

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Sessione di Laurea Luglio 2024



Tesi di Laurea Magistrale

**Gamification in Human-Robot Collaboration: sperimentazioni
preliminari in ambito Manufacturing**

Relatore:

Prof. Fiorenzo Franceschini

Co-relatore:

Dott. Matteo Capponi

Candidato:

Angelo Nicola Culotta

Anno Accademico 2023-2024

Indice

Indice degli acronimi	5
Introduzione	6
1. Gamification	7
1.1 Definizione e obiettivi	7
1.2 Breve rassegna sulle teorie della gamification	9
1.2.1 Self-Determination Theory	9
1.2.2 Teoria della motivazione	10
1.2.3 Teoria del flusso	11
1.3 Le componenti della gamification.....	12
1.3.1 Dinamiche.....	13
1.3.2 Meccaniche	13
1.3.3 Componenti.....	14
1.4 Tecnologie utilizzate	15
1.5 Gamification nel settore manifatturiero	18
2. Breve Rassegna della Letteratura	20
2.1 Framework in letteratura	22
2.2 Gamification nel processo di training e knowledge acquisition.....	24
2.3 Gamification degli operational tasks	25
2.3.1 Gamification nell'area dell'intralogistica.....	26
2.3.2 Gamification nell'area dell'assemblaggio.....	27
3. Caso Studio	29
3.1 Cobot UR3e.....	30
3.2 Tagliapiastrelle manuale	31
3.2.1 Componenti.....	31
3.3 Processo di assemblaggio	33
4. Gamification Design	35
4.1 Selezione elementi di gioco	36
4.2 Implementazione componenti di gioco	40
4.3 Implementazione dinamiche di gioco	47
4.4 Sommario.....	48
5. Progettazione Esperimento	50
5.1 Disegno sperimentale.....	50
5.2 Descrizione esperimento	50
5.3 Dati raccolti.....	52

5.3.1 Durata della prova e difetti	52
5.3.2 Empatica E4	54
5.3.3 Tobii pro glasses 3	57
5.3.4 NASA-TLX.....	59
5.3.5 Intrinsic Motivation Questionnaire	61
5.3.6 Self-Assessment Mannikin (SAM)	63
5.3.7 User Experience Questionnaire	64
5.3.8 Game Engagement Questionnaire.....	66
6. Analisi dei Risultati	68
6.1 Metodologia	68
6.2 Analisi tempo di assemblaggio	72
6.3 Analisi difetti	76
6.4 Analisi dati questionari di autovalutazione.....	79
6.4.1 Analisi dati NASA TLX	79
6.4.2 Analisi dati Self Assessment Mannikin.....	84
6.4.3 Analisi dati Intrinsic Motivation Questionnaire	86
6.4.4 Analisi dati User Experience Questionnaire	89
6.4.5 Analisi dati Game Engagement Questionnaire.....	92
6.5 Analisi dati parametri fisiologici.....	94
6.5.1 Analisi dati Empatica E4	94
6.5.2 Analisi dati metriche di tracciamento oculare	99
7. Conclusioni.....	102
Appendice	106
Bibliografia	111
Sitografia	117

Indice degli acronimi

AR – Augmented Reality

BVP – Blood Volume Pulse

CD – Core Drive

CET - Cognitive Evaluation Theory

EDA – Electrodermal Activity

GEQ – Game Engagement Questionnaire

HCI - Human-Computer Interaction

HRC – Human-Robot Collaboration

HRV – Heart Rate Variability

IBI – Interbeat Interval

IMI – Intrinsic Motivation Inventory

KPI – Key Performance Indicator

MES - Manufacturing Execution Systems

OIT - Organismic Integration Theory

RMSSD - Root Mean Square of Successive Differences

SAM – Self-Assessment Mannikin

SCL – Skin Conductance Level

SCR – Skin Conductance Response

SDNN - Standard Deviation of NN Intervals

SDT – Self-Determination Theory

SGJD – Smartphone-based Gamified Job Design

TOI – Time of Interest

UEQ – User Experience Questionnaire

VR – Virtual Reality

Introduzione

Negli ultimi decenni, il paradigma della qualità nel contesto manifatturiero ha subito una profonda evoluzione. Infatti, non si tratta più solo di assicurare la conformità del prodotto finale agli standard tecnici, ma si estende anche a considerazioni riguardanti il morale e la motivazione degli operatori. Le attività noiose e ripetitive, tipiche delle operazioni altamente standardizzate in molte industrie, possono infatti portare a una demotivazione significativa tra i lavoratori. Questa mancanza di motivazione non solo influenza negativamente il benessere emotivo degli operatori, ma può anche ridurre l'efficienza e la produttività complessiva dell'azienda.

In questo contesto, la gamification si presenta come una strategia innovativa e promettente per affrontare tali sfide. La gamification, che consiste nell'applicazione di elementi tipici del gioco (come punteggi, livelli, e ricompense) in contesti non ludici, mira a rendere le attività lavorative più coinvolgenti e stimolanti. Introducendo componenti di gioco nelle operazioni quotidiane, le aziende possono incentivare comportamenti desiderati e migliorare l'esperienza lavorativa degli operatori, soprattutto nel caso di operazioni altamente ripetitive in cui l'automazione non risulta essere una soluzione possibile.

Il principio alla base della gamification è che, così come i giochi riescono a catturare l'attenzione e a mantenere alta la motivazione dei giocatori, analogamente, gli stessi principi possono essere applicati per migliorare il morale dei dipendenti. Quando i lavoratori sono motivati e coinvolti, non solo si riduce il rischio di demotivazione e di calo della produttività, ma si possono anche ottenere miglioramenti tangibili in termini di qualità del lavoro e di efficienza operativa.

L'adozione della gamification nel settore manifatturiero può quindi rappresentare un importante passo avanti nel miglioramento del clima aziendale e nella promozione di un ambiente di lavoro più dinamico e stimolante.

L'obiettivo di questa tesi è valutare se l'implementazione della gamification in un contesto manifatturiero possa migliorare la motivazione, le performance operative e lo stato di salute psicofisico dei lavoratori. Per fare ciò, verrà analizzato un caso studio svolto presso il Mind4Lab del Politecnico di Torino, incentrato sul processo di assemblaggio di un tagliapiastrelle manuale assistito da un braccio robotico con l'implementazione di componenti, meccaniche e dinamiche di gioco. Lo stato emotivo dei soggetti sarà valutato attraverso la compilazione di questionari di autovalutazione e il monitoraggio di parametri fisiologici indicatori dello stress percepito.

1. Gamification

1.1 Definizione e obiettivi

Il termine “gamification” viene coniato nel 2003 dal game designer inglese Nick Pelling, ma la sua vera diffusione e l’adozione del termine su larga scala si avrà a partire dal 2010, grazie a Jesse Schell, professore alla Carnegie Mellon University. Schell viene considerato l’inventore della gamification dopo il suo intervento alla Dice Conference (conferenza che si tiene negli Stati Uniti sul tema dei videogames) dal titolo “design out the box”, in cui utilizza per la prima volta il termine per proporre un modo di vedere la vita basato sui meccanismi dei giochi.

Deterding et al. (2011) definiscono la gamification come “l’utilizzo di elementi del game design in contesti non ludici” e questa definizione, sebbene ne esistano altre in letteratura, è quella maggiormente accettata e adottata dalla comunità scientifica. La forza di questa definizione sta proprio nella sua semplicità, sebbene sia importante sottolineare che la gamification non riguarda soltanto l’aggiunta di elementi di gioco, ma implica anche l’utilizzo di tecniche proprie del game design (Werbach e Hunter 2012).

La gamification rappresenta un concetto nuovo all’interno del mondo del game design, infatti, a differenza del concetto preesistente di “playful design”, che rappresenta la progettazione di esperienze ludiche che non necessitano di un obiettivo ultimo, è legata al concetto di *ludus*, ovvero l’esistenza nel gioco di regole e di una forma di competizione al fine di perseguire un obiettivo, a differenza del concetto di *paidia*, che denota una forma di gioco più libera, caratterizzata dall’improvvisazione e da un comportamento tumultuoso.

Allo stesso modo la gamification si distingue dai “serious games”, che rappresentano giochi a pieno titolo applicati a contesti non ludici, per il fatto che questa fa utilizzo di elementi del mondo del game design, ma non rappresenta un gioco completo vero e proprio. Nessuno degli elementi di gioco, infatti, considerato separatamente al di fuori del contesto di gioco potrebbe essere identificato come giocoso.

(Deterding et al. 2011) propongono un framework che consente di distinguere la gamification dagli altri concetti del mondo del game design collegati, attraverso le due dimensioni di gaming/playing, che rappresentano rispettivamente *ludus* e *paidia*, e parts/whole, a seconda che si utilizzino singoli elementi di gioco o si parli di un gioco vero e proprio. Si può quindi mappare la gamification secondo le due dimensioni menzionate come segue:

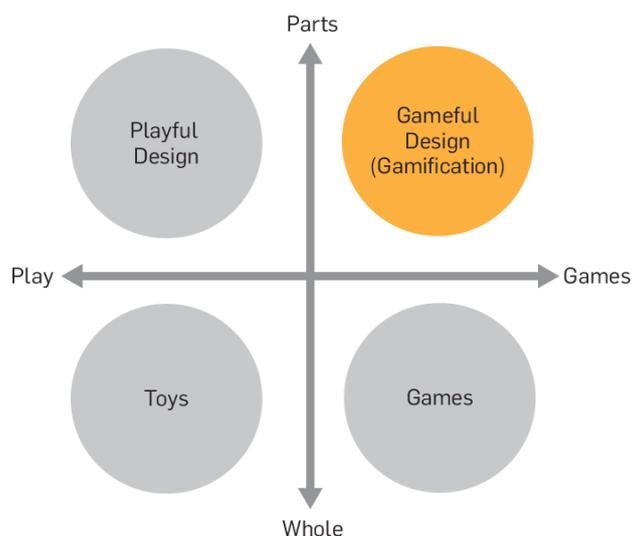


Figura 1.1: Gamification between game and play, whole and parts ((Deterding et al. 2011)

L'impiego di elementi di gioco in contesti non ludici non rappresenta un concetto completamente nuovo; infatti, un primo approccio alla gamification può essere identificato nell'Unione Sovietica di Lenin, dove le competizioni venivano utilizzate per incentivare i lavoratori ed aumentare la loro produttività (Nelson 2012). Inoltre, già dagli anni '80, gli elementi di gioco venivano utilizzati nell'ambito della Human-Computer Interaction (HCI), al fine di migliorare l'interfaccia utente ed arricchire la sua esperienza durante l'interazione con sistemi informatici (Malone 1981).

Il concetto di gamification si è diffuso in vari ambiti, come l'educazione, il mondo aziendale, la salute, il marketing, fino ad estendersi a nuovi settori come quello manifatturiero. La gamification nasce dall'osservazione che i giochi rappresentano uno strumento efficace per spingere i giocatori ad impiegare una grande quantità di tempo ed energia, con l'intento di estendere questi benefici anche a contesti non ludici. L'obiettivo è quello di stimolare un cambiamento nell'atteggiamento degli utenti, promuovendo lo sviluppo di un interesse attivo e il miglioramento della motivazione durante lo svolgimento di una determinata attività. La gamification sfrutta infatti la predisposizione innata dell'essere umano ad apprezzare il gioco e le sfide, al fine di aumentare il coinvolgimento e l'impegno dell'utente, rendendo le attività più interessanti e gratificanti (Simões, Redondo, e Vilas 2013).

I possibili benefici derivanti dall'applicazione della gamification possono essere raggruppati in due categorie:

- Benefici psicologici: benefici legati allo stato mentale degli utenti coinvolti, legati ad esempio alla motivazione, engagement, gradimento ecc.

- Benefici orientati alle performance: benefici legati alle performance dell'attività nella quale viene implementata l'esperienza gamificata, come ad esempio produttività, apprendimento ecc. Questo tipo di benefici si verificano con maggiori probabilità sul lungo termine rispetto ai primi, e possono essere un risultato dei benefici psicologici

Alla luce di ciò, soprattutto nel contesto manifatturiero, il ritorno sugli investimenti rappresenta una delle sfide cruciali della gamification, in quanto non è facile quantificare i ritorni dei benefici psicologici, e talvolta i soli benefici di produzione non sono abbastanza per ricoprire gli ingenti investimenti che derivano dall'implementazione della gamification.

1.2 Breve rassegna sulle teorie della gamification

La gamification trova le sue fondamenta concettuali in tre teorie della motivazione del mondo delle scienze psicologiche.

1.2.1 Self-Determination Theory

La Self-Determination Theory (SDT) è una teoria psicologica che si concentra sull'analisi della motivazione umana e della personalità utilizzando metodi empirici tradizionali per esplorare le risorse innate umane responsabili dello sviluppo della personalità e per l'autodeterminazione (Ryan e Deci 2000b). La SDT esamina le tendenze di crescita e i bisogni psicologici innati che stanno alla base dell'auto-motivazione e l'integrazione personale. Attraverso un metodo induttivo, la SDT identifica tre bisogni psicologici fondamentali: competenza, autonomia e relazionalità. Questi bisogni sono considerati essenziali per favorire un processo ottimale di crescita, integrazione, promozione sociale e benessere personale.

La competenza è strettamente legata alle interazioni con l'ambiente e alla possibilità di esprimere le proprie capacità in relazione ad esso. La relazione con l'ambiente, infatti, innesca nell'individuo un senso di soddisfazione qualora si abbia la percezione di essere competenti in determinate attività.

L'autonomia riguarda la possibilità di effettuare scelte in maniera autonoma, senza subire costrizioni o influenze esterne. L'autonomia costituisce una forma di autoaffermazione, che permette all'individuo di mantenere armonia con la propria identità e di sentirsi coerente con sé stesso.

La relazionalità, infine, è connessa alle relazioni con il prossimo e riguarda il senso di appartenenza a un gruppo nel quale ci si sente accettati e a proprio agio. Si tratta del desiderio di

far parte di un contesto sociale nel quale riconoscersi e dove è possibile stabilire connessioni significative con gli altri.

La possibilità di autodeterminarsi in modo completo accresce la motivazione intrinseca dell'individuo. Secondo la SDT quindi, gli individui sono motivati a lavorare o imparare se sperimentano un sentimento di competenza affrontando una situazione o un task, se sono liberi di effettuare le proprie scelte autonomamente, e se si sentono parte di una comunità con gli individui che li circondano.

1.2.2 Teoria della motivazione

La motivazione può essere descritta come la volontà o il bisogno che indirizza il comportamento verso un obiettivo. La motivazione non è un fenomeno che si manifesta in maniera univoca; infatti, gli individui mostrano non solo differenti gradi, ma anche tipi diversi di motivazione. Ryan e Deci (2000b) offrono una panoramica sulla teoria della motivazione e sulla distinzione tra motivazione intrinseca e motivazione estrinseca.

La motivazione intrinseca è quella che si manifesta quando il comportamento è guidato dal piacere derivante dall'attività stessa; si ha in questo caso la ricerca di divertimento, senso di completezza e realizzazione. La motivazione intrinseca è quindi un concetto che esiste nella relazione tra l'individuo e la specifica attività. La Cognitive Evaluation Theory (CET), che è una sotto-teoria della self-determination theory, sostiene che gli eventi interpersonali e le strutture che suscitano il senso di competenza durante un'attività possono rafforzare la motivazione intrinseca nei confronti dell'attività stessa. Numerosi studi, come ad esempio (Deci 1971) e (Harackiewicz 1979), mostrano inoltre come feedback positivi sulle prestazioni tendano ad aumentare la motivazione intrinseca, mentre feedback negativi portino ad una diminuzione della stessa (Deci e Cascio 1972).

La motivazione estrinseca, al contrario, non è legata al godimento dell'attività stessa, ma piuttosto è associata alla ricerca di una ricompensa tangibile, come ad esempio il denaro o lo status. La motivazione estrinseca è analizzata nella Organismic Integration Theory (OIT), anch'essa una sotto-teoria della self-determination theory, che descrive le diverse forme di motivazione estrinseca in relazione al grado di internalizzazione e integrazione nei confronti di norme comportamentali. Nella OIT, l'internalizzazione rappresenta il processo attraverso il quale un individuo accoglie un valore o una norma, mentre l'integrazione è invece il processo con cui l'individuo trasforma le regolazioni esterne per farle proprie. Se si pensa l'internalizzazione su un continuum, all'aumentare del livello di internalizzazione si ha un miglioramento della percezione di sé e dell'engagement dell'individuo.

La motivazione può essere quindi considerata un oggetto psicologico che sta su un continuum ai cui estremi troviamo la completa demotivazione e la motivazione intrinseca.

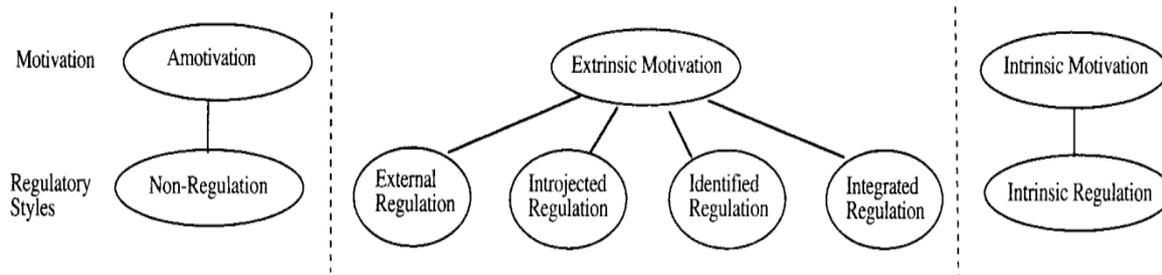


Figura 1.2: The Self Determination Continuum (Ryan e Deci 2000b)

Un utilizzo eccessivo di ricompense esterne può avere un impatto negativo sulla motivazione intrinseca, dando luogo all' "overjustification effect", ovvero una diminuzione della motivazione intrinseca che si verifica quando un individuo compie un'azione soltanto per l'aspettativa di ricevere una ricompensa, subendo una perdita di motivazione quando la ricompensa non viene più offerta (Tang e Hall 1995). Una recente meta-analisi (Deci, Koestner, e Ryan 1999) conferma che potenzialmente ogni tipo di ricompensa tangibile attesa indebolisce la motivazione intrinseca, così come minacce (Deci e Cascio 1972), deadlines (Amabile, DeJong, e Lepper 1976) e pressione competitiva (Reeve e Deci 1996).

1.2.3 Teoria del flusso

Il concetto di "flusso" viene introdotto nel 1975 dallo psicologo Mihály Csíkszentmihályi durante gli studi sulla felicità e sulla creatività nella sua teoria del flusso (Cziksentmihalyi, s.d.). Il flusso, o "esperienza ottimale", rappresenta uno stato di coscienza in cui un individuo è completamente immerso in un'attività specifica. Questa condizione è caratterizzata da una totale concentrazione, focalizzazione sull'obiettivo, motivazione intrinseca, atteggiamento positivo e gratificazione nello svolgimento dell'attività. Quando si è in uno stato di flusso si è completamente assorbiti nell'azione e si perde la percezione di tutto il resto: tempo, persone, distrazioni e persino esigenze fisiologiche. Lo stato di flusso è una condizione spesso osservata in grandi atleti, scienziati, musicisti e artisti in generale.

Le condizioni necessarie per sperimentare il flusso sono:

- La percezione di un livello di sfida sufficientemente alto durante lo svolgimento dell'attività

- Avere le capacità adeguate a poter affrontare l'attività

Sulla base della combinazione di questi due fattori possono verificarsi diversi possibili scenari:

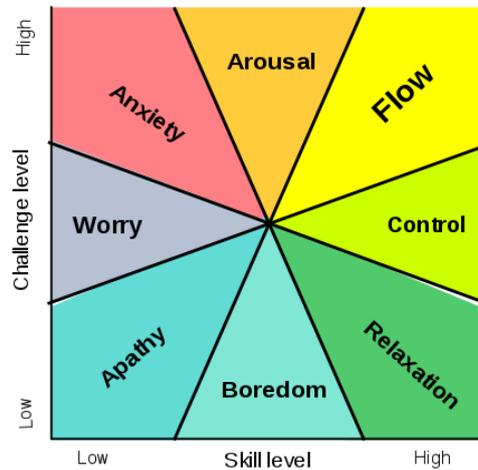


Figura 1.3: Scenari in funzione delle variabili skill e challenge («Flusso (psicologia) - frwiki.wiki», s.d.)

Lo scenario desiderato si trova nel quadrante in alto a destra, mentre all'opposto, con bassa intensità di sfida e basse capacità, subentra la sensazione di apatia.

In considerazione di quanto detto, un gioco ben progettato è in grado di suscitare nell'utente un'esperienza di flusso immersiva, caratterizzata da una profonda motivazione insieme ad un livello di performance ottimale, raggiunta bilanciando il livello di difficoltà del gioco con le abilità dei giocatori per fare in modo che l'utente agisca secondo le proprie capacità, senza provare stati d'ansia, frustrazione o noia.

1.3 Le componenti della gamification

La gamification si avvale di diversi elementi per creare un ambiente interattivo e coinvolgente. Questi elementi includono le regole, le sfide, i premi, i punteggi, i livelli, le classifiche e le ricompense. In generale, tutto ciò che viene utilizzato nello sviluppo di un gioco è comunemente definito come "elemento di gioco". Tuttavia Werbach e Hunter (2012), nel libro "For the win: How game thinking can revolutionize your business", elaborano la "Game Element Hierarchy", che rappresenta una categorizzazione degli elementi di gioco. Gli elementi di gioco possono essere raggruppati in tre diverse categorie, ovvero componenti, meccaniche e dinamiche.

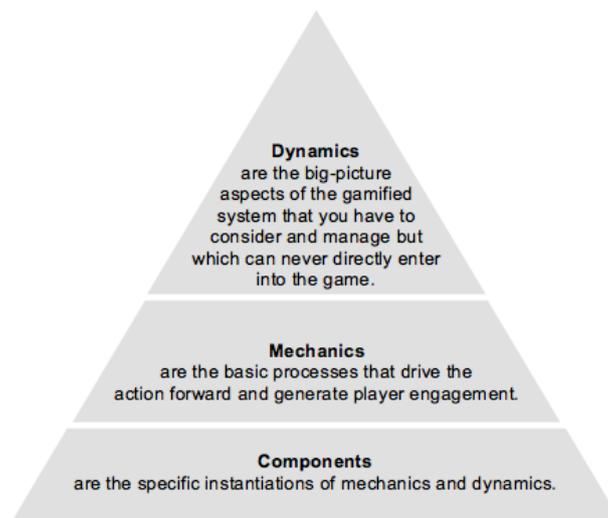


Figura 1.4: Game Elements Hierarchy, (Werbach e Hunter 2012)

1.3.1 Dinamiche

Le dinamiche di gioco, collocate al vertice della piramide degli elementi di gioco, costituiscono gli aspetti più astratti del gioco, ovvero gli elementi di alto livello che contribuiscono a definire un quadro generale. Rappresentano gli aspetti relativi alla costruzione dei processi di gamification, e riguardano le regole, i vincoli, le emozioni e lo sviluppo narrativo. Esempi di dinamiche di gioco sono:

- **Competizione:** senso di sfida che viene a delinearsi durante l'esperienza di gioco attraverso il confronto delle classifiche e il conseguimento degli obiettivi;
- **Vincoli:** insieme di regole e limitazioni che caratterizzano lo svolgimento dell'esperienza di gioco;
- **Emozioni:** meccanismo attraverso il quale specifici elementi di gioco sono volti a suscitare determinate emozioni nell'utente;
- **Narrazione:** sviluppo di una storyline finalizzata a stimolare il coinvolgimento dell'utente e mantenere il suo interesse.

1.3.2 Meccaniche

Le meccaniche di gioco rappresentano il sistema che rende l'esperienza ludica emozionante e coinvolgente, ovvero il processo che guida l'azione del giocatore e stimola l'interesse.

Rappresentano le basi della struttura logica della gamification e riguardano il livello di sfida, la competizione e/o cooperazione e le ricompense. Tra le meccaniche di gioco più comuni figurano:

- Sistema di ricompense: un insieme di premi da attribuire all'utente per premiarlo al raggiungimento di un obiettivo o al completamento di un task;
- Behavioral Momentum: progettazione di missioni o obiettivi che richiedono ripetizione di azioni specifiche, al fine di incoraggiare l'utente a persistere nell'esecuzione di determinati comportamenti per mantenere il suo coinvolgimento;
- Avanzamento: meccanica basata sulla visualizzazione del progresso dell'utente al fine di stimolare l'utente a continuare l'esperienza di gioco;
- Avversione alla perdita: meccanismo che spinge l'utente ad agire in modo da evitare una punizione;
- Community collaboration: meccanica che stimola gli utenti verso la cooperazione e il perseguimento di un obiettivo comune.

1.3.3 Componenti

Le componenti risiedono alla base della piramide degli elementi, rappresentano specifiche caratteristiche che riflettono le meccaniche e le dinamiche di gioco, e sono quindi gli strumenti pratici della gamification. Queste componenti sono spesso visualizzabili sotto forma di tool, che possono essere sia fisici che virtuali, che permettono di mettere in atto le meccaniche e dinamiche. Tra le componenti più frequentemente utilizzate troviamo:

- Leaderboards: una classifica visuale che mostra gli identificativi degli utenti e la loro classificazione sulla base di un punteggio;
- Punti: rappresentano l'unità di punteggio e forniscono una panoramica quantificata del progresso dell'utente;
- Badge: un emblema distintivo utilizzato come segno di un risultato;
- Livelli: un insieme di tappe di difficoltà crescente che identificano il progresso dell'utente;
- Barra di progresso: un elemento grafico utilizzato per visualizzare il progresso dell'utente nel completamento di un task.
- Feedback: rappresenta un'informazione basata sulla reazione alla performance dell'individuo relativa ad un task, viene utilizzato come elemento per spingere l'utente al miglioramento ed incoraggiarlo verso il completamento del task.

1.4 Tecnologie utilizzate

Sebbene la gamification possa essere implementata nei processi anche attraverso un approccio basato su carta e penna, soprattutto nella manifattura si osserva un ricorso più diffuso alla tecnologia. Tra le tecnologie più comunemente adottate troviamo i sistemi informatici, realtà aumentata (AR), riconoscimento del movimento, realtà virtuale (VR), proiezione e smartphone.

Con sistema informatico si intende un sistema che prevede l'utilizzo di un monitor in grado di rappresentare lo scenario gamificato, consentendo contemporaneamente lo scambio di dati relativi al processo (come, ad esempio, l'assemblaggio manuale) in tempo reale. Per rendere tutto ciò possibile, spesso si fa ricorso a Manufacturing Execution Systems (MES), che permettono la gestione e il controllo dei processi di produzione in tempo reale.



Figura 1.5: Processo di assemblaggio con supporto MES

La realtà aumentata è una tecnologia che, solitamente attraverso occhiali o dispositivi simili, ha la capacità di sovrapporre immagini generate al computer alla visione del mondo reale dell'utente. In questo modo l'utente, mentre guarda l'ambiente circostante attraverso questi dispositivi, può vedere informazioni aggiuntive, oggetti virtuali o istruzioni. Questa tecnologia può essere utilizzata, ad esempio, nei magazzini per supportare l'operazione di order picking fornendo all'operatore indicazioni visive sul percorso da effettuare per prelevare i prodotti richiesti.



Figura 1.6: Tecnologia AR a supporto di operazione di order picking («Five Reasons to Invest in Enhanced Vision Technology for Your Warehouse | SupplyChainBrain», s.d.)

I sistemi di riconoscimento del movimento sono una tecnologia che comprende una telecamera ed un algoritmo in grado di acquisire e interpretare le immagini per identificare i gesti umani. Questi sistemi consentono di registrare il progresso e le azioni svolte dall'utente, come ad esempio durante un task di assemblaggio.

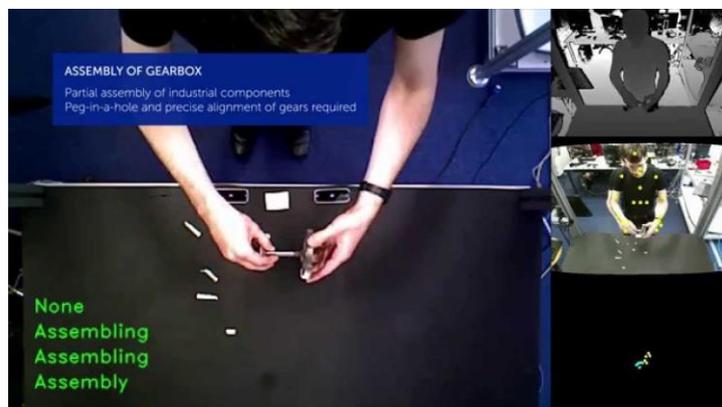


Figura 1.7: Processo di assemblaggio con supporto di un motion recognition system («Multimodal Human Activity Recognition for Industrial Manufacturing Processes in Robotic Workcells - YouTube», s.d.)

La realtà virtuale rappresenta un'esperienza simulata generata da un computer che è in grado di far sentire l'utente immerso in un ambiente virtuale. Questa tecnologia può ad esempio essere utilizzata per simulare un processo di assemblaggio durante la fase di training (Butean et al. 2019).

Utilizzando la VR, infatti, gli utenti possono partecipare a simulazioni dettagliate, consentendo loro di acquisire competenze e familiarità con il processo di assemblaggio in modo efficace e coinvolgente.



Figura 1.8: Tecnologia VR a supporto del processo di training (Evans 2019)

Con “proiezione” ci si riferisce all’utilizzo di un proiettore per mostrare un’immagine su una superficie. Questa tecnologia può essere utilizzata, ad esempio, per mostrare una dashboard gamificata in corrispondenza dell’utente nella stazione di lavoro (Korn, Muschick, e Schmidt 2016), in modo da visualizzare informazioni importanti in modo chiaro e coinvolgente.



Figura 1.9: Tecnologia di proiezione (Kosch et al. 2017)

Lo smartphone, infine, è in grado di eseguire numerose funzioni tipiche di un computer, dotato di un’interfaccia touchscreen, accesso ad Internet e la capacità di eseguire app. Nello studio (Liu,

Huang, e Zhang 2018), ad esempio, viene utilizzata un'applicazione progettata per smartphone che consente di tracciare e monitorare il lavoro di operatori addetti all'utilizzo di macchine a controllo numerico CNC, ed in grado di fornire all'utente un'interfaccia gamificata.



Figura 1.10: App per smartphone sviluppata a supporto della gamification («Mobile Gamification Services - Game Integrations in Mobile App», s.d.)

1.5 Gamification nel settore manifatturiero

La gamification trova la sua prima applicazione nel campo della Human-Computer Interaction (HCI), al fine di migliorare l'interazione uomo-computer facendo ricorso ad un'interfaccia gamificata e ad elementi di gioco (Tondello 2016).

Nel settore educativo la gamification rappresenta una metodologia didattica pienamente accolta, e adottata nelle aule di tutto il mondo. Infatti, tradurre obiettivi educativi in sfide emozionanti, sul modello dei videogames, si è dimostrato uno strumento efficace per migliorare il processo di apprendimento e stimolare la motivazione dei studenti. La gamification trova applicazione anche nel settore della salute, dove viene utilizzata per offrire sostegno psicologico per i pazienti, fornendo un aiuto nella riabilitazione fisica oppure come strumento per la gestione di terapie spesso complesso.

Il settore manifatturiero è emerso negli ultimi anni come promettente campo di applicazione della gamification, che rappresenta infatti un possibile strumento per il miglioramento della

motivazione dei lavoratori e allo stesso tempo i KPI di processo. Infatti, nel mondo della manifattura, la rivoluzione industriale basata sulla standardizzazione e la specializzazione ha portato ad un considerevole aumento della produttività, rendendo il processo semplice e ripetitivo, a discapito del benessere fisico e mentale dei lavoratori. Essere sottoposti ad un lavoro con operazioni ripetitive, infatti, induce una maggiore fatica percepita e senso di noia; inoltre, lavorare nella stessa posizione ripetutamente può causare disturbi muscoloscheletrici, come ad esempio tendinite e tunnel carpale (Roh et al. 2016). Queste carenze fisiche e mentali tendono gradualmente ad abbassare la motivazione intrinseca dei lavoratori, con un impatto negativo sulla produttività e sull'atmosfera generale nell'ambiente lavorativo.

Come regola generale, nella manifattura quando si hanno lotti di grandi dimensioni e componenti standardizzati l'automazione rappresenta la soluzione economicamente migliore e con meno difettosità. Tuttavia, la crescente domanda per prodotti customizzati e i paradigmi di produzione come "build-to-order" e "design-to-order" stanno aumentando la necessità di ricorrere a produzione manuale. In queste circostanze, o comunque laddove il problem solving tipico di operatori umani è necessario per il processo, la gamification può rappresentare una soluzione manageriale per migliorare la motivazione e le performance degli operatori, soprattutto nel caso di operazioni noiose, ripetitive e con basso grado di specializzazione.

2. Breve Rassegna della Letteratura

Considerati gli obiettivi della seguente tesi, la seguente rassegna della letteratura si concentra principalmente sulla gamification nel settore manifatturiero. La gamification nel settore manifatturiero rappresenta un ambito di ricerca nuovo, e le basi concettuali relative all'argomento non sono ancora consolidate. Gli articoli scientifici che trattano l'argomento possono essere divisi in due aree principali di interesse, ovvero *training and knowledge acquisition* e *operational tasks*.

La Tabella 1 riassume i principali articoli riguardo la gamification nel contesto manifatturiero, e il loro contributo principale.

Titolo	Autore	Anno	Contributo principale
From game design elements to gamefulness: defining "gamification"	Deterding et al.	2011	L'articolo investiga le origini storiche della gamification in relazione ai suoi precursori e concetti simili, proponendo la definizione di gamification come "l'utilizzo di elementi del game design in contesti non ludici".
Current state of research & outlook of gamification for manufacturing	Keepers et al.	2022	L'articolo effettua un'analisi dello stato dell'arte della ricerca sulla gamification nel settore manifatturiero, evidenziando la limitatezza degli studi sull'argomento e fornendo suggerimenti per la ricerca futura.
Gamification's impact on manufacturing: Enhancing job motivation, satisfaction and operational performance with smartphone-based gamified job design	Liu et al.	2018	I risultati dello studio mostrano come la SGJD aumenta significativamente la motivazione, la soddisfazione e le performance operative. Viene inoltre messa in evidenza la correlazione positiva tra consenso alla SGJD e miglioramento nella motivazione.
Human-centered performance management in manual assembly	Ohlig et al.	2021	Lo studio empirico mette in evidenza, attraverso osservazioni qualitative,

			come un sistema di gestione delle performance gamificato basato sulla visualizzazione gamificata di metriche di processo agisca da stimolo per la motivazione.
Gamification in industrial shopfloor – development of a method for classification and selection of suitable game elements in diverse production and logistics environments	Sochor et al.	2021	Gli autori sviluppano un framework che agisce da configuratore per la gamification, offrendo un supporto per l'identificazione, selezione ed implementazione di elementi di gioco nel settore della produzione e logistica industriale.
Implementation Model for the Gamification of Business Processes: A Study from the Field of Material Handling	Klevers et al.	2016	Gli autori sviluppano il “GameLog Model”, un modello di implementazione per la gamification dei processi di business, attraverso l'integrazione di elementi e meccaniche di gioco in un contesto di lavoro preesistente.
A Case Study in an Automotive Assembly Line: Exploring the Design Framework for Manufacturing Gamification	Lee et al.	2016	Viene proposto un framework su cinque fasi per la progettazione della gamification nel settore manifatturiero e viene condotto un caso studio per un task di serraggio di bulloni su una linea di assemblaggio.
Goal-Based Manufacturing Gamification: Bolt Tightening Work Redesign in the Automotive Assembly Line	Roh et al.	2016	Lo studio esamina l'effetto della gamification sullo stato di flusso e l'esperienza emotiva del lavoratore, entrambe legate alla motivazione intrinseca sul posto di lavoro.

Tabella 2.1: Articoli analizzati riguardo la gamification nel settore manifatturiero

2.1 Framework in letteratura

In letteratura possono essere individuati numerosi framework, ovvero modelli teorici sviluppati per fornire un supporto per la progettazione e implementazione della gamification al contesto manifatturiero. Si sottolinea comunque che i framework non sono consolidati ed ognuno cerca di fornire una guida alternativa a supporto della ricerca empirica sull'argomento.

Klevers, Sailer, e Günthner (2016) presentano un modello per l'implementazione della gamification nel settore della logistica che viene chiamato "GameLog model", ed una sua applicazione al processo di order picking.

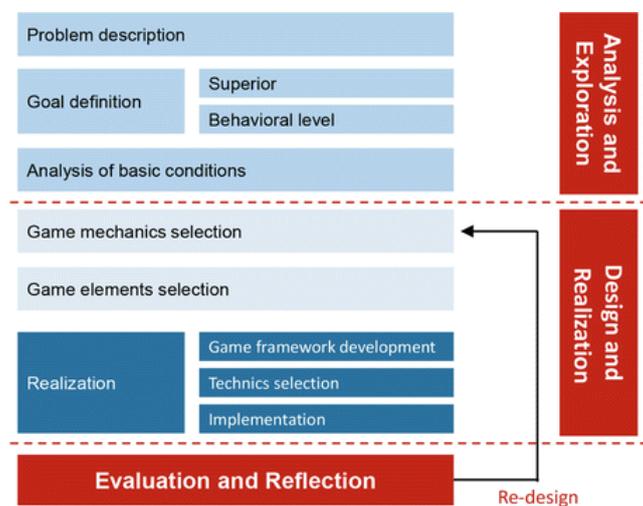


Figura 2.1: GameLog model (Klevers, Sailer, e Günthner 2016)

Il GameLog model (Figura 2.1) prevede tre fasi successive, di cui la prima è l'analisi ed esplorazione, che permette di avere una maggiore comprensione e consapevolezza del contesto di applicazione, attraverso la descrizione granulare del processo, al fine di trovare dei punti possibili di integrazione degli elementi di gioco. Successivamente si ha la fase di riprogettazione e realizzazione, in cui l'applicazione della gamification viene sviluppata e implementata nel contesto. Infine, si ha la fase di valutazione e riflessione, dove viene valutato il successo dell'applicazione e il livello di accettazione degli impiegati.

Sochor et al. (2021) hanno sviluppato un framework a supporto dei manager di reparti di produzione e logistica industriale nella fase di progettazione della gamification per la selezione di elementi di gioco adatti al loro ambiente specifico. Il framework funziona quindi da configuratore per l'identificazione, selezione ed implementazione degli elementi di gioco per i processi di assemblaggio manuale e order picking nello specifico. Le basi teoriche del framework

sono il modello di (Warmelink et al. 2020), che definisce affordances, risultati psicologici, risultati comportamentali, ed il nesso causale tra questi tre elementi, e l'Octalysis framework di (Chou 2015) che si focalizza sull'analisi della motivazione e delle emozioni umane, attraverso il concetto di core drive. Sulla base di queste teorie gli autori sviluppano un modello che, a partire dai behavioural outcomes desiderati, passando per i psychological outcomes attraverso l'Octalysis, consente di identificare gli elementi di gioco adatti da implementare al fine di ottenere i risultati desiderati (Figura 2.3).

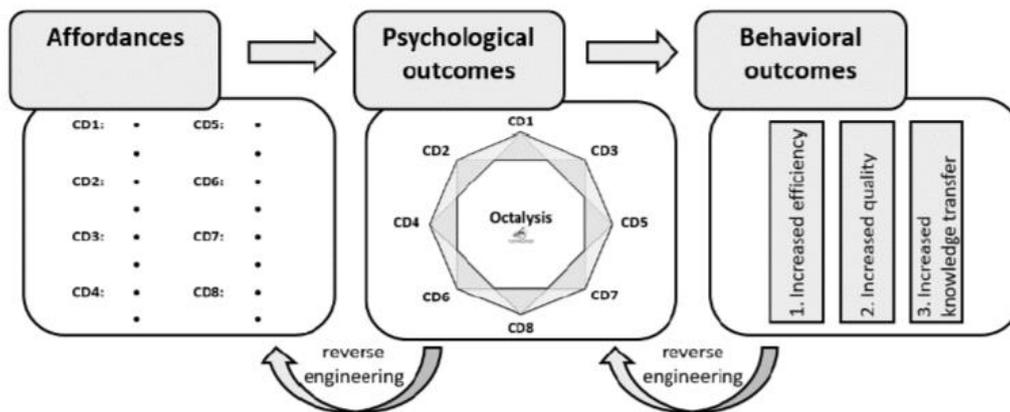


Figura 2.3: Framework per la selezione degli elementi di gioco (Sochor et al. 2021)

Ulmer et al. (2020b) sviluppano un framework che guida nell'implementazione della gamification in processi industriali che prevedono lavoro manuale. Secondo il modello rappresentato in Figura 2.4, in particolare, per una corretta implementazione sono previste delle postazioni di lavoro digitali, un database e la piattaforma della gamification.

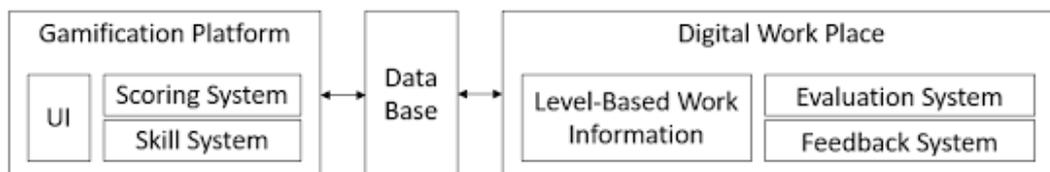


Figura 2.4: Overview del framework per la gamification di task manuali (Ulmer et al. 2020)

La postazione di lavoro deve fornire informazioni digitali sul lavoro autonomamente, valutare automaticamente le azioni dell'utente e mostrare corrette informazioni se necessario, e trasmettere

le informazioni relative al processo al database. Infine, la piattaforma, oltre all'interfaccia utente, comprende il sistema di scoring, che traduce i KPI di processo in punteggi per il gioco, ed un sistema che tenga traccia delle skills dei lavoratori, in modo da permettere agli impiegati di ottenere feedback individuali sul loro processo e accedere correttamente ai propri risultati.

2.2 Gamification nel processo di training e knowledge acquisition

La categoria *training and knowledge acquisition* include quegli articoli che trattano la gamification nel settore manifatturiero per quanto riguarda la fase di istruzione e training; per questo tipo di studi le logiche sono assimilabili agli studi sulla gamification nel settore dell'educazione. Questa categoria presenta infatti una vasta letteratura sull'argomento con numerosi studi empirici.

Pereira et al. (2018) effettuano un caso studio valutando il processo di sviluppo, controllo e fornitura di istruzioni e routine di lavoro per identificare i meccanismi di apprendimento e trasferimento della conoscenza nel contesto manifatturiero. Nello studio viene sviluppata una piattaforma digitale per il training degli operatori con un'interfaccia gamificata, in modo da rendere il processo di training dei lavoratori automatizzato, interattivo, intuitivo e personalizzabile, al fine di migliorare l'engagement e il trasferimento della conoscenza. Solitamente, infatti, le istruzioni e le routine sono disponibili in forma stampata nelle postazioni di lavoro, ma questo implica dei rischi inerenti al loro disuso, perdita o obsolescenza. La piattaforma permette di accedere alla lista delle istruzioni di cui si intende intraprendere lo studio ed una leaderboard dell'operatore contenente la cronologia del training dello stesso. I risultati dello studio mostrano come questo sistema, attraverso la standardizzazione delle routine e delle istruzioni di lavoro, migliori il processo di controllo dei documenti, il processo di apprendimento, consenta l'identificazione delle necessità di training future e la mappatura delle skills, stimolando allo stesso tempo la voglia dell'operatore di apprendere nuove istruzioni e routine rendendole accessibili attraverso la piattaforma.

Ulmer et al. (2020a) propongono un ambiente di apprendimento gamificato supportato dalla VR per scenari industriali. La VR si basa su modelli CAD preesistenti e viene adattata ad ogni operazione. Lo scenario introduce un sistema a livelli che aumenta la complessità del lavoro gradualmente, attraverso KPI che vengono raccolti durante le operazioni effettuate dall'utente e trasferiti attraverso dei punti nel sistema a livelli e sfrutta dei grafi aciclici per modellare le operazioni di assemblaggio oggetto del training. Questo sistema consente di avere una velocità di apprendimento che è adattabile al ritmo e alla dinamica dell'utente e il sistema di valutazione facilita la standardizzazione delle sequenze di lavoro. Lo studio applica questo ambiente di

apprendimento all'assemblaggio di una tavola da skateboard e al montaggio di profili e connettori industriali, mostrando come questo approccio sia adattabile a requisiti e complessità differenti.

Kapp (2012) si concentra sull'applicazione della gamification nel contesto del training e della fornitura di istruzioni. L'analisi esplora come l'utilizzo di elementi ludici possa trasformare e migliorare i processi di formazione. L'autore offre approfondimenti specifici sulle metodologie di gamification utilizzate per rendere più coinvolgenti i programmi di training e vengono presentate strategie pratiche per integrare elementi di gioco nei processi dell'insegnamento. Viene esaminato l'utilizzo di strumenti come badge, punti e livelli possano incentivare la partecipazione attiva nel contesto del training, rappresentando strumenti efficaci per migliorare l'esperienza di apprendimento e la retention delle informazioni.

2.3 Gamification degli operational tasks

Per quanto riguarda invece l'area *operational tasks*, questa include gli studi che trattano la gamification dal punto di vista strettamente operativo, ovvero con riguardo alle operazioni che vengono effettuate giornalmente dagli operatori della manifattura. Restringendo il campo alle *operational tasks* il numero di studi decresce significativamente; infatti, la letteratura sull'argomento è davvero esigua e questo a dimostrazione che la gamification nella manifattura è un settore di ricerca di nuovo interesse, e si è attualmente in una fase esplorativa della ricerca sull'argomento. Tuttavia, nonostante ci si trovi in fase iniziale degli studi sull'argomento, Keepers et al. (2022) mostrano un trend crescente per quanto riguarda gli articoli pubblicati sull'argomento dal 2012 al 2021; questo conferma l'euforia nei confronti dell'argomento, che presenta un numero crescente di studi empirici, e lo sforzo per gettare le basi teoriche sull'argomento.

La gamification si sviluppa in concomitanza con il concetto di Industry 4.0 che inizia a diffondersi dopo il 2011, con concetti quali robotica, automazione intelligente, manifattura avanzata e tecnologie digitali. In questo contesto la gamification può essere vista come uno strumento che “consente di superare la resistenza al cambiamento, come l'adozione di nuove tecnologie e di conseguenza di nuovi metodi di lavoro” (Keepers et al. 2020).

Bartle (1996) con il suo studio distingue 4 diversi tipi di giocatori, ognuno dei quali ha caratteristiche ed obiettivi diversi e approccia il gioco in maniera differente. Questo aspetto sottolinea come diversi utenti possono reagire in maniera diversa allo stesso gioco a seconda della loro natura, per questo è di fondamentale importanza conoscere a fondo quelli che saranno i partecipanti in modo da progettare un'esperienza gamificata ad-hoc.

Infatti, una progettazione human-centered, ed in particolare la scelta dei giusti elementi di gioco, rappresentano un elemento fondamentale per il successo o meno della gamification, in quanto

bisogna appunto progettare un'esperienza ed utilizzare i giusti strumenti in modo da innescare le reazioni comportamentali desiderate. Ad esempio, (Bräuer e Mazarakis 2019) sottolinea come l'utilizzo di badges e leaderboard possa determinare effetti negativi indesiderati, quali il sentimento di incompetenza tra i lavoratori e un conseguente calo della motivazione. Questo possibile effetto trova conferma nell'articolo (Bahr, Mavrogenis, e Sweeney 2022) dove viene effettuata un'intervista strutturata a managers del settore logistico circa la possibile applicabilità della gamification nel settore; in particolare uno degli intervistati ha confermato che gli operatori potessero non apprezzare l'essere classificati o identificati con leaderboards, in quanto una simile iniziativa intrapresa nel suo impianto ha generato una protesta da parte degli operai.

Le due aree che trovano maggiore applicazione della gamification nel settore manifatturiero sono l'*intralogistica* e l'*assemblaggio*.

2.3.1 Gamification nell'area dell'intralogistica

Il settore della logistica industriale è trattato in molteplici studi e rappresenta un'unità di business che presenta le giuste potenzialità per l'applicabilità della gamification.

Bahr, Mavrogenis, e Sweeney (2022) descrivono la gamification come possibile strumento per migliorare le prestazioni e l'engagement dei lavoratori del settore della logistica e supply chain. Il settore è infatti sottoposto ad una continua pressione competitiva verso la minimizzazione di tempi e costi e la massimizzazione dell'efficienza. In questo contesto l'operazione di intralogistica più labour-intensive è l'order picking che viene stimato rappresenti approssimativamente il 60% delle attività (Gamberini et al. 2012) e approssimativamente il 50% dei costi operativi (Roodbergen 2001; Frazelle 2016; Richards 2011). Inoltre, l'attività per sua natura è ripetitiva e noiosa e quindi rappresenta il contesto di applicazione ideale per la gamification che, migliorando il morale e l'engagement dei lavoratori, può portare ad un miglioramento dell'efficienza. Lo studio inoltre mette in evidenza i possibili principali ostacoli all'applicazione della gamification, e tra questi troviamo vincoli finanziari, possibile non efficacia sul lungo periodo, possibili implicazioni etiche e la difficoltà di garantire equità tra tutti i giocatori.

Sempre nell'ambito della logistica industriale, Hense et al. (2014) descrivono le tipiche operazioni di intralogistica come ripetitive ed alienanti, infatti il settore, come anche dimostrato da (Link, Müller-Dauppert & Jung, 2012), presenta livelli di motivazione dei lavoratori molto bassi rispetto ad altri business, insieme ad un elevato turnover e bassi livelli di efficienza. Per risolvere il problema si ricorre spesso a strumenti di incentivi monetari (salary-based o potential-related), che tuttavia si dimostrano utili nel breve periodo ma inefficaci sul lungo periodo, senza mai ricorrere a strumenti come job enrichment, job enlargement o lavori di gruppo per migliorare la motivazione. È in questo contesto che vengono riconosciute le potenzialità della gamification

come un possibile strumento per migliorare la motivazione dei lavoratori e lo studio presenta cinque diversi approcci possibili alla motivazione, per la giusta progettazione di un'esperienza gamificata.

Ponis et al. (2020) effettuano uno studio basato su questionari da sottoporre a pickers e supervisori per indagare il livello di accettazione rispetto all'implementazione di elementi di gioco supportati da strumenti di realtà aumentata nel processo di order picking. L'utilizzo della realtà aumentata nella logistica è stato provato essere uno strumento utile per migliorare la percezione degli operatori del mondo reale (Azuma 1997), migliorando le capacità visive e uditive. Tramite l'AR, infatti, il picker può avere accesso alle informazioni necessarie senza dover muovere la testa, portando ad un risparmio di tempo, e l'utilizzo di strumenti uditivi, come comandi vocali, può esentare gli operatori dall'utilizzo delle mani, portando quindi una maggiore flessibilità. I risultati mostrano come la maggior parte dei supervisori e dei pickers abbiano espresso un'opinione positiva rispetto all'adozione di questi strumenti, indicando la gamification come possibile strumento per migliorare l'accettazione dell'AR, e che questi possano portare ad un miglioramento delle performance e diminuzione della fatica.

Lo studio analizza inoltre i punti di vista degli intervistati sul sistema di assegnazione di premi tangibili, proponendo come possibili alternative il "competitive game" (viene assegnato un premio all'operatore con la migliore performance in un determinato lasso di tempo), oppure il "personal completion game" (viene assegnato un premio ad ogni operatore al completamento di un obiettivo personale). I risultati del sondaggio, coerentemente con le aspettative, mostrano come il primo sistema sia quello preferito dai supervisori, mentre i pickers preferiscono il secondo sistema, in modo da considerare le diverse abilità e potenzialità dei singoli operatori, piuttosto che introdurre una competizione tra i colleghi. Una parte significativa di entrambi i gruppi si esprime invece positivamente verso un sistema di premiazione misto, con elementi di entrambi i modelli.

2.3.2 Gamification nell'area dell'assemblaggio

Relativamente al processo di *assemblaggio*, Liu, Huang, e Zhang (2018) dimostrano come l'implementazione della gamification attraverso un'app per smartphone (si parla infatti di smartphone-based gamified job design, SGJD) ad operazioni effettuate da addetti all'utilizzo di macchine a controllo numerico aumenti la motivazione dei lavoratori e la loro soddisfazione derivante dal lavoro. Lo studio dimostra inoltre come l'implementazione della gamification migliori anche le performance operative del processo, in particolare il tempo totale di lavorazione, inteso come tempo impiegato per completare il numero richiesto di pezzi. Viene inoltre analizzato nello studio il consenso alla gamification, ovvero il grado con cui gli operatori sono disponibili

ad accogliere il cambiamento; infatti, uno dei possibili risultati della gamification potrebbe essere quello di un “divertimento obbligatorio” che potrebbe determinare effetti deleteri sulla motivazione dei lavoratori. I risultati mostrano una correlazione positiva tra il consenso e la motivazione, ad indicare che il consenso rappresenta una variabile cruciale per il successo della gamification.

Roh et al. (2016) dimostrano come lo sviluppo di un’interfaccia gamificata applicata ad un processo manifatturiero di serraggio di bulloni determini una migliore esperienza di flusso rispetto alla normale versione non gamificata del processo. Gli autori in particolare dimostrano con il loro caso studio come l’implementazione della gamification al processo determini un migliore stato di flow per l’operatore, dimostrato da un maggiore bilanciamento tra skills percepite dall’operatore e livello di sfida percepito, entrambi misurati attraverso questionari multi-item su scala Likert.

La gamification inoltre rappresenta inoltre un utile strumento per i sistemi di performance management. Infatti, gli elementi di gioco implementati nei processi rappresentano o si basano su key performance indicators (KPIs), che rappresentano indicatori di performance del processo. La visualizzazione di metriche relative alla performance è solitamente riservata al middle management, mentre gli operatori non hanno alcuna indicazione circa le loro prestazioni. Ohlig et al. (2021) mostrano come un sistema di fornitura di informazioni gamificato, applicato ad un processo di assemblaggio, agisca da stimolo per la motivazione degli operai, misurata attraverso feedback degli operatori successivi all’assemblaggio. Questo sistema si dimostra inoltre efficace per migliorare la dimensione sociale sul posto di lavoro. A tal proposito, si è visto che gli operatori, divisi per la simulazione in gruppi costituiti da tre giocatori alleati, durante le pause avessero delle conversazioni approfondite sull’operazione e sulle proprie performance, a differenza dei gruppi di operatori non sottoposti all’esperimento, dove le conversazioni sono per lo più inesistenti. Anche Treville e Antonakis (2006) sottolineano l’importanza di fornire feedback legati alle performance operative dei lavoratori e di come questi agiscano da incentivo per la motivazione intrinseca e il completamento degli obiettivi.

3. Caso Studio

Il seguente caso studio mira ad analizzare un'applicazione della gamification al settore manifatturiero, nello specifico ad un processo di assemblaggio. Il caso studio prevede in particolare l'applicazione della gamification ad un processo di assemblaggio di un componente industriale assistito da robot collaborativi.

Il lavoro si inserisce pertanto nel panorama della Human-Robot Collaboration (HRC), ovvero il contesto manifatturiero caratterizzato dalla collaborazione tra robot collaborativi (anche chiamati cobot) e operatori umani nell'esecuzione di attività faticose e ripetitive. La HRC, infatti, unisce le competenze distintive degli esseri umani, come la creatività e la flessibilità, con le capacità dei robot, quali la precisione e la forza. Questo approccio crea nuove prospettive per l'automazione e mira alla creazione di ambienti di lavoro più flessibili e adattabili, dove i robot operano in stretta prossimità degli esseri umani, condividendo spazi di lavoro e compiti (Gervasi, Mastrogiacomo, e Franceschini 2020).

L'introduzione di cobot, infatti, consente di ottenere una maggiore flessibilità, particolarmente preziosa in ambienti di produzione in rapida e continua evoluzione. Inoltre, la HRC nei processi di assemblaggio porta ad un aumento significativo dell'efficienza, in quanto i cobot possono eseguire task ripetitivi e fisicamente impegnativi, consentendo agli operatori di concentrarsi su attività più complesse e ad alto valore aggiunto (Zare et al. 2015).

L'obiettivo del caso studio è quello di verificare se l'introduzione di elementi di gioco in un processo di assemblaggio collaborativo possa migliorare la motivazione degli operatori, ridurre il carico di lavoro cognitivo degli stessi, migliorare le performance operative e ridurre gli errori. Il caso studio, inoltre, essendo una prima applicazione della gamification ad un contesto manifatturiero collaborativo, consente di verificare se l'introduzione di elementi tipici dei giochi migliori l'interazione uomo-robot, aspetto cruciale nell'ambito della HRC (Gervasi et al. 2022), attraverso il monitoraggio di parametri fisiologici indicativi dello stress fisiologico.

3.1 Cobot UR3e

L'assemblaggio oggetto del caso studio è stato effettuato con l'ausilio del cobot UR3e, sviluppato da Universal Robots (Figura 3.1).



Figura 3.1: Cobot UR3e («UR3e - Robot collaborativo per Automazione | Fino a 3 kg», s.d.)

Il cobot UR3e, rappresenta una soluzione avanzata nel campo della robotica collaborativa. Il robot è caratterizzato da un design compatto e snodato, presenta un peso di circa 11 kg ed ha una capacità di carico utile massimo di 3 kg, rendendolo ideale per una vasta gamma di applicazioni industriali. Il raggio di lavoro di 500 mm aggiunge ulteriore versatilità, permettendo al robot di operare in spazi limitati e di accedere a varie posizioni.

Con le sue 6 articolazioni, il cobot dispone di 6 gradi di libertà (6-DOF), consentendo movimenti altamente flessibili e precisi; il cobot è quindi adatto per compiti che richiedono una notevole precisione di posizionamento e ripetibilità.

L'interfaccia utente è intuitiva e la programmazione è semplice, consentendo agli operatori di integrare facilmente il cobot nelle linee di produzione senza richiedere competenze avanzate in robotica. La tecnologia di sicurezza avanzata è integrata per garantire la collaborazione sicura con gli operatori umani, con il cobot in grado di rilevare contatti imprevisti e reagire di conseguenza, rallentando o fermandosi.

Il cobot UR3e è adatto a una serie di applicazioni, tra cui l'assemblaggio di componenti, la manipolazione di materiali, operazioni di picking e packing, e attività di ispezione e test. Grazie alla sua connettività e alle interfacce versatili, può essere facilmente integrato in sistemi di automazione esistenti, aumentando l'efficienza e la flessibilità delle operazioni industriali.

3.2 Tagliapiastrelle manuale

Il prodotto finito oggetto dell'assemblaggio è un tagliapiastrelle manuale, ovvero uno strumento dotato di una base su cui viene posizionata la piastrella e un meccanismo di taglio, costituito da una parte mobile dotata di una rotella di taglio che consente di incidere la superficie della piastrella ed imprimere la forza necessaria a rompere la stessa.



Figura 3.2: Tagliapiastrelle manuale (Gervasi et al. 2023)

Lo strumento presenta una struttura semplice e pertanto rappresenta un buon candidato per l'applicazione della gamification, in quanto il processo di assemblaggio del componente è altamente ripetitivo e può risultare noioso. Contesti di questo tipo, infatti, risultano essere buoni candidati per l'applicazione della gamification che potrebbe risultare un efficace strumento per mantenere la motivazione degli operatori e favorire uno stato di flusso caratterizzato da forte concentrazione ed elevata produttività.

3.2.1 Componenti

In questa sezione vengono mostrati i componenti che costituiscono l'assemblato (Figura 3.3) e viene fornita una breve descrizione (Figura 3.4).

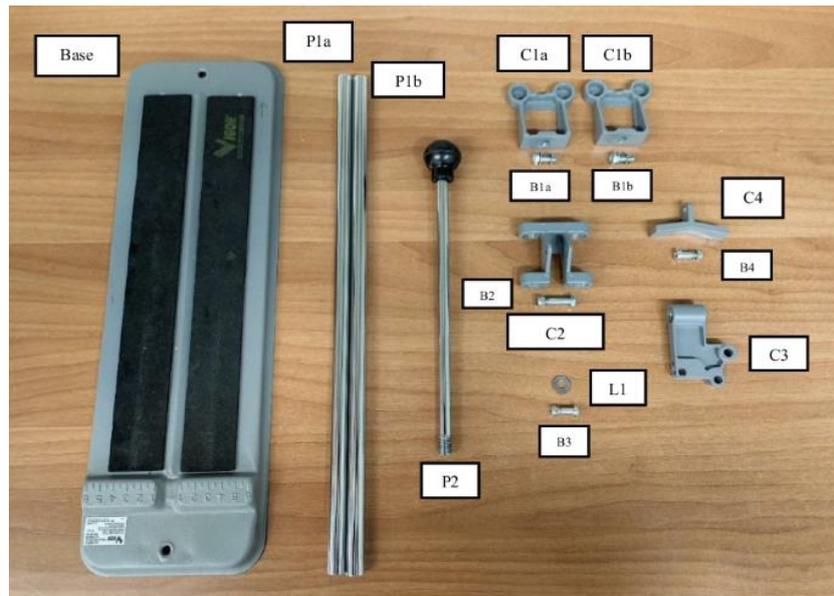


Figura 3.3: Componenti del tagliapiastrelle (Gervasi et al. 2023)

Identifier	Component
Base	Base plate of the tile cutter
C1a	Support for the rails of the tile cutter
C1b	Support for the rails of the tile cutter
B1a	Bolt for fixing the rail support to the base plate
B1b	Bolt for fixing the rail support to the base plate
C2	Joint component between the rails and the cutting mechanism
B2	Bolt for joining C2 with C3
C3	Component of the cutting mechanism
L1	Washer blade to cut the tile
B3	Bolt for joining the washer blade with C3
C4	Component to break the tile
B4	Bolt for joining C3 with C4
P1a	Rail rod of the tile cutter
P1b	Rail rod of the tile cutter
P2	Handle of the tile cutter

Figura 3.4: Lista dei componenti (Gervasi et al. 2023)

Prima di procedere con l'assemblaggio, i componenti vengono disposti in un vassoio in un ordine ben preciso (Figura 3.5), e vengono posizionati sul piano di lavoro in alcune posizioni di riferimento i vari supporti che rappresenteranno i punti di appoggio dell'assemblato durante il processo di assemblaggio (Figura 3.6).



Figura 3.5: Disposizione componenti nel vassoio (Gervasi et al. 2023)

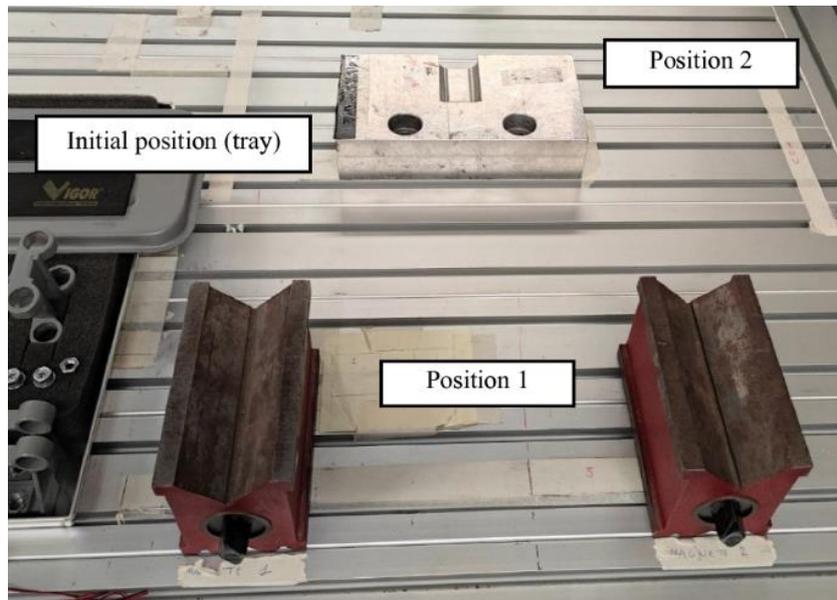


Figura 3.6: Piano di lavoro e supporti (Gervasi et al. 2023)

3.3 Processo di assemblaggio

Il processo di assemblaggio del tagliapiastrelle è suddiviso in operazioni elementari come mostrato in Tabella 2. Le operazioni elementari che compongono il processo possono essere eseguite dall'operatore oppure dal cobot; il cobot esegue essenzialmente operazioni di movimentazione dei componenti del tagliapiastrelle, mentre l'operatore esegue operazioni che richiedono una maggiore flessibilità, come il serraggio delle viti e la giunzione dei componenti.

Fase	Tempo stimato T_j^* (s)	Dev.std. tempo stimato (s)	Attività	Responsabile
Fase 1: Assemblaggio dei supporti sulla base	70	15,6	Att1: Portare la base dal vassoio all'area di assemblaggio	Cobot
			Att2: Assemblaggio dei componenti C1a e C1b sui due lati della base. L'avvitatura di B1a e B1b deve essere leggera per facilitare le fasi successive. Si ottiene l'assemblato A1.	Uomo
Fase 2: Assemblaggio del meccanismo di taglio	119	28,5	Att3: Muovere l'assemblato A1 fuori dall'area di assemblaggio in posizione 2.	Cobot
			Att4: Portare il componente C2 nell'area di assemblaggio (Posizione 1)	Cobot
			Att5: Assemblaggio del componente C3 con il componente C2 attraverso B2 (Assemblato A2).	Uomo
			Att6: Assemblaggio della lama L1 con il componente C3 (Assemblato A3).	Uomo
			Att7: Assemblaggio del componente C4 con C3 attraverso B4 (Assemblato A4).	Uomo
Fase 3: Assemblaggio del meccanismo di taglio con la base	100	31,8	Att8: Spostare l'assemblato sul vassoio (Posizione iniziale)	Cobot
			Att9: Spostare l'assemblato A2 nell'area di assemblaggio (Posizione 1).	Cobot
			Att10: Spostare l'assemblato A4 nell'area di assemblaggio (Posizione 1).	Uomo
			Att11: Inserire le due guide P1a e P1b nei sostegni dell'assemblato A4 (Assemblato A5)	Uomo
			Att12: Inserire l'assemblato A5 nei supporti C1a e C1b dell'assemblato A1.	Uomo
			Att13: Serraggio della vite B1a e B1b (Assemblato A6).	Uomo
			Att14: Avvitare l'asta P2 nel componente C3 dell'assemblato A6 (Assemblato A7).	Uomo
Fase 4: Spostamento prodotto finito	11	0	Att15: Spostare l'assemblato A7 sul vassoio	Cobot

Tabella 3.1: Elenco operazioni elementari processo di assemblaggio

Possono essere identificate quattro fasi del processo (Tabella 3.1), ognuna delle quali presenta un valore medio del tempo di esecuzione ed una deviazione standard, sulla base di stime effettuate su esperimenti pregressi con lo stesso processo di assemblaggio.

Il passaggio tra le operazioni effettuate dall'operatore e quelle effettuate dal cobot viene scandito da un pulsante che si trova in prossimità del piano di lavoro che viene schiacciato dall'operatore. Infatti, appena l'operatore termina le operazioni di sua competenza, premendo il pulsante fornisce l'input al cobot per proseguire. Ogni fase sarà quindi rappresentata dall'insieme di operazioni elementari comprese tra due clic consecutivi del pulsante.

4. Gamification Design

La fase di Gamification Design, ovvero di progettazione dell'esperienza gamificata, per il caso studio di un processo manifatturiero di assemblaggio manuale segue uno schema progettuale articolato in diverse fasi.

- Definizione degli obiettivi

Il primo passo consiste nella chiara definizione degli obiettivi, ossia integrare elementi di gioco nel processo di assemblaggio manuale per migliorare l'efficienza, la produttività e l'engagement degli operatori. L'obiettivo finale è creare un ambiente di lavoro più motivante e stimolante, riducendo la monotonia e aumentando la soddisfazione degli operatori.

- Selezione degli elementi di gioco

Una volta definiti gli obiettivi, si procede con la selezione degli elementi di gioco da introdurre nel processo, utilizzando framework consolidati presenti in letteratura. Questi framework offrono una guida strutturata per identificare componenti, meccaniche e dinamiche di gioco che possono essere efficacemente integrati nel contesto manifatturiero.

- Distinzione tra componenti, meccaniche e dinamiche di gioco

Gli elementi di gioco selezionati vengono poi distinti in tre categorie principali: componenti, meccaniche e dinamiche di gioco.

- Progettazione ad-hoc degli elementi di gioco

Per ogni elemento selezionato, sia esso una componente, una meccanica o una dinamica, viene effettuata una progettazione ad-hoc, in modo da adattare i vari elementi al contesto specifico del processo di assemblaggio.

- Implementazione finale

L'ultima fase prevede l'implementazione finale del sistema di gamification. In questa fase, è fondamentale trovare il punto di integrazione tra il processo di assemblaggio e gli elementi di gioco selezionati. Una volta identificato questo punto, si procede con lo sviluppo della grafica gamificata, ovvero la creazione di un'interfaccia visiva e interattiva che integra tutti gli elementi di gioco selezionati. L'interfaccia visiva deve rafforzare l'engagement degli operatori, contribuendo a trasformare il processo di assemblaggio in un'esperienza più coinvolgente e motivante.

4.1 Selezione elementi di gioco

Per la progettazione dell'esperienza di gioco da implementare nel caso di studio si è scelto di far riferimento al framework "Octalysis in Production and Logistics" (Sochor et al. 2021), ovvero un modello a supporto per l'identificazione, selezione ed implementazione degli elementi di gioco in ambienti legati alla produzione e logistica.

Il framework trova si basa sull'utilizzo del modello Octalysis (Chou 2015), un modello a supporto della progettazione della gamification sviluppato da Yu-Kai Chou. Il modello si basa sulla definizione di otto "Core Drives" (CD), che rappresentano i nuclei motivazionali del comportamento umano. Ogni azione umana è infatti motivata da almeno un CD, e se non si stimola almeno un CD non si dà luogo ad alcuna azione. L'Octalysis presenta una doppia struttura ottagonale (Figura 4.1), dove i lati dell'ottagono interno rappresentano i CD, mentre l'ottagono esterno rappresenta il livello su cui agiscono i CD, ovvero se innescano emozioni positive/negative e se stimolano la motivazione intrinseca/estrinseca.

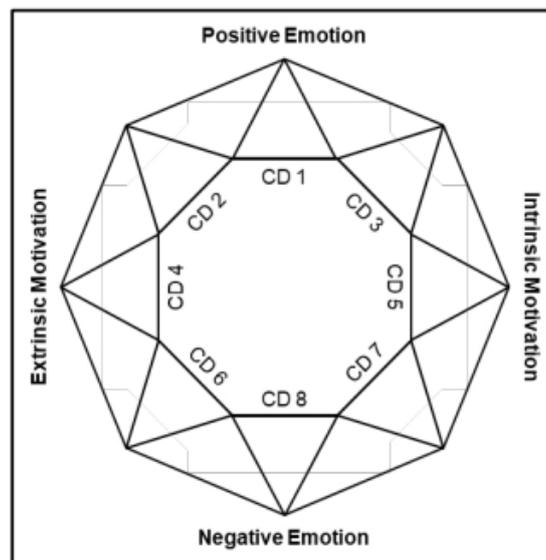


Figura 4.1: Octalysis framework (Chou 2015)

Gli otto Core Drives definiti dall'Octalysis framework sono:

- **Epic Meaning & Calling:** Rappresenta il desiderio di far parte di qualcosa di più grande di sé stessi. Questo CD si basa sull'idea che gli utenti siano spinti a partecipare a un'attività perché ritengono che stiano contribuendo a una causa più elevata.

- **Development & Accomplishment:** Riguarda il desiderio di migliorare le proprie capacità e di raggiungere obiettivi. Questo CD si basa sulle sensazioni di progresso e miglioramento che possono essere perseguite attraverso sfide ed obiettivi chiari.
- **Empowerment of Creativity & Feedback:** Gli utenti sono motivati quando possono essere creativi, esplorare e ottenere feedback costruttivi sulle loro azioni.
- **Ownership & Possession:** Questo CD si basa sull'idea che gli individui si sentano più motivate quando sentono di possedere qualcosa o di avere il controllo su qualcosa, come ad esempio oggetti virtuali, status, conoscenze o abilità.
- **Social Influence & Relatedness:** Fa riferimento alla motivazione indotta dalle interazioni sociali, dalle relazioni e dall'influenza che hanno sugli altri. Questo CD include aspetti come l'accettazione sociale, il supporto e la collaborazione.
- **Scarcity & Impatience:** Questo CD si riferisce al desiderio umano di ottenere qualcosa di raro o limitato. Gli individui sono infatti motivati dalla paura di perdere un'opportunità o dall'urgenza di ottenere qualcosa prima che sia troppo tardi.
- **Unpredictability & Curiosity:** Questo CD si riferisce alla volontà di scoprire l'ignoto e l'attrazione verso situazioni imprevedibili.
- **Loss & Avoidance:** Fa riferimento alla tendenza ad evitare la perdita e il dolore. Gli individui sono spinti a compiere determinate azioni per evitare conseguenze negative o per proteggere ciò che già possiedono.

Definita la base concettuale di riferimento, il modello “Octalysis in Production and Logistics”, a partire dai behavioral outcomes, ovvero gli obiettivi che si intende perseguire per il processo, consente attraverso l’Octalysis di risalire ai CD che li innescano e a sua volta di risalire da questi ultimi agli elementi di gioco (affordances) idonei.

Il modello prevede inoltre dei parametri di filtro (motivazione, emozioni e socialità) (Figura 4.2) che consentono di collegare gli elementi di gioco ai CD e determinare i nuclei motivazionali desiderati a partire dai behavioral outcomes.

CD#	Filter Parameters			Target Dimensions		
	Motivation	Emotions	Sociality	Efficiency	Quality	Knowledge
CD1	intrinsic & extrinsic	positive	group	O	X	X
CD2	extrinsic	positive	individual & group	X	X	O
CD3	intrinsic	positive	individual & group	O	X	X
CD4	extrinsic	positive & negative	individual	X	O	O
CD5	intrinsic	positive & negative	group	O	X	X
CD6	extrinsic	negative	individual	X	O	O
CD7	intrinsic	negative	individual	O	O	X
CD8	intrinsic & extrinsic	negative	individual	X	O	O

10

Figura 4.2: Mapping dei Core Drives rispetto alle dimensioni target e dei parametri di filtro (Sochor et al. 2021)

I risultati desiderati dalla gamification nel processo di assemblaggio in esame sono in particolare un miglioramento dell'efficienza e della qualità. Per quanto riguarda i filtri si vogliono innescare delle emozioni positive, in quanto l'obiettivo proprio della gamification è quello di migliorare il godimento dell'attività e indurre divertimento, e la motivazione intrinseca, in quanto si desidera migliorare la motivazione derivante dall'esecuzione dell'attività stessa piuttosto che quella derivante da riconoscimenti esterni, che alcuni studi riconoscono essere dannosa.

I core drives derivanti da questa selezione sono in particolare CD1, CD2 e CD3. Attraverso la tabella in Figura 4.3, il framework consente di risalire agli elementi di gioco.

Game Element Groups with Description	Example	Core Drives
<i>Points</i> are fundamental elements in many games, which reward players for the successful completion of tasks.	Experience points	CD2, CD3, CD4
<i>Levels and Scores</i> display the progress or advancement a user has already achieved in a game.	Levelling system	CD4, CD6
<i>Badges and achievements</i> are digital artefacts, visual possessions or trophies granted for accomplishments.	Trophy shelves	CD4, CD5
<i>Counters and timers</i> visually show the passage of time towards a specific event.	Countdown timers	CD3, CD6, CD8
<i>Quests</i> are tasks, which often relate to meaningful stories as part of the overall telling of a story.	Daily quests	CD4, CD6, CD8
<i>Performance graphs/ progress bars</i> display user or team performance graphically and progress on a bar.	Performance graphs	CD2, CD3, CD8
<i>(Team) leaderboards</i> are lists of users, which are ordered by one or more variable.	Anonym leaderboard	CD2, CD7
<i>Crowning</i> honours a user for exceptional behaviour or performance during a pre-defined time period.	Employee of the week	CD1, CD5
<i>Multimedial feedback</i> shows results by means of direct visual, acoustic or textual feedback.	Traffic light smileys	CD3, CD5, CD8
<i>Suggestions / advice</i> aim to help users, who do not know how to proceed or need selection choices.	Pick-by-light system	CD2, CD3
<i>Metaphorical or fictional representation</i> is the art of illustrating non-game content with metaphors or fiction.	Fictional scenario	CD1, CD7
<i>Avatars</i> are visual representations of users in form of a chosen character, which clearly identify them.	Customisable avatars	CD3, CD4
<i>Narratives</i> are the composition of stories with higher meaning which form the telling of an overall story.	Open-world narrative	CD1, CD7

Figura 4.3: Gruppi degli elementi di gioco (Sochor et al. 2021)

In particolare, a partire dai core drives CD1, CD2 e CD3, si ricavano i seguenti elementi di gioco:

- **Punti:** un sistema di punteggio che dà una panoramica quantitativa del progresso e delle abilità dell'operatore
- **Barra di progresso:** un elemento grafico che fornisce una visualizzazione della progressione del task e tale da motivare l'operatore a completare la barra e quindi il task.
- **Feedback Multimediale:** reazioni multimediali derivanti dalle performance dell'operatore nel task in modo da incoraggiare l'operatore o fornire indicazioni riguardanti errori o inefficienze.
- **Suggerimento:** consigli durante il processo al fine di guidare l'operatore.

- **Narrativa:** sviluppo di una storyline finalizzata a fornire un significato all'attività che si sta svolgendo.

4.2 Implementazione componenti di gioco

L'implementazione degli elementi di gioco selezionati tramite il modello presentato nel paragrafo precedente è stata effettuata tramite Node-Red («Node-RED», s.d.), uno strumento di sviluppo low-code basato sul flusso, studiato per lo sviluppo di sistemi IoT (Internet of Things) attraverso il collegamento di dispositivi hardware, API e servizi online. Node-Red fornisce un editor basato su browser Web che consente di trattare i dati attraverso l'utilizzo di funzioni JavaScript.

Il software consente di ricavare in tempo reale dati relativi al processo di assemblaggio provenienti dal cobot (Figura A2). In particolare, il sistema registra l'output digitale rappresentato dal bottone premuto dall'operatore che scandisce le fasi successive dell'assemblaggio, processa i dati e mostra i risultati su una dashboard, ovvero un'interfaccia che consente di avere una visualizzazione degli elementi di gioco.

In Figura A1 viene mostrato il flusso Node-Red realizzato per il caso studio. In particolare, ogni nodo del flusso può essere di tipo “function”, laddove consenta di manipolare i dati attraverso funzioni in JavaScript, di tipo “debug”, per la visualizzazione degli output dei vari nodi function del flusso, oppure di tipo “dashboard”, per la gestione degli elementi grafici visualizzati nella dashboard.

Nel caso studio in esame il punto di integrazione per gli elementi di gioco nel processo di assemblaggio è rappresentato dal pulsante schiacciato dall'operatore, chiamato anche “Digital Output”, che rappresenta il comando per il cobot di procedere con il processo. Il sistema, infatti, registra un timestamp dei momenti in cui viene schiacciato il pulsante (Figura A3) e consente quindi di calcolare i tempi di esecuzione delle varie fasi di assemblaggio (Figura A4) e identificare la fase dell'assemblaggio in cui ci si trova, elementi indispensabili per l'aggiornamento degli elementi di gioco.

Di seguito viene presentato come gli elementi di gioco selezionati attraverso il framework vengono adattati al processo di assemblaggio in esame.

- **Punti**

Il sistema di assegnazione del punteggio si basa sul confronto del tempo impiegato dall'operatore nell'assemblaggio con i tempi previsti dalla Tabella 3.1, che rappresentano dei tempi di esecuzione medi ricavati da esperienze pregresse di laboratorio e identificano quindi il tempo

impiegato da un “utente medio”. Come descritto in Tabella 3.1, l’assemblaggio del tagliapiastrelle prevede che l’operatore esegua 3 assemblaggi consecutivi che coinvolgono i diversi componenti dell’assemblato, mentre il cobot si occupa della movimentazione dei componenti e del prodotto finito all’interno della postazione di lavoro. Possono essere identificati all’interno del processo di assemblaggio 3 fasi eseguite dall’operatore.

Il tempo impiegato dall’operatore nelle tre fasi è quello che permette di implementare il sistema a punti, essendo questo tempo ad essere confrontato con i valori di benchmark. In particolare, il tempo osservato T_j , dove il pedice j identifica la fase dell’assemblaggio ($j = 1 \dots 3$), è il tempo che intercorre tra 2 output digitali successivi misurato dal sistema, e quest’ultimo comprende entrambi il tempo di movimentazione dei componenti impiegato dal cobot (deterministico) ed il tempo di assemblaggio impiegato dall’operatore.

Nello specifico si avrà:

$$T_j = C_j + O_j \quad (4.1)$$

dove:

C_j = tempo di movimentazione impiegato dal cobot nella fase j

O_j = tempo impiegato dall’operatore nell’assemblaggio durante la fase j

In tutte e 3 le fasi dell’assemblaggio i tempi T_j verranno quindi confrontati con i valori di riferimento T_j^* previsti dalla Tabella 3.1, anch’essi pari a:

$$T_j^* = C_j^* + O_j^* \quad (4.2)$$

dove:

T_j^* = tempo di esecuzione di benchmark per la fase j

C_j^* = tempo di movimentazione impiegato dal cobot nella fase j

O_j^* = tempo di benchmark per l’assemblaggio effettuato dall’operatore nella fase j

In Tabella 4.1 si può osservare la suddivisione dei tempi di benchmark per le fasi dell’assemblaggio in esame.

Fase	T_j^*	O_j^*	C_j^*
Fase 1	70	57	13
Fase 2	119	103	16
Fase 3	100	80	20
Fase 4	11	0	11

Tabella 4.1: Suddivisione tempi di assemblaggio di benchmark

Si noti come il valore T_j derivi essenzialmente da O_j , ovvero dal tempo impiegato dall'operatore, essendo il tempo di movimentazione deterministico, quindi $C_j = C_j^*$. Il tempo complessivo T_j è quindi identificativo della performance dell'operatore nell'assemblaggio durante la fase j .

Il sistema di assegnazione del punteggio prevede che ad ogni fase dell'assemblaggio venga assegnato un punteggio p_j all'operatore sulla base del confronto del tempo impiegato con i valori di benchmark.

In particolare, per ogni fase j si avrà:

- Se $T_j < T_j^*$ allora $p_j = 2$
- Se $T_j \geq T_j^*$ allora $p_j = 1$

Il sistema assegna quindi un punteggio sulla base delle performance dell'operatore nell'assemblaggio. Per sviluppare un sistema di incentivo, si è scelto di assegnare un punteggio pari a 2 se l'operatore si comporta meglio dell'"utente medio" ed effettua l'assemblaggio più rapidamente, altrimenti si assegna 1 punto (Figura A6).

Il punteggio finale conseguito dall'operatore "i" nell'assemblaggio del tagliapiastrelle, la cui visualizzazione è mostrata in Figura 4.5, sarà dato dalla somma dei punteggi conseguiti nelle tre fasi successive, quindi:

$$P_i = \sum_{j=1}^3 p_j \tag{4.3}$$

Punteggio

6

Figura 4.5: Visualizzazione punteggio

- **Barra di progresso**

Viene visualizzata nella dashboard una barra a riempimento (Figura 4.6) e, al completamento di ogni attività, è possibile visualizzare l'avanzamento della barra al quale corrisponde l'avanzamento del processo (Figura A7). Il progressivo avanzamento della barra corrisponde alla percentuale di completamento del processo corrispondente. La barra di progresso viene riempita completamente quando viene terminato l'assemblaggio del prodotto finito.



Figura 4.6: Barra di progresso

- **Feedback multimediale**

Come feedback multimediale si è scelto di visualizzare i tempi di esecuzione di ognuna delle 3 fasi di assemblaggio, in modo da fornire all'operatore un riscontro sulla sua performance assemblaggio in tempo reale. A tal proposito, infatti, (Ohlig et al. 2021) mostra come un sistema di information provisioning gamificato possa migliorare la motivazione degli operatori.

I tempi di esecuzione vengono mostrati in tempo reale nella dashboard come in Figura 4.7.

Tempi di esecuzione

Fase 1	3.515 S
Fase 2	69.325 S
Fase 3	7.339 S

Figura 4.7: Visualizzazione tempi di esecuzione

La misurazione, e visualizzazione, del tempo di esecuzione dei 3 assemblaggi permette di definire un indicatore di performance per le 3 fasi dell'assemblaggio, che rappresenta un secondo feedback multimediale per l'operatore.

L'ipotesi di base che permette di definire l'indicatore di performance è la forma distributiva dei tempi di assemblaggio delle varie fasi del processo. In particolare, sulla base delle esperienze pregresse, si può assumere che i tempi di esecuzione delle fasi j si distribuiscano normalmente.

Si avrà quindi: $T_j \sim N(T_j^*; \sigma_j)$

Questa ipotesi permette di definire un indicatore di performance per ogni fase del processo di assemblaggio (Figura A8). Si è infatti scelto di utilizzare come indicatore di performance l'anticumulata di T_j , ovvero l'area staccata sulla distribuzione a destra di T_j .

Si può quindi definire l'indicatore come segue:

$$KPI_j = (1 - \Phi(T_j)) \times 100 = \left(1 - \Phi\left(\frac{T_j - T_j^*}{\sigma_j}\right)\right) \times 100 = (1 - \Phi(Z_j)) \times 100 \quad (4.4)$$

Dove il valore di $\Phi(Z_j)$ va ricavato dalle tavole della normale standardizzata.

La visualizzazione del feedback multimediale è mostrata in Figura 4.8.

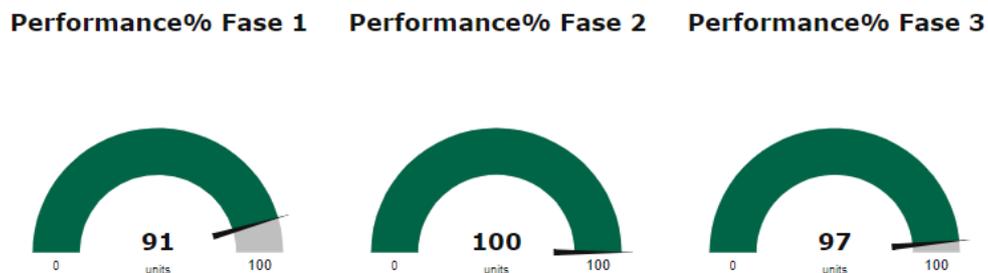


Figura 4.8: Visualizzazione indicatori di performance

Si è scelto di utilizzare l'anticumulata piuttosto che la cumulata come indicatore poiché questa aumenta al diminuire di T_j ; quindi, è più adatta a rappresentare la performance dell'operazione in quanto è crescente rispetto alle prestazioni dell'operatore nell'assemblaggio.

- **Suggerimento**

Viene visualizzato un avatar virtuale che durante le attività fornisce dei consigli per guidare l'operatore verso la corretta esecuzione del task, eventualmente anche mostrando delle immagini esemplificative per facilitare la comprensione (Figura A5).

L'avatar virtuale scelto, in quanto l'assemblaggio consiste essenzialmente nel serraggio di viti, è mostrato in Figura 4.9.



Figura 4.9: Avatar assistente virtuale

Per il processo di assemblaggio in esame sono stati generati dei suggerimenti che derivano dalla considerazione delle principali problematiche che possono sorgere durante l'assemblaggio in esame. Ad esempio, l'avatar può consigliare di non serrare eccessivamente le viti dei supporti nella prima fase per facilitare il successivo inserimento del meccanismo di taglio, oppure mostrare una foto esemplificativa che mostra il corretto posizionamento dei componenti che insieme rappresentano l'alloggio della lama (che dagli esperimenti precedenti risulta essere lo step più critico del processo di assemblaggio).

Alla luce di queste considerazioni, la Figura 4.10 mostra i suggerimenti generati per il processo di assemblaggio.

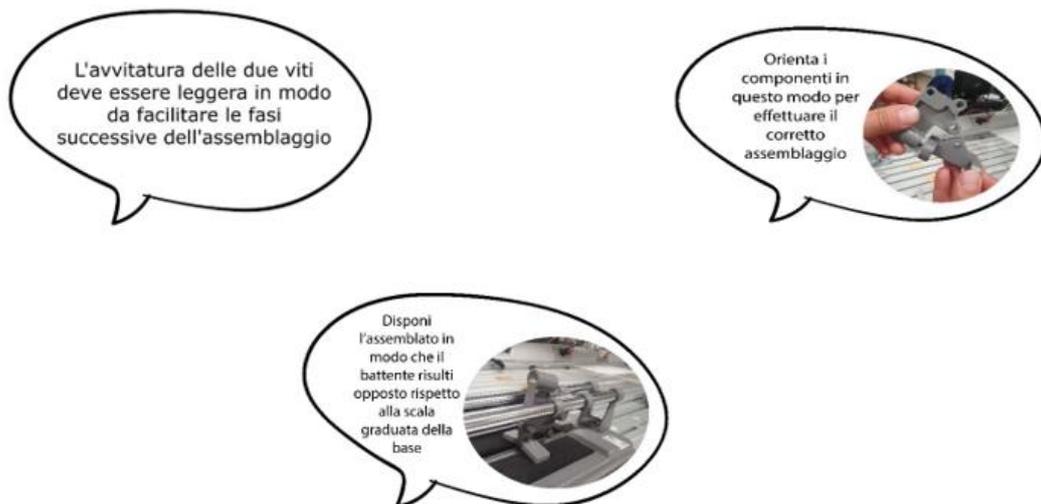


Figura 4.10: Visualizzazione istruzioni

In Figura 4.11 viene mostrata la dashboard finale che comprende tutti gli elementi di gioco menzionati sopra.

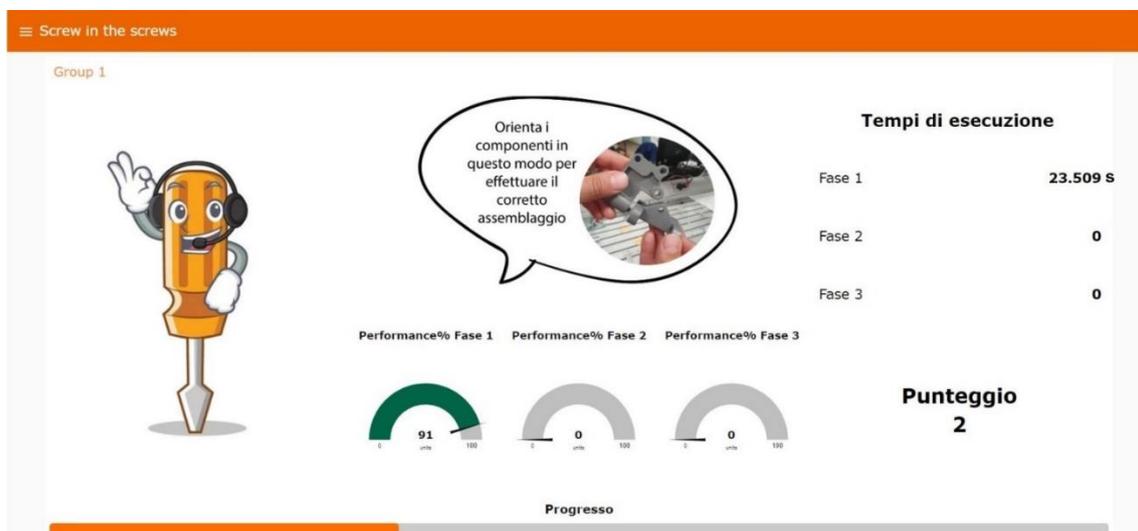


Figura 4.11: Dashboard finale caso studio (Fase 2)

La dashboard in figura contiene elementi di gioco che fungono da motivatori estrinseci, ovvero da elementi che mirano a dirigere il comportamento dell'individuo verso il miglioramento e il superamento di sé stesso sulla base di un sistema di ricompense (come l'assegnazione del punteggio o la visualizzazione dei KPIs) o, in generale, grazie a componenti legate causalmente alla performance dell'operatore durante l'assemblaggio.

Gli elementi di gioco implementati nel caso studio rappresentano lo strumento per l'introduzione delle meccaniche di gioco nell'esperienza gamificata. In particolare, l'assegnazione del punteggio e la visualizzazione dei KPIs sono legati al "Sistema di ricompense", infatti all'utente viene attribuito un punteggio o un indicatore sulla base della sua performance. La barra di progresso è invece legata alla meccanica "Avanzamento", rappresentando infatti uno strumento che scandisce le fasi del processo di assemblaggio e fornisce una visualizzazione della progressione dell'utente.

4.3 Implementazione dinamiche di gioco

Per il caso studio è stata inoltre sviluppata una narrativa, inerente alle dinamiche di gioco, ovvero lo sviluppo di una narrazione che ha l'obiettivo di legare causalmente e cronologicamente le azioni dei partecipanti nel mondo reale, ovvero l'assemblaggio del tagliapiastrelle, e il corrispettivo nel mondo virtuale.

Seo et al. (2021) sottolineano nel loro studio come le applicazioni della gamification precedenti siano state soprattutto forme di performance-based gamification, ovvero gamification che si basa soltanto sull'introduzione di elementi di gioco che si rifanno alla performance dell'operatore, ovvero motivatori estrinseci che puntano più che altro sui risultati e sulla motivazione estrinseca, attraverso sistema di obiettivi, premi, e regole da seguire. Lo studio, così come (Easley e Ghosh 2016), sostiene che le ricompense estrinseche, da sole, non sono sufficienti a motivare l'operatore e rischiano di dar luogo all'"overjustification effect". Inoltre, (Mekler et al. 2017), sottolinea come gli extrinsic rewards, come punti o ranking, possano portare a vivere l'esperienza di gioco come una forma di misurazione della performance, ostacolando quindi lo sviluppo di una forma di motivazione intrinseca negli operatori.

Seo et al. (2021), così come (Nicholson 2015), sostiene che la "Narrative Gamification" invece può essere uno strumento in grado di stimolare la motivazione intrinseca, portando ad una migliore comprensione del motivo per cui si sta operando e ad una migliore esperienza di flusso, attraverso il trasporto nei confronti della narrativa proposta. Infatti, è meno probabile che la gamification tradizionale ingaggi le emozioni dei partecipanti, mentre la gamification narrativa determina un maggior coinvolgimento cognitivo ed emotivo, risultando in una esperienza maggiormente piacevole.

Per questi motivi, si è scelto di implementare nell'esperienza gamificata del caso studio una narrativa, associata agli elementi di gioco visti in precedenza, ed è stata quindi sviluppata un'interfaccia grafica animata, anch'essa, come la dashboard precedente, situati in prossimità della postazione di lavoro durante l'esperimento.

L'animazione sviluppata (Figura 4.12 e 4.13) funge da motivatore intrinseco, infatti, l'obiettivo è quello di stimolare la motivazione dell'utente non in relazione ad un incentivo esterno, ma per il piacere dell'attività stessa e per la curiosità ed il senso di progressione innescato dalla visualizzazione dell'ambiente virtuale.

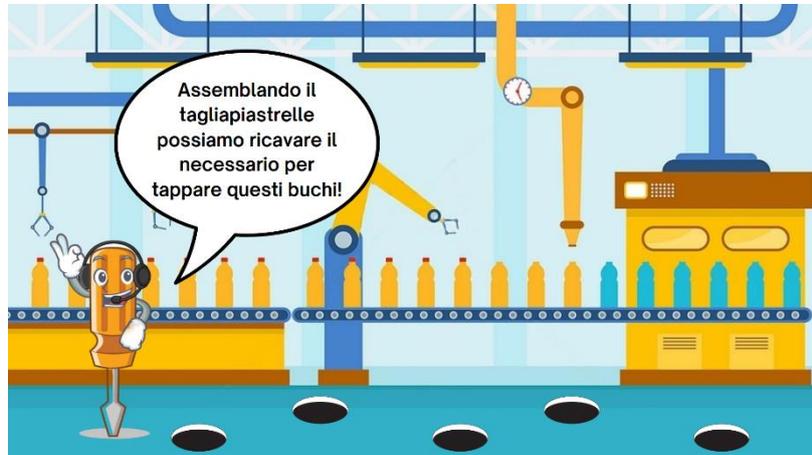


Figura 4.12: Interfaccia grafica narrativa



Figura 4.13: Interfaccia grafica narrativa (secondo assemblaggio)

L'interfaccia presenta lo stesso avatar presente nella dashboard di Node-red, che anche qui guida il partecipante nella progressione dell'esperienza. Il setting dell'animazione è un'ambiente industriale e l'animazione è progettata in modo che ogni qual volta il partecipante completa l'assemblaggio di un prodotto, nel mondo virtuale venga riparato un "buco" del pavimento. In questo modo l'individuo può visualizzare nel mondo virtuale il risultato delle sue azioni.

4.4 Sommario

In conclusione, per il gioco finale venuto a configurarsi tramite l'implementazione degli elementi di gioco descritti in precedenza, l'obiettivo dei giocatori è quello di svolgere con successo 5

assemblaggi del tagliapiastrelle, in modo da collezionare più punti e commettere meno errori possibili (va comunque specificato che il gioco non tiene traccia degli errori, in quanto nel caso studio non si dispone di un motion recognition system, ma questi vengono rilevati ad ogni assemblaggio tramite ispezioni visive e riportati manualmente).

In sintesi, la Tabella 4.2 elenca gli elementi di gioco implementati nel sistema gamificato:

Categoria	Elementi implementati nel caso studio
Dinamiche	Narrazione e storytelling
Meccaniche	Sistema di ricompense Avanzamento
Componenti	Punti Barra di progresso Feedback multimediale Suggerimento

Tabella 4.2: Elementi di gioco implementati

In Figura 4.15 vengono mostrate le diverse fasi del processo di assemblaggio e le relative schermate della dashboard gamificata che scandiscono le fasi del gioco.

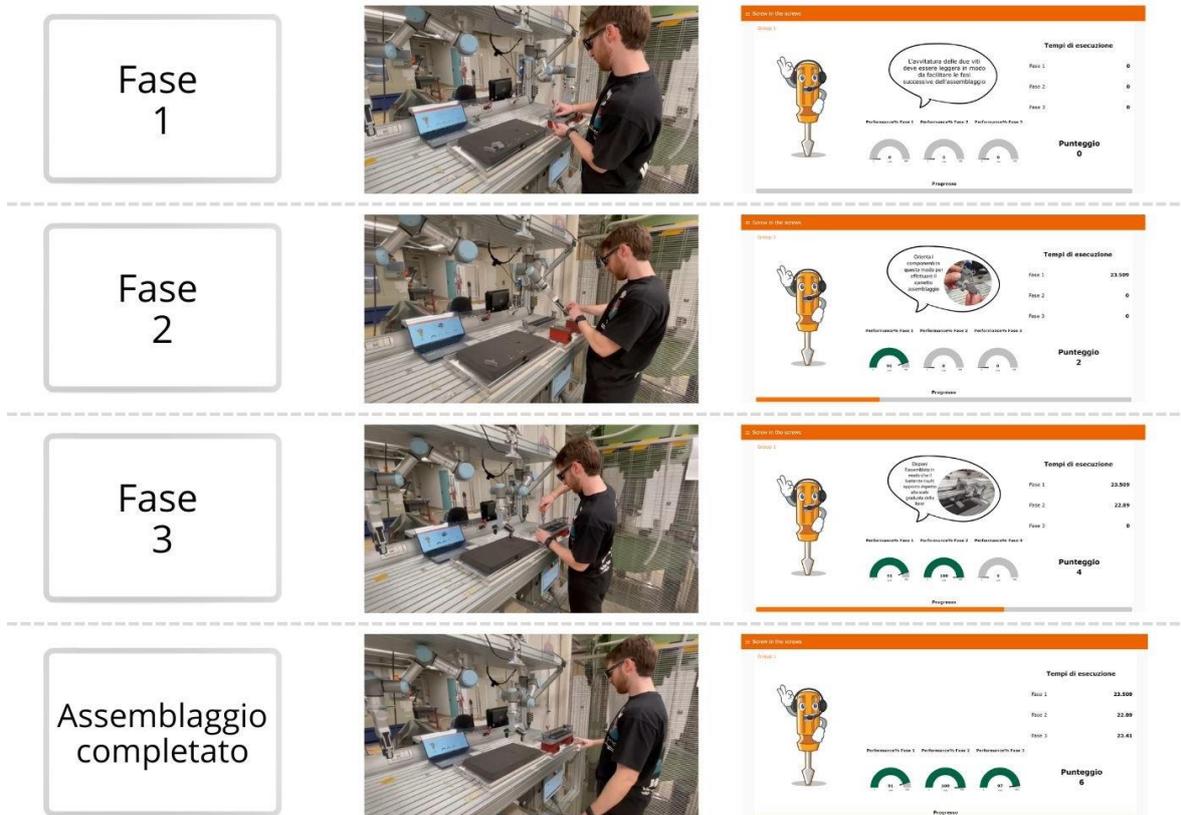


Figura 4.14: Interfacce dashboard gamificata associate alle fasi del processo di assemblaggio

5. Progettazione Esperimento

In questa sezione viene presentata la progettazione dell'esperimento volto ad analizzare il possibile impatto della gamification su un processo di assemblaggio manuale di una tagliapiastrelle assistito da un robot collaborativo.

5.1 Design sperimentale

Il fattore a monte che viene fatto variare è il fatto di essere sottoposti o meno alla versione gamificata del processo di assemblaggio. Per il caso studio viene utilizzato una metodologia "within-the-subject", ovvero un design sperimentale in cui gli stessi partecipanti sono sottoposti ad entrambe le condizioni sperimentali. Questo approccio consente di diminuire la variabilità dovuta alle possibili differenze individuali, in quanto ogni partecipante funge da controllo per sé stesso. Lo svantaggio di questa metodologia, però, è che l'ordine in cui le condizioni vengono presentate può influenzare i risultati, a causa di possibili effetti di fatica o di apprendimento. A tal proposito, è stato effettuato un bilanciamento tra l'ordine delle condizioni sperimentali, in modo che due partecipanti successivi venissero sottoposto alle due versioni dell'assemblaggio con ordine invertito; in questo modo è possibile distribuire gli effetti dell'ordine in modo uniforme tra i partecipanti.

5.2 Descrizione esperimento

L'esperimento è stato svolto all'interno del "Mind 4 Lab" (Manufacturing Industry 4.0 Lab) ed ha coinvolto 15 partecipanti, di cui 4 donne e 11 uomini, di età compresa tra i 21 e i 27 anni. L'esperimento consiste nell'assemblaggio del tagliapiastrelle in Figura 3.2 assistito da cobot in due diverse modalità, ovvero normale e con implementazione della gamification. Nella modalità normale il partecipante esegue il processo di assemblaggio assistito dal cobot senza l'ausilio di alcun altro supporto, mentre nella versione gamificata il partecipante svolge lo stesso processo di assemblaggio con il cobot, ma in più ha a suo supporto due schermi con le dashboard gamificate descritte in Figura 4.11 e Figura 4.13.

In Figura 5.1 viene mostrato il layout della postazione di lavoro dell'esperimento (in modalità normale i due schermi non sono presenti):

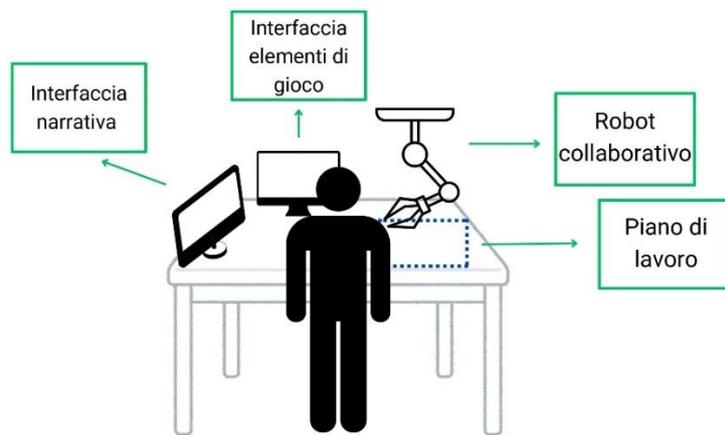


Figura 5.1: Layout area di lavoro

La fase preliminare dell'esperimento ha previsto lo svolgimento di un assemblaggio di training in cui è stato spiegato ai partecipanti il task e illustrate le fasi operative previste da Tabella 3.1. Durante la fase sperimentale vera e propria ogni partecipante ha svolto l'assemblaggio 10 volte, di cui 5 assemblaggi in versione normale e 5 assemblaggi in versione gamificata (Figura 5.2), con ordine di somministrazione delle versioni alternato tra i partecipanti.

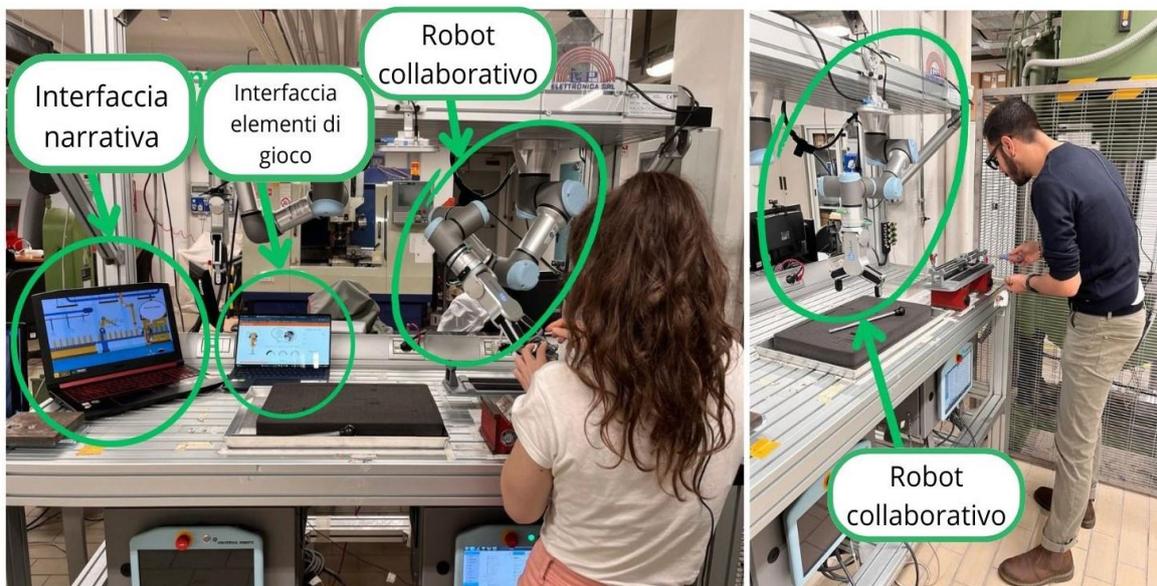


Figura 5.2: Prova sperimentale in modalità gamificata (sinistra) e normale (destra)



Figura 5.3: Visualizzazione campo visivo del partecipante tramite Tobii pro glass

Al termine di ogni versione dell'assemblaggio, ogni partecipante ha compilato dei questionari di autovalutazione per rilevare la percezione riguardo l'esperimento, mentre i dati relativi alla performance operativa (tempi di assemblaggio e difetti) ed i parametri fisiologici sono stati raccolti ad ogni assemblaggio svolto dai partecipanti.

5.3 Dati raccolti

I dati raccolti nell'esperimento sono di due tipi, ovvero collezionati successivamente l'esperimento con la compilazione di questionari di autovalutazione da parte dei partecipanti, oppure possono essere raccolti durante l'esperimento, nel caso in cui questi dati siano relativi al processo oppure dati relativi a parametri fisiologici. Liu, Huang, e Zhang (2018) suggerivano, a tal proposito, l'utilizzo di parametri fisiologici per la ricerca futura, in modo da avere dati obiettivi e superare la soggettività data dai questionari di autovalutazione.

Alla fine delle prove, è stato inoltre chiesto un feedback qualitativo ai partecipanti riguardo le loro impressioni sull'esperimento.

5.3.1 Durata della prova e difetti

Per ogni partecipante viene misurata la durata delle tre fasi che compongono il processo di assemblaggio (Tabella 3.1). Questa misurazione viene effettuata in automatico dall'applicativo

NodeRed grazie alla trasmissione in tempo reale dei dati del cobot, ed in particolare del timestamp del momento in cui viene schiacciato il bottone dal partecipante.

Pertanto, per ogni partecipante, viene registrato alla fine di ogni assemblaggio, in entrambe le versioni, il tempo di assemblaggio impiegato per ogni fase (Figura 5.4).

	TEMPO			
	FASE 1	FASE 2	FASE 3	TOT
ASSEMBLAGGIO 1				
ASSEMBLAGGIO 2				
ASSEMBLAGGIO 3				
ASSEMBLAGGIO 4				
ASSEMBLAGGIO 5				

Figura 5.4: Report tempi di assemblaggio

Per quanto riguarda i tempi di esecuzione delle varie fasi, questi vengono infine sommati in modo da ricavare il tempo totale di assemblaggio. In questo modo sono inoltre possibile delle compensazioni tra i tempi di esecuzione delle varie fasi, in modo che, se si performa male in una fase è possibile recuperare nelle altre. Il tempo totale, infatti, è quello che descrive la performance dell'assemblaggio e determina la produttività del processo.

Durante l'esperimento vengono inoltre raccolti dati relativi ai difetti sul prodotto e difetti di processo. I difetti di prodotto sono direttamente osservabili sul prodotto finito al completamento dell'assemblaggio, mentre i difetti di processo vengono osservati durante lo svolgimento dell'esperimento. Per la raccolta dei dati relativi agli errori si fa riferimento a (Gervasi et al. 2023), che effettua una categorizzazione dei possibili difetti relativi al processo di assemblaggio dello stesso prodotto.

Tabella difetti	
Umano	Robot
Componente selezionato sbagliato	Fallimento nel picking
Caduta componente	Caduta componenti
Posizionamento componente errato	Picking errato
Assemblaggio errato	Danneggiamento componenti
Danneggiamento componente	Collisione con oggetti
Caduta dado/rondella	Collisione con operatore
Input al cobot errato	Stop d'emergenza
Selezione vite/dado/rondella errato	Operator clamping
Posizionamento vite/dado/rondella errato	
Assemblaggio vite/dado/rondella errato	
Caduta strumenti	

Tabella 5.1: Categorizzazione dei possibili difetti per l'assemblaggio del tagliapiastrelle assistito da cobot

La Tabella 5.1 riporta la categorizzazione dei possibili difetti che possono verificarsi durante le prove sperimentali. In particolare, per ogni partecipante si è quindi registrato il numero di errori commessi per tipologia; questo processo è stato effettuato ad ogni assemblaggio ed in entrambe le modalità dell'assemblaggio (Figura 5.5).

5.3.2 Empatica E4

Durante l'esperimento l'utente indossa il biosensore Empatica E4 («E4 Wristband | Real-Time Physiological Signals | Wearable PPG, EDA, Temperature, Motion Sensors», s.d.) (Figura 5.6), che consente di raccogliere dati in tempo reale in grado di descrivere lo stato di salute psicofisica dell'individuo. I dati raccolti vengono successivamente analizzati per poter ricavare informazioni circa lo stato dell'utente durante l'esperimento.



Figura 5.5: Bracciale Empatica E4 («E4 Wristband | Real-Time Physiological Signals | Wearable PPG, EDA, Temperature, Motion Sensors», s.d.)

Le misure ricavate attraverso il biosensore Empatica E4 sono in particolare l'attività elettrodermica (EDA) e la variabilità della frequenza cardiaca (HRV), entrambi indicatori dello stress dell'utente (Capponi et al. 2024).

- Attività elettrodermica, EDA:** chiamata anche conduttanza cutanea, rappresenta una misura delle variazioni nelle proprietà di conduttanza elettrica della pelle, in risposta alla sudorazione. L'EDA offre una visione della regolazione emotiva autonoma dell'individuo, in quanto le ghiandole sudoripare sono attivate dal sistema nervoso simpatico in seguito a stimoli esterni. I dati relativi all'EDA vengono raccolti grazie alla presenza di due elettrodi presenti nel laccio del bracciale che mantengono una differenza di potenziale e quindi generano una lieve corrente elettrica che consente di misurare la resistenza elettrica dell'epidermide ed il valore della conduttanza cutanea. I dati relativi all'attività elettrodermica vengono processati attraverso il pacchetto MatLab 'Ledalab', che permette di decomporre il segnale EDA in segnali continui di attività fasica e tonica. L'attività tonica rappresenta il cambiamento nella conduttanza cutanea riferito a fluttuazioni a lungo termine e la misura che ne deriva è lo Skin Conductance Level (SCL) [μS]. L'attività fasica, invece, descrive cambiamenti repentini nell'attività elettrodermica che sono maggiormente imputabili a stimoli esterni, e identifica la Skin Conductance Response (SCR) [μS]. Il valore medio di SCR ed SCL rappresenta un indicatore dello stress dell'individuo. Un valore elevato di questi parametri segnala uno stato di stress fisico ed emotivo nell'operatore (Rahma et al. 2022).
- Variabilità della frequenza cardiaca, HRV:** Il dispositivo consente di misurare attraverso un sensore fotoplestisografico il volume del flusso sanguigno (BVP). L'andamento tipico del BVP è di tipo sinusoidale con picchi, a cui corrisponde la fase diastolica, in cui il volume sanguigno è al massimo, e valli, a cui corrisponde la fase sistolica, in cui il flusso è al minimo (Figura 5.7).

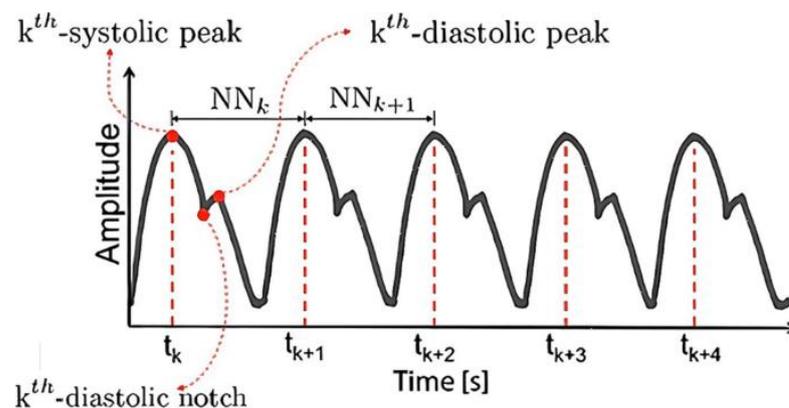


Figura 5.6: Esempio di grafico del BVP (Gervasi et al. 2023)

Asse y: Potenza (nW); Asse x: Tempo (s)

Dall'andamento del BVP è possibile determinare l'intervallo intra-battito (IBI), talvolta indicati con intervallo NN, ovvero la differenza temporale [ms] tra due battiti successivi che rappresenta una misura sintetica dell'HRV. Un parametro utilizzato nello studio come indicatore dello stress dell'utente è il Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD), un indicatore derivato dall'IBI che rappresenta il valore quadratico medio delle differenze successive dei battiti cardiaci registrati in un definito intervallo di tempo.

In particolare, l'RMSSD è uguale a:

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (NN_{i+1} - NN_i)^2} \quad (5.1)$$

dove:

- N è il numero di picchi sistolici nella finestra temporale considerata
- NN_i indica l'intervallo di tempo tra il picco sistolico i e i+1.

L'RMSSD è inversamente proporzionale allo stress, infatti bassi valori del parametro segnalano una condizione di stress fisico ed emotivo nell'operatore (Kim et al. 2018)

Il secondo indicatore utilizzato nello studio per misurare la HRV è la Standard Deviation of NN Intervals (SDNN), che misura la deviazione standard degli intervalli NN registrati durante uno specifico intervallo di tempo.

L'SDNN è definito come:

$$SDNN = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (NN_i - \overline{NN})^2}{N-1}} \quad (5.2)$$

dove:

- N è il numero di picchi sistolici nella finestra temporale considerata
- NN_i indica l'intervallo di tempo tra il picco sistolico i e i+1.
- \overline{NN} è il valore medio degli intervalli NN

Una maggiore SDNN indica una maggiore variabilità della frequenza cardiaca, associata ad un maggiore benessere dell'individuo, mentre livelli più bassi di SDNN sono indicativi di un maggiore stress percepito (Kim et al. 2018).

Il dispositivo Empatica E4 dispone di un bottone che, quando schiacciato, effettua un timestamp (linee verticali in Figura 5.8); in questo modo, durante l'esperimento, è stato effettuato un timestamp ad inizio e fine di ogni assemblaggio, in modo da isolare le finestre temporali in cui i

partecipanti stavano svolgendo il task di assemblaggio e ricavare i dati relativi soltanto a quelle finestre temporali.

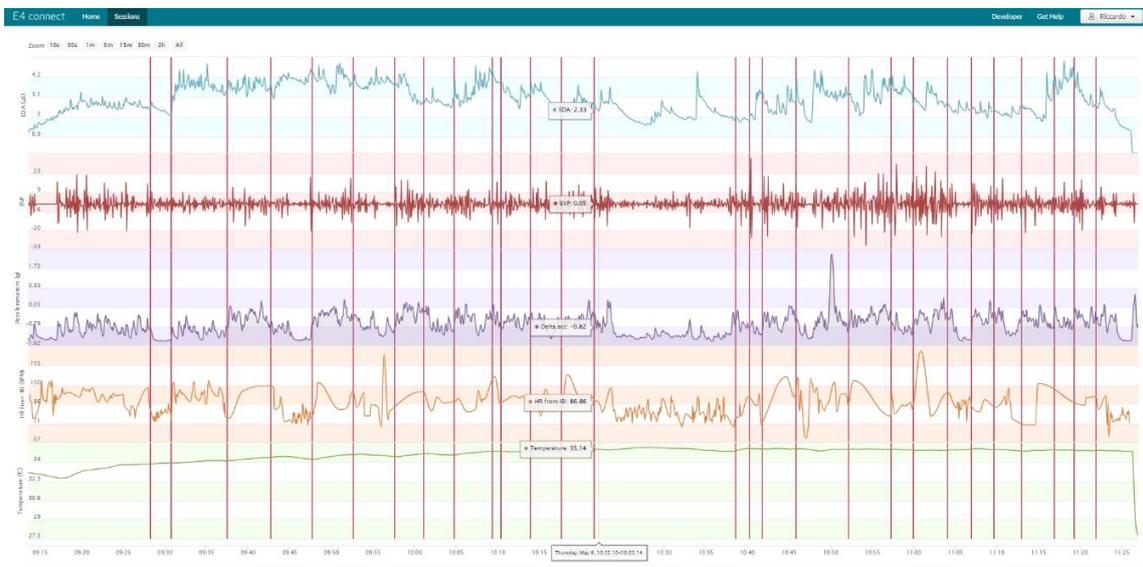


Figura 5.7: Visualizzazione grafici EDA ed HRV della sessione sperimentale di un partecipante tramite software E4 Manager

5.3.3 Tobii pro glasses 3

Durante l'esperimento si è fatto inoltre ricorso alla tecnologia *Eye-Tracking*, che consente di tracciare il movimento degli occhi dell'individuo, in modo da monitorare con precisione il campo visivo, il percorso dei movimenti oculari, il punto preciso in cui l'individuo punta lo sguardo così come il tempo dedicato all'osservazione di specifici elementi visivi.

Il dispositivo Tobii pro glasses 3 («Tobii Pro Glasses 3 | Latest in Wearable Eye Tracking», s.d.) (Figura 5.9), indossato dai partecipanti durante l'esperimento, a tal proposito consente di illuminare l'occhio attraverso delle fonti di luce poste sulle lenti, che generano un riflesso sulla cornea, catturato a sua volta da una telecamera ad alta risoluzione posta anch'essa sulle lenti del dispositivo. Le immagini catturate vengono successivamente analizzate, attraverso l'applicativo Tobii Pro Lab («Eye Tracking Software for Behavior Research», s.d.), da algoritmi che consentono di ricavare il percorso dei movimenti oculari e le metriche di tracciamento oculare.



Figura 5.8: Tobii pro glasses 3 («Tobii Pro Glasses 3 | Latest in Wearable Eye Tracking», s.d.)

Le metriche di tracciamento oculare (Joseph e Muruges 2020) ricavate si basano su due tipologie di movimenti oculari principali:

- Saccadi: rappresentano rapidi movimenti oculari che consentono di spostare in modo preciso la vista da un punto all'altro; hanno durata tipicamente compresa tra i 20 e i 80 ms.
- Fissazioni: sono brevi periodi in cui gli occhi restano relativamente immobili, in modo da concentrarsi su un punto specifico del campo visivo, detto area di interesse (AOI); hanno durata maggiore rispetto alle saccadi, fino a diversi secondi.

Gli studi (He et al. 2012; Capponi et al. 2024) presentano le principali metriche di tracciamento oculare e la loro relazione con il carico di lavoro cognitivo e lo stress percepito. Per il caso studio si è scelto di far riferimento alle seguenti metriche:

- Durata delle fissazioni: indica il tempo durante il quale lo sguardo rimane fisso su uno specifico punto [ms]; una maggiore durata delle fissazioni è sinonimo di maggiore carico cognitivo.
- Numero di saccadi: rappresenta il conteggio delle saccadi in uno specifico intervallo di tempo; un maggior numero di saccadi indica un maggiore carico cognitivo, come ad esempio la ricerca visiva in un ambiente complesso.

- Velocità delle saccadi: indica la velocità dello spostamento dell'occhio durante una saccade, misurato in [$^{\circ}$ /s] oppure [m/s]; saccadi più lente indicano una situazione di stress maggiore.
- Diametro pupillare: indica il diametro della pupilla [mm]; un diametro maggiore indica un task più difficile e un maggior carico cognitivo per risolverlo.

Anche nel caso dei dati ricavati tramite i Tobii pro glasses sono state isolate le finestre temporali in cui i partecipanti effettuavano il task di assemblaggio, in modo da ricavare le metriche relative esclusivamente alle operazioni di assemblaggio. Tramite l'applicazione Tobii Pro Lab, infatti, è possibile definire nelle registrazioni dell'esperimento dei Time of Interest (TOI), inserendo eventi di tipo start ed end rispettivamente all'inizio ed alla fine di ogni assemblaggio (Figura 5.10).

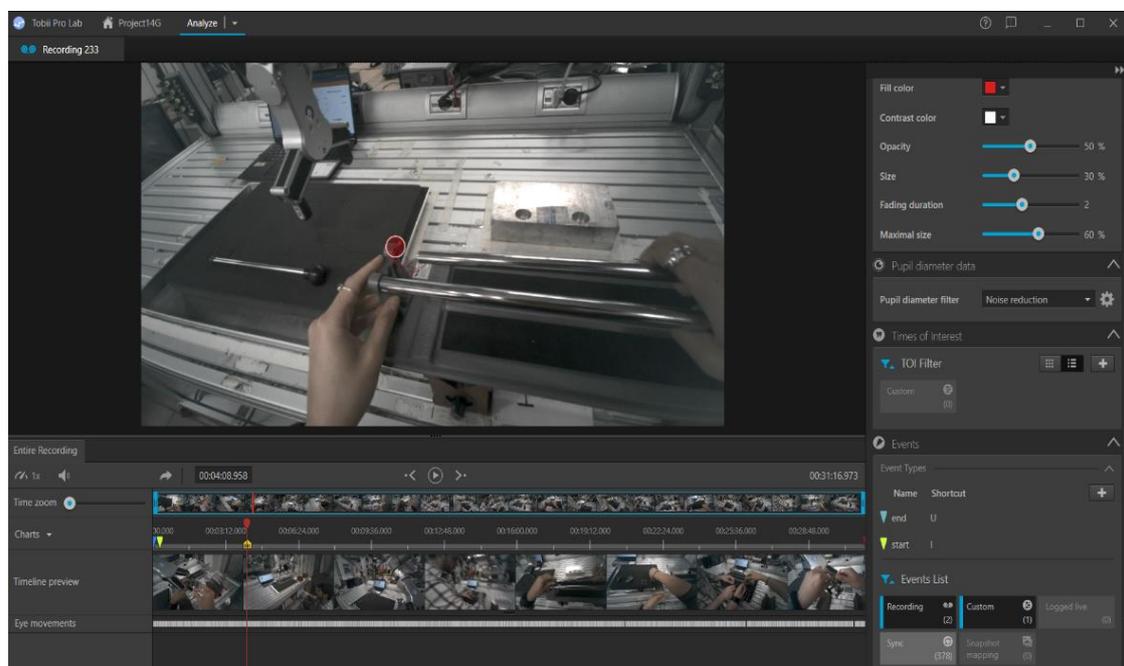


Figura 5.9: Interfaccia software Tobii Pro Lab utilizzato per definire i TOI relativi al processo di assemblaggio e ricavare le metriche di tracciamento oculare

5.3.4 NASA-TLX

Il NASA-TLX (Hart 1986) è uno strumento di autovalutazione che permette di misurare il carico di lavoro percepito dall'operatore durante l'assemblaggio attraverso 6 diverse dimensioni, che sono misurate su una scala 0-100 a incrementi da 5 punti (Figura 5.11). Il carico di lavoro percepito viene misurato come la media delle valutazioni delle sei dimensioni che sono rispettivamente:

$$\text{Carico di lavoro percepito} = \frac{70+50+60+80+65+55}{6} = \frac{380}{6} \approx 63.33$$

Quindi, il carico di lavoro percepito dall'operatore in questo esempio è di circa 63.33 su una scala da 0 a 100, suggerendo un carico di lavoro moderato, ad indicare che l'attività richiede un impegno significativo ma gestibile da parte dell'operatore

5.3.5 Intrinsic Motivation Questionnaire

Per la misurazione della motivazione intrinseca dei partecipanti durante l'esperimento si è scelto di far ricorso all' Intrinsic Motivation Inventory (IMI) (Monteiro, Mata, e Peixoto 2015), uno strumento di misura multidimensionale che permette di valutare l'esperienza soggettiva dei partecipanti rispetto ad esperimenti in laboratorio. Lo strumento, che si rifà alle basi teoriche fornite dalla SDT, è composto da sette sottoscale ordinali che riguardano dimensioni diverse della motivazione intrinseca, che sono rispettivamente:

- Interest/Enjoyment
- Perceived competence
- Effort/Importance
- Pressure/Tension
- Perceived Choice
- Value/Usefulness
- Relatedness

L'IMI fornisce quindi per ogni dimensione un insieme di items che risultano essere analiticamente coerenti e stabili per la valutazione della motivazione intrinseca al variare dei task, condizioni ed ambiente. Gli item stanno su una scala Likert a 7 livelli e per lo scoring del punteggio di ogni sottoscala va semplicemente effettuata la media delle valutazioni degli item scelti per quella sottoscala.

Per l'esperimento si è scelto di considerare la sottoscala "Interest/Enjoyment", considerata una auto-misurazione della motivazione intrinseca, e la sottoscala "Pressure/Tension", che rileva il livello di tensione percepita dall'individuo ed è inversamente correlata alla motivazione intrinseca. Per queste, sono stati selezionati gli items ritenuti coerenti con il caso studio ed il task di assemblaggio in esame; in questo modo per la prima sottoscala sono stati selezionati 7 Items, mentre per la seconda 3 items (Figura 5.12).

Intrinsic Motivation Questionnaire

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 true | | | | | Very true | | |
-
1. I enjoyed this activity very much
 2. The activity was fun to do
 3. I thought this was a boring activity
 4. This activity did not hold my attention at all
 5. I would describe this activity as very interesting
 6. I thought this activity was quite enjoyable
 7. While I was doing this activity, I was thinking about how much I enjoyed it
 8. I felt very tense while doing this activity
 9. I was anxious while working on this task
 10. I felt pressured while doing these

Figura 5.11: Intrinsic Motivation Questionnaire

Ad esempio, supponiamo che un partecipante abbia fornito le seguenti valutazioni su una scala Likert a 7 livelli rispetto agli items del questionario:

- Interest/Enjoyment: 6, 5, 7, 6, 5, 6, 7
- Pressure/Tension: 3, 2, 4

Il punteggio per ciascuna sottoscala si calcola come la media aritmetica delle valutazioni degli item scelti.

Per la sottoscala "Interest/Enjoyment":

$$\text{Interest/Enjoyment} = \frac{6+5+7+6+5+6+7}{7} = \frac{42}{7} = 6$$

Per la sottoscala "Pressure/Tension":

$$\text{Pressure/Tension} = \frac{3+2+4}{3} = \frac{9}{3} = 3$$

Quindi, il punteggio dato dal partecipante alla dimensione "Interest/Enjoyment" è 6, che indica un alto livello di interesse, e pari a 3 per la dimensione "Pressure/Tension", che suggerisce un livello moderato di tensione percepita durante l'attività.

5.3.6 Self-Assessment Mannikin (SAM)

Il Self Assessment Mannikin (SAM) (Bradley e Lang 1994) è uno strumento grafico di autovalutazione che permette di valutare lo stato emotivo di un soggetto in risposta ad un'esperienza o evento. Il SAM si basa sul modello PAD (Pleasure, Arousal, Dominance) e misura lo stato emotivo dell'individuo tramite tre dimensioni principali:

- Valence: rappresenta il grado di piacere o dispiacere provato dall'individuo, ovvero la positività o negatività delle emozioni provate.
- Arousal: rappresenta il livello di attivazione o eccitazione dell'individuo indipendentemente dalla positività o negatività delle emozioni.
- Dominance: rappresenta il senso di controllo o dominio percepito dall'individuo durante l'esperienza.

Il SAM è uno strumento altamente intuitivo in quanto è caratterizzato dalla presenza di tre figure stilizzate che rappresentano, per ognuna delle dimensioni misurate, la scala delle valutazioni che va da un valore minimo pari ad 1, ad un massimo pari a 9 (Figura 5.13).

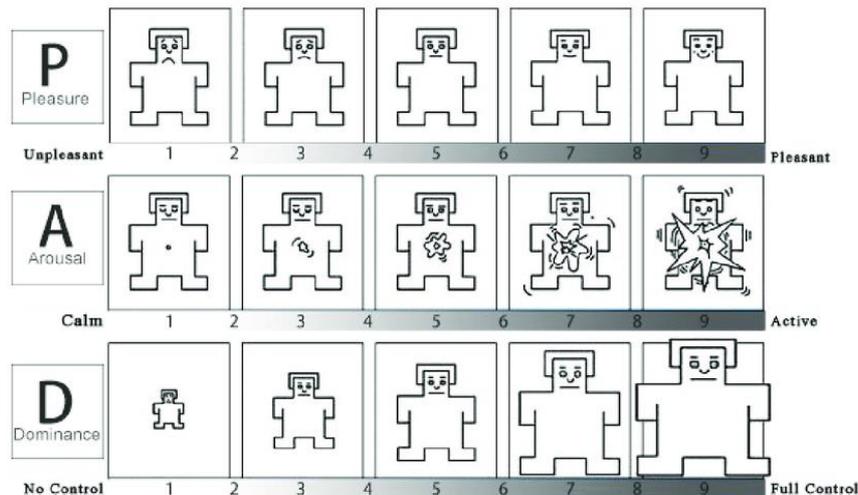


Figura 5.12: Self-Assessment Mannikin (Bynion e Feldner 2020)

Supponiamo, ad esempio, che un partecipante abbia valutato il suo stato emotivo in risposta a un'esperienza marcando sul questionario grafico i seguenti valori relativi alle tre dimensioni:

- Valence: 7
- Arousal: 5
- Dominance: 3

Il partecipante ha quindi indicato di provare un'emozione piuttosto piacevole, con un livello moderato di eccitazione, ma un basso senso di controllo sull'esperienza.

5.3.7 User Experience Questionnaire

Lo User Experience Questionnaire (UEQ) (Schrepp 2015) è uno strumento che consente di misurare l'esperienza dell'utente in relazione a sistemi o prodotti interattivi, valutando l'esperienza soggettiva dell'individuo rispetto a molteplici aspetti come l'attrattività, la facilità d'uso e l'affidabilità.

Il questionario si basa sul framework concettuale (Hassenzahl 2001) che propone la distinzione di tre diverse dimensioni prodotto che descrivono dimensioni indipendenti dell'esperienza dell'utente, ovvero la "qualità ergonomica", "qualità edonistica" e "attrattività".

La qualità ergonomica è orientata ad aspetti del design del prodotto legati agli obiettivi ed alla finalità del prodotto stesso. La qualità edonistica, invece, è legata ad aspetti non-goal directed, come l'originalità del prodotto o la bellezza dell'interfaccia utente. L'attrattività, infine, è una dimensione indipendente e misura direttamente l'impressione complessiva del prodotto, ovvero se l'utente apprezza o meno il prodotto.

Le dimensioni misurate dallo UEQ sono:

- **Attractiveness:** misura quanto il prodotto sia gradevole per l'utente;
- **Perspicuity:** misura quanto il prodotto e le sue funzionalità siano facili da comprendere;
- **Efficiency:** valuta l'efficienza del prodotto, ovvero quanto il prodotto consenta all'utente di raggiungere i suoi obiettivi;
- **Dependability:** esprime la percezione dell'utente in relazione all'affidabilità del prodotto;
- **Stimulation:** misura il coinvolgimento suscitato nell'utente dal prodotto;
- **Novelty:** valuta l'originalità del prodotto e quanto questo sia innovativo;

Il questionario è composto da 26 items suddivisi tra le sei dimensioni precedenti, e contribuiscono a fornire un quadro complessivo dell'esperienza utente (Figura 5.14).

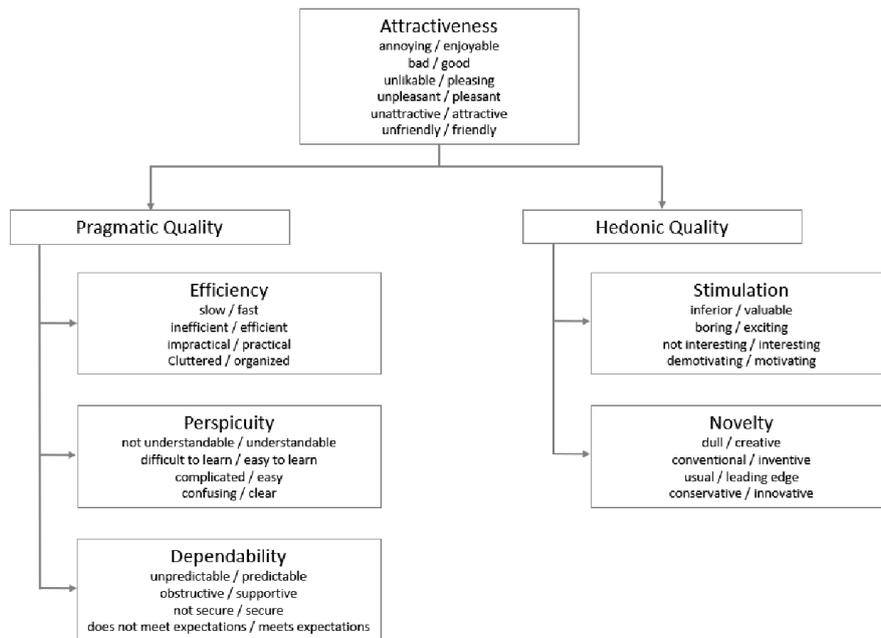


Figura 5.13: Struttura UEQ (Schrepp 2015)

Gli items vivono su una scala del differenziale semantico a 7 livelli e l'ordine degli items (ovvero se il termine positivo o negativo si trovi a destra o a sinistra) è randomizzato, in modo da minimizzare la tendenza nelle risposte. Per questo motivo per lo scaling delle informazioni ricavate dal questionario ci si affida ad un foglio di calcolo proposto dagli sviluppatori dello UEQ che fornisce sulla base delle risposte degli intervistati un valore da +3 a -3 ad ognuna delle sei dimensioni. Un punteggio pari a +3 denota una valutazione pienamente positiva, -3 denota una valutazione pienamente negativa, mentre un punteggio pari a 0 corrisponde ad una valutazione neutra.

Ad esempio, supponiamo che le risposte fornite da un partecipante restituiscano, a valle del processo di scaling effettuato tramite il foglio di calcolo, le seguenti valutazioni per ciascuna dimensione:

- Attractiveness: +2
- Perspicuity: +1
- Efficiency: +3
- Dependability: +1
- Stimulation: +2
- Novelty: 0

Questi punteggi indicano che il partecipante ha trovato il prodotto gradevole (+2), facile da comprendere (+1), molto efficiente (+3), abbastanza affidabile (+1), coinvolgente (+2) e né particolarmente innovativo né obsoleto (0).

5.3.8 Game Engagement Questionnaire

Il Game Engagement Questionnaire (GEQ) (Ahmed et al. 2023) è uno strumento che permette di misurare il coinvolgimento del giocatore durante un'esperienza di gioco, valutando, in particolare, il coinvolgimento emotivo, fisico e cognitivo dell'utente.

Il GEQ è composto da quattro dimensioni che riguardano vari aspetti del coinvolgimento:

- Immersion: misura il grado di interesse e coinvolgimento emotivo nel gioco
- Presence: valuta la sensazione di essere fisicamente presente nel gioco
- Flow: misura lo stato di flusso del giocatore, ovvero la condizione di completa concentrazione e godimento dell'attività
- Absorption: misura quanto il giocatore si sente immerso nel gioco

Il questionario è composto da 19 items che vengono ricondotti alle quattro dimensioni precedenti (Figura 5.15). Ad ogni item è possibile rispondere con “No”, “Maybe” e “Yes” e ad ognuna delle seguenti risposte viene assegnato un punteggio pari rispettivamente ad 1, 2 e 3. Lo score finale di ogni dimensione, che va da un minimo di 1 ad un massimo di 3, sarà dato dalla media dei punteggi assegnati agli items relativi a quella dimensione.

Game Engagement Questionnaire (GEQ) items.

1	I lose track of time
2	Things seem to happen automatically
3	I feel different
4	I feel scared
5	The game feels real
6	If someone talks to me, I don't hear them
7	I get wound up
8	Time seems to kind of stand still or stop
9	I feel spaced out
10	I don't answer when someone talks to me
11	I can't tell that I'm getting tired
12	Playing seems automatic
13	My thoughts go fast
14	I lose track of where I am
15	I play without thinking about how to play
16	Playing makes me feel calm
17	I play longer than I meant to
18	I really get into the game
19	I feel like I just can't stop playing

Figura 5.14: Items del Game Engagement Questionnaire (Brockmyer et al. 2009)

Il GEQ è stato somministrato per completezza anche nella versione non gamificata dell'assemblaggio in modo da stabilire una baseline per avere un confronto con una condizione normale e valutare se l'implementazione della gamification porta ad un miglioramento nelle dimensioni del questionario.

Supponiamo che un partecipante abbia fornito le seguenti risposte agli item relativi alla dimensione "Presence":

- Maybe (2)
- Yes (3)
- Yes (3)
- Maybe (2)

Il punteggio per la dimensione "Presence" si calcola come la media aritmetica dei punteggi degli item:

$$\text{Presence} = \frac{2+3+3+2}{4} = \frac{10}{4} = 2.5$$

Quindi, il punteggio del partecipante per la dimensione "Presence" è 2.5 su una scala da 1 a 3. Questo punteggio suggerisce che il partecipante ha sperimentato una sensazione significativa di essere fisicamente presente nel gioco, indicando un buon coinvolgimento e immersione nell'ambiente virtuale del gioco.

6. Analisi dei Risultati

In questa sezione, vengono esposti i principali risultati emersi dall'analisi dei dati raccolti durante l'esperimento. I dati analizzati hanno fornito insight significativi sulle variazioni osservate tra le diverse variabili studiate. Questi risultati contribuiscono a una comprensione più approfondita dei fenomeni esaminati, offrendo spunti utili per ulteriori ricerche e per l'applicazione pratica delle conoscenze acquisite. La presentazione dei risultati è finalizzata a fornire una panoramica chiara e dettagliata delle scoperte più rilevanti emerse dallo studio.

6.1 Metodologia

In questa sezione viene presentato il flusso seguito per svolgere le analisi sui dati raccolti durante l'esperimento. L'obiettivo finale dell'analisi dati è stabilire se l'introduzione della gamification nel processo di assemblaggio determina un cambiamento nelle grandezze misurate, e quindi determinare se siano presenti differenze statisticamente significative nei dati tra le due diverse versioni (Gamification vs. Non Gamification). A tal proposito, il flusso seguito per l'analisi è analogo per tutti i dati menzionati nel capitolo precedente e viene rappresentato in Figura 6.1.

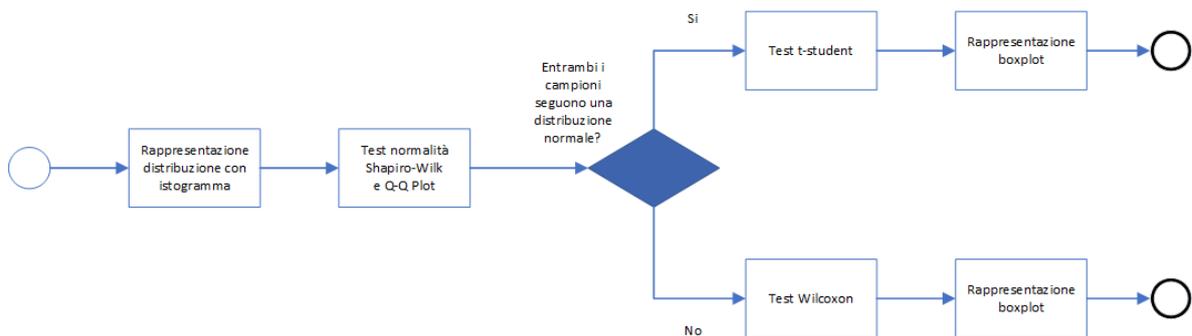


Figura 6.1: Diagramma di flusso per l'analisi dati

Test di normalità di Shapiro-Wilk

Il test di Shapiro-Wilk è un test statistico che permette di stabilire se un campione di dati proviene da una distribuzione di tipo normale. Questo test è particolarmente adatto per campioni piccoli (< 50 osservazioni, come nel caso dei dati sui questionari di autovalutazione) e campioni medi (fino a 2000 osservazioni, come nel caso dei tempi di assemblaggio e i dati relativi ai parametri fisiologici).

Il test calcola una statistica, W , basata sul rapporto tra due stimatori alternativi della varianza. Il primo è uno stimatore non parametrico basato sulla combinazione lineare ottimale dei ranghi di

una variabile aleatoria normale; il secondo è uno stimatore parametrico, ovvero la varianza campionaria.

La statistica calcolata è:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.1)$$

dove:

- $x_{(i)}$ è l'i-esimo valore più piccolo del campione
- \bar{x} è la media campionaria
- a_i sono dei coefficienti basati sulla base della distribuzione normale

La statistica W può variare tra 0 e 1, al crescere di W è maggiore la probabilità che i dati seguano una distribuzione normale. Al test viene associato un p-value che, se inferiore al livello di significatività scelto ($\alpha = 0,05$) indica che il campione non proviene da una distribuzione normale.

Supponiamo, ad esempio, di aver eseguito il test di Shapiro-Wilk e ottenuto una statistica W di 0.945 e un p-value di 0.08. La statistica W, essendo vicina a 1, suggerisce che i dati seguono abbastanza bene una distribuzione normale. Inoltre, avendo ottenuto un p-value di 0.08, che è superiore al livello di significatività scelto di 0.05, non possiamo rifiutare l'ipotesi nulla che il campione provenga da una distribuzione normale, ovvero non si hanno evidenze sufficienti per dire che i dati non siano normali.

Quantile-Quantile Plot (Q-Q Plot)

Il Quantile-Quantile Plot, o Q-Q Plot, è uno strumento grafico che permette di visualizzare se un set di dati segue una distribuzione di tipo normale.

Il grafico effettua un confronto tra i quantili del campione di dati con i quantili teorici della distribuzione normale. Se i dati seguono una distribuzione normale, i punti sul Q-Q Plot si disporranno approssimativamente su una linea retta. La presenza di eventuali curvature nel grafico o deviazioni agli estremi possono indicare la presenza di asimmetrie nei dati o la presenza di outlier nel set di dati.

Al Q-Q Plot viene associato il p-value del test di Shapiro-Wilk per una migliore comprensione.

Test t-Student per campioni appaiati

Il test t per campioni appaiati, o test t per dati dipendenti, è un test d'ipotesi utilizzato per confrontare le medie di due gruppi correlati o dipendenti. Questo test viene utilizzato quando si vuole stabilire se vi è una differenza statisticamente significativa tra le medie di due gruppi di dati che non sono indipendenti, come ad esempio nel nostro caso in cui lo stesso gruppo di soggetti è sottoposto a due condizioni sperimentali diverse.

Il test t è un test parametrico, ovvero si basa su ipotesi della distribuzione dei dati, e prevede che i due gruppi seguano entrambi una distribuzione normale.

Il test si basa sulla differenza dei tra le coppie di dati e calcola una statistica definita come:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

(6.2)

dove:

- \bar{d} è la media delle differenze tra le coppie di dati
- s_d è la deviazione standard campionaria
- n è il numero di coppie di dati

La statistica t si distribuisce come una t-Student ed il valore di t va confrontato con il valore critico della distribuzione t-Student con (n-1) gradi di libertà ed il livello di significatività scelto ($\alpha = 0,05$).

Test di Wilcoxon per campioni appaiati

Il test di Wilcoxon per campioni appaiati, o test dei ranghi con segno di Wilcoxon, alternativa non parametrica al test t-Student, è un test d'ipotesi non parametrico utilizzato per confrontare la mediana di due gruppi di dati qualora le ipotesi di normalità del test t non fossero soddisfatte.

Il test di Wilcoxon prevede i seguenti passaggi:

- calcolo delle differenze d_i per ogni coppia di osservazioni (x_i, y_i)
- esclusione coppie con differenza d_i nulla
- Assegnazione rango alle differenze assolute $|d_i|$ in ordine crescente (se sono presenti differenze uguali si assegna il rango medio)

La statistica utilizzata dal test è definita come:

$$W = \min(W^+, W^-) \tag{6.3}$$

dove:

- W^+ è la somma dei ranghi delle differenze positive
- W^- è la somma dei ranghi delle differenze negative

A titolo di esempio, supponiamo di avere i seguenti dati relativi a due diverse condizioni sperimentali:

- Condizione A: 50, 55, 60, 52, 58
- Condizione B: 45, 57, 56, 54, 53

Applicando i vari passaggi descritti sopra si ottiene:

- $d_i = 5, -2, 4, -2, 5$
- $|d| = 2, 2, 4, 5, 5$
- Rango delle differenze: $2 \rightarrow 1,5$; $2 \rightarrow 1,5$; $4 \rightarrow 3$; $5 \rightarrow 4,5$; $5 \rightarrow 4,5$
- $W^+ = \text{ranghi di } (5,4,5) = 4,5 + 3 + 4,5 = 12$
- $W^- = \text{ranghi di } (-2,-2) = 1,5 + 1,5 = 3$
- $W = \min(W^+, W^-) = \min(12, 3) = 3$

La statistica W ottenuta va confrontata con i valori critici della distribuzione di riferimento ed al test viene associato un p-value da confrontare con il livello di significatività scelto ($\alpha = 0,05$).

6.2 Analisi tempo di assemblaggio

In questo paragrafo vengono illustrati i principali risultati legati ai tempi di assemblaggio.

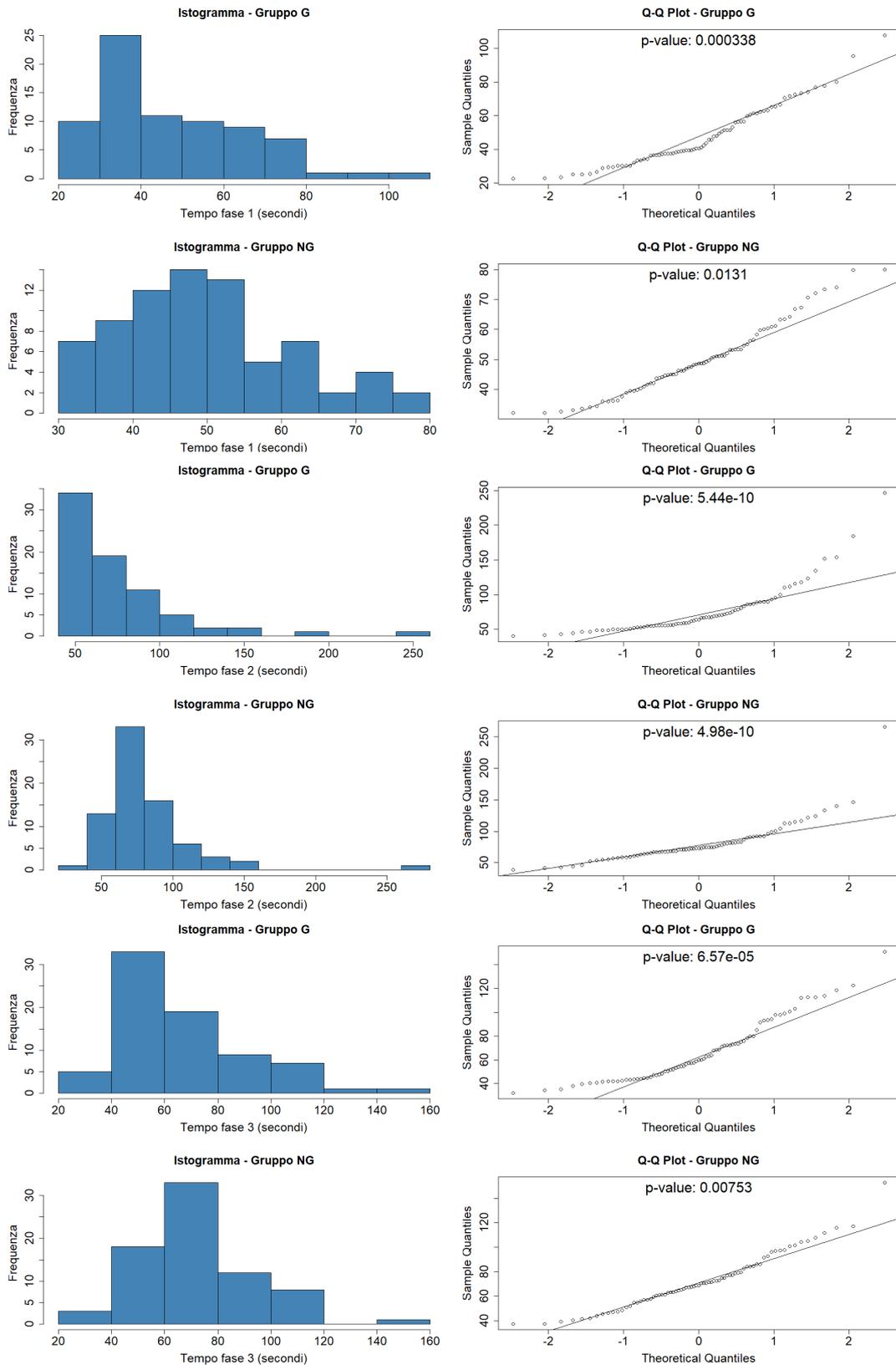


Figura 6.2a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi ai tempi di assemblaggio

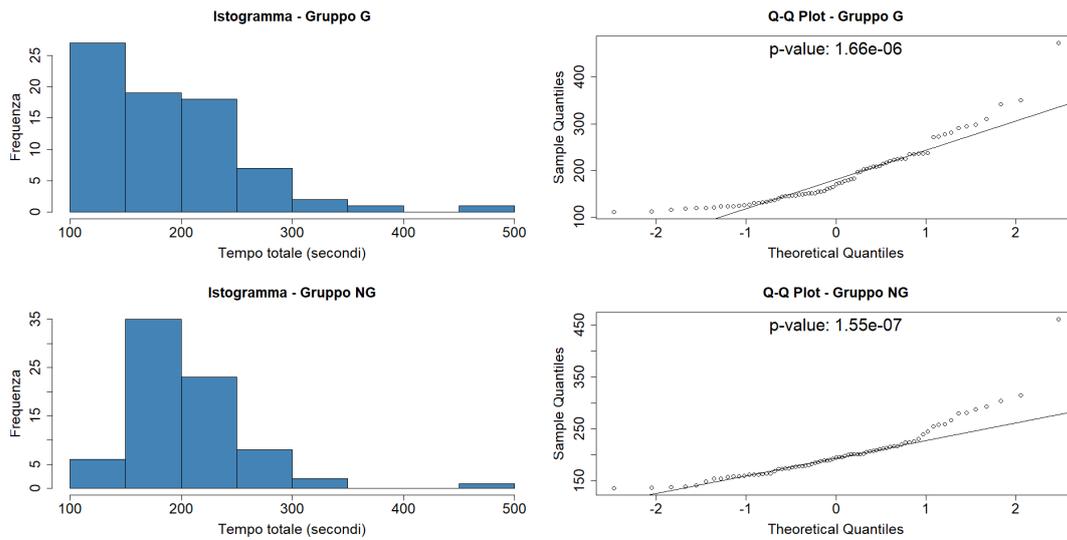


Figura 6.2b: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi ai tempi di assemblaggio

Per quanto riguarda il tempo di assemblaggio, sono stati analizzati i tempi relativi ad ogni fase dell'assemblaggio svolta dai partecipanti ed il tempo totale di assemblaggio. I grafici precedenti (Figura 6.2a e 6.2b) mostrano come in nessuno dei casi il tempo di assemblaggio segua una distribuzione di tipo normale (il test di Shapiro-Wilk presenta $p\text{-value} < 0,05$). Per questo motivo si è utilizzato il test dei ranghi con segno di Wilcoxon per effettuare un confronto tra le mediane dei due gruppi nei quattro casi. In tutti i casi il test ha un $p\text{-value}$ associato maggiore del livello di significatività, pertanto non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla che i tempi di assemblaggio presentino la stessa mediana in entrambi i gruppi.

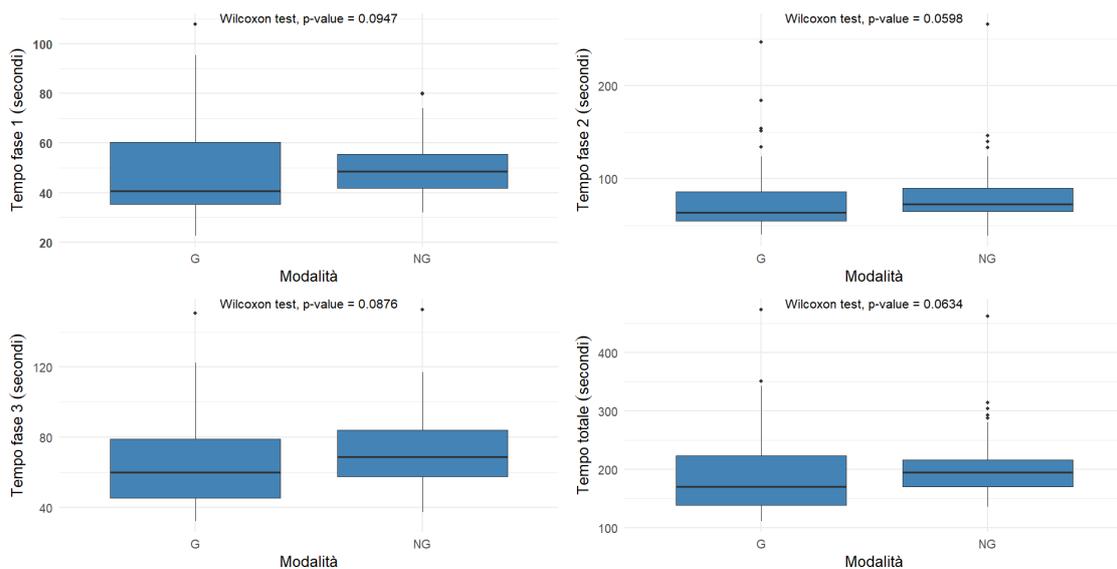


Figura 6.3: Boxplot dei tempi di assemblaggio nelle due diverse modalità ($n_G = n_{NG} = 75$)

I boxplot in Figura 6.3 mostrano come, nonostante le differenze nei tempi non siano statisticamente significative, i tempi di assemblaggio nella modalità gamificata siano in tutti più bassi rispetto a quelli nella modalità non gamificata dell'assemblaggio. Per capire meglio questo risultato, si svolge un'ulteriore analisi dei tempi che tiene conto dell'ordine in cui si è sottoposti ad una modalità dell'esperimento piuttosto che all'altra, ovvero se si è svolto l'assemblaggio prima in versione gamificata e poi non gamificata, o viceversa.

L'esperimento, infatti, presenta un evidente effetto di apprendimento, ovvero, a prescindere dalla modalità a cui si è sottoposti, i tempi di assemblaggio conseguiti durante i primi 5 assemblaggi tendono ad essere più alti rispetto ai tempi nei secondi 5 assemblaggi, a causa della maggiore familiarità dei partecipanti con il task ed il prodotto con il proseguimento dell'esperimento.

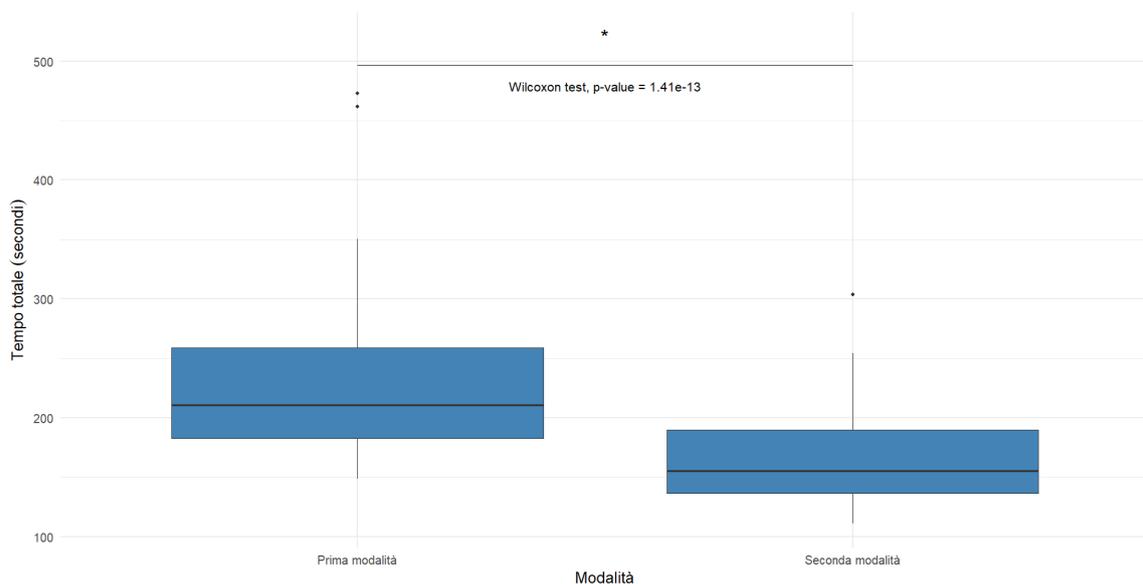


Figura 6.4: Boxplot dei tempi di assemblaggio nei due diversi ordini

I boxplot in Figura 6.4 confermano quanto detto in precedenza, con una differenza statisticamente significativa tra i tempi totali di assemblaggio tra la prima versione svolta dell'esperimento e la seconda versione ($p\text{-value} < 0,05$).

Per meglio comprendere la tendenza vista all'inizio ad avere tempi più ridotti nella versione gamificata, si svolge quindi un'analisi che tenga conto dell'ordine della configurazione dell'esperimento, tenendo adesso anche conto della modalità.

Si è pertanto rappresentato, a parità di modalità (N o NG), il tempo totale di assemblaggio conseguito a confronto tra i due diversi ordini di somministrazione della modalità stessa (prima modalità o seconda); in maniera speculare, si è rappresentato a parità di ordine, la distribuzione dei tempi totali tra le due differenti modalità.

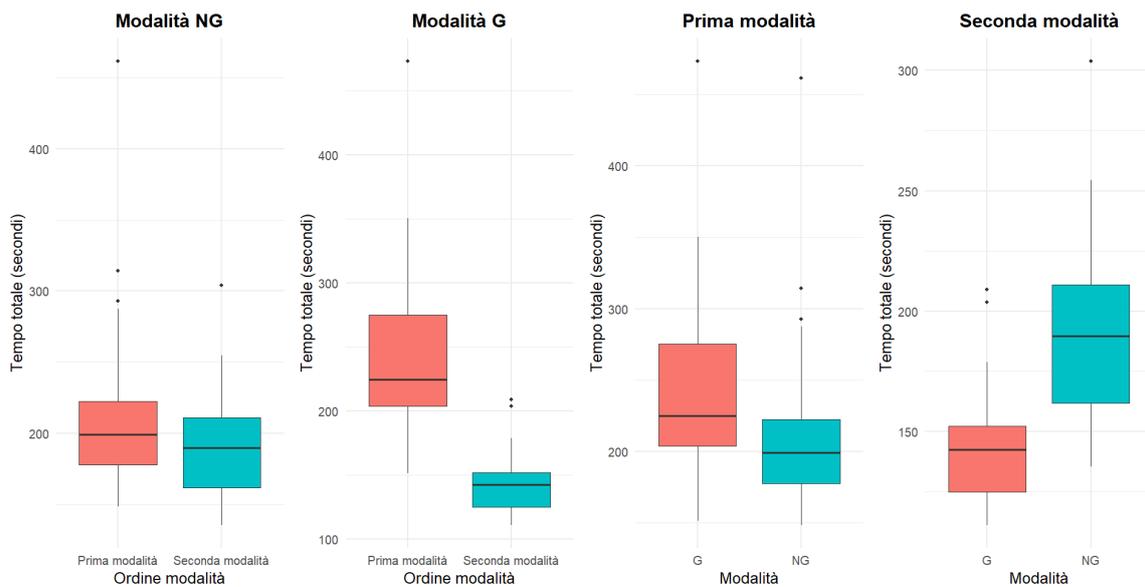


Figura 6.5: Boxplot dei tempi di assemblaggio nei due diversi ordini a parità di versione (sinistra) e boxplot dei tempi di assemblaggio nelle due diverse versioni a parità di ordine (destra)

Questa analisi consente di avere una migliore comprensione dei risultati e mette in evidenza una differenza sostanziale tra le due versioni. Infatti, dalla Figura 6.5, è possibile vedere come nella versione normale dell'esperimento, non ci sia una particolare differenza tra i tempi tra la prima e la seconda versione, mentre nel caso della versione gamificata i tempi subiscono una evidente diminuzione nella seconda versione rispetto alla prima. In maniera speculare, nei primi 5 assemblaggi, non si hanno notevoli differenze tra le due versioni, mentre nei secondi 5 la versione gamificata presenta dei tempi significativamente minori.

Questo risultato spiega l'effetto della gamification nell'esperimento riguardo i tempi. La natura di questa differenza tra le due versioni, infatti, è dovuta al fatto che negli ultimi 5 assemblaggi svolti dai partecipanti - ovvero quando si ha una maggiore padronanza dell'assemblaggio rispetto ai primi 5 assemblaggi dove ancora si tende a prendere familiarità con il task - la gamification, ed in particolare la visualizzazione delle metriche di performance mostrate sulla dashboard gamificata, forniscono uno stimolo negli individui ad essere più veloci. Infatti, visualizzare i risultati conseguiti ad ogni assemblaggio innesca nei partecipanti un senso di competizione con sé stessi che li porta a cercare di migliorare le proprie performance ad ogni assemblaggio. Questo effetto non si nota invece nella versione non gamificata, in cui non si evidenziano particolari differenze, al netto del fisiologico effetto di apprendimento.

Questi risultati trovano una conferma nei feedback forniti da più partecipanti alla fine dell'esperimento ("Nella versione di gioco ero più motivato a fare in fretta perché vedevo un fine

esterno” P3, “Personalmente mi sono divertita e vedere i tempi mi stimolava a fare meglio”, P10 “Con il gioco è stato più incentivante, volevo migliorare le mie performance e migliorare me stesso grazie alle statistiche che venivano mostrate” P13).

6.3 Analisi difetti

Questo paragrafo mostra i principali risultati relativi ai difetti che si sono manifestati durante l’esperimento nelle due diverse versioni. Si è considerato, per ogni versione, la somma dei difetti manifestati in versione G ed in versione NG.

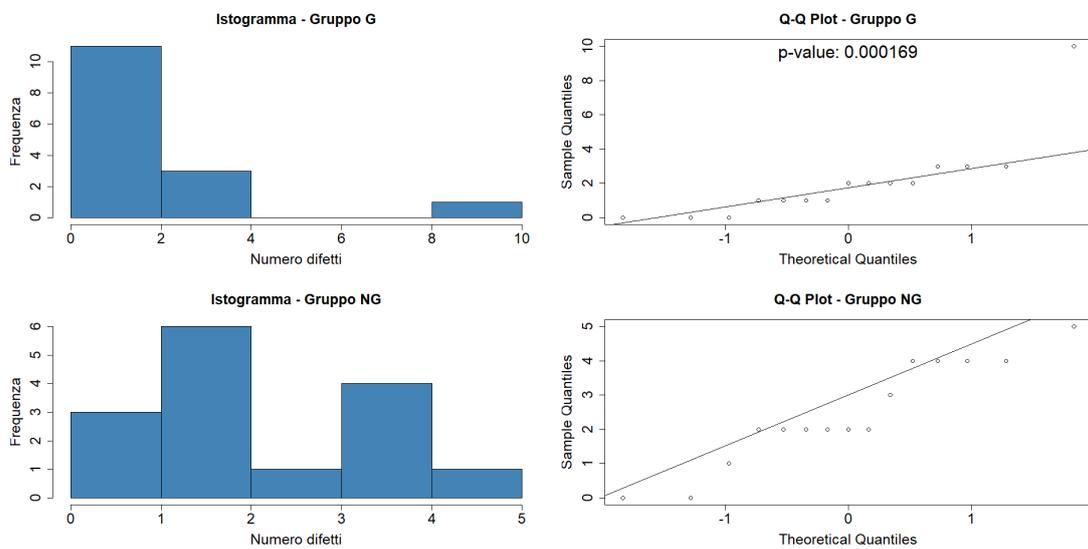


Figura 6.6: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi al numero di difetti

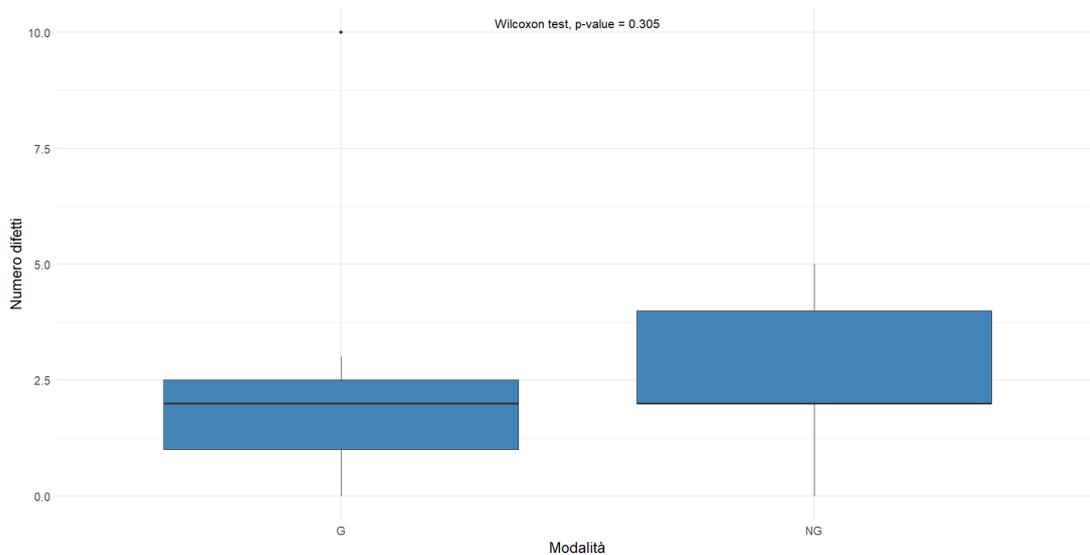


Figura 6.7: Boxplot del numero di difetti nelle due versioni

Il test di Shapiro-Wilk evidenzia come il numero di difetti per la versione normale dell'assemblaggio non segua una distribuzione normale ($p\text{-value} < 0,05$) (Figura 6.6), pertanto si è utilizzato il test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Il livello di significatività associato al test ($p\text{-value} = 0,306$) non permette di rifiutare l'ipotesi nulla che prevede che i due gruppi presentino la stessa mediana per il numero di difetti.

Tuttavia, è possibile notare come la versione gamificata dell'esperimento presenti una distribuzione del numero di difetti più spostata verso il basso (Figura 6.7), nonostante la differenza non sia statisticamente significativa. Il motivo di questo risultato può essere legato alla presenza, nella versione gamificata, dei suggerimenti mostrati nella dashboard, in particolare il suggerimento mostrato nella Fase 2 dell'assemblaggio (Figura 4.11), che si è rivelata essere la più delicata. Gli elementi di gioco implementati con la gamification possono quindi rivelarsi un possibile strumento per diminuire gli errori in un processo di assemblaggio. Questo effetto è maggiormente accentuato nei primi 5 assemblaggi, quando i partecipanti non hanno ancora una spiccata padronanza del task e sono maggiormente propensi ad effettuare errori. L'effetto apprendimento presentato per i tempi di assemblaggio è infatti evidente anche per quanto riguarda il numero di difetti (Figura 6.8) che presentano una differenza statisticamente significativa tra la prima versione sperimentata e la seconda ($p\text{-value} = 0,02$)

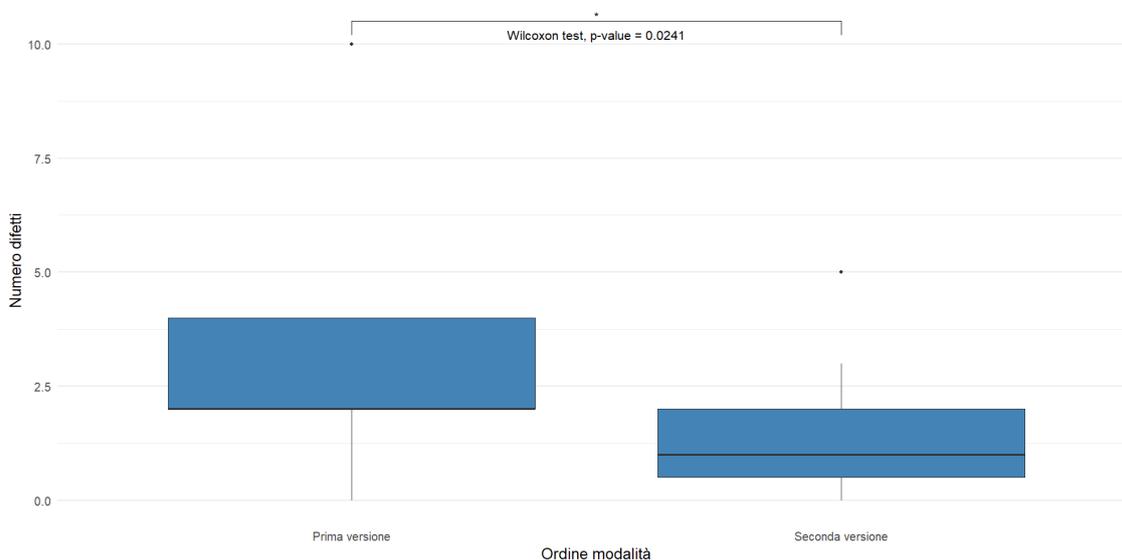


Figura 6.8: Boxplot numero di difetti per ordine modalità

Per completezza, viene illustrato di seguito un'analisi della correlazione tra il numero di difetti verificati per assemblaggio, ed il tempo totale di assemblaggio.

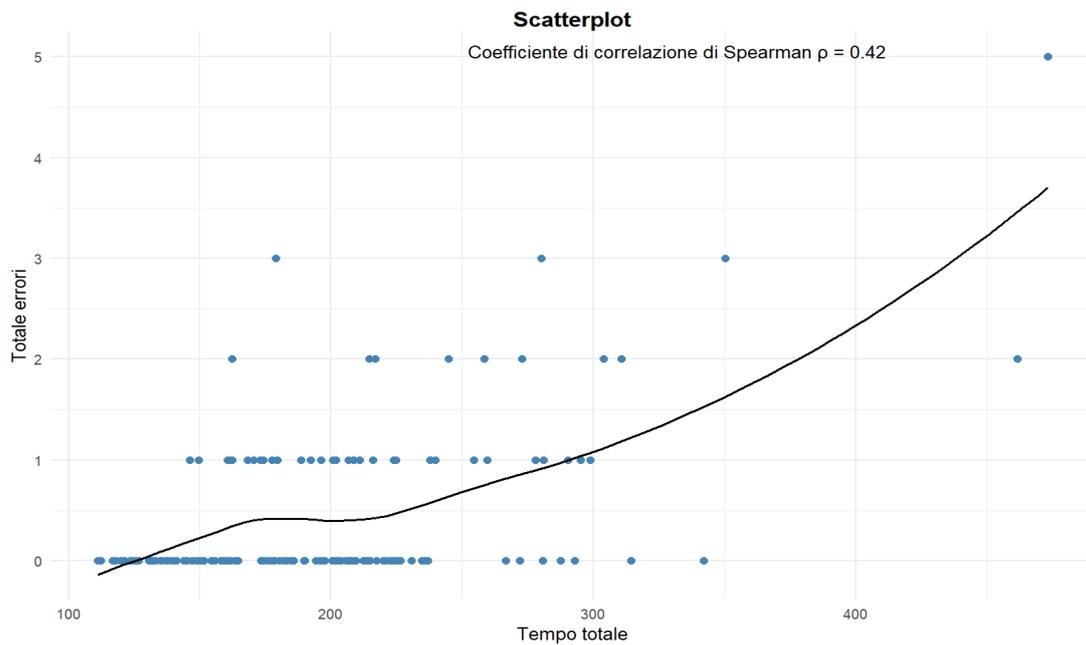


Figura 6.9: Correlazione tra numero di difetti e tempo di assemblaggio

Lo scatterplot (Figura 6.9) mostra una correlazione positiva tra le due variabili, con un andamento di tipo esponenziale ed un coefficiente di correlazione di Spearman significativo e pari a $\rho = 0,42$. Il numero di difetti non aumenta al diminuire del tempo di assemblaggio, quindi effettuare un assemblaggio più velocemente non ha implicato nell'esperimento una diminuzione della precisione. Questo risultato, infatti, fa capire come il numero di difetti sia essenzialmente condizionato dal livello di familiarità dei partecipanti con il task, avendo quindi un numero di difetti maggiore durante i primi assemblaggi, ovvero quando si ha un tempo di assemblaggio maggiore.

6.4 Analisi dati questionari di autovalutazione

In questo paragrafo si analizzano i risultati ottenuti dalla compilazione dei questionari di autovalutazione presentati al Capitolo 5.

6.4.1 Analisi dati NASA TLX

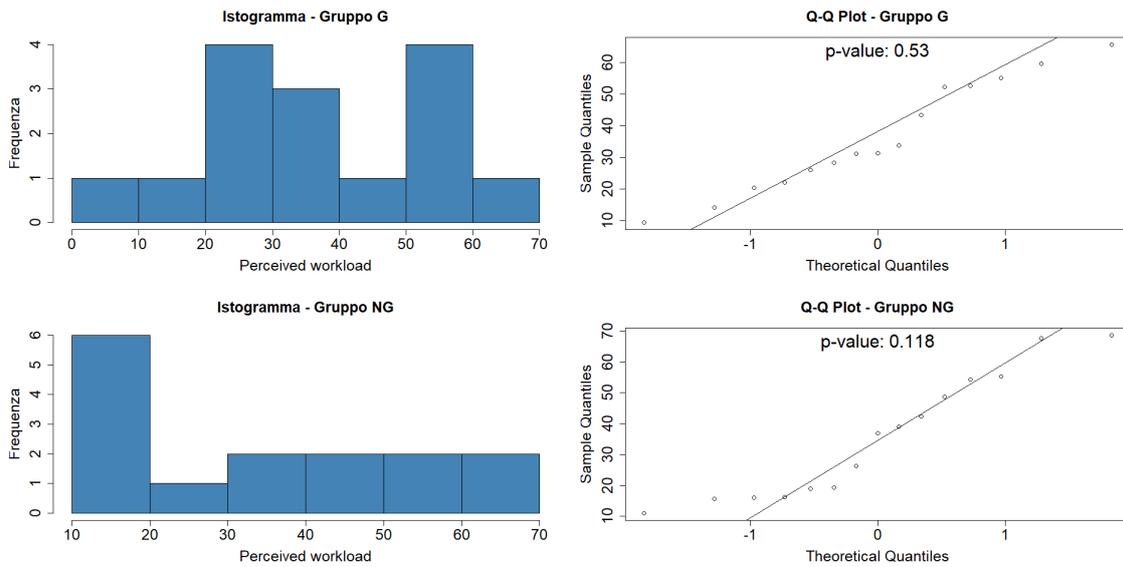


Figura 6.10: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi al carico di lavoro percepito

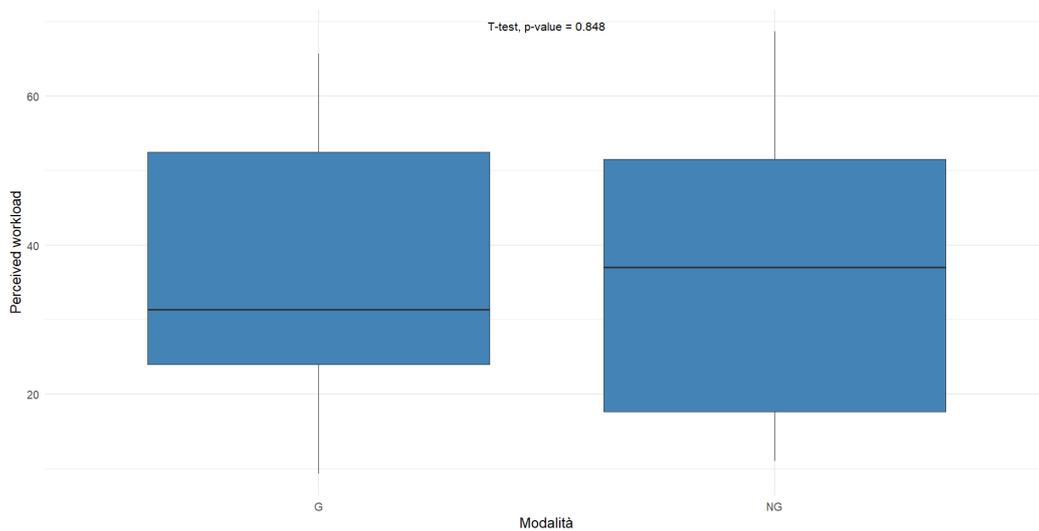


Figura 6.11: Boxplot del carico di lavoro percepito nelle due modalità

Si può osservare in prima battuta il carico di lavoro cognitivo complessivo misurato dal NASA TLX. I grafici precedenti mostrano come il test di Shapiro-Wilk presenti un p-value $> 0,05$ per entrambi i gruppi (Figura 6.10), pertanto, si può affermare che entrambe le popolazioni seguono una distribuzione normale, ed è quindi possibile applicare il test parametrico t.

I boxplot in Figura 6.11 rivelano una mediana più alta per il carico di lavoro nella modalità non gamificata rispetto a quella gamificata. Tuttavia, l'analisi del t-test non mostra differenze significative tra i due gruppi (p-value $> 0,05$). Questo risultato suggerisce che, a livello complessivo, la modalità di svolgimento del task non ha un impatto statisticamente significativo sul carico di lavoro percepito dai partecipanti. Questo può indicare che, nonostante la differenza nella mediana tra le due modalità, altri fattori potrebbero aver bilanciato le percezioni individuali del carico di lavoro.

Per approfondire ulteriormente, è utile dettagliare l'analisi nelle singole dimensioni del NASA TLX. Questo approccio può aiutare a identificare eventuali compensazioni tra le diverse dimensioni che potrebbero influenzare il punteggio complessivo e a valutare se ci siano differenze statisticamente significative nelle singole dimensioni.

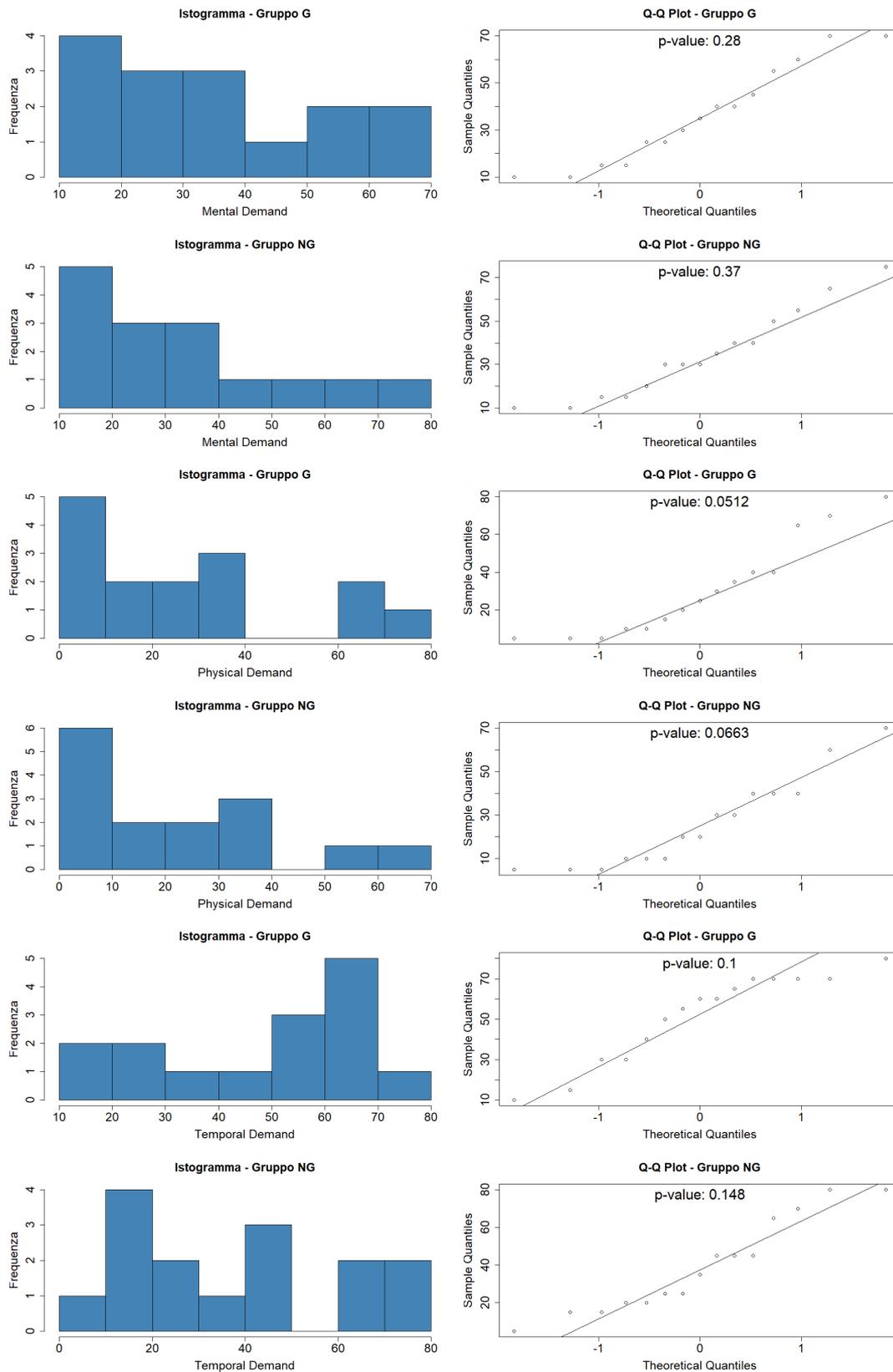


Figura 6.12a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni del NASA TLX

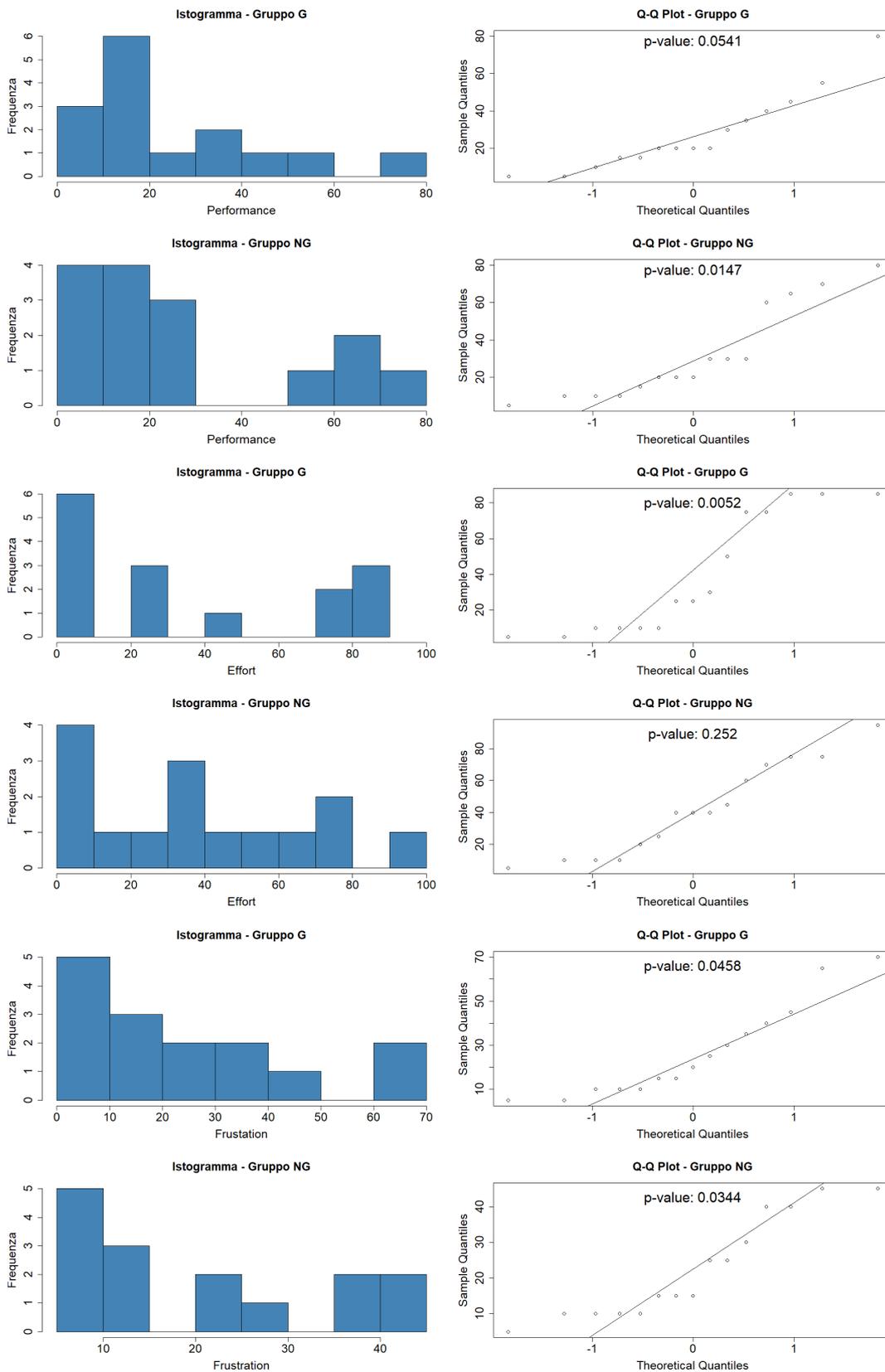


Figura 6.12b: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni del NASA TLX

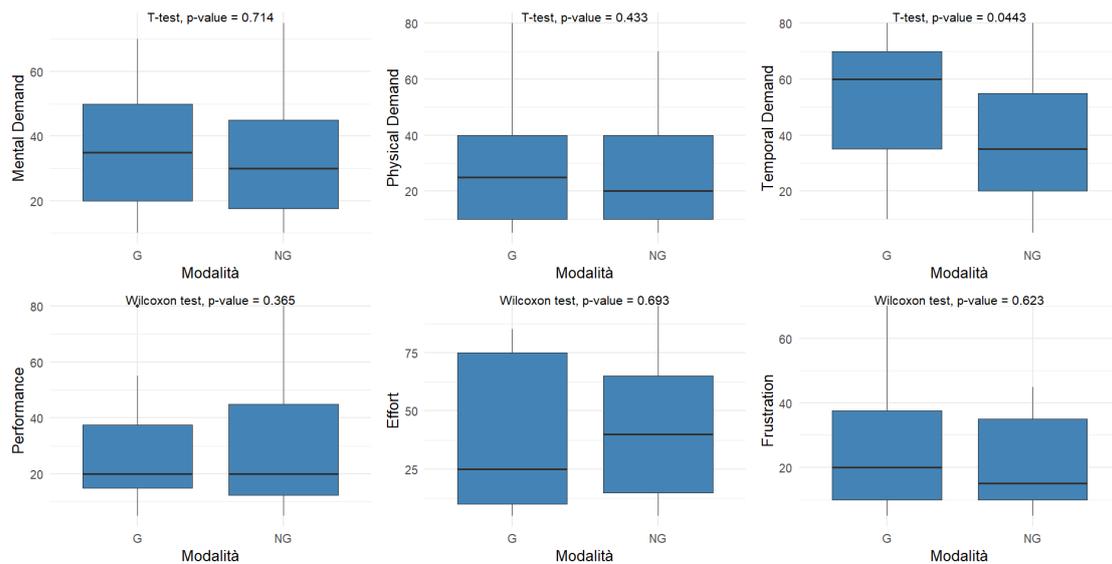


Figura 6.13: Boxplot delle dimensioni del NASA TLX nelle due modalità

Il test di Shapiro-Wilk evidenzia che le dimensioni "Mental Demand", "Physical Demand" e "Temporal Demand" hanno una distribuzione normale ($p\text{-value} > 0,05$). Pertanto, per queste dimensioni è stato applicato il t-test. Al contrario, le dimensioni "Performance", "Effort" e "Frustration" presentano una distribuzione non normale ($p\text{-value} < 0,05$), quindi è stato utilizzato il test di Wilcoxon per l'analisi statistica (Figura 6.12a e 6.12b).

I risultati in Figura 6.13 mostrano come le dimensioni del NASA TLX siano essenzialmente allineate tra i due gruppi e non presentino differenze statisticamente significative, con l'eccezione del Temporal Demand con un $p\text{-value} = 0,04$, indicando una differenza significativa. Questo risultato può essere attribuito alla visualizzazione dei tempi di assemblaggio sulla dashboard gamificata e alle metriche di performance fornite.

La letteratura esistente evidenzia pareri contrastanti sulla misurazione delle performance dei lavoratori, e questo risultato ne è un esempio. Visualizzare il proprio tempo di assemblaggio potrebbe aumentare la percezione della pressione temporale nei partecipanti rispetto alla versione non gamificata, in cui la dimensione temporale non era considerata, come riportato da un partecipante, "Mi sono sentita più insicura e in ansia vedendo il tempo e i risultati, perché sentivo l'ansia del tempo" (P14).

Questi risultati suggeriscono che, sebbene la gamification non influisca significativamente sul carico di lavoro complessivo, può avere un impatto specifico su alcune dimensioni del carico di lavoro cognitivo, come il Temporal Demand. Questo è un aspetto importante da considerare nella progettazione di ambienti di lavoro gamificati, poiché la percezione del tempo e della pressione può influenzare il benessere e le performance dei lavoratori.

6.4.2 Analisi dati Self Assessment Mannikin

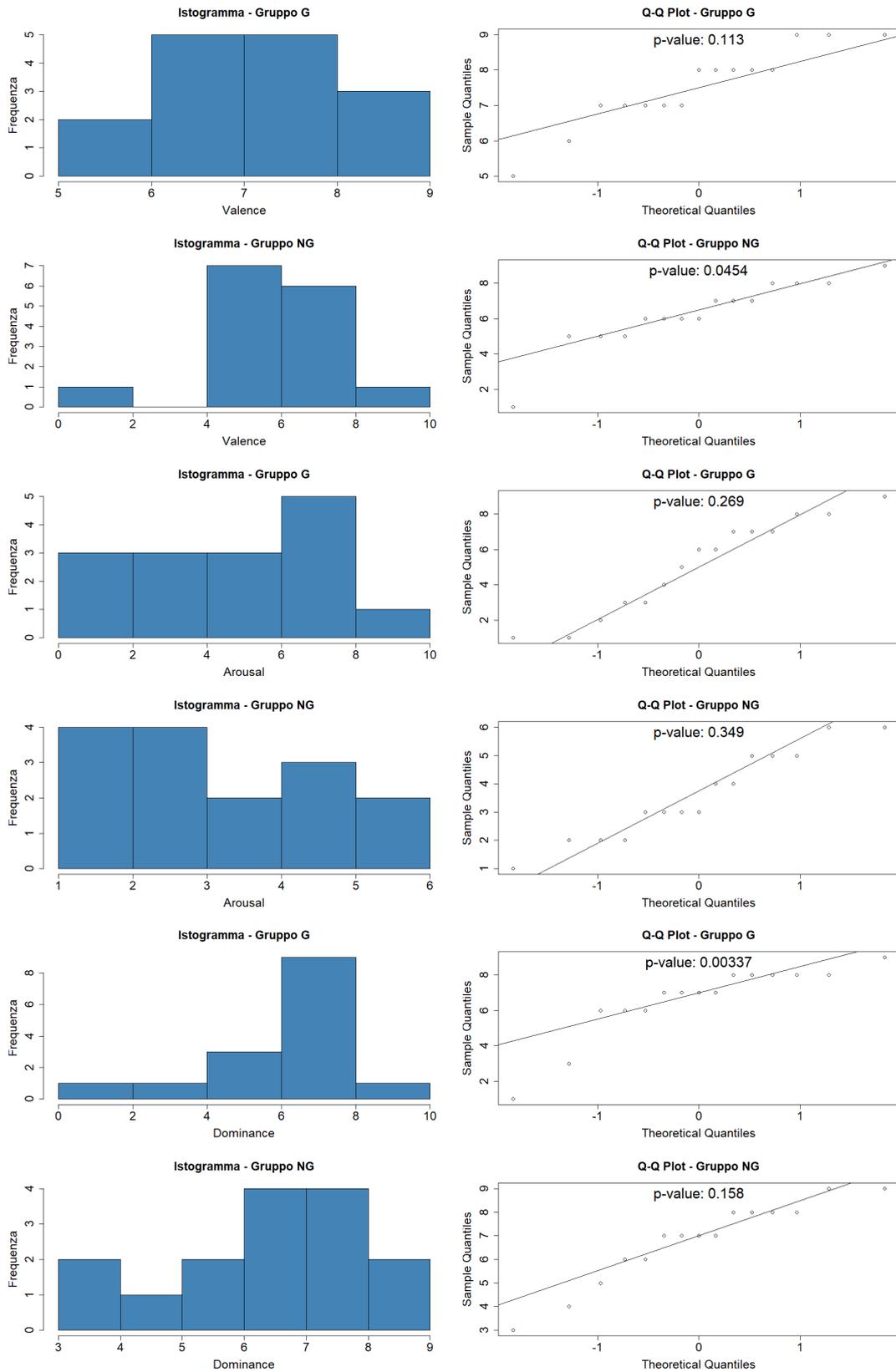


Figura 6.14: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni del Self-Assessment Mannikin

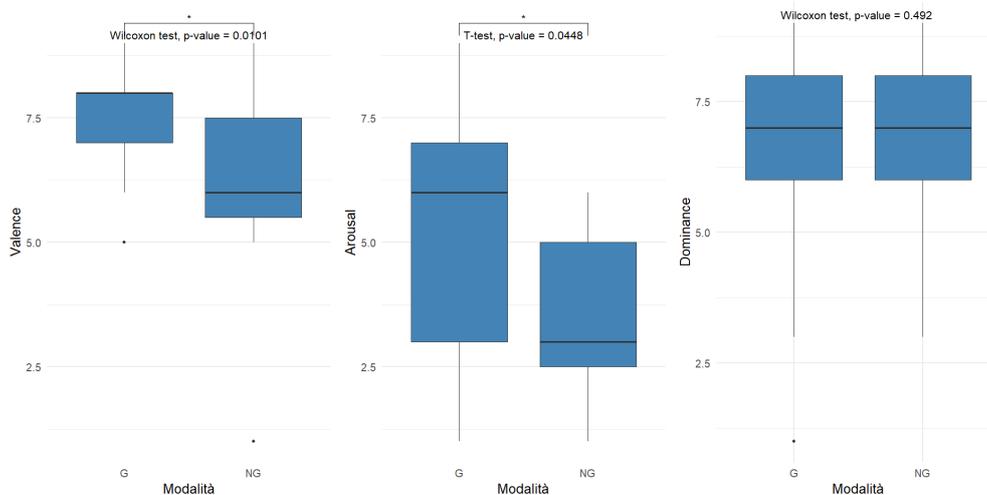


Figura 6.15: Boxplot delle dimensioni del SAM nelle due modalità

Per le dimensioni del Self Assessment Mannikin si può osservare come i dati, ad eccezione della dimensione Arousal, non seguano una distribuzione di tipo normale (Figure 6.14). Questo è stato verificato tramite il test di Shapiro-Wilk, che ha evidenziato p-value < 0,05 per tutte le dimensioni tranne Arousal, giustificando l'uso del test di Wilcoxon per Valence e Dominance.

I risultati in Figura 6.15 mostrano una differenza statisticamente significativa nella Valence tra le due versioni, infatti il test di Wilcoxon ha un p-value = 0,01. Questo risultato sottolinea come l'implementazione della gamification abbia generato una risposta emotiva più positiva nei partecipanti rispetto alla versione normale. I partecipanti hanno quindi percepito l'esperienza come più piacevole e gratificante e questo è confermato dai commenti dei partecipanti, come quello del P15: "L'esperimento è stato più gradevole e meno noioso da svolgere con il gioco". Questo risultato è coerente con l'obiettivo della gamification di aumentare il coinvolgimento in attività che potrebbero altrimenti essere percepite come monotone e, per il caso studio, migliorare l'interazione uomo-robot e. Considerando questi risultati, è chiaro che l'integrazione di elementi gamificati può apportare benefici significativi al benessere emotivo dei lavoratori, migliorando allo stesso tempo la qualità e l'efficacia dell'interazione lavorativa.

Anche per la dimensione Arousal si ha un p-value associato al t-test minore del livello di significatività (Figura 6.25), pertanto, la differenza tra le due versioni è statisticamente significativa. In particolare, si ha per la versione gamificata un Arousal più alto, ad indicare una maggiore attivazione dei partecipanti ("Con la versione del gioco ero più stimolato e mi sono sentito più guidato perché le fasi dell'assemblaggio erano scandite chiaramente" P7). Questo

risultato può essere dovuto alle considerazioni fatte in precedenza rispetto alla percezione della pressione del tempo, oppure al fatto che la versione gamificata è più interattiva rispetto a quella normale, determinando quindi una maggiore stimolazione dei soggetti.

Per quanto riguarda invece la dimensione Dominance, i risultati tra le due versioni sono essenzialmente uguali. Questo suggerisce che la sensazione di controllo o dominio sul compito svolto rimane invariata indipendentemente dall'applicazione della gamification. La stabilità nella dimensione Dominance potrebbe essere vista come un aspetto positivo, poiché suggerisce che i partecipanti non hanno percepito una perdita di autonomia o controllo con l'introduzione degli elementi di gamification.

6.4.3 Analisi dati Intrinsic Motivation Questionnaire

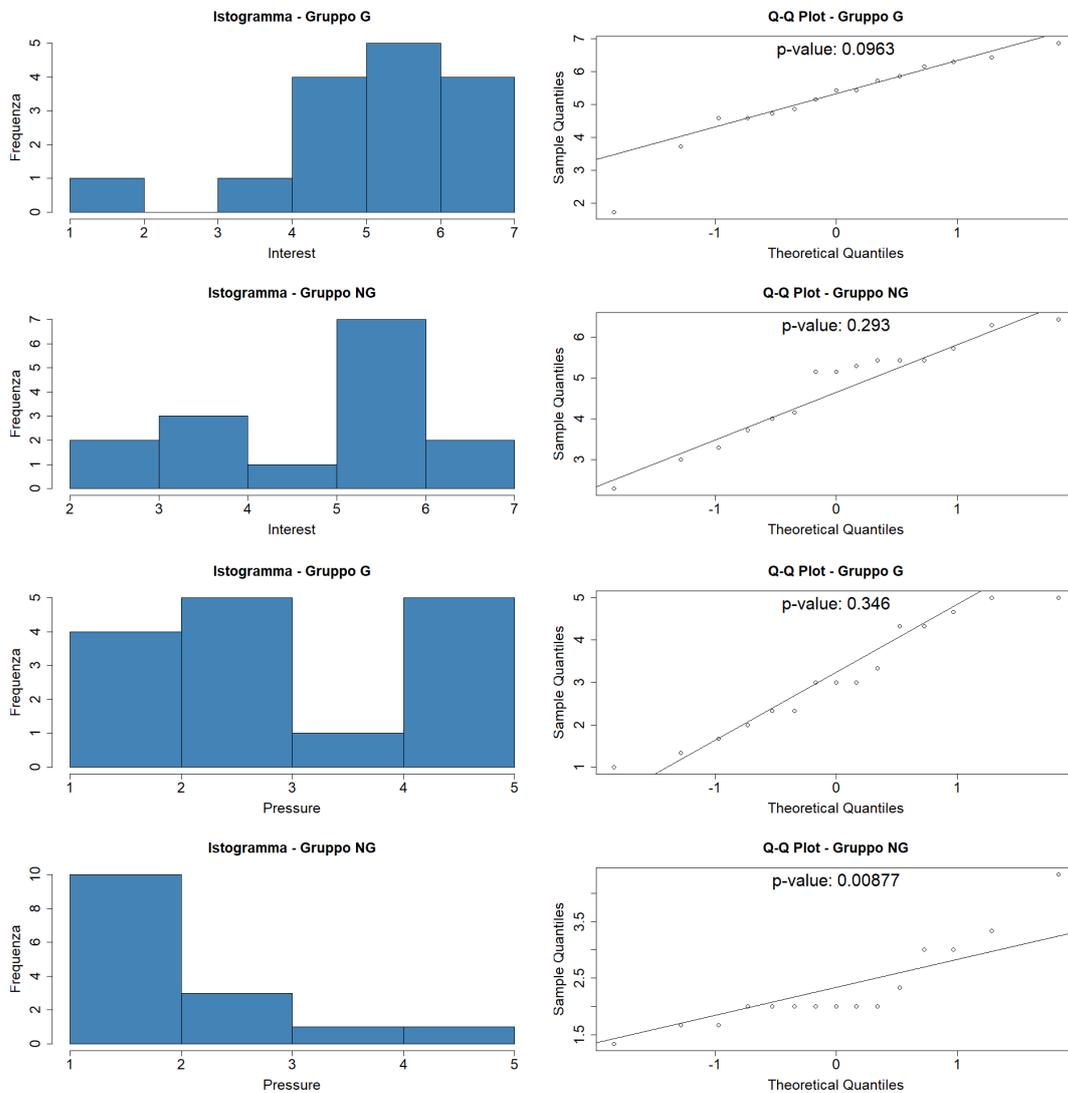


Figura 6.16: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni dell'Intrinsic Motivation Questionnaire

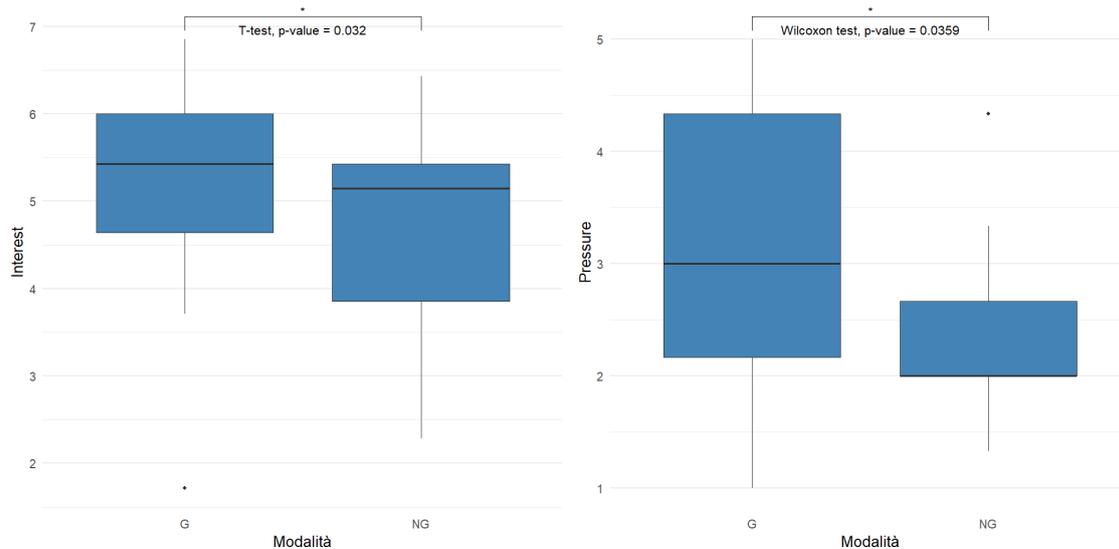


Figura 6.17: Boxplot delle dimensioni dell’Intrinsic Motivation Questionnaire nelle due modalità

La dimensione Interest dell’Intrinsic Motivation Questionnaire segue una distribuzione di tipo normale per entrambi i gruppi, come indicato dal test di Shapiro-Wilk con $p\text{-value} > 0,05$ (Figura 6.16). Di conseguenza, è stato applicato il t-test, che ha confermato una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi con un $p\text{-value} = 0,032$ (Figura 6.18). Questo risultato evidenzia che l’implementazione della gamification migliora la dimensione Interest, una misura fondamentale della motivazione intrinseca. Un partecipante ha commentato: “Nella versione di gioco mi sentivo più motivato ad andare avanti poiché potevo vedere, alla fine di ogni fase, il mio punteggio” (P1). Tale feedback conferma che la gamification stimola l’interesse attivo e la motivazione intrinseca, rendendo l’attività più coinvolgente e gratificante. La dimensione Interest è cruciale perché rappresenta l’impegno spontaneo e la curiosità dei partecipanti verso il compito, caratteristiche essenziali per un apprendimento efficace e una performance sostenibile. La letteratura conferma infatti che l’aumento della motivazione intrinseca può portare a una maggiore persistenza nelle attività lavorative, migliorando sia il benessere dei lavoratori che i risultati.

Per quanto riguarda la Pressure, si è applicato un test di Wilcoxon, in quanto la distribuzione dei dati non è normale (Figura 6.17). Il risultato del test di Wilcoxon mostrato in Figura 6.18 è significativo ($p\text{-value} = 0,04$), pertanto si può rifiutare l’ipotesi nulla che la mediana della dimensione Pressure sia uguale tra i due gruppi. I partecipanti alla versione gamificata hanno quindi percepito un livello di tensione o pressione esterna più alto rispetto alla versione normale dell’esperimento. L’aumento della percezione di Pressure nella modalità gamificata può essere attribuito a vari fattori, tra cui l’incremento della pressione temporale e il costante monitoraggio

delle performance. Come osservato in precedenza, la presenza di un feedback immediato e la visualizzazione del tempo di completamento possono intensificare la percezione di urgenza e la necessità di mantenere alte prestazioni, rispetto alla modalità non gamificata dell'assemblaggio, in cui la dimensione temporale non viene enfatizzata durante l'esperimento.

Questi risultati sono coerenti con le ricerche precedenti che indicano come la gamification, sebbene efficace nel migliorare la motivazione intrinseca e l'engagement, possa anche aumentare la pressione percepita a causa della competitività e del monitoraggio continuo delle performance. È quindi fondamentale trovare un equilibrio nella progettazione di tali sistemi, assicurando che i benefici della motivazione e dell'engagement non siano controbilanciati da aumenti indesiderati di stress e tensione.

6.4.4 Analisi dati User Experience Questionnaire

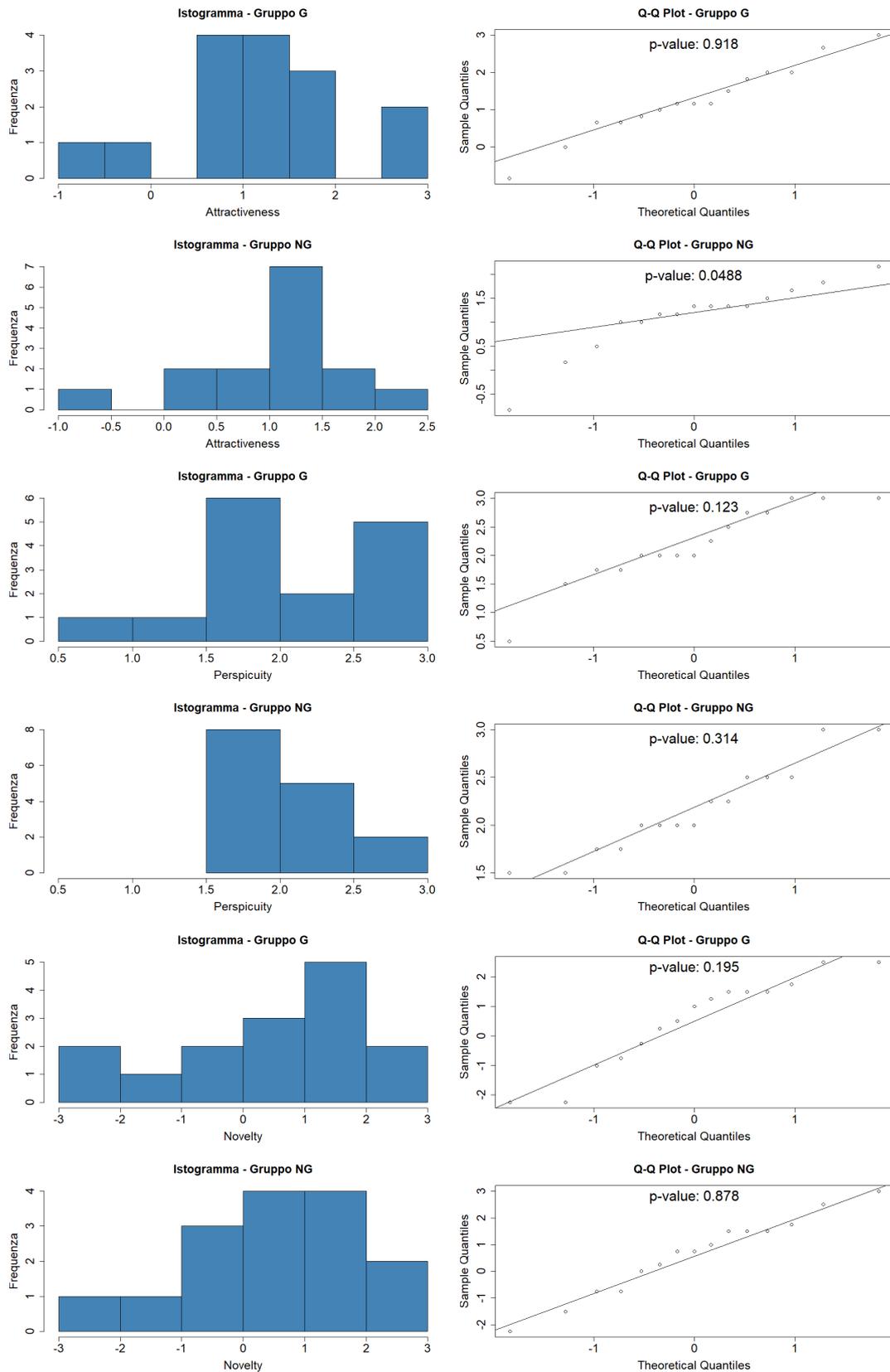


Figura 6.18a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni dello UEQ

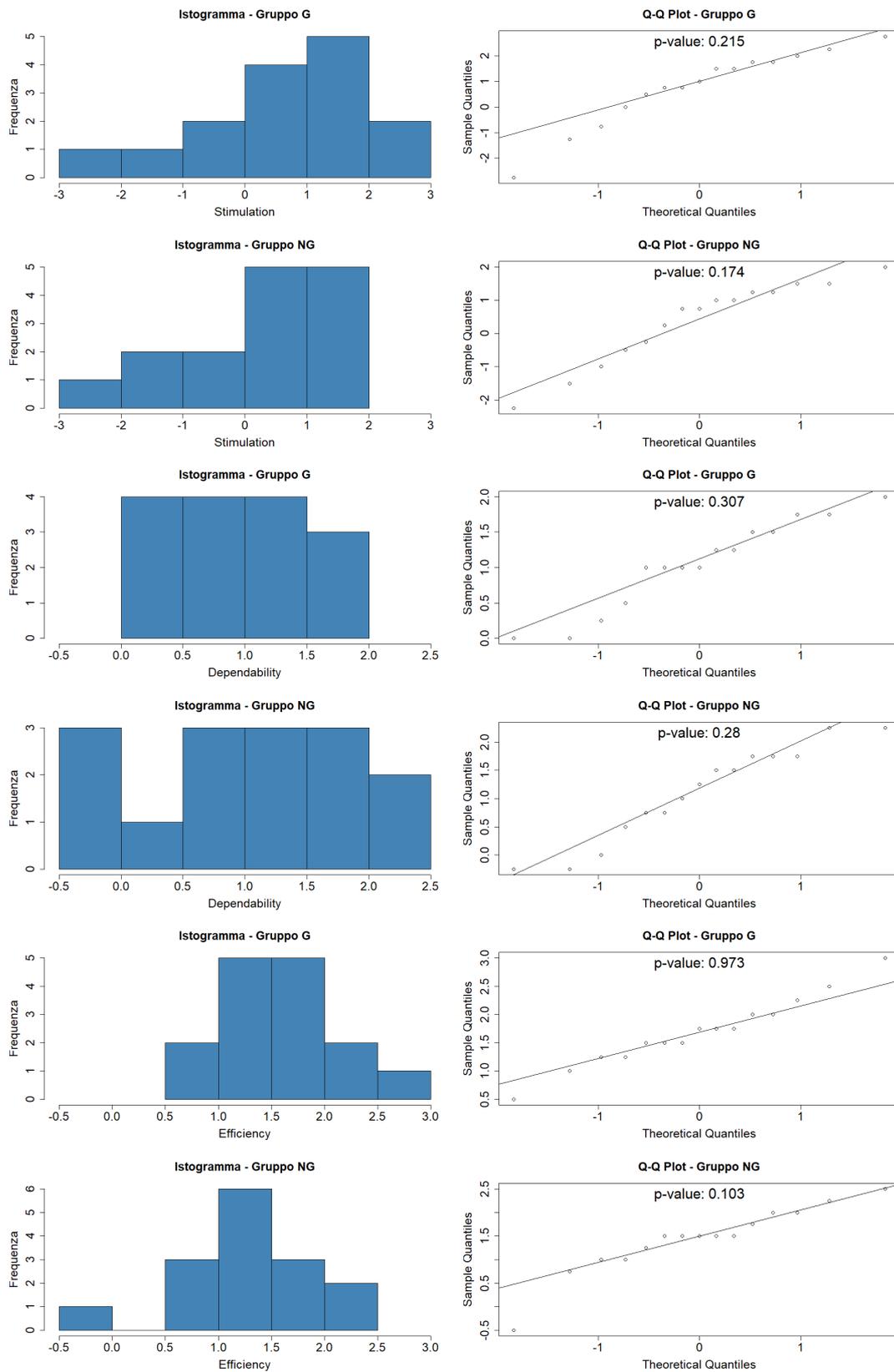


Figura 6.18b: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni dello UEQ

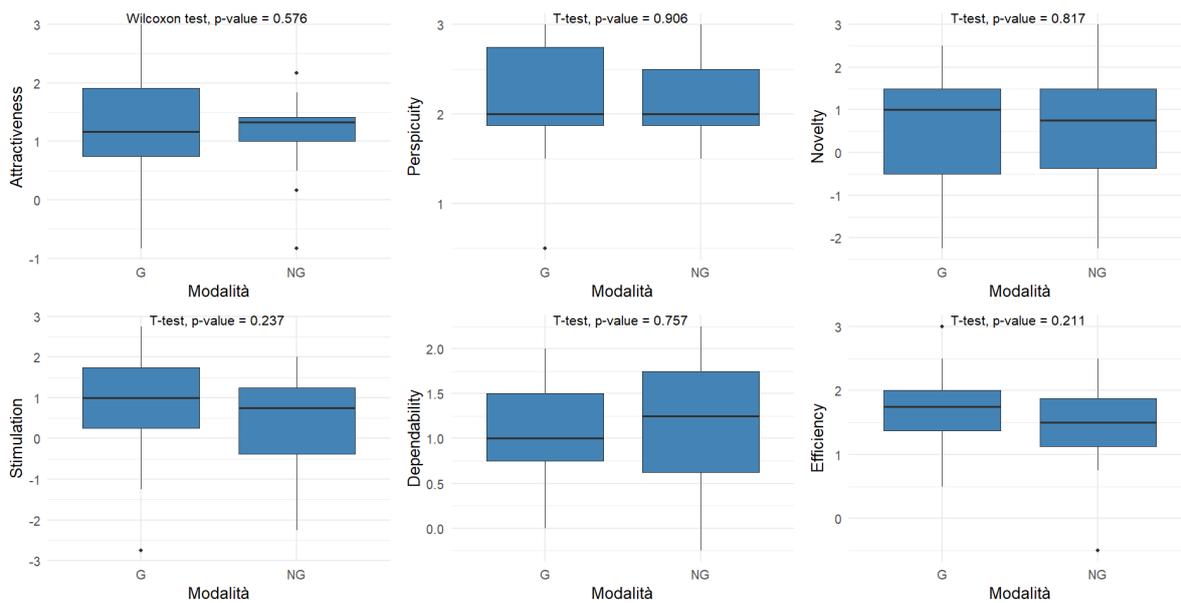


Figura 6.19: Boxplot delle dimensioni dello UEQ nelle due modalità

I risultati presentati in Figura 6.18a e 6.18b relativi alle dimensioni dello User Experience Questionnaire (UEQ) indicano che, ad eccezione della dimensione Attractiveness per la quale è stato utilizzato il test di Wilcoxon (test di Shapiro-Wilk con $p\text{-value} < 0,05$), il test d'ipotesi impiegato è stato il t-test per tutte le altre dimensioni. Le analisi non mostrano differenze significative tra i due gruppi per nessuna delle dimensioni valutate (Figura 6.19). Questo risultato suggerisce che l'implementazione della gamification non ha influenzato in modo sostanziale l'esperienza complessiva degli utenti durante l'esperimento.

Osservando più in dettaglio la dimensione Attractiveness, si nota che la mediana per la versione normale è più alta rispetto alla versione gamificata. Questo è attribuibile a una minore dispersione dei valori nel gruppo normale, con le valutazioni maggiormente concentrate intorno alla mediana. Al contrario, la versione gamificata presenta una maggiore variabilità nelle valutazioni, spiegando una mediana più bassa. Questo potrebbe indicare che, mentre alcuni utenti hanno trovato la versione gamificata particolarmente attraente, altri potrebbero aver avuto un'esperienza meno positiva.

Le dimensioni legate alla qualità ergonomica, come Efficiency, Perspicuity, Dependability e Usability, non mostrano particolari tendenze o differenze tra i gruppi, suggerendo che la facilità d'uso e l'affidabilità percepite sono rimaste costanti indipendentemente dalla presenza della gamification.

Di particolare interesse sono le dimensioni legate alla qualità edonistica, ovvero Novelty e Stimulation. Pur non mostrando differenze statisticamente significative, queste dimensioni presentano un valore mediano leggermente più alto nella versione gamificata. Questo potrebbe essere correlato all'originalità dell'interfaccia gamificata e alla maggiore stimolazione emotiva osservata nei partecipanti, come indicato anche dai risultati del Self Assessment Mannikin per la dimensione Arousal. La novità introdotta dalla gamification potrebbe aver reso l'interfaccia più intrigante e stimolante, offrendo un'esperienza utente più coinvolgente.

In sintesi, i risultati dello UEQ indicano che la gamification non ha alterato in modo significativo la percezione complessiva dell'esperienza utente, ma ha mostrato potenziali benefici in termini di qualità edonistica.

6.4.5 Analisi dati Game Engagement Questionnaire

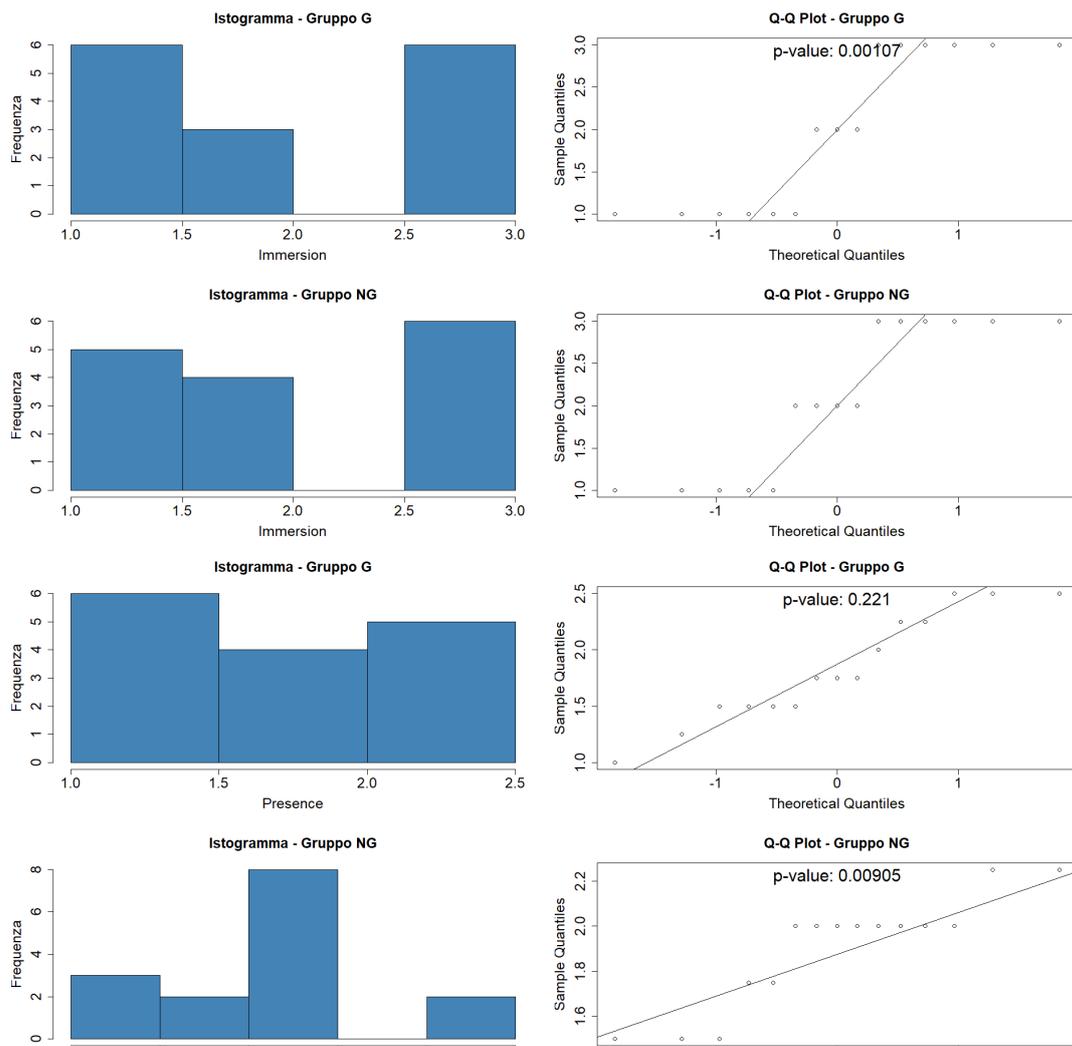


Figura 6.20a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni del GEQ

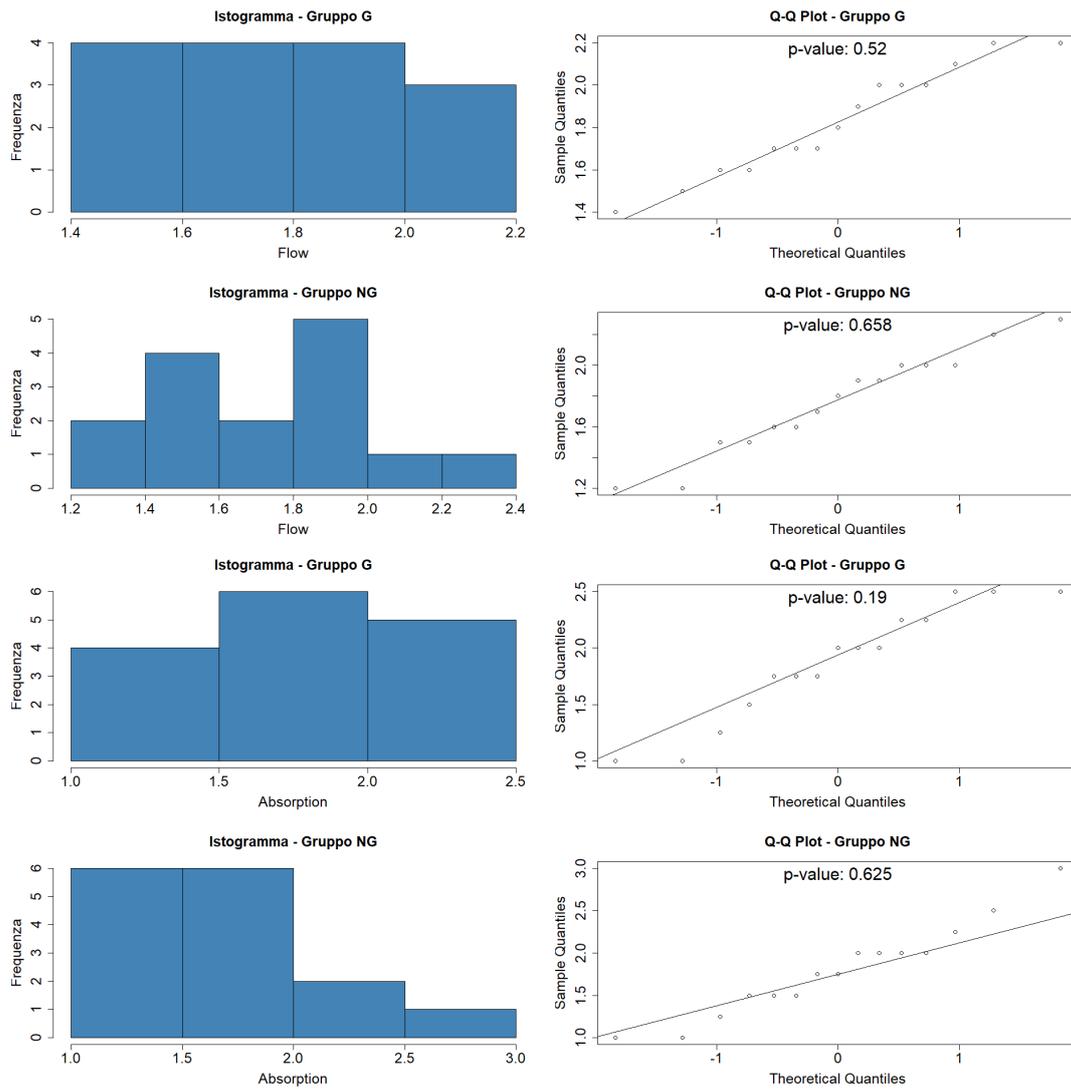


Figura 6.20a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle dimensioni del GEQ

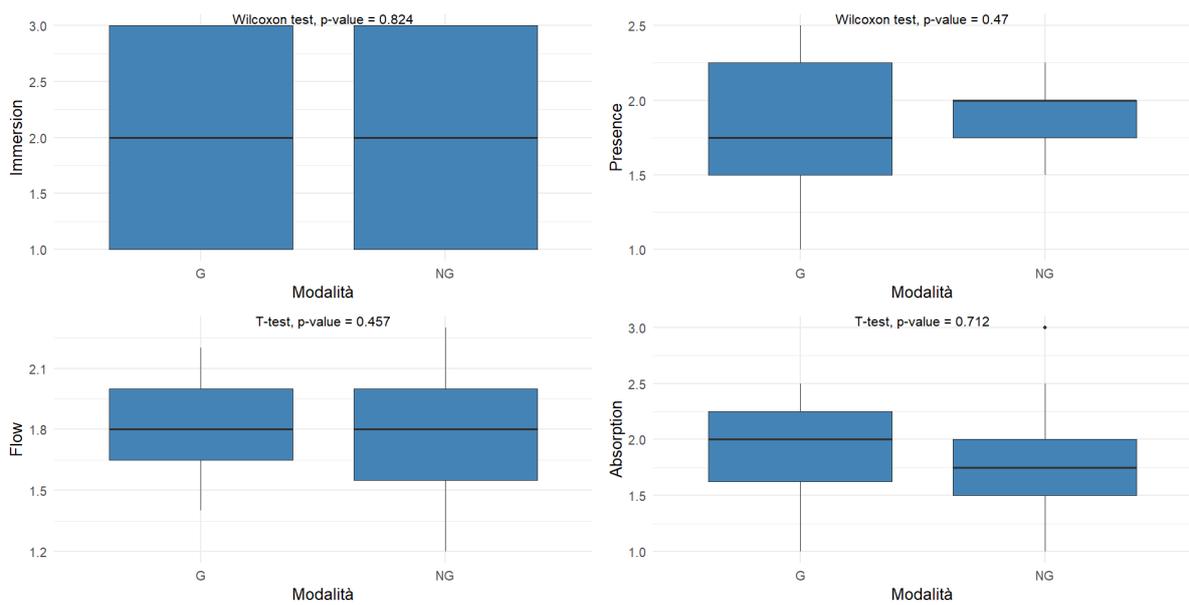


Figura 6.21: Boxplot delle dimensioni del GEQ nelle due modalità

Dall'analisi dei risultati relativi alle dimensioni del Game Engagement Questionnaire (GEQ) in Figura 6.20a e 6.20b, si osserva che le dimensioni "Immersion" e "Presence" non seguono una distribuzione normale, come indicato dal test di Shapiro-Wilk con $p\text{-value} < 0,05$. Pertanto, per queste dimensioni è stato utilizzato il test di Wilcoxon. Al contrario, le dimensioni "Flow" e "Absorption" seguono una distribuzione normale ($p\text{-value} > 0,05$), giustificando l'uso del t-test per la loro analisi.

I test statistici applicati non hanno evidenziato differenze significative tra le due modalità sperimentali per nessuna delle dimensioni del GEQ, con $p\text{-value}$ maggiori del livello di significatività (Figura 6.21). Questo suggerisce che, per quanto riguarda le dimensioni misurate dal GEQ, le percezioni dei partecipanti sono maggiormente legate al task di assemblaggio stesso piuttosto che alla versione dell'esperimento a cui sono stati sottoposti. In altre parole, l'implementazione della gamification non ha determinato un cambiamento rilevante rispetto alla baseline rappresentata dall'assenza del gioco.

Si può comunque osservare che la dimensione "Absorption" è leggermente più alta per la versione gamificata. Questo potrebbe indicare che, nonostante la mancanza di differenze statisticamente significative, l'elemento gamificato potrebbe aver contribuito a una maggiore capacità dei partecipanti di perdere la cognizione del tempo e diventare completamente coinvolti nel compito. D'altro canto, la dimensione Presence è risultata leggermente più bassa per la versione gamificata. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che l'introduzione di elementi ludici potrebbe aver distolto in parte l'attenzione dal compito principale, facendo sentire i partecipanti meno presenti fisicamente e mentalmente nel contesto dell'esperimento.

6.5 Analisi dati parametri fisiologici

In questo paragrafo vengono analizzati i risultati relativi ai parametri fisiologici dei partecipanti raccolti durante l'esperimento, sintomo del loro stato di salute psico-fisico in risposta alle diverse modalità sperimentali impiegate.

I risultati esposti di seguito includono l'analisi dell'attività elettrodermica (EDA), che riflette le variazioni nella conduttanza della pelle in risposta a stimoli emotivi e cognitivi, la variabilità della frequenza cardiaca (HRV), che indica l'adattabilità del sistema nervoso autonomo, e le metriche di tracciamento oculare, utilizzate per monitorare l'attenzione visiva e la reattività agli stimoli visivi durante l'esecuzione delle attività.

6.5.1 Analisi dati Empatica E4

In questa sezione vengono presentati i principali risultati relativi ai parametri fisiologici raccolti dal dispositivo Empatica E4, relativi all'attività elettrodermica ed alla variabilità della frequenza

cardiaca. In generale, valori più elevati di EDA sono associati a un aumento del livello di stress emotivo e cognitivo, indicando una maggiore reattività agli stimoli ambientali o interni.

D'altra parte, l'HRV rappresenta la variazione dei tempi tra i battiti cardiaci, un indicatore di regolazione del sistema nervoso autonomo. Valori minori di HRV sono comunemente interpretati come segnale di maggiore affaticamento e minore adattabilità del sistema nervoso alle richieste esterne. Pertanto, una riduzione nell'HRV può indicare un aumento dello sforzo fisiologico necessario per svolgere le attività, o un maggior livello di stress.

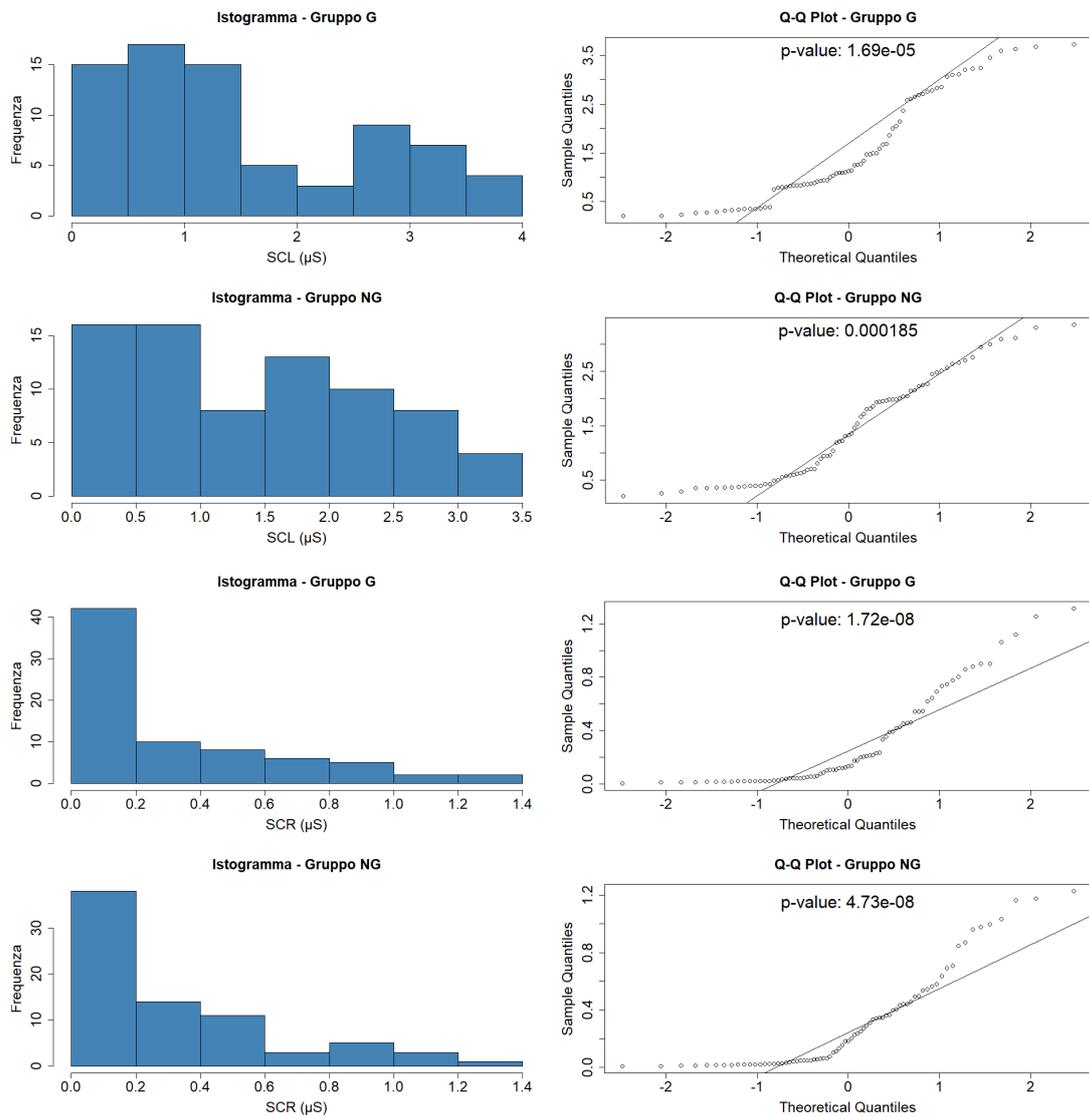


Figura 6.22a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi ai parametri fisiologici di EDA ed HRV

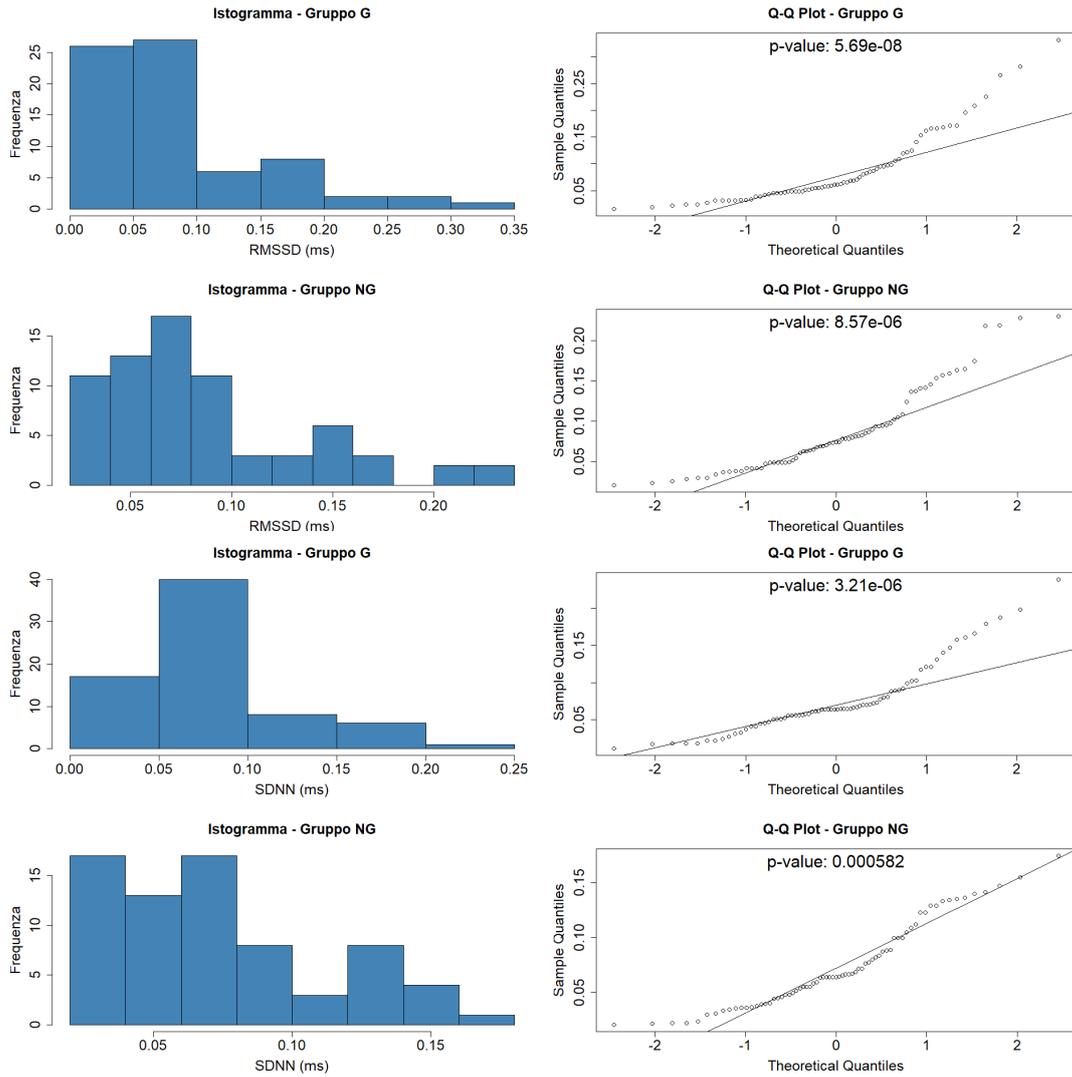


Figura 6.22b: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi ai parametri fisiologici di EDA ed HRV

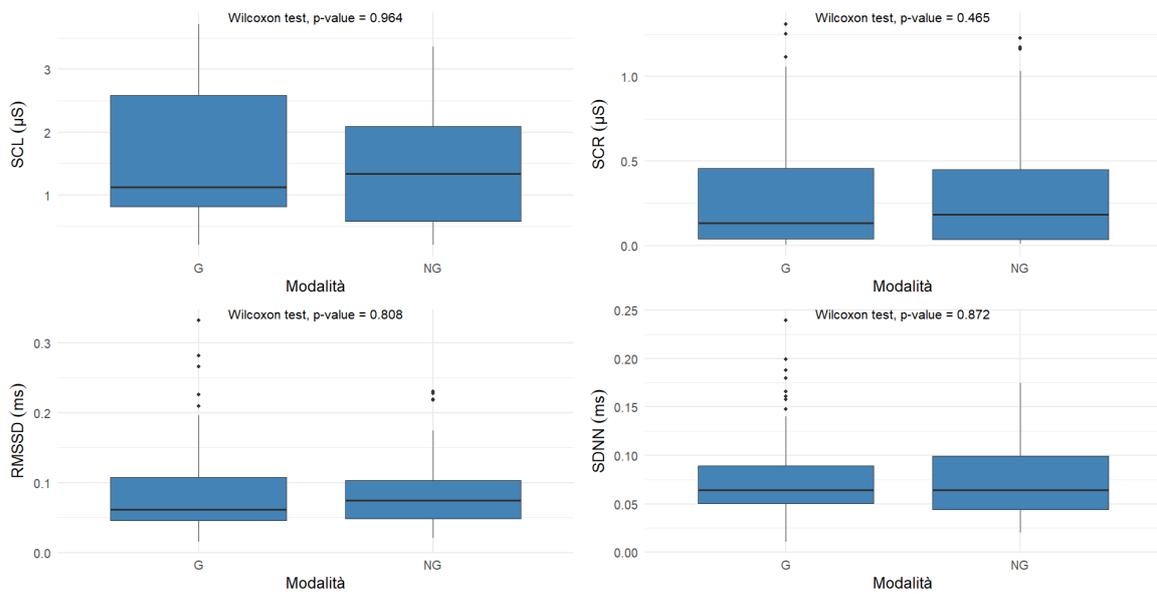


Figura 6.23: Boxplot dei dati raccolti dall'Empatica E4 nelle due modalità

Per tutti i parametri fisiologici si ha una distribuzione non normale, infatti il test di Shapiro-Wilk ha un p-value < 0,05 (Figure 6.22a e 6.22b). Il test d'ipotesi utilizzato è quindi il test dei ranghi con segno di Wilcoxon.

I boxplot in Figura 6.23 ed i risultati del test di Wilcoxon mostrano come in nessun caso si abbia una differenza statisticamente significativa tra i parametri nei due gruppi. Questi risultati consolidano l'idea che, nonostante le differenze nell'esperienza soggettiva e motivazionale tra le modalità sperimentate, dal punto di vista fisiologico i partecipanti hanno reagito in modo simile.

Al fine di approfondire ulteriormente i risultati, simile all'analisi condotta sui tempi di assemblaggio, è stata eseguita un'ulteriore analisi considerando anche l'ordine delle modalità sperimentate. Questo approccio ha permesso di valutare se ci fossero differenze significative nella risposta fisiologica a seconda che la modalità gamificata fosse sperimentata come prima o come seconda opzione. Questo è stato esaminato valutando a parità di versione le differenze tra i parametri nel caso in cui questa sia stata sperimentata come prima versione (primi 5 assemblaggi) o come seconda (ultimi 5 assemblaggi).

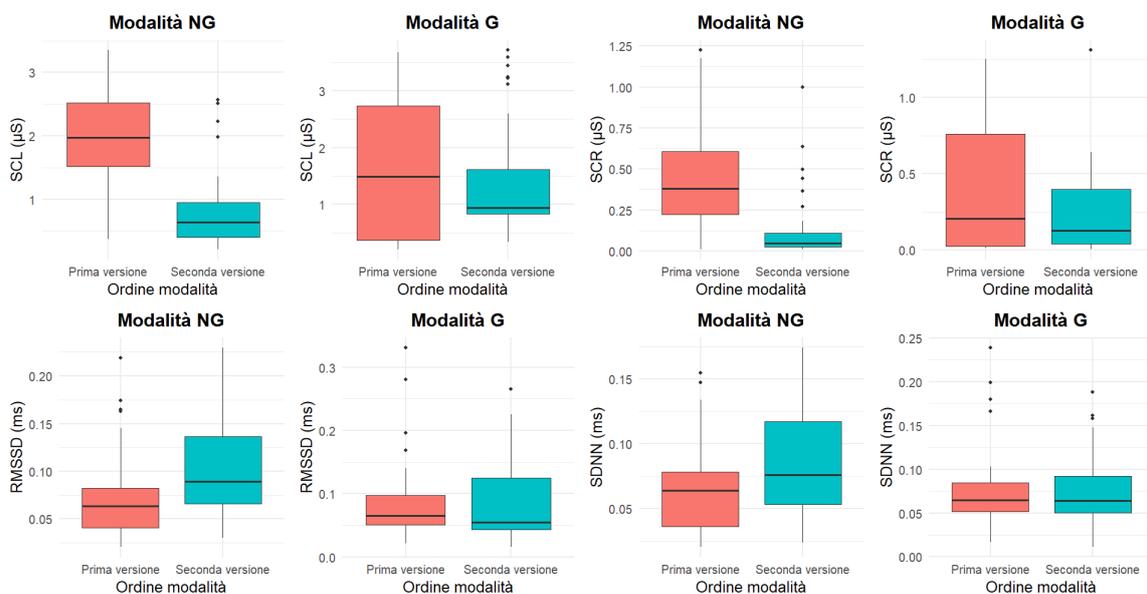


Figura 6.24: Boxplot dei dati raccolti dall'Empatica E4 nei due ordini a parità di modalità

Questa ulteriore analisi mette in evidenza un comportamento diverso delle metriche di EDA ed HRV tra la versione gamificata rispetto alla versione non gamificata. Infatti, si può notare in Figura 6.46 come in generale durante i primi 5 assemblaggi si abbiano delle metriche che indicano un maggiore stato di stress, ovvero valori maggiori per l'EDA (SCL ed SCR) e minori per l'HRV

(RMSSD ed SDNN), mentre negli ultimi 5 assemblaggi si registrano dei valori che indicano un minore stato di affaticamento psicofisico.

Si può notare, a tal proposito, come nel caso della versione normale dell'assemblaggio, per tutte le metriche, si registri un cambiamento significativo, ad indicare che man mano che i partecipanti prendono familiarità con il task di assemblaggio il loro stato di tensione diminuisce.

Questo effetto, seppur in parte visibile nella versione gamificata dell'esperimento, non è significativo come nella configurazione non gamificata. Questo risultato indica che l'implementazione della gamification ostacola il "rilassamento" che deriva dall'effetto apprendimento, e quindi da una maggiore padronanza del task, e contribuisce a mantenere gli individui in uno stato di tensione, che potrebbe essere associata alla pressione temporale rilevata nei paragrafi precedenti.

Questo significa che, se da un lato la gamification fornisce uno stimolo ad essere più veloci, dall'altro determina un maggiore affaticamento negli operatori a causa della percezione della tensione temporale.

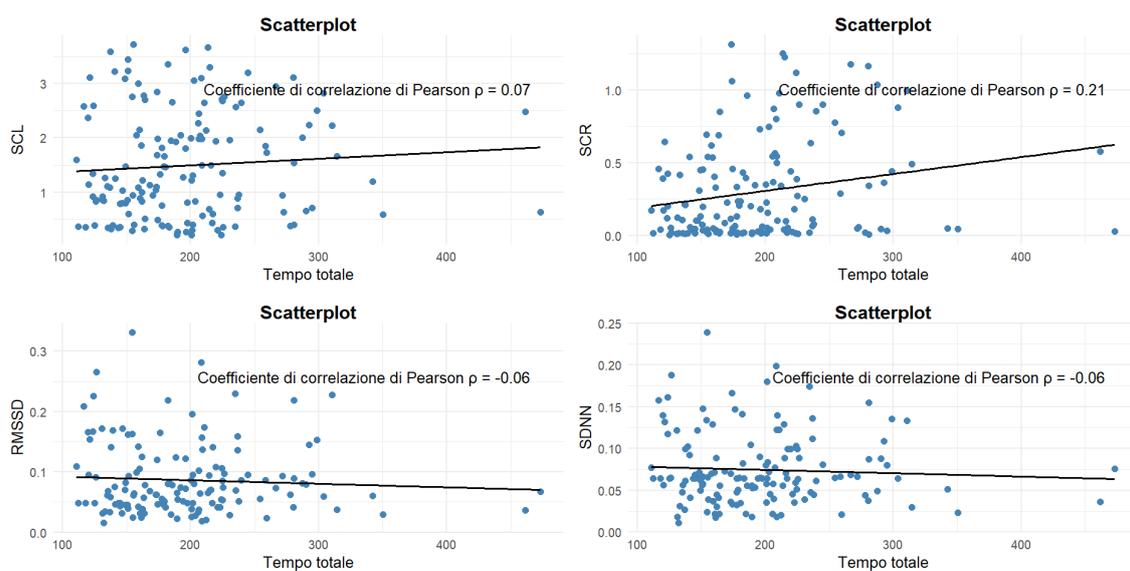


Figura 6.25: Correlazione tra tempo di assemblaggio e metriche di EDA ed HRV

Viene effettuata per completezza un'analisi della correlazione tra il tempo totale di assemblaggio e le metriche appena viste. Dalla Figura 6.25 si evince in generale una correlazione negativa per le metriche di HRV e positiva per le metriche di EDA, seppure i coefficienti di correlazione non siano significativi, tranne nel caso dell'SCR. Questo indica che il livello di stress è maggiore ad aumentare del tempo di assemblaggio: pertanto, si è più lenti quando si percepisce un maggior carico cognitivo, oppure quando si è più lenti il carico cognitivo è maggiore.

6.5.2 Analisi dati metriche di tracciamento oculare

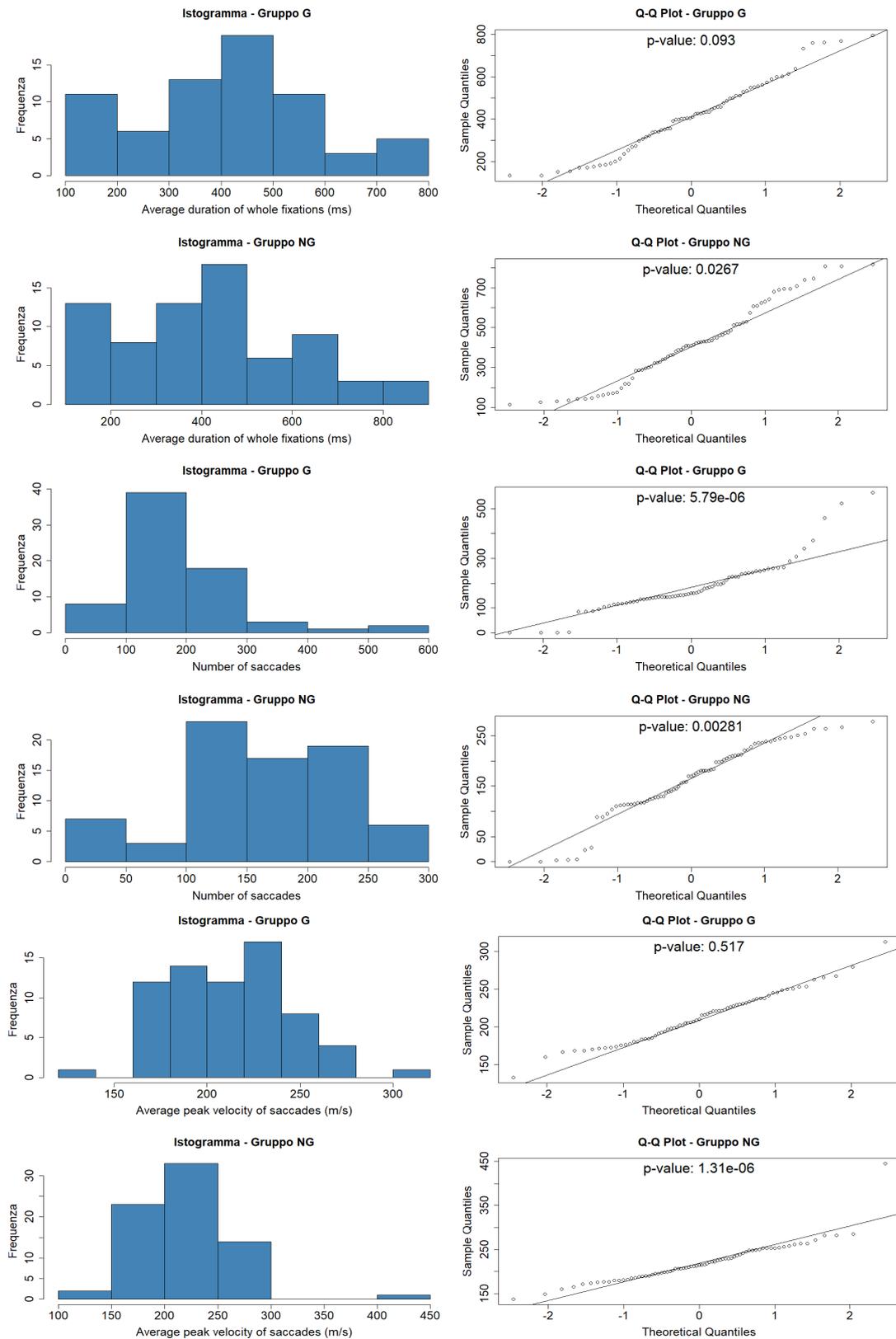


Figura 6.26a: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle metriche di tracciamento oculare

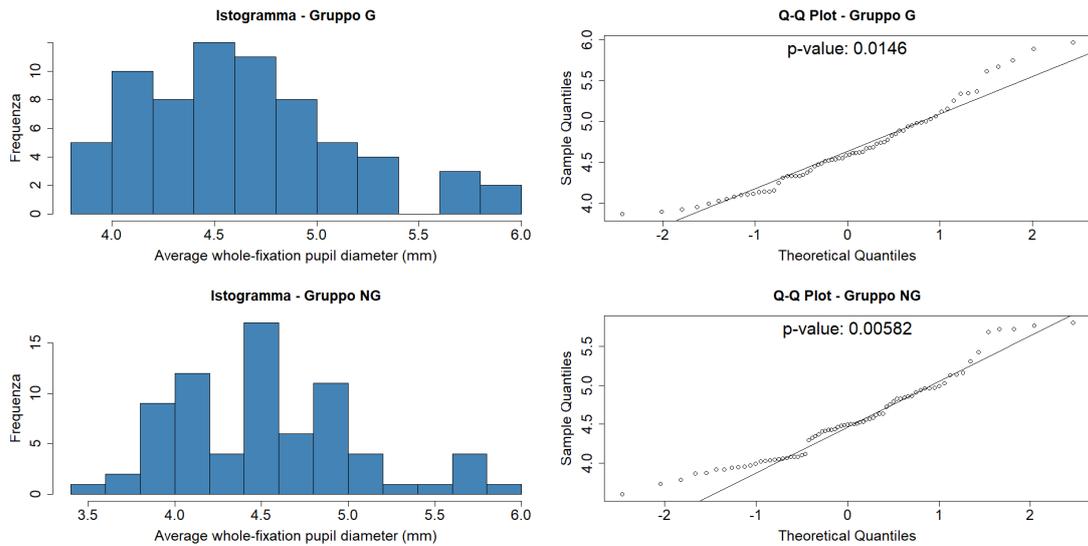


Figura 6.26b: Istogramma delle frequenze e Q-Q Plot relativi alle metriche di tracciamento oculare

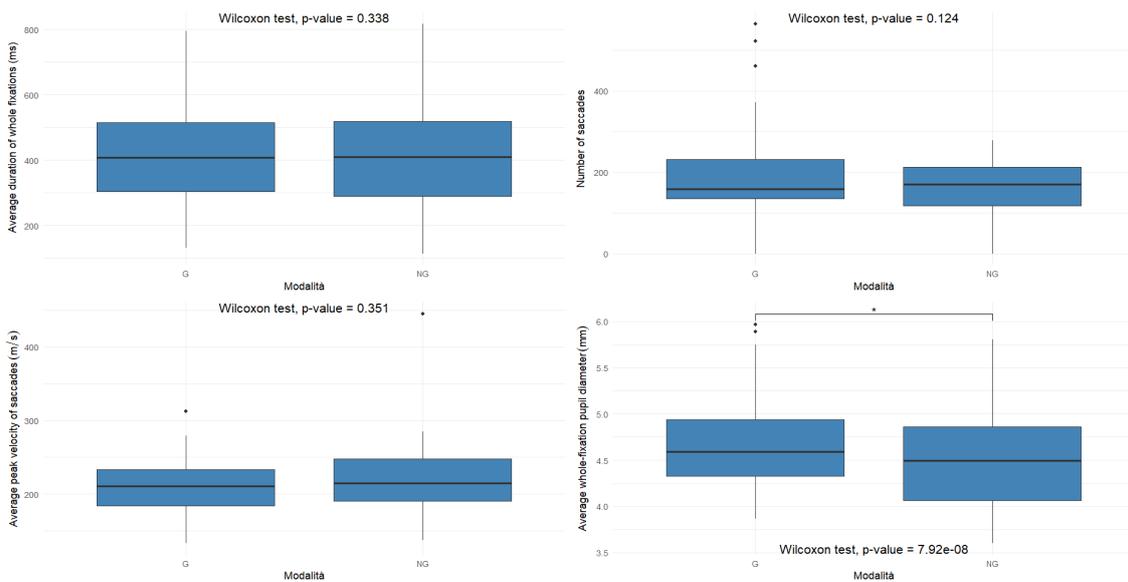


Figura 6.27: Boxplot delle metriche di tracciamento oculare nelle due modalità

I dati relativi alle metriche di tracciamento oculare non seguono una distribuzione normale in nessun caso una distribuzione normale, il p-value associato al test di Shapiro-Wilk è infatti minore del livello di significatività in tutti i casi (Figure 6.26a e 6.26b). Il test d'ipotesi utilizzato è pertanto il test di Wilcoxon, che mostra come i dati non mostrino differenze statisticamente significative tra i due gruppi, ad eccezione del diametro pupillare, che presenta valori più alti nella versione gamificata (Figura 6.27). Questo risultato suggerisce un maggiore carico cognitivo per i

partecipanti durante l'esperimento nella versione gamificata, e sarebbe in linea con i risultati relativi ai questionari di autovalutazione che suggerivano uno stato di stress più accentuato determinato dalla pressione temporale.

Va tuttavia specificato come per i dati relativi alle metriche di tracciamento oculare sia presente un bias di partenza, rappresentato da una differente condizione di illuminazione ed una configurazione dell'ambiente di lavoro diversa tra le due versioni; in particolare il setting gamificato prevede una interazione con schermi secondari rispetto alla versione normale, con una conseguente illuminazione maggiore. Queste considerazioni potrebbero spiegare eventuali differenze emerse nei dati tra i due gruppi.

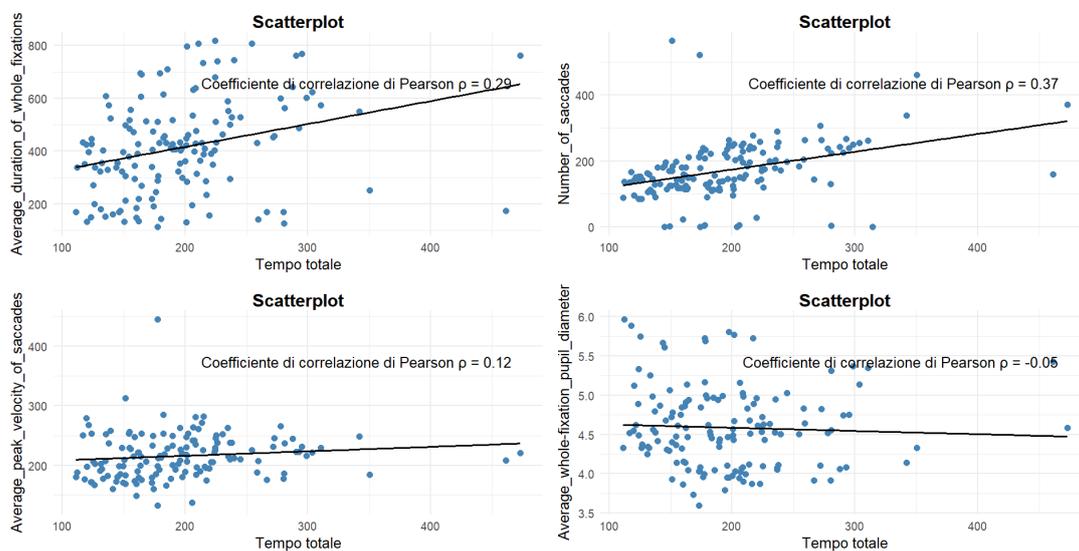


Figura 6.28: Correlazione tra metriche di tracciamento oculare e tempo totale di assemblaggio

Per completezza, la Figura 6.28 riporta un'analisi della correlazione tra le metriche di tracciamento oculare ed il tempo totale di assemblaggio. I coefficienti di correlazione sono significativi nel caso della durata delle fissazioni e del numero di saccadi, indicando un maggior numero di saccadi e delle fissazioni più lunghe, e quindi un maggiore stress, all'aumentare del tempo di assemblaggio.

Questo risultato, coerentemente ai risultati del paragrafo precedente rispetto alle metriche EDA e HRV, suggerisce che i parametri fisiologici indicativi dello stress e dell'affaticamento psicofisico siano essenzialmente condizionati dal livello di familiarità dei partecipanti con l'assemblaggio, piuttosto che dalla versione dell'esperimento; quindi, quando si ha un tempo di assemblaggio maggiore, ovvero durante i primi assemblaggi, si rileva un maggiore affaticamento.

7. Conclusioni

Il seguente lavoro di tesi ha l'obiettivo di valutare la gamification come possibile strumento per migliorare la motivazione degli operatori in contesti di lavoro noiosi e ripetitivi. Il caso studio scelto riguarda l'assemblaggio di un semplice tagliapiastrelle manuale assistito da un cobot industriale. Attraverso questo studio, si intende esplorare l'impatto della gamification sui KPI del processo di assemblaggio, sulle percezioni soggettive e sullo stato di salute psicofisico dei partecipanti.

Una prima analisi sui parametri di performance di processo mostra come, pur non avendo differenze significative in prima battuta, al netto dell'effetto di apprendimento, la gamification fornisca un incentivo a svolgere il task più velocemente, rispetto al caso in cui l'esperimento è stato svolto in modalità non gamificata. Anche dal punto di vista del numero di errori non si sono registrate differenze significative tra le due configurazioni dall'esperimento, tuttavia si può comunque osservare una distribuzione più bassa per il caso gamificato. Questi risultati suggeriscono che gli elementi di gioco implementati nell'esperienza gamificata non solo stimolano un senso di sfida ed una sorta di ambizione verso il miglioramento, ma rappresentano un utile strumento per fornire istruzioni utili per ottimizzare il processo produttivo. Questo approccio è efficacemente utilizzato nel settore della logistica, ad esempio nell'ottimizzazione dell'operazione di order picking tramite AR, dimostrando la capacità della gamification di migliorare l'efficienza operativa senza compromettere la precisione.

Dai questionari di autovalutazione non emergono particolari differenze significative, se non per tre risultati. Da un lato emerge che l'implementazione della gamification abbia portato ad un aumento della dimensione "Interest" dell'Intrinsic Motivation Questionnaire, utilizzata come scala di valutazione della motivazione intrinseca degli individui. Questo risultato mostra quindi le potenzialità della gamification di aumentare il gradimento e la soddisfazione personale degli individui nell'esecuzione dell'attività. Dall'altro lato, invece, emerge un maggiore "Temporal Demand" nel NASA TLX, ed una maggiore "Pression" nell' Intrinsic Motivation Questionnaire. Questi due risultati mostrano invece come l'utilizzo di elementi di gioco legati alle performance degli individui, come in questo caso per il tempo di assemblaggio, determini una maggiore tensione negli individui ed un maggiore pressione temporale percepita, in linea con quanto sostenuto da Mekler et al. (2017).

Per quanto riguarda i risultati relativi ai parametri fisiologici misurati per monitorare lo stato di salute psicofisico degli individui non emergono particolari differenze significative. I risultati relativi ad un maggiore diametro pupillare nella modalità gamificata, correlata ad uno stress maggiore, sono coerenti con i risultati relativi alla pressione temporale, ma va tuttavia evidenziato

il bias di partenza legato al diverso campo visivo nelle due modalità con differenti condizioni di illuminazione.

I dati raccolti dall'Empatica E4 inizialmente non evidenziano differenze significative tra le due modalità sperimentali. Tuttavia, un'analisi più approfondita considerando l'ordine di esposizione delle modalità ai partecipanti rivela che l'implementazione della gamification costituisce un ostacolo al normale rilassamento degli individui durante l'esperimento, che si verifica a causa dell'effetto di apprendimento, con l'acquisizione di familiarità con il task di assemblaggio. Questo si traduce nel mantenimento di livelli di tensione pressoché invariati tra i primi cinque assemblaggi e gli ultimi cinque, suggerendo che gli elementi di gioco potrebbero influenzare la percezione della pressione temporale percepita dai partecipanti.

Un'analisi generale della correlazione tra i parametri fisiologici e il tempo di assemblaggio mostra, per entrambe le metriche di tracciamento oculare e gli indicatori misurati dall'Empatica E4, come in generale si abbia un maggiore di affaticamento psicofisico all'aumentare dei tempi di assemblaggio. Questo risultato, alla luce dell'evidente effetto di apprendimento presente nell'esperimento, suggerisce come i parametri fisiologici non siano legati alla modalità specifica dell'esperimento, quanto alla familiarità acquisita con il task nel corso del tempo, registrando quindi un maggiore affaticamento negli assemblaggi iniziali, in cui si performa un tempo di assemblaggio sensibilmente maggiore.

I risultati del caso studio, allineati con la letteratura scientifica, indicano chiaramente che la gamification rappresenta un efficace strumento per potenziare significativamente la motivazione intrinseca degli operatori e migliorare le performance di processo. Questo approccio ha dimostrato di aumentare notevolmente il gradimento dell'attività e la soddisfazione personale degli individui nell'esecuzione dei compiti, stimolando una forma di ambizione verso il miglioramento. Gli elementi di gioco implementati nell'esperienza gamificata non solo incentivano il senso di sfida, ma si sono rivelati utili anche per fornire istruzioni pratiche e ottimizzare efficacemente il processo produttivo. Allo stesso tempo, però, alcuni risultati dei questionari di autovalutazione suggeriscono che la gamification, in particolare un tipo di performance-based gamification, potrebbe portare ad un maggiore stato di tensione e minare la motivazione intrinseca degli operatori. Per mitigare questo rischio, sarebbe opportuno orientarsi verso elementi di gioco non strettamente legati alle performance, come feedback positivi, suggerimenti per il miglioramento o forme di gratificazione indipendenti dal rendimento. Inoltre, sviluppare una narrativa più coinvolgente potrebbe stimolare emotivamente gli individui, migliorando la loro esperienza e mantenendo alto il livello di motivazione intrinseca. Questo approccio non solo può contribuire a mitigare lo stress derivante dalla pressione temporale, ma anche a potenziare la motivazione

intrinseca attraverso un coinvolgimento più profondo e gratificante nell'ambito dell'esperienza gamificata.

È importante specificare che i risultati del caso studio sono emersi da un esperimento con alcune semplificazioni. Innanzitutto, la numerosità campionaria limitata a 15 partecipanti potrebbe rappresentare un limite per la generalizzabilità dei risultati. Con un campione così ristretto, infatti, potrebbe risultare difficile estendere i risultati ad una popolazione più ampia, limitando la possibilità di trarre conclusioni solide e rappresentative delle dinamiche reali in contesti lavorativi diversificati.

Inoltre, l'esperimento è stato condotto in un arco temporale relativamente breve. Infatti, pur simulando un processo di assemblaggio industriale con l'ausilio di un robot collaborativo, la durata limitata dell'esperimento non riflette le condizioni di un contesto lavorativo industriale reale, caratterizzato da un orizzonte temporale teoricamente infinito.

Un aspetto notevolmente discusso della gamification riguarda infatti la sua efficacia sul lungo termine e quindi la "vita utile" dei suoi benefici. Pertanto, è necessario considerare che, a differenza dall'ambito manifatturiero di *training e knowledge acquisition*, caratterizzato da un orizzonte temporale limitato e che segue logiche simile al settore dell'istruzione in cui la gamification è ormai uno strumento consolidato, nel caso del settore *operational tasks*, caratterizzato da un orizzonte temporale più lungo, la dimensione temporale assume una importanza cruciale per l'efficacia della gamification.

Come tutti i giochi, infatti, il divertimento e la novità percepiti all'inizio vanno a scemare gradualmente; quindi, i benefici della gamification potrebbero durare da giorni a mesi. Infatti, secondo l'effetto di adattamento edonistico (Diener, Lucas, e Scollon 2006), gli individui hanno la tendenza a ritornare su livelli usuali di felicità, malgrado le possibili esperienze positive o negative. Inoltre, dalla teoria del flusso (Cziksentmihalyi, s.d.), lo sviluppo della motivazione intrinseca è subordinato alla sperimentazione da parte dell'individuo del flusso. L'esperienza di flusso, a sua volta, deriva da un bilanciamento tra le skill dell'individuo e la difficoltà del task svolto. Pertanto, al netto dell'effetto novità, se questo bilanciamento viene a mancare, come nel caso di operazioni noiose e ripetitive, i benefici della gamification potrebbero annullarsi sul lungo periodo. Werbach e Hunter (2012) sostengono che il declino dell'efficacia della gamification è tanto più veloce, tanto più semplice è la progettazione, evidenziando l'importanza della progettazione sulla durata dell'efficacia del gioco.

Per la ricerca futura, è quindi fondamentale condurre studi caratterizzati da una durata più estesa, in modo da verificare se gli effetti della gamification si mantengono nel lungo periodo e monitorarne l'evoluzione nel tempo. Inoltre, sarebbe utile effettuare esperimenti in veri contesti

industriali per osservare le reazioni di veri lavoratori e ottenere dati più rappresentativi della realtà lavorativa quotidiana.

Infine, potrebbe essere utile implementare un'esperienza gamificata che punti su una narrativa più coinvolgente e accattivante, piuttosto che su elementi di gioco basati sulle performance. Una narrativa ben sviluppata potrebbe generare un maggior interesse negli individui, stimolando la loro motivazione intrinseca in modo più efficace e sostenibile nel lungo periodo. Gli elementi di gioco non legati direttamente alle performance, come rinforzi positivi, feedback continui e suggerimenti utili, potrebbero contribuire a creare un ambiente di lavoro più stimolante e meno stressante. Questo approccio potrebbe favorire un maggiore coinvolgimento emotivo e una soddisfazione personale duratura, mitigando il rischio di pressione e tensione legate alla competizione e alla necessità di raggiungere obiettivi di performance.

Appendice

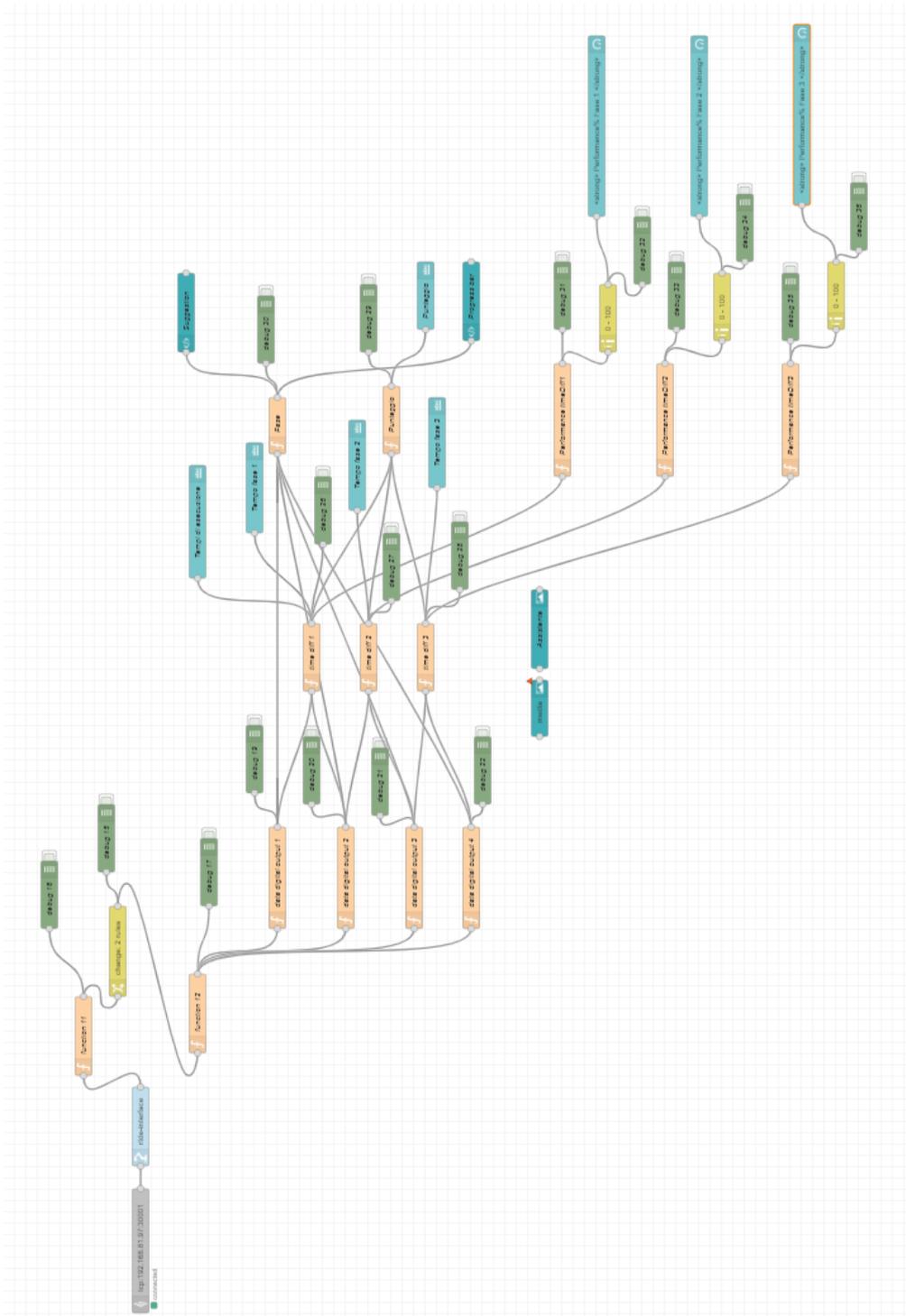


Figura A1: Flusso Node-Red caso studio

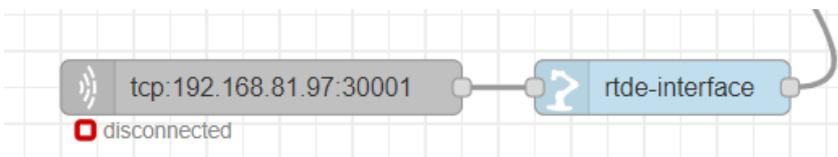


Figura A2: Connessione Node-Red con Cobot UR3e

```

1  ✓ if (msg.payload === 1) {
2      msg.payload = { value: msg.payload, srvertime: Date.now() };
3
4      // Recupera il valore corrente del contatore dalla variabile di contesto
5      var counter = context.get('counter') || 1;
6
7      // Crea il nome della proprietà basato sul valore del contatore
8      var propertyName = 'DataDigitalOutput' + counter;
9
10     // Recupera il timestamp corrente
11     var currentTimestamp = Date.now();
12
13     // Recupera il timestamp del precedente DataDigitalOutput
14     var previousTimestamp = context.get('previousTimestamp');
15
16     // Calcola la differenza di tempo in millisecondi tra i due timestamp
17     var timeDiff = currentTimestamp - previousTimestamp;
18
19     ✓ if (previousTimestamp === undefined || timeDiff >= 2000) {
20         // Salva il timestamp corrente come nuova proprietà con il nome creato
21         msg[propertyName] = currentTimestamp;
22
23         // Salva il timestamp corrente come precedente per il prossimo confronto
24         context.set('previousTimestamp', currentTimestamp);
25
26         // Incrementa il contatore
27         counter++;
28
29         // Salva il valore aggiornato del contatore nella variabile di contesto
30         context.set('counter', counter);
31     }
32 }
33
34 return msg;

```

Figura A3: Codice Javascript per effettuare timestamp del bottone in modo da non registrare possibili falsi positivi

```

1  var timestamp1 = context.get('DataDigitalOutput1');
2  var timestamp2 = context.get('DataDigitalOutput2');
3
4  // Verifica la presenza delle proprietà utilizzando hasOwnProperty
5  if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput1')) {
6      timestamp1 = msg.DataDigitalOutput1;
7      context.set('DataDigitalOutput1', timestamp1);
8  }
9
10 if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput2')) {
11     timestamp2 = msg.DataDigitalOutput2;
12     context.set('DataDigitalOutput2', timestamp2);
13 }
14
15 var timeDiff1 = 0;
16
17 if (typeof timestamp1 !== 'undefined' && typeof timestamp2 !== 'undefined') {
18     timeDiff1 = (timestamp2 - timestamp1) / 1000; // Calcoliamo la differenza di tempo in millisecondi
19
20     // Assicuriamoci che timeDiff sia un valore positivo
21     if (timeDiff1 < 0) {
22         timeDiff1 = -timeDiff1;
23     }
24 }
25
26 msg.timeDiff1 = timeDiff1;
27
28 msg.payload = timeDiff1;
29
30 return msg;

```

Figura A4: Codice Javascript per il calcolo dei tempi di esecuzione di ogni fase

```

1  <div ng-if="msg.Fase === 1"
2      style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; height: 300px; overflow: hidden;"
3      
4  </div>
5  <div ng-if="msg.Fase === 2" style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; height: 300px; overflow: hidden;"
6      
7  </div>
8  <div ng-if="msg.Fase === 3" style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; height: 300px; overflow: hidden;"
9      
10 </div>

```

Figura A5: Script per visualizzazione suggerimenti

```

1 // Leggi il punteggio totale corrente dal contesto
2 var punteggioTotale = context.get("punteggioTotale") || 0;
3
4 // Leggi i valori di timeDiff dal messaggio
5 var timeDiff1 = msg.timeDiff1;
6 var timeDiff2 = msg.timeDiff2;
7 var timeDiff3 = msg.timeDiff3;
8
9 // Confronta e aggiorna il punteggio totale basato su timeDiff1
10 if (typeof timeDiff1 !== 'undefined' && timeDiff1 !== 0) {
11     if (!context.get("timeDiff1Processed")) {
12         if (timeDiff1 < 70) {
13             punteggioTotale += 2;
14         } else {
15             punteggioTotale += 1;
16         }
17         context.set("timeDiff1Processed", true); // Imposta il flag come elaborato
18     }
19 }
20
21 // Confronta e aggiorna il punteggio totale basato su timeDiff2
22 if (typeof timeDiff2 !== 'undefined' && timeDiff2 !== 0) {
23     if (!context.get("timeDiff2Processed")) {
24         if (timeDiff2 < 119) {
25             punteggioTotale += 2;
26         } else {
27             punteggioTotale += 1;
28         }
29         context.set("timeDiff2Processed", true); // Imposta il flag come elaborato
30     }
31 }
32
33 // Confronta e aggiorna il punteggio totale basato su timeDiff3
34 if (typeof timeDiff3 !== 'undefined' && timeDiff3 !== 0) {
35     if (!context.get("timeDiff3Processed")) {
36         if (timeDiff3 < 100) {
37             punteggioTotale += 2;
38         } else {
39             punteggioTotale += 1;
40         }
41         context.set("timeDiff3Processed", true); // Imposta il flag come elaborato
42     }
43 }
44
45 // Aggiorna il punteggio totale nel contesto
46 context.set("punteggioTotale", punteggioTotale);
47
48 // Assegna il punteggio totale al campo msg.punteggioTotale
49 msg.punteggioTotale = punteggioTotale;
50
51 // Assegna il punteggio totale al campo msg.payload per visualizzarlo nella dashboard
52 msg.payload = punteggioTotale;
53
54 return msg;

```

Figura A6: Codice Javascript per l'assegnazione del punteggio

```

1 var fase = context.get('fase') || 0;
2
3 if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput1')) {
4     fase = 1;
5     context.set('fase', fase);
6 } else if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput2')) {
7     fase = 2;
8     context.set('fase', fase);
9 } else if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput3')) {
10    fase = 3;
11    context.set('fase', fase);
12 } else if (msg.hasOwnProperty('DataDigitalOutput4')) {
13    fase = 4;
14    context.set('fase', fase);
15 }
16 msg.Fase = fase;
17
18 msg.payload = fase;
19
20 return msg;

```

Figura A7: Codice Javascript per l'identificazione della fase del processo

```

1 var media = 70;
2 var deviazioneStandard = 15.6;
3 var x = msg.timeDiff1; // Il valore di timeDiff1
4
5 // Se timeDiff1 è uguale a zero, imposta l'anticumulata a zero
6 if (x === 0) {
7     msg.anticumulata = 0;
8 } else {
9     // Calcola la CDF della distribuzione normale
10    var cdf = 0.5 * (1 + erf((x - media) / (deviazioneStandard * Math.sqrt(2))));
11
12    // Calcola l'anticumulata (complemento a 1 della CDF)
13    var anticumulata = 1 - cdf;
14
15    // Arrotonda l'anticumulata a 4 cifre decimali
16    msg.anticumulata = anticumulata.toFixed(4);
17 }
18
19 // Assegna l'anticumulata a msg.payload
20 msg.payload = msg.anticumulata;
21
22 return msg;
23
24 function erf(x) {
25     // Calcola erf(x) usando una funzione di approssimazione
26     var a1 = 0.254829592;
27     var a2 = -0.284496736;
28     var a3 = 1.421413741;
29     var a4 = -1.453152027;
30     var a5 = 1.061405429;
31     var p = 0.3275911;
32
33     var sign = (x < 0) ? -1 : 1;
34     x = Math.abs(x);
35
36     var t = 1.0 / (1.0 + p * x);
37     var y = (((a5 * t + a4) * t) + a3) * t + a2) * t + a1;
38
39     return sign * (1 - y * Math.exp(-x * x));
40 }

```

Figura A8: Codice Javascript per l'assegnazione dei KPI

Bibliografia

- Ahmed, Fahad, Riccardo Berta, Francesco Bellotti, Luca Lazzaroni, Federica Floris, Giacinto Barresi, e Jesus Requena Carrion. 2023. «Socio-Economic Decision Making and Emotion Elicitation with a Serious Game in the Wild». *Applied Sciences* 13 (11): 6432. <https://doi.org/10.3390/app13116432>.
- Amabile, Teresa M., William DeJong, e Mark R. Lepper. 1976. «Effects of externally imposed deadlines on subsequent intrinsic motivation». *Journal of Personality and Social Psychology* 34 (1): 92–98. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.34.1.92>.
- Azuma, Ronald T. 1997. «A survey of augmented reality». *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6 (4): 355–85. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>.
- Bahr, Witold, Vasileios Mavrogenis, e Edward Sweeney. 2022. «Gamification of Warehousing: Exploring Perspectives of Warehouse Managers in the UK». *International Journal of Logistics Research and Applications* 25 (3): 247–59. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1892042>.
- Bartle, Richard. 1996. «Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs», giugno.
- Bradley, Margaret M., e Peter J. Lang. 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).
- Bräuer, Paula, e Athanasios Mazarakis. 2019. «Badges or a leaderboard? How to gamify an augmented reality warehouse setting». In .
- Brockmyer, Jeanne H., Christine M. Fox, Kathleen A. Curtiss, Evan McBroom, Kimberly M. Burkhart, e Jacquelyn N. Pidruzny. 2009. «The development of the Game Engagement Questionnaire: A measure of engagement in video game-playing». *Journal of Experimental Social Psychology* 45 (4): 624–34. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2009.02.016>.
- Butean, Alex, Adrian Florea, Marco Leon Olescu, e Nicolae Adrian Tocu. 2019. «IMPROVING TRAINING METHODS FOR INDUSTRY WORKERS THROUGH AI ASSISTED MULTI-STAGE VIRTUAL REALITY SIMULATIONS». In , 61–67. Bucharest, RO. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-19-007>.
- Bynion, Teah-Marie, e Matthew T. Feldner. 2020. «Self-Assessment Manikin». In *Encyclopedia of Personality and Individual Differences*, a cura di Virgil Zeigler-Hill e Todd K. Shackelford, 4654–56. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24612-3_77.
- Capponi, Matteo, Riccardo Gervasi, Luca Mastrogiacomo, e Fiorenzo Franceschini. 2024. «Assembly Complexity and Physiological Response in Human-Robot Collaboration: Insights from a Preliminary Experimental Analysis». <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102789>.
- Chou, Yu-Kai. 2015. *Actionable Gamification: Beyond Points, Badges, and Leaderboards*. Createspace Independent Publishing Platform.
- Cziksentmihalyi, Mihaly. s.d. «Flow – The Psychology of Optimal Experience».
- Deci, Edward L. 1971. «Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation.» *Journal of Personality and Social Psychology* 18 (1): 105–15. <https://doi.org/10.1037/h0030644>.
- Deci, Edward L., e Wayne F. Cascio. 1972. «Changes in Intrinsic Motivation as a Function of Negative Feedback and Threats». <https://eric.ed.gov/?id=ED063558>.

- Deci, Edward L., Richard Koestner, e Richard M. Ryan. 1999. «A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation». *Psychological Bulletin* 125 (6): 627–68. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.125.6.627>.
- Deterding, Sebastian, Dan Dixon, Rilla Khaled, e Lennart Nacke. 2011. «From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification”». In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, 9–15. Tampere Finland: ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>.
- Diener, Ed, Richard E. Lucas, e Christie Napa Scollon. 2006. «Beyond the Hedonic Treadmill: Revising the Adaptation Theory of Well-Being.» *American Psychologist* 61 (4): 305–14. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.61.4.305>.
- «E4 Wristband | Real-Time Physiological Signals | Wearable PPG, EDA, Temperature, Motion Sensors». s.d. Empatica. Consultato 29 maggio 2024. <https://www.empatica.com/research/e4>.
- Easley, David, e Arpita Ghosh. 2016. «Incentives, Gamification, and Game Theory: An Economic Approach to Badge Design». *ACM Transactions on Economics and Computation* 4 (giugno):1–26. <https://doi.org/10.1145/2910575>.
- Evans, Rachel. 2019. «Audi Tests Assembly Processes for the E-Tron GT in Virtual Reality». *Automotive Testing Technology International* (blog). 19 luglio 2019. <https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/news/simulation-modeling/audi-tests-assembly-processes-for-the-e-tron-gt-in-virtual-reality.html>.
- «Eye Tracking Software for Behavior Research». s.d. Consultato 29 maggio 2024. <https://www.tobii.com/products/software/behavior-research-software/tobii-pro-lab/>.
- «Five Reasons to Invest in Enhanced Vision Technology for Your Warehouse | SupplyChainBrain». s.d. Consultato 30 giugno 2024. <https://www.supplychainbrain.com/articles/36111-five-reasons-to-invest-in-enhanced-vision-technology-for-your-warehouse>.
- «Flusso (psicologia) - frwiki.wiki». s.d. Consultato 27 giugno 2024. https://it.frwiki.wiki/wiki/Flow_%28psychologie%29.
- Frazelle, Edward. 2016. *World-Class Warehousing and Material Handling*. Second Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Gamberini, Rita, Bianca Rimini, Mauro Dell’Amico, Francesco Lolli, e Marco Bianchi. 2012. «Design and Optimization of Picking in the Case of Multi-Item Multi-Location Multi-Pallet Customer Orders». In *Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems*, 397–424. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_15.
- Gervasi, Riccardo, Khurshid Aliev, Luca Mastrogiacomo, e Fiorenzo Franceschini. 2022. «User Experience and Physiological Response in Human-Robot Collaboration: A Preliminary Investigation». *Journal of Intelligent & Robotic Systems* 106 (2): 36. <https://doi.org/10.1007/s10846-022-01744-8>.
- Gervasi, Riccardo, Matteo Capponi, Luca Mastrogiacomo, e Fiorenzo Franceschini. 2023. «Manual Assembly and Human–Robot Collaboration in Repetitive Assembly Processes: A Structured Comparison Based on Human-Centered Performances». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 126 (3–4): 1213–31. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11197-4>.
- Gervasi, Riccardo, Luca Mastrogiacomo, e Fiorenzo Franceschini. 2020. «A Conceptual Framework to Evaluate Human-Robot Collaboration». *The International Journal of*

- Advanced Manufacturing Technology* 108 (3): 841–65. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05363-1>.
- Harackiewicz, Judith. 1979. «The Effects of Reward Contingency and Performance Feedback on Intrinsic Motivation». *Journal of Personality and Social Psychology* 37 (agosto):1352–63. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.8.1352>.
- Hart, Sandra G. 1986. «NASA Task Load Index (TLX)». <https://ntrs.nasa.gov/citations/20000021488>.
- Hassenzahl, Marc. 2001. «The Effect of Perceived Hedonic Quality on Product Appealingness». *International Journal of Human-Computer Interaction* 13 (dicembre):481–99. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1304_07.
- He, Xueli, Lijing Wang, Xiaohua Gao, e Yingchun Chen. 2012. «The Eye Activity Measurement of Mental Workload Based on Basic Flight Task». In *IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics*, 502–7. Beijing, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2012.6301203>.
- Hense, Jan, Markus Klevers, Michael Sailer, Tim Horenburg, Heinz Mandl, e Willibald Günthner. 2014. «Using Gamification to Enhance Staff Motivation in Logistics». In *Frontiers in Gaming Simulation*, a cura di Sebastiaan A. Meijer e Riitta Smeds, 8264:206–13. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04954-0_24.
- Joseph, Antony William, e Ramaswamy Murugesh. 2020. «Potential Eye Tracking Metrics and Indicators to Measure Cognitive Load in Human-Computer Interaction Research». *Journal of Scientific Research* 64 (01): 168–75. <https://doi.org/10.37398/JSR.2020.640137>.
- Kapp, Karl. 2012. *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. San Francisco, CA: Pfeiffer.
- Keepers, Makenzie, Isabelle Nesbit, David Romero, e Thorsten Wuest. 2022. «Current State of Research & Outlook of Gamification for Manufacturing». *Journal of Manufacturing Systems* 64 (luglio):303–15. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.001>.
- Keepers, Makenzie, David Romero, Jannicke Baalsrud Hauge, e Thorsten Wuest. 2020. «Gamification of Operational Tasks in Manufacturing: A Literature Review». In *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems*, a cura di Bojan Lalic, Vidosav Majstorovic, Ugljesa Marjanovic, Gregor Von Cieminski, e David Romero, 591:107–14. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_13.
- Kim, Hye-Geum, Eun-Jin Cheon, Dai-Seg Bai, Young Hwan Lee, e Bon-Hoon Koo. 2018. «Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature». *Psychiatry Investigation* 15 (3): 235–45. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>.
- Klevers, Markus, Michael Sailer, e Willibald A. Günthner. 2016. «Implementation Model for the Gamification of Business Processes: A Study from the Field of Material Handling». In *Simulation and Gaming in the Network Society*, a cura di Toshiyuki Kaneda, Hidehiko Kanegae, Yusuke Toyoda, e Paola Rizzi, 9:173–84. Translational Systems Sciences. Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0575-6_14.
- Korn, Oliver, Peter Muschick, e Albrecht Schmidt. 2016. «Gamification of Production? A Study on the Acceptance of Gamified Work Processes in the Automotive Industry». In . Vol. 483. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41661-8_42.

- Kosch, Thomas, Yomna Abdelrahman, Markus Funk, e Albrecht Schmidt. 2017. *One size does not fit all: challenges of providing interactive worker assistance in industrial settings*. <https://doi.org/10.1145/3123024.3124395>.
- Liu, Minyang, Yanqun Huang, e Dawei Zhang. 2018. «Gamification's Impact on Manufacturing: Enhancing Job Motivation, Satisfaction and Operational Performance with Smartphone-based Gamified Job Design». *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 28 (1): 38–51. <https://doi.org/10.1002/hfm.20723>.
- Malone, Thomas W. 1981. «Toward a Theory of Intrinsically Motivating Instruction*». *Cognitive Science* 5 (4): 333–69. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0504_2.
- Mekler, Elisa, Florian Brühlmann, Alexandre Tuch, e Klaus Opwis. 2017. «Towards understanding the effects of individual gamification elements on intrinsic motivation and performance». *Computers in Human Behavior* 71 (giugno). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.048>.
- «Mobile Gamification Services - Game Integrations in Mobile App». s.d. Consultato 30 giugno 2024. <https://www.capermint.com/mobile-app-gamification/>.
- Monteiro, Vera, Lourdes Mata, e Francisco Peixoto. 2015. «Intrinsic Motivation Inventory: Psychometric Properties in the Context of First Language and Mathematics Learning». *Psicologia: Reflexão e Crítica* 28 (3): 434–43. <https://doi.org/10.1590/1678-7153.201528302>.
- «Multimodal Human Activity Recognition for Industrial Manufacturing Processes in Robotic Workcells - YouTube». s.d. Consultato 30 giugno 2024. <https://www.youtube.com/watch?v=ggb6nUOEcjE>.
- Nelson, Mark J. 2012. «Soviet and American Precursors to the Gamification of Work». In *Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference, 23–26*. Tampere Finland: ACM. <https://doi.org/10.1145/2393132.2393138>.
- Nicholson, Scott. 2015. «A RECIPE for Meaningful Gamification». In , 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_1.
- «Node-RED». s.d. Consultato 27 giugno 2024. <https://nodered.org/>.
- Ohlig, Jasmin, Thomas Hellebrandt, Patrick Poetters, Ina Heine, Robert H. Schmitt, e Bert Leyendecker. 2021. «Human-Centered Performance Management in Manual Assembly». *Procedia CIRP* 97:418–22. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.261>.
- Pereira, Marcelo, Marcelo Oliveira, Andréia Vieira, Rui M. Lima, e Luciano Paes. 2018. «The Gamification as a Tool to Increase Employee Skills through Interactives Work Instructions Training». *Procedia Computer Science* 138:630–37. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.084>.
- Ponis, S.T., G. Plakas, K. Agalinos, E. Aretoulaki, S.P. Gayialis, e A. Andrianopoulos. 2020. «Augmented Reality and Gamification to Increase Productivity and Job Satisfaction in the Warehouse of the Future». *Procedia Manufacturing* 51:1621–28. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.226>.
- Rahma, Osmalina Nur, Alfian Pramudita Putra, Akif Rahmatillah, Yang Sa'ada Kamila Ariyansah Putri, Nuzula Dwi Fajriaty, Khusnul Ain, e Rifai Chai. 2022. «Electrodermal Activity for Measuring Cognitive and Emotional Stress Level». *Journal of Medical Signals & Sensors* 12 (2): 155. https://doi.org/10.4103/jmss.JMSS_78_20.
- Reeve, Johnmarshall, e Edward L. Deci. 1996. «Elements of the competitive situation that affect intrinsic motivation». *Personality and Social Psychology Bulletin* 22 (1): 24–33. <https://doi.org/10.1177/0146167296221003>.
- Richards, Gwynne. 2011. *Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimising costs in the modern warehouse*.

- Roh, Seunghwan, Kyoungwon Seo, Jiyoung Lee, Jihyo Kim, Hokyoung Blake Ryu, ChangHo Jung, HyunWoo Lee, e JongHo Shin. 2016. «Goal-Based Manufacturing Gamification: Bolt Tightening Work Redesign in the Automotive Assembly Line». In *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future*, a cura di Christopher Schlick e Stefan Trzcieliński, 490:293–304. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41697-7_26.
- Roodbergen, Kees Jan. 2001. «Layout and Routing Methods for Warehouses».
- Ryan, Richard M., e Edward L. Deci. 2000a. «Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions». *Contemporary Educational Psychology* 25 (1): 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>.
- Ryan, Richard M, e Edward L Deci. 2000b. «Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being». *American Psychologist*.
- Schrepp, Martin. 2015. *User Experience Questionnaire Handbook*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2815.0245>.
- Seo, Kyoungwon, Sidney Fels, Mujin Kang, Changho Jung, e Hokyoung Ryu. 2021. «Goldilocks Conditions for Workplace Gamification: How Narrative Persuasion Helps Manufacturing Workers Create Self-Directed Behaviors». *Human-Computer Interaction* 36 (5–6): 473–510. <https://doi.org/10.1080/07370024.2020.1744145>.
- Simões, Jorge, Rebeca Díaz Redondo, e Ana Fernández Vilas. 2013. «A Social Gamification Framework for a K-6 Learning Platform». *Computers in Human Behavior* 29 (2): 345–53. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.06.007>.
- Sochor, Robin, Johannes Schenk, Klaus Fink, e Julia Berger. 2021. «Gamification in Industrial Shopfloor – Development of a Method for Classification and Selection of Suitable Game Elements in Diverse Production and Logistics Environments». *Procedia CIRP* 100:157–62. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.05.024>.
- Tang, Shu-Hua, e Vernon C. Hall. 1995. «The overjustification effect: A meta-analysis». *Applied Cognitive Psychology* 9 (5): 365–404. <https://doi.org/10.1002/acp.2350090502>.
- «Tobii Pro Glasses 3 | Latest in Wearable Eye Tracking». s.d. Consultato 29 maggio 2024. <https://www.tobii.com/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3/>.
- Tondello, Gustavo Fortes. 2016. «An Introduction to Gamification in Human-Computer Interaction». *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students* 23 (1): 15–17. <https://doi.org/10.1145/2983457>.
- Treville, Suzanne de, e John Antonakis. 2006. «Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues». *Journal of Operations Management* 24 (2): 99–123. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2005.04.001>.
- Ulmer, Jessica, Sebastian Braun, Chi-Tsun Cheng, Steve Dowey, e Joerg Wollert. 2020a. «Gamified Virtual Reality Training Environment for the Manufacturing Industry». In . <https://doi.org/10.1109/ME49197.2020.9286661>.
- Ulmer, Jessica, Sebastian Braun, Chi-Tsun Cheng, Steve Dowey, e Jörg Wollert. 2020b. «Human-Centered Gamification Framework for Manufacturing Systems». *Procedia CIRP* 93:670–75. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.076>.
- «UR3e - Robot collaborativo per Automazione | Fino a 3 kg». s.d. Consultato 25 novembre 2023. <https://www.universal-robots.com/it/prodotti/robot-ur3/>.
- Warmelink, Harald, Jonna Koivisto, Igor Mayer, Mikko Vesa, e Juho Hamari. 2020. «Gamification of Production and Logistics Operations: Status Quo and Future Directions». *Journal of Business Research* 106 (gennaio):331–40. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.011>.

- Werbach, Kevin, e Dan Hunter. 2012. *For the Win: How Game Thinking can Revolutionize your Business*.
- Zare, Mohsen, Michel Croq, Farhad Hossein-Arabi, René Brunet, e Yves Roquelaure. 2015. «Does Ergonomics Improve Product Quality and Reduce Costs? A Review Article». *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 26 (aprile). <https://doi.org/10.1002/hfm.20623>.

Sitografia

- «E4 Wristband | Real-Time Physiological Signals | Wearable PPG, EDA, Temperature, Motion Sensors». s.d. Empatica. Consultato 29 maggio 2024.
<https://www.empatica.com/research/e4>.
- «Eye Tracking Software for Behavior Research». s.d. Consultato 29 maggio 2024.
<https://www.tobii.com/products/software/behavior-research-software/tobii-pro-lab/>.
- «Five Reasons to Invest in Enhanced Vision Technology for Your Warehouse | SupplyChainBrain». s.d. Consultato 30 giugno 2024.
<https://www.supplychainbrain.com/articles/36111-five-reasons-to-invest-in-enhanced-vision-technology-for-your-warehouse>.
https://it.frwiki.wiki/wiki/Flow_%28psychologie%29.
- «Flusso (psicologia) - frwiki.wiki». s.d. Consultato 27 giugno 2024.
https://it.frwiki.wiki/wiki/Flow_%28psychologie%29.
- «Mobile Gamification Services - Game Integrations in Mobile App». s.d. Consultato 30 giugno 2024. <https://www.capermint.com/mobile-app-gamification/>.
- «Multimodal Human Activity Recognition for Industrial Manufacturing Processes in Robotic Workcells - YouTube». s.d. Consultato 30 giugno 2024.
<https://www.youtube.com/watch?v=ggb6nUOEcjE>.
- «Node-RED». s.d. Consultato 27 giugno 2024. <https://nodered.org/>.
- «Tobii Pro Glasses 3 | Latest in Wearable Eye Tracking». s.d. Consultato 29 maggio 2024.
<https://www.tobii.com/products/eye-trackers/wearables/tobii-pro-glasses-3/>.
- «UR3e - Robot collaborativo per Automazione | Fino a 3 kg». s.d. Consultato 25 novembre 2023. <https://www.universal-robots.com/it/prodotti/robot-ur3/>.