/stable/43852807>.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011a). From game design elements to gamefulness: Defining gamification. In: *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, Tampere, Finland, 28-30 September 2011. ACM, pp. 9-15.

Deterding, S., Khaled, R., Nacke, L. E., & Dixon, D. (2011b). Gamification: Toward a definition. In: *Proceedings of the CHI 2011 Gamification Workshop*, Vancouver, Canada, 7-12 May 2011.

Fishbein, M. & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behavior: an introduction to theory and research*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Franceschini, F., Maisano, D., “Aggregation of incomplete preference rankings: Robustness analysis of the ZM II -technique,” *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Aug. 2020, vol. 27, no. 5–6, pp. 337–356, doi: [10.1002/mcda.1721](https://doi.org/10.1002/mcda.1721).

Gervasi, R., Mastrogiacomo, L., Franceschini, F., 2020. A conceptual framework to evaluate human-robot collaboration. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 108, 841–865. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05363-1>.

Gervasi, R., Aliev, K., Mastrogiacomo, L., Franceschini, F., 2022. User Experience and Physiological Response in Human-Robot Collaboration: A Preliminary Investigation. *J. Intell. Robot. Syst.* 106, 36. <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01744-8>.

Gervasi, R., Capponi, M., Mastrogiacomo, L., Franceschini, F., 2023. Manual assembly and Human-Robot Collaboration in repetitive assembly processes: a structural comparison based on human-centered performances. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2023) 126:1231. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11197-4>.

- Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R., 2021. Emerging research fields in safety and ergonomics in industrial collaborative robotics: A systematic literature review. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 67, 101998. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101998>.
- Hamari, J., Koivisto, J., 2015. Why do people use gamification services? *International Journal of Information Management*. Volume 35, Issue 4, August 2015, Pages 419-431. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.04.006>.
- Hart, S.G., Staveland, L.E., 2008. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock, P.A. and Meshkati, N. (eds.) *Advances in Psychology*. pp. 139–183. North-Holland.
- Hunicke, R., LeBlanc, M., Zubek, R., 2004. MDA: A Formal Approach to Game Design and Game Research. <http://www.cs.northwestern.edu/~hunicke/MDA.pdf>.
- Johnson, D., Deterding, S., Kuhn, K.-A., Staneva, A., Stoyanov, S. and Hides, L., 2016. Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature. *Internet Interventions*, 6, pp.89-106.
- Keepers, M., Nesbit, I., Romero, D., Wuest, T., 2022. Current state of research & outlook of gamification for manufacturing. *J. Manuf. Syst.* 64, 303–315. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.001>.
- Keepers, M., Romero, D., Hauge, J.B., Wuest, T., 2020. Gamification of Operational Tasks in Manufacturing: A Literature Review, in: Lalic, B., Majstorovic, V., Marjanovic, U., Von Cieminski, G., Romero, D. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer International Publishing, Cham, pp. 107–114. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_13).
- Kim, J.T., Lee, W.-H., 2015. Dynamical model for gamification of learning (DMGL). *Multimed. Tools Appl.* 74, 8483–8493. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1612-8>.
- Koivisto, J. and Hamari, J., 2019. The rise of motivational information systems: A review of gamification research. *International Journal of Information Management*, 45, pp.191-210.
- Kusuma, G.P., Wigati, E.K., Utomo, Y., Putera Suryapranata, L.K., 2018. Analysis of Gamification Models in Education Using MDA Framework. *Procedia Comput. Sci.* 135, 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.187>.
- Liu, M., Huang, Y., Zhang, D., 2018. Gamification’s impact on manufacturing: Enhancing job motivation, satisfaction and operational performance with smartphone-based gamified job design. *Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind.* 28, 38–51. <https://doi.org/10.1002/hfm.20723>
- Lowry, J.E., Gaskin, N., Twyman, B., Hammer, T.L. and Roberts, T.L., 2013. Taking “Fun and Games” Seriously: Proposing the Hedonic-Motivation System Adoption Model (HMSAM). *Journal of the Association for Information Systems*, 14(11), pp.617-671.
- Mauroner, O., 2019. Gamification in Management and Other Non-Game Contexts—Understanding Game Elements, Motivation, Reward Systems, and User Types. *Open J. Bus. Manag.* 07, 1815–1830. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2019.74125>

- Mekler, E.D., Brühlmann, F., Opwis, K., Tuch, A.N., 2013. Do points, levels and leaderboards harm intrinsic motivation?: an empirical analysis of common gamification elements, in: Proceedings of the First International Conference on Gameful Design, Research, and Applications. Presented at the Gamification '13: Gameful Design, Research, and Applications, ACM, Toronto Ontario Canada, pp. 66–73. <https://doi.org/10.1145/2583008.2583017>
- Marczewski, A. (2014). Do we need Gamification? Gamified UK. 17 November 2014. Available at: <https://www.gamified.uk/2014/11/17/need-gamification/> [Accesso 12 luglio 2024].
- MODUL University Vienna, Treiblmaier, H., Putz, L.-M., University of Applied Sciences, Upper Austria, Lowry, P.B., Virginia Tech, 2018. Research Commentary: Setting a Definition, Context, and Theory-Based Research Agenda for the Gamification of Non-Gaming Applications. *AIS Trans. Hum.-Comput. Interact.* 129–163. <https://doi.org/10.17705/1thci.00107>
- Mohanty, P. and Christofer B., 2023. A bibliometric analysis of the use of the Gamification Octalysis Framework in training: evidence from Web Science. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 15(2), pp.402-418.
- Nacke, L. E., Deterding, C. S. & Nacke, K. E. (2009) 'The Game Experience Questionnaire: Development of a self-report measure to assess player experiences of digital games', *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4), pp. 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.08.014>
- Mora, D., Riera, C., González, J. and Arnedo-Moreno, J., 2015. A literature review of gamification design frameworks. In: *Proceedings of the 7th European Conference on Game Based Learning*. Academic Conferences International Limited, Reading, UK, pp.469-476.
- Moser, R., Vallon, R., Bernhart, G. and Grechenig, T., 2021. Teaching Software Quality Assurance with Gamification and Continuous Feedback Techniques. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(6), pp.164-176.
- Pereira, M., Oliveira, A., Vieira, R.M. and Lima, L.P., 2018. The gamification as a tool to increase employee skills through interactives work instructions training. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, Cham, pp.383-392.
- Rahma, N.O., Putra, P.A., Rahmatillah, A., Putri, A., Ariyansah, F., Dwi, F., Ain, K., Chai, K. and Rifai, R., 2022. Electrodermal Activity for Measuring Cognitive and Emotional Stress Level. *Journal of Education and Learning*, 11(2), pp.179-192.
- Roh, S., Seo, K., Lee, J., Kim, J., Ryu, H.B., Jung, C., Lee, H., Shin, J., 2016. Goal-Based Manufacturing Gamification: Bolt Tightening Work Redesign in the Automotive Assembly Line, in: Schlick, C., Trzcieliński, S. (Eds.), *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future, Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing, Cham, pp. 293–304. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7_26)
- Salen, E. Zimmerman, Rules of play: Game Design Fundamentals. Boston, MA: MIT Press, 2003. 650 pp. ISBN 0 262 24045 9
- Schnabel, M.A., Lo, S. and Aydin, S., 2014. Gamification and Rule Based Design Strategies in Architecture Education. *International Journal of Architectural Computing*, 12(4), pp.333-348.

<https://doi.org/10.13140/2.1.5150.3689>.

Seaborn, K., Fels, D.I., 2015. Gamification in theory and action: A survey. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 74, 14–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>

Sweller, J., & Chandler, P., 1991. Evidence for cognitive load theory. *Cognition and Instruction*, 8(4), 351- 362.

Tanuraharja, T. and Wang, L., 2022. Improving IT Team Motivation in Using IT Helpdesk. *Journal of Organizational and End User Computing*, 34(2), pp.64-79

Treiblmaier, H., Putz, L.-M. and Lowry, P.B., 2018. Setting a definition, context, and research agenda for the gamification of non-gaming systems. *Association for Information Systems Transactions on Human-Computer Interaction (THCI)*. Available at: <https://doi.org/10.17705/1thci.00107>.

Ulmer, J., Braun, S., Cheng, C.-T., Dowey, S., Wollert, J., 2020. Human-Centered Gamification Framework for Manufacturing Systems. *Procedia CIRP* 93, 670–675. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.076>

Werbach, K., & Hunter, D., 2012. *For the win: How game thinking can revolutionize your business*. Philadelphia, PA: Wharton Digital Press.

[1] Sociologicamente.it, Huizinga, Caillois e Bateson: quando il gioco diventa oggetto di studio. Available at: <https://sociologicamente.it/huizinga-caillois-e-bateson-quando-il-gioco-diventa-oggetto-di-studio/> [Accesso 15 luglio 2024].

[2] Empatica, Download and install the E4 manager. Available at: <https://support.empatica.com/hc/en-us/articles/206373235-Download-and-install-the-E4-manager> [Accesso 12 luglio 2024].