

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA
GIOVANNI DEGLI ANTONI



Corso di Laurea triennale in
Informatica Musicale

INTERAZIONE NEI VIDEOGIOCHI ATTRAVERSO
STIMOLI AUDIO: PONG

Relatore: Prof. Federico Avanzini

Tesi di Laurea di:
Federico Valle
Matr. Nr. 912522

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Ringraziamenti

Un immenso ringraziamento alla mia famiglia, che mi ha supportato in tutti questi anni nel mio lungo percorso universitario, ed ai miei amici più cari che mi hanno sostenuto.

Vorrei anche ringraziare il mio relatore, il Prof. Federico Avanzini, che mi ha aiutato nel trovare un soggetto di studio particolarmente interessante e stimolante.

Indice

Ringraziamenti	i
Indice	ii
1 Introduzione	1
1.1 Scopo	2
2 Stato dell'arte	3
2.1 Audio nei videogiochi	3
2.2 Giochi Audio-only	4
2.3 Pong	6
3 Tecnologie utilizzate	7
3.1 HRTF	7
3.2 OSC	9
3.3 Audio procedurale	9
3.4 Software utilizzati	13
4 Audio Pong	14
4.1 Terminologia	14
4.2 Gioco	15
4.2.1 Modalità	17
4.2.2 Meccaniche	17
4.2.3 IA	21
4.3 Audio	22
4.3.1 Elementi	22
4.3.2 Prospettiva	28
5 Test	31
5.1 Protocollo e soggetti	31
5.1.1 Protocollo	31
5.1.2 Soggetti	33

5.2	Risultati	36
5.3	Questionario 2	47
5.4	Casi particolari	50
6	Conclusioni	53
6.1	Risultati	53
6.2	Problemi noti	56
6.3	Sviluppi futuri	56
A	Tabelle	58
	Bibliografia	62

Capitolo 1

Introduzione

Al giorno d'oggi i videogiochi sono una tipologia di intrattenimento estremamente popolare, diventata parte della quotidianità e della normalità all'interno della società. Le industrie di videogiochi sviluppano prodotti che hanno come target qualunque tipo di utente: adulti, ragazzi, bambini, di qualunque genere o credenza. I videogiochi sono una realtà così grande nei tempi moderni che sono diventati un vero e proprio sport: il cosiddetto eSport (electronic sport), con università che negli ultimi anni hanno iniziato ad introdurre programmi appositi ed a creare le proprie squadre competitive.

Sicuramente parte di questa svolta è data dall'impatto che questo tipo di intrattenimento ha sull'economia: basti pensare che nel 2019 solo nel Nord America il ricavo dalla vendita diretta di videogiochi è stato attorno ai 40 miliardi di dollari[1].

Come suggerito nel nome, i videogiochi si basano principalmente su un feedback di tipo visivo: è richiesto di poter vedere cosa si fa in modo da poter prendere decisioni e continuare a giocare in maniera appropriata. Spesso, di conseguenza, l'audio nei videogiochi è un elemento che serve principalmente a migliorare l'esperienza del giocatore rendendo più realistico o immersivo il gioco. Non mancano i casi in cui questo sia una parte fondamentale per poter progredire, ma anche qui tipicamente si tratta o di un fattore combinato ad immagini, oppure di un utilizzo saltuario rispetto alla vista.

Un'esperienza di gioco centrata totalmente sull'audio (fatta eccezione per i sistemi di input che sono predominantemente tattili) è quella offerta dai cosiddetti audiogames, altra categoria di giochi elettronici (dentro alla quale si fanno rientrare anche i videogames). Questi “audiogiochi” non hanno tuttavia trovato molto mercato: la quasi totalità dei giocatori rimane senza o con minori difetti visivi e considera la grafica un elemento chiave al pari della giocabilità o della storia, se non al di sopra in quanto simbolo di innovazioni tecnologiche. Sono rimasti quindi un prodotto di nicchia rivolto principalmente a chi ha qualche tipo di deficit visivo per cui non riuscirebbe ad usufruire di un gioco grafico.

1.1 Scopo

Questo progetto ha come scopo quello di ricreare uno dei primi videogiochi commerciali, Pong, in una versione che possa essere giocata facendo affidamento esclusivamente sul proprio udito.

Sarà quindi oggetto di interesse testare come, attraverso stimoli puramente sonori, si possa convogliare una quantità di informazioni sufficienti a rendere giocabile e, possibilmente, gradevole un videogioco senza richiedere un riscontro visivo.

Capitolo 2

Stato dell'arte

2.1 Audio nei videogiochi

L'audio all'interno di un videogioco è un elemento che viene utilizzato sia per il suo carattere emotivo che per quello informativo: un rumore fuori dal campo visivo può spingere il giocatore a girare la visuale per reagire ad un pericolo non visto, oppure una musica incalzante può preannunciare una sezione adrenalinica[2].

Gli utilizzi principali si possono riassumere in:

- **Eventi istantanei:** suoni brevi che risaltano nel panorama auditivo. Importanti per il loro carattere informativo come dei passi, uno sparo o l'impatto di due oggetti. Oltre ad aggiungere informazione a quello che già si vede, possono essere utilizzate per informare di cose al di fuori del campo visivo. Questa tecnica torna molto utile soprattutto nei videogiochi con ambienti tridimensionali, con molta libertà di movimento.
- **Effetti ambientali:** suoni continui che solitamente non dipendono dal giocatore. Dal rumore della pioggia allo stormire delle fronde degli alberi, arricchiscono la scena rendendola più immersiva.
- **Musiche:** gli accompagnamenti di sottofondo. Sono elementi extradiegetici di natura particolarmente emotiva che possono anche comunicare informazioni al giocatore a seconda di come vengono utilizzate: trovarsi in una pianura soleggiata perfettamente tranquilla ed assistere al passaggio da una musica di sottofondo dolce e melodiosa ad una marcia militare dal ritmo scandito e cupeggiante potrebbe mettere il giocatore sull'attenti.
- **Dialoghi:** gli scambi tra personaggi o i propri pensieri. Non è scontato che siano informativi di per sé: possono essere scambi comprensibili di parole,

creati con doppiaggio o da software text-to-speech, oppure essere suoni senza alcun significato, magari con una certa musicalità, che servono più che altro ad attirare l'attenzione del giocatore sulle vignette con il contenuto informativo.

I videogiochi degli anni '70 non erano così ricchi di effetti sonori principalmente per un motivo di limitazioni tecnologiche e, come nel caso di Pong, erano presenti solo due eventi istantanei: rimbalzi e gol. Il primo videogioco che ha utilizzato musica continua di sottofondo è stato Space Invaders (1978) che proponeva una semplice sequenza di quattro toni ripetuti in continuazione ad un tempo proporzionale all'avanzata degli alieni. Verso gli anni '80 i produttori iniziano ad utilizzare chip dedicati (i programmable sound generators o PSG), con cui iniziano a diventare comuni temi musicali che diventano spesso inscindibili dal gioco stesso e alla fine del decennio si arrivano ad avere colonne sonore multitraccia abbastanza complesse sfruttando modulazione in frequenza e chip a 16 bit[3].

Le tecniche sopra elencate sono utilizzante anche in altre forme d'arte, come ad esempio il cinema. I videogiochi posseggono una caratteristica che li differenzia dagli altri generi però: l'essere non lineari. Se una pellicola cinematografica narra una storia attraverso un copione scandito da tempi prefissati, questo non succede in un videogioco: un videogiocatore ha molta più libertà di uno spettatore nell'avanzamento della storia. Questo grado di libertà varia a seconda del tipo di gioco, ma buona parte della produzione contemporanea si basa su ambientazioni open world nelle quali si può mettere da parte il progresso della storia principale per dedicarsi ad attività secondarie, o rivisitare sezioni già attraversate. Serve quindi che la musica (e i suoni in generale) si possa adattare a questa libertà del giocatore, ad esempio facendo looping fino a che il personaggio cambia zona o un evento viene triggerato, e magari avendo più segmenti simili tra cui scegliere randomicamente per evitare di avere un effetto troppo ripetitivo[4].

2.2 Giochi Audio-only

Il primo gioco considerato audio game è Touch Me, pubblicato nel 1974 dalla Atari (si veda la Fig. 1). Rilasciato originariamente come cabinato, aveva sia una componente audio che una componente video, ma erano indipendenti tra di loro per cui vi si poteva giocare sfruttandone solo una, l'altra o entrambe. Il gioco consisteva nel replicare sequenze di luci/suoni attraverso quattro pulsanti¹.

Il concetto venne poi copiato ed assimilato al gioco di gruppo Simon Says in cui bisogna ripetere le istruzioni date da chi impersona la figura di Simon. Da qui, nel 1978, nacque Simon (si veda la Fig. 2), che ebbe un grande successo anche per

¹<https://www.youtube.com/watch?v=VGy-wXvjWa0>

la caratteristica di essere portatile: anziché un ingombrante cabinato si trattava di un oggetto elettronico di piccole dimensioni, più usufruibile, più colorato e più accattivante ad un pubblico più vasto. Vista la popolarità di Simon, Atari decide di rilasciare la sua versione nello stesso anno, riproponendo Touch Me come apparecchio elettronico portatile.

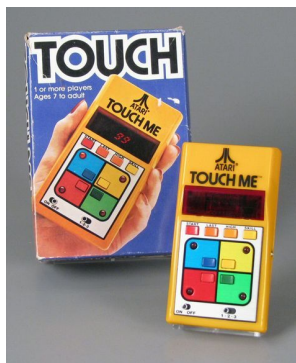


Figura 1: Touch Me del 1978.



Figura 2: Simon del 1978.

Un'altra opportunità per i giochi basati sull'audio si presenta verso la metà degli anni '80 quando le tecnologie TTS (text-to-speech), che permettevano la lettura di un testo digitale, diventano accessibili al pubblico con l'introduzione del MacInTalk sui computer Apple. Con questo tipo di software diventa fruibile ai non vedenti un genere molto popolare di quegli anni: le avventure testuali[5][6].

L'industria, per quanto riguarda lo sviluppo della tecnologia per personal computer, rimane comunque incentrata sulla grafica, prima per semplificarne l'accessibilità ed avere un mercato più vasto e poi come simbolo di innovazione e prestazione.

L'aumentare della complessità nel gameplay e nella grafica dei giochi ha costituito un importante ostacolo nel renderli adatti ad un pubblico non vedente[7], per cui le produzioni inevitabilmente hanno preso strade diverse e pochi si sono avventurati sulla via sonora. Un esempio di gioco di questo tipo è Real Sound: Wind of Regret sviluppato dallo studio Warp e pubblicato nel 1997 per Sega Saturn e nel 1999 per Dreamcast, rimasto però esclusivo del mercato nipponico poiché non doppiato.

Meno rari sono gli audiodames per PC, sviluppati principalmente da piccole aziende specializzate (come Audiogame Store²), e si trovano esempi anche per le piattaforme mobili (che rappresentano il settore più redditizio nel mercato globale dei videogiochi).

²<https://www.audiogame.store/it/home-it/>

Per le console di nuova generazione, invece, non si trovano titoli dedicati, ma sono comunque diventate più accessibili ad utenti con impedimenti introducendo funzionalità come la lettura dello schermo.

2.3 Pong

Pong è il primo videogioco della Atari, commercializzato nel 1972. Nasce come cabinato (si veda la Fig. 3) per poi essere proposto negli anni successivi anche come console domestica. Pur non essendo il primo della storia, viene considerato il primo gioco arcade di successo³ e quello che ha dato inizio al successo dell'industria dei videogiochi.

Nella versione originale due giocatori si sfidavano nel tenere in campo una palla ed il primo a commettere un errore faceva guadagnare un punto all'avversario. Con 11 o 15 punti si otteneva la vittoria (per impostare i punti si doveva utilizzare un selettore direttamente saldato sulla PCB, la scheda a circuito stampato).

I suoni utilizzati erano solo 3: rimbalzo della palla su una parete; rimbalzo della palla su un giocatore ed un suono per segnalare un gol.

L'idea del gioco nasce da Nolan Bushnell, cofondatore della Atari, dopo aver provato un simulatore di ping pong sulla Magnavox Odyssey, la prima console domestica, ad un esposizione del 1972. Il gioco viene poi creato dall'ingegnere Allan Alcorn[8].

Dopo il rilascio del gioco sono state fatte molte copie sull'onda del successo ed una nuova versione ufficiale, chiamata PONG QuestTM, è uscita nel 2020. Questa riedizione è caratterizzata da una grafica più accattivante, l'aggiunta di una storia e altre caratteristiche che negli anni dell'originale ancora non esistevano o non erano utilizzato come nell'era moderna dei videogiochi.

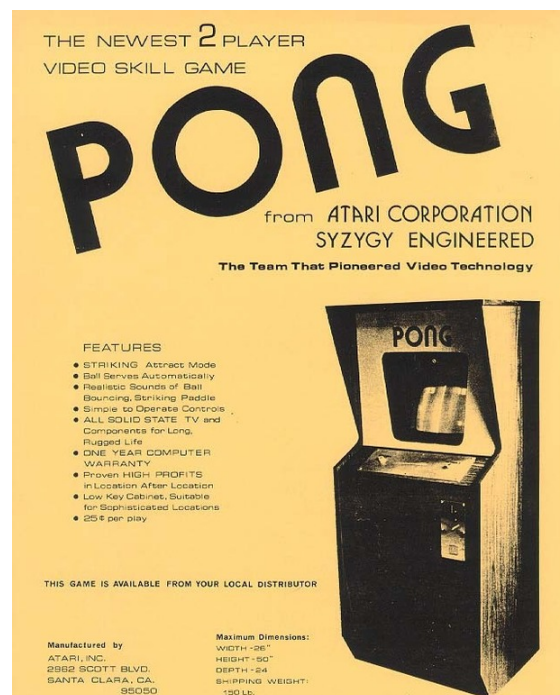


Figura 3: Poster pubblicitario dei primi cabinati di Pong.

³<https://www.guinnessworldrecords.com/news/60at60/2015/8/1972-first-commercially-successful-arcade-computer-game-392971>

Capitolo 3

Tecnologie utilizzate

3.1 HRTF

Le Head Related Transfer Functions (HRTF) sono delle funzioni che permettono di descrivere, attraverso un modello matematico, come la percezione del suono venga alterata dall'ascoltatore stesso[9].

Il metodo più conosciuto ed utilizzando per la spazializzazione del suono sul piano orizzontale è quello del panning: si prende una traccia audio stereofonica e si bilanciano l'uscita destra e l'uscita sinistra in modo tale che l'ascoltatore, percependo il suono più o meno intenso in una direzione o nell'altra, abbia l'idea che provenga da dove si vuole. Questa tecnica non è particolarmente corretta dal punto di vista percettivo: nella realtà il cervello umano utilizza una quantità di informazioni superiore per localizzare la sorgente di un suono con più precisione.

I seguenti parametri sono alcuni degli indizi utilizzati nella localizzazione dell'azimuth, ovvero dell'angolazione a cui si trova la fonte sul piano orizzontale, e dell'elevazione.

- Interaural Time Difference (ITD)

Ad un suono occorre del tempo per attraversare lo spazio tra la sorgente ed il ricevente. Se i ricettori sono due elementi separati, come nel caso delle orecchie, l'onda sonora li raggiungerà con tempi diversi che dipendono dall'angolo tra sorgente e ricettori e anche dalla distanza degli stessi (si veda la Fig. 4). Il cervello è in grado di percepire queste minime differenze, che prendono il nome di Interaural Time Difference, ed utilizzarle come parte dell'informazione per localizzare la fonte.

- Interaural Level Difference (ILD)

Un altro indizio è dato dalla diversa intensità con cui il suono arriva alle orecchie. Siccome la testa rappresenta un ostacolo, le onde che arrivano

vengono diffratte o assorbite a seconda della frequenza e di conseguenza arrivano attenuate all'orecchio più lontano rispetto a quello maggiormente esposto alla fonte (si veda la Fig. 4). Questo effetto avviene soprattutto alle alte frequenze, quelle con lunghezza d'onda minore. Queste differenze prendono il nome di ILD e anche loro vengono utilizzate per ricavare la posizione della fonte.

- Spectral cues

I due parametri sopracitati sono fondamentali, ma non sufficienti alla localizzazione sul piano orizzontale (ad esempio per la distinzione tra un suono frontale ed uno posteriore) e soprattutto su quello verticale. Il resto delle informazioni viene ricavato principalmente dagli effetti che la pinna ed il canale uditivo esterno del nostro orecchio hanno sullo spettro del suono. Entrambi funzionano come un filtro naturale con una certa risposta in frequenza che varia a seconda della direzione (anche verticale) da cui il suono arriva (si veda la Fig. 5). Il cervello ricava informazioni sulla posizione della sorgente anche da questa esaltazione/attenuazione di frequenze specifiche.

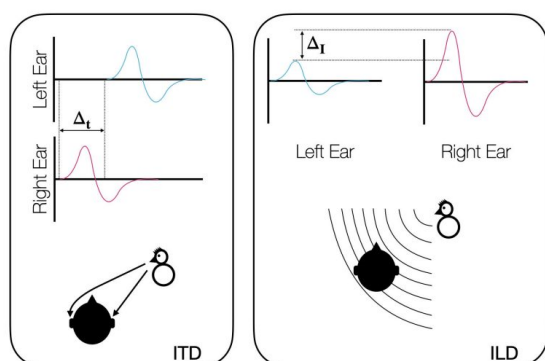


Figura 4: ITD e ILD.

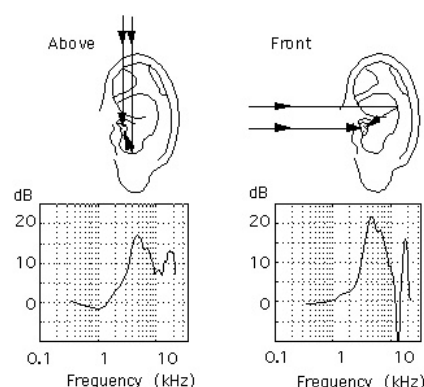


Figura 5: Spectral cues.

Le HRTF vengono ricavate da queste informazioni ed è da notare che:

1. riproducono come il suono arriva all'interno del canale uditivo, quindi perché abbiano l'effetto desiderato bisogna utilizzare delle cuffie quando vengono usate.
2. sono calcolate su elementi anatomici. L'orecchio, in particolare la pinna, varia da persona a persona e quindi sarebbero funzioni uniche e proprie del soggetto su cui sono state modellate[10]. Nelle applicazioni pratiche spesso

si utilizzano versioni generalizzate, ma esistono dataset in cui sono raccolte HRTF registrate su persone e servizi che permettono di creare una versione personalizzata[11][12][13].

3.2 OSC

Open Sound Control è un protocollo di comunicazione di rete tra dispositivi multimediali, ideato nel 1997 come alternativa più flessibile rispetto al MIDI, e caratterizzato dall'essere semplice, veloce e personalizzabile[14]. La trasmissione di dati con OSC avviene attraverso l'invio e la ricezione di pacchetti di byte (si veda la Fig. 6). Ogni pacchetto ha all'interno la sua dimensione, un multiplo di 4 che indica il numero di byte da cui è composto, ed il contenuto. Il contenuto può essere o un messaggio oppure un bundle. I messaggi sono composti dall'indirizzo, dagli identificatori di tipo e dagli argomenti del messaggio, che devono corrispondere ai tipi indicati prima. I bundle invece sono identificati dalla stringa iniziale '#bundle' e contengono un'etichetta temporale (con precisione attorno ai 200 picosecondi) e gli elementi che li compongono, che a loro volta possono essere messaggi o altri bundle. L'indirizzamento dei messaggi segue una sintassi che richiama quella degli URL ed inizia sempre con un forward slash (/) seguito da una serie di metodi separati tra di loro sempre da '/'. I metodi sono stringhe scelte da chi invia i messaggi, dall'OSC client, ma possono anche essere delle regex (regular expression) e coprire più valori con una sola dichiarazione. Non essendo la nomenclatura di questi metodi predefinita, si possono utilizzare stringhe significative a seconda dell'applicazione per cui si stanno trasmettendo informazione con OSC. I metodi sono organizzati in una struttura ad albero chiamata OSC Address Space, sulla base della quale vengono smistate le informazioni ricevute.

3.3 Audio procedurale

Con audio procedurale si parla di suoni non lineari generati in tempo reale prendendo degli input ed elaborandoli secondo delle regole programmate[15].

Il suono è quindi il risultato di un processo che prevede dei dati in ingresso e un modello che li usa per descrivere le proprietà del suono. È scelta di chi crea questi modelli come utilizzare parametri e tecniche di sintesi per arrivare al suono desiderato.

Vi sono vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di questa tecnologia o dei più tradizionali suoni campionati. Alcuni dei vantaggi sono:

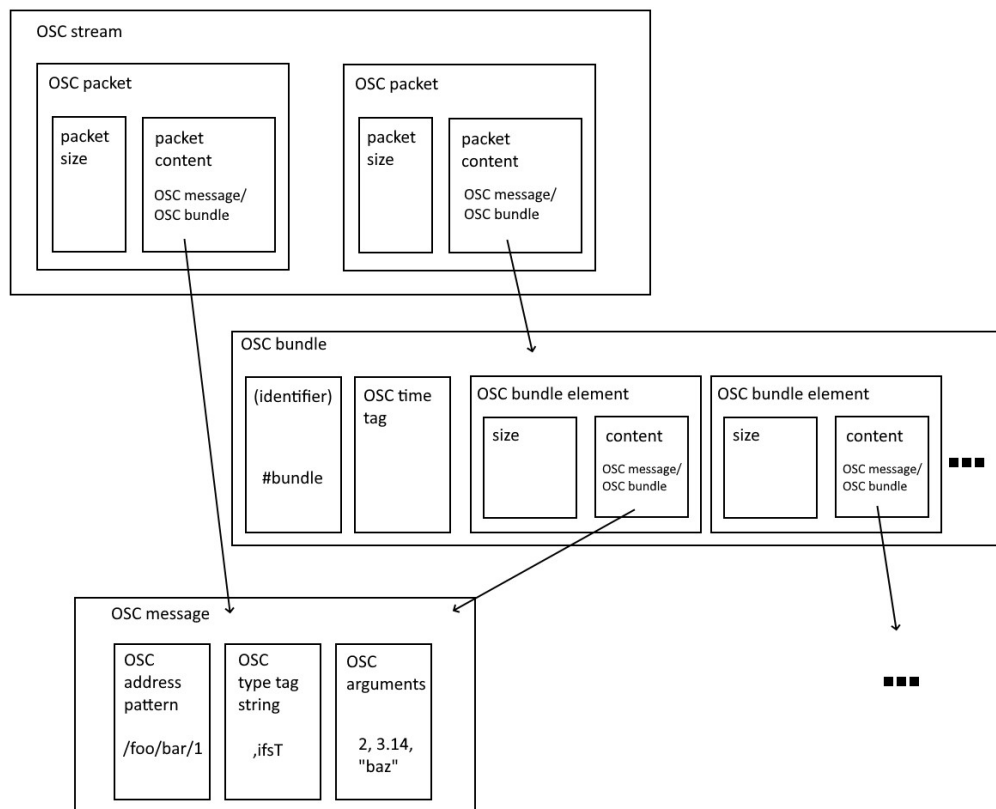


Figura 6: Struttura delle informazioni in OSC.

- Personalizzazione: avendo un modello parametrizzato dietro la creazione del suono, l'audio procedurale è sicuramente vantaggioso. Con questo metodo, per ottenere suoni della stessa natura ma con particolarità diverse basta cambiare i dati in ingresso. Si può ad esempio generare il suono di una campana in base a dimensione, forma e materiale attraverso un unico modello che tenga in considerazione tutti questi parametri; oppure modellare il suono di uno sparo in base al tipo di arma da fuoco e agli eventuali accessori, così che una pistola silenziata generi un rumore diverso da quello di una senza silenziatore e che uno sparo all'aperto sia diverso da uno in ambiente chiuso; Nel caso del campionamento, invece, laddove dovesse servire varietà sono richieste più registrazioni e più file.
- Memoria richiesta: utilizzando le registrazioni bisogna salvare un file per ogni suono, di modo che possa essere letto e riprodotto quando serve. Con l'audio procedurale basta invece un modello: i risultati diversi saranno ottenuti passando i dati giusti ogni volta. L'utilizzo di memoria è molto ridotto;

- Versatilità: anche qui si vedono i vantaggi dell'audio procedurale: cambiare un dataset di campioni a seguito di qualche decisione tecnica o scelta artistica è meno pratico rispetto a cambiare un modello.

Alcuni degli svantaggi invece sono:

- Difficoltà: i modelli (e la loro creazione) sono più o meno complicati in base a quanto si voglia ottenere un risultato realistico e richiedono conoscenze specifiche. Essendo buona parte della produzione videoludica improntata sull'iperrealismo questo rappresenta un ostacolo nell'adozione dell'audio procedurale;
- Costi computazionali: i suoni campionati hanno il vantaggio che non hanno bisogno di calcoli. Si tratta infatti di file già pronti per essere riprodotti. Nel caso dell'audio procedurale, invece, si parla di modelli e di variabili e quindi, per generare l'output, è richiesta potenza di calcolo che non potrà essere utilizzata per la grafica o per il gioco.
- Costi economici: perché questa tecnologia possa diventare utilizzabile in maniera sistematica servirebbero investimenti da parte dell'industria per passare dal collaudato utilizzo di campioni a quello ancora sperimentale, ma pieno di potenziale, dell'audio procedurale.

Pure Data (Pd)

In questo progetto la maggior parte degli elementi audio è generata proceduralmente attraverso l'utilizzo di Pure Data[16], un linguaggio di programmazione visuale, a flusso di dati e open source. Elementi fondamentali di questo tipo di programmazione sono gli oggetti e le connessioni ordinate che si stabiliscono tra questi. L'esecuzione di un programma non è altro che il flusso di dati che attraversa questo diagramma di oggetti e connessioni. I programmi in pure data sono organizzati in documenti chiamati patches al cui interno vi possono essere numeri, messaggi oppure oggetti ed i relativi collegamenti. Possono essere utilizzati anche oggetti non previsti nella versione base di Pd attraverso l'utilizzo di librerie (externals). L'audio del progetto è interamente prodotto attraverso l'utilizzo di patch di Pure Data. La patch principale del progetto è mostrata in Figura 7.

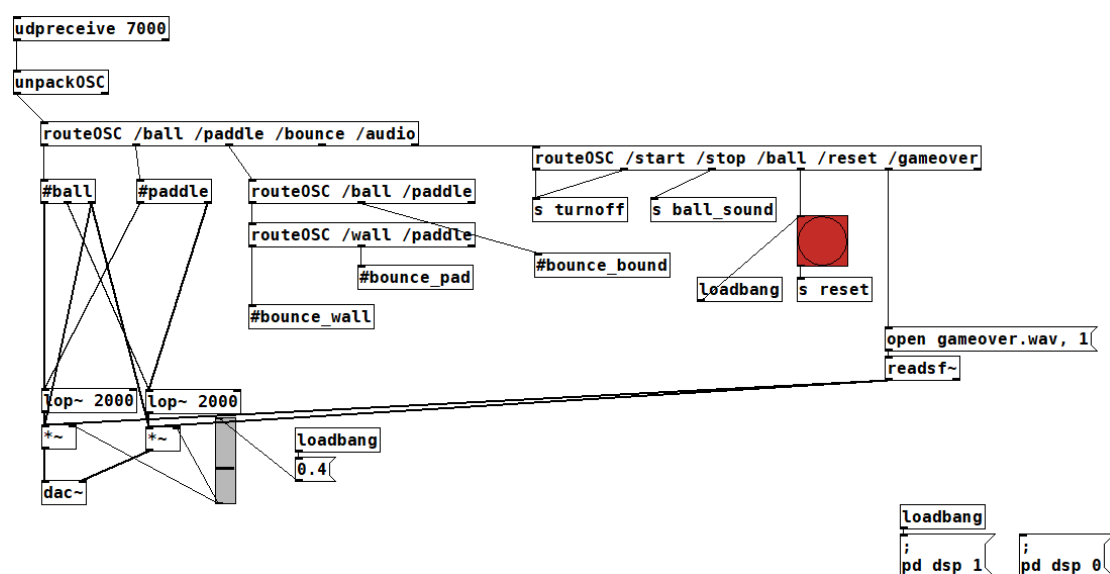


Figura 7: Esempio di patch di Pure data. Questa in particolare è la patch principale del programma che gestisce l'audio di questo progetto. Gli elementi il cui nome inizia con un # sono sottopatch, ovvero altri file con all'interno oggetti e collegamenti tra di loro. L'oggetto *udpreceive* è il primo del flusso e serve a leggere i dati inviati dal gioco. Dopo tutte le operazioni il diagramma finisce nell'oggetto *dac~* che converte il segnale da digitale ad analogico.

3.4 Software utilizzati

Per lo sviluppo del progetto e l'utilizzo delle tecnologie sopra presentate sono stati utilizzati i seguenti software:

- Unity (v. 2018.4.19f1 Personal) come motore di gioco, con l'aggiunta della libreria esterna OscCore¹ per l'utilizzo del protocollo OSC;
- Microsoft Visual Studio Community 2019 (v. 16.9.0) come ambiente di sviluppo integrato;
- Pure Data (v. 0.51.3) per la gestione completa dell'audio, con l'aggiunta degli external:
 - *mrpeach* e *zexy* per la ricezione e gestione dei pacchetti OSC;
 - *earplug~* per l'implementazione delle HRTF;
 - *Sound Design Toolkit (SDT)*² per la sonificazione di alcuni eventi.

¹<https://github.com/stella3d/OscCore>

²<http://www.soundobject.org/SDT/>

Capitolo 4

Audio Pong

4.1 Terminologia

Nella descrizione del progetto verranno utilizzati i seguenti termini nei seguenti significati:

- Campo: lo spazio in cui si svolge il gioco e che contiene gli elementi mobili.
- Pareti/sponde: si intendono le pareti del campo perpendicolari al giocatore.
- Palla: l'elemento mobile che rimbalza all'interno del campo e che rappresenta la condizione di vittoria/sconfitta.
- Racchetta: l'unico altro elemento mobile in gioco. Rappresenta i giocatori, che devono cercare di posizionare la propria racchetta in modo da far rimbalzare la palla quando si avvicina. Sono due in campo: una controllata dal giocatore, posizionata a sinistra, ed una controllata da una IA e posizionata a destra. Se non altrimenti specificato ci si riferisce a quella controllata dal giocatore.
- Giocatore: oltre a rappresentare l'individuo giocante il termine viene usato per riferirsi al punto di riferimento o alla prospettiva dello stesso all'interno del campo di gioco.
- Round: lo scambio tra giocatore ed IA per il singolo punto.

L'idea del progetto è ricreare il videogioco classico Pong attraverso un processo di sonificazione in maniera da studiarne la fruibilità e la giocabilità senza alcun riscontro visivo.

4.2 Gioco

Questa versione di Pong segue le stesse regole principali ed ha lo stesso scopo dell'originale. I giocatori devono cercare di non fare passare la palla oltre la racchetta che controllano. In caso dovessero fallire subirebbero un gol e l'avversario guadagnerebbe un punto. Vince chi ottiene per primo il numero prefissato di punti.

Il gioco è diviso in due scene:

- Menu principale (si veda la Fig. 8): è la scena con cui si apre l'eseguibile del progetto e permette di passare a quella di gioco o di uscire. Ogni volta che una partita finisce si torna automaticamente a questo menu. Cliccando sul pulsante *start* non viene cambiata subito scena, ma vengono proposte quattro diverse scelte sulla modalità di partita a cui giocare (si veda la Fig. 9), spiegate nel dettaglio in seguito (4.3.2).
- Scena di gioco (si veda la Fig. 10): è la scena dove si svolge la partita. Da qui, oltre ai normali comandi di gioco, premendo il tasto *esc* si può accedere ad un menu (si veda la Fig. 11) che mette in pausa il gioco e permette di: riprendere la partita, tornare al menu principale o uscire dall'applicazione.



Figura 8: Menu principale all'apertura del gioco.



Figura 9: Menu di selezione della modalità di partita.

La fase di gioco può essere suddivisa in tre parti:

- Preparazione: prima dell'inizio di ogni round un conto alla rovescia avvisa il giocatore di quando la palla viene lanciata e quindi di quando inizia il round stesso. La palla, rappresentata da un quadrato, inizia sempre al centro e viene lanciata in una direzione casuale lungo una delle sue diagonali;
- Round: dopo il countdown la palla viene lanciata e inizia la fase di gioco vero e proprio in cui si deve evitare di subire un gol tenendo in gioco la palla;
- Gol: quando qualcuno guadagna un punto con un gol, questo viene segnalato e tutti gli elementi mobili (racchette e palla) vengono riportati nella loro posizione di default, tornando alla fase di preparazione per il nuovo round. Se il gol ha portato il giocatore o l'IA al punteggio necessario alla vittoria, invece, un suono segnala la fine della partita e si torna automaticamente al menu principale.

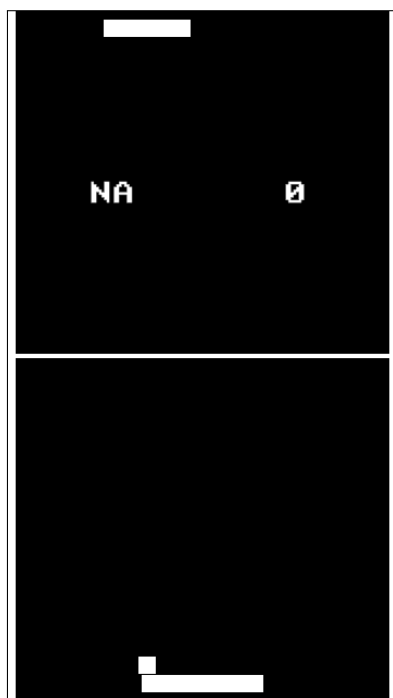


Figura 10: Scena di gioco.



Figura 11: Menu di pausa.

4.2.1 Modalità

Prima di iniziare ogni partita viene chiesto di scegliere tra quattro modalità diverse, come mostrato in Figura 9. Queste sono le combinazioni di due modalità di gioco (*endless* e *AI*), e due modalità audio (1 e 2).

Modalità di gioco:

- *endless*: nella modalità di gioco endless l'avversario è invincibile. Si muove seguendo perfettamente la palla e non può perdere. Può essere vista come una modalità in cui il giocatore gioca contro un muro e il cui scopo non è vincere contro l'avversario, ma sfidare se stessi nel prolungare il round il più a lungo possibile. È la modalità di gioco meno condizionata da fattori di gioco, in cui la durata dei round dipende solo dalla bravura del giocatore e non dalle azioni dell'avversario. Il nome della modalità di gioco si riferisce a questo fatto: che il giocatore, idealmente, potrebbe far durare un round (e di conseguenza la partita) per sempre. In questa modalità di gioco le partite finiscono dopo che il giocatore ha subito 10 gol.
- *AI*: nella modalità di gioco AI (Artificial Intelligence) si gioca contro una semplice intelligenza artificiale. Oltre al differente livello di capacità dell'avversario, in questa modalità di gioco vince chi per primo raggiunge un punteggio di sette punti.

Modalità audio:

- 1: nella modalità audio 1 il punto di ascolto è fisso al centro del bordo inferiore;
- 2: nella modalità audio 2 il punto di ascolto è fissato alla racchetta del giocatore.

Le due modalità audio sono trattate in maggior dettaglio nella sezione dedicata (4.3.2).

4.2.2 Meccaniche

Dal punto di vista puramente delle meccaniche di gioco si tratta di una replica fatta a partire da zero con conseguenti differenze, dovute in parte alla mancanza di conoscenza dell'implementazione originaria ed in parte a scelte volute.

Le differenze principali sono:

- Dimensione del campo di gioco. Il gioco originale si svolgeva su un campo che era circa quadrato perché i cabinati e le televisioni degli anni '70-'80

utilizzavano schermi con un rapporto di aspetto tipicamente di 5:4 o 4:3. Oggi la tendenza si è spostata allargando l'immagine e arrivando al comune rapporto 16:9 (alta definizione), rate a cui ci si è riferiti per la ricreazione del gioco. Nello specifico è stato utilizzato un rapporto di 9:16 per ottenere l'applicazione con orientamento verticale.

- Rimbalzi fissi. Nel gioco originale la palla rimbalza sulla racchetta in maniera diversa a seconda di dove avviene il contatto. Originariamente il progetto aveva seguito questa linea, ma risultava particolarmente confusionario e difficile per cui la decisione è stata quella di rendere la riflessione indipendente da qualsiasi parametro: quando la palla rimbalza, la relativa componente del vettore velocità viene semplicemente cambiata di segno.
- Velocità della palla. In questa versione la velocità della palla aumenta leggermente ogni volta che rimbalza su una racchetta. È stato introdotto per cercare di variare il ritmo di gioco dal momento che i rimbalzi sono fissi, e per gestire l'intelligenza artificiale che controlla l'avversario.
- Numero giocatori. La versione originale era fatta per due giocatori e non prevedeva una modalità a giocatore singolo. Solo successivamente sono uscite versioni con una IA in modo da poter giocare da soli. Questo progetto prevede un solo giocatore e un avversario gestito con una intelligenza artificiale primitiva.
- Punteggio. In questa versione il punteggio per vincere e finire la partita varia a seconda della modalità scelta: 10 gol subiti nella modalità di gioco endless e sette gol, fatti o subiti, per la modalità di gioco AI. Nel gioco originale il cabinato poteva essere impostato per arrivare o fino a 11 o fino a 15.
- Grafica. Oltre che le proporzioni e l'orientamento del campo, anche gli elementi di gioco (campo stesso compreso) sono differenti: sono più grandi; le sponde su cui rimbalza la palla sono in vista; la linea di centrocampo è continua anziché tratteggiata. Inoltre la racchetta del giocatore è più grande di quella controllata dall'IA (si vedano a confronto le Fig. 12 e 13).
- Oscuramento. È stata inserita la possibilità di oscurare lo schermo, premendo la barra spaziatrice, all'interno della scena di gioco. Questo è stato utilizzato come strumento per la raccolta di dati validi e per la comodità del giocatore nel caso si trovi scomodo a tenere gli occhi chiusi. Con lo schermo oscurato l'unica cosa visibile è il punteggio corrente.

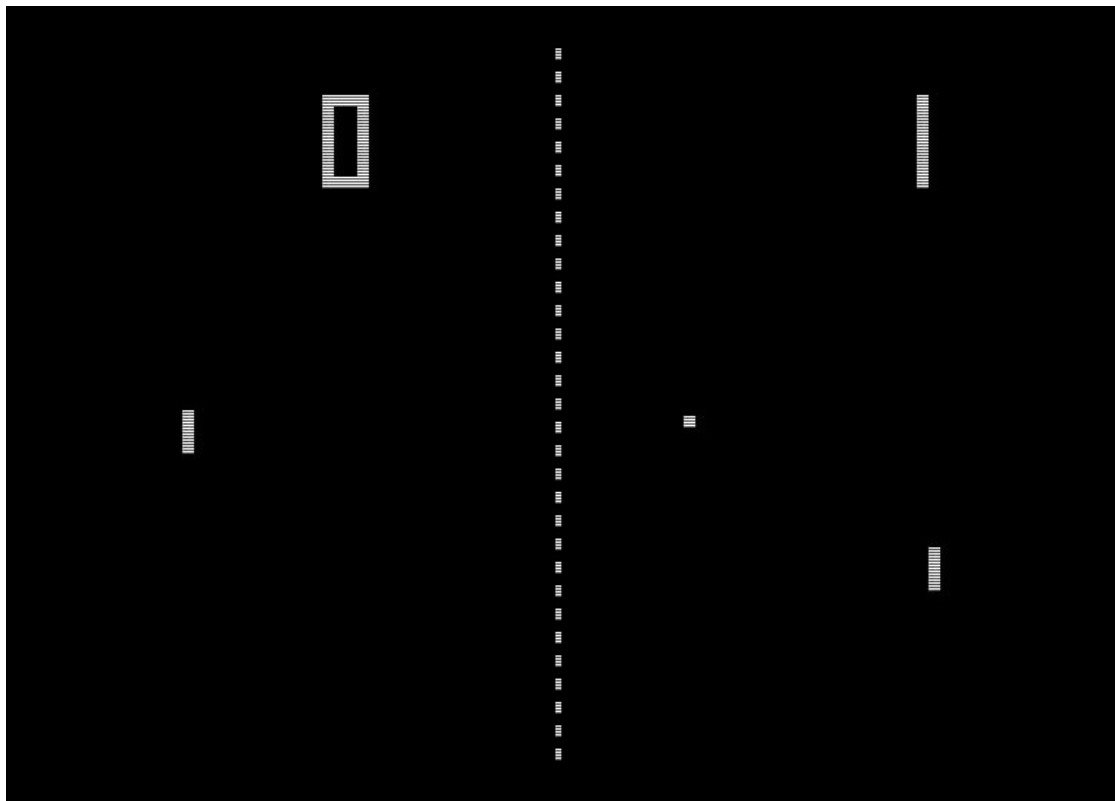


Figura 12: Il campo di gioco della versione originale di Pong. Si notino in particolare le proporzioni del campo, com'è orientato, e le dimensioni degli elementi di gioco.

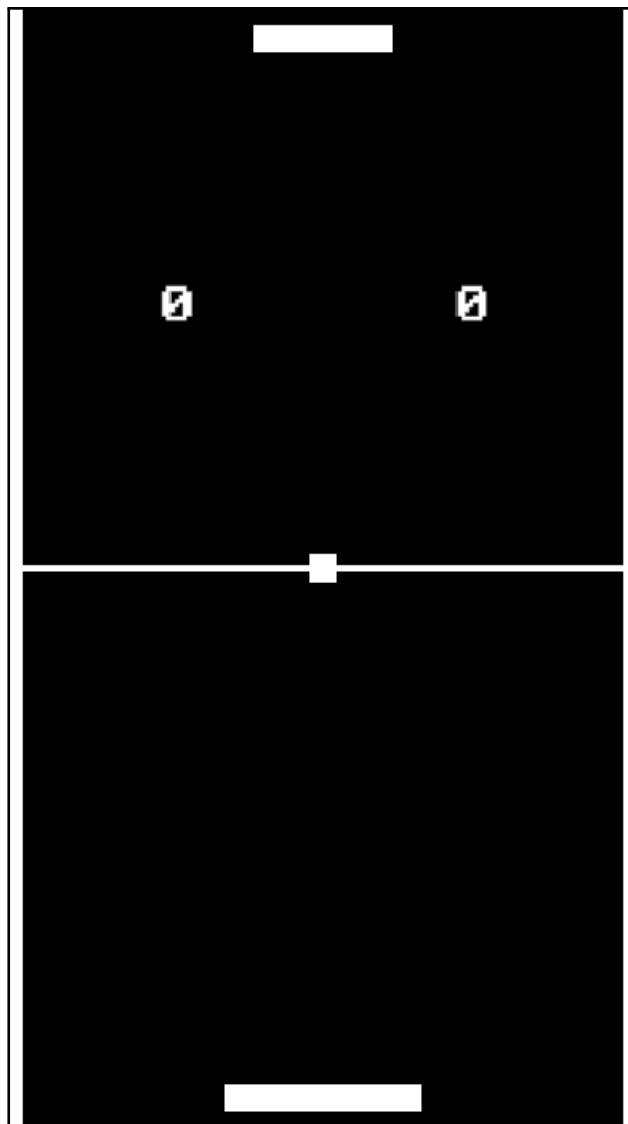


Figura 13: Il campo di gioco della versione di Pong realizzata per il progetto. Si possono notare le differenze citate, tra cui la rotazione del campo, le proporzioni, le sponde visibili e la racchetta del giocatore più grande di quella dell'IA.

4.2.3 IA

Si è cercato di creare una IA semplice ma bilanciata che potesse adattarsi all'avversario in una certa misura. Per ottenere questo risultato si è andati a modificare la velocità ed il tempo di reazione dell'intelligenza artificiale. I parametri sono stati scelti in modo da creare un avversario con caratteristiche sufficientemente stabili nel corso della partita da non rendere i dati troppo casuali, e da non rendere la sfida né troppo facile né troppo difficile, ovvero che non subisse gol al primo rimbalzo e che non fosse in grado di resistere interi minuti.

Velocità

Per sapere in che direzione muoversi l'IA si basa sui valori del centro della palla e del suo: se la differenza è positiva la palla si trova a sinistra rispetto alla racchetta e l'IA deve muoverla in quella direzione. Altrimenti, nel caso in cui la differenza dovesse essere negativa, si muoverà verso destra. In questa maniera, tuttavia, l'IA seguirebbe fedelmente la posizione della palla e un giocatore non avrebbe possibilità di vittoria.

Per prima cosa è stata quindi ridotta la velocità dell'IA, rispetto a quella del giocatore. In questa maniera, siccome la velocità della palla aumenta man mano che il round avanza, si arriverà ad un punto in cui l'IA pur andando esattamente verso la palla, non riuscirà a raggiungerla in tempo. La velocità della racchetta controllata dall'IA è di circa la metà (3,725) rispetto al giocatore (7).

Reazione

Il secondo parametro di controllo è la velocità di reazione. Sono state considerate tre variabili distinte: con una si definisce a che distanza dalla palla l'IA comincia a muoversi per catturarla e, similmente, con la seconda si definisce dopo il rimbalzo a che distanza l'IA smette di seguire la palla. La terza variabile entra in gioco se la barra si ferma nella zona centrale e calcola una nuova posizione, laterale, in cui fermarsi. Questo per evitare che l'IA si ritrovi al centro, posizione vantaggiosa da cui è più facile allinearsi con la palla.

Tutte e tre queste variabili sono randomiche e vengono ricalcolate ogni volta che avviene un contatto tra la palla e la racchetta gestita dall'IA.

4.3 Audio

Per le decisioni su quali informazioni veicolare, e su come farlo, si è cominciato con l'analizzare la tipologia di gioco: ispirato al gioco del ping pong, si può dire che sia di tipo sportivo: un genere di simulatore del mondo reale caratterizzato da sfide fisiche o tattiche, ma che non prevede elementi esplorativi o gestionali[17].

È interessante dal punto di vista del progetto soprattutto quest'ultima definizione: indica che il giocatore dovrà essere sottoposto costantemente a qualche tipo di stimolo sonoro che convogli tutte e sole le informazioni necessarie per poter giocare istante per istante.

Alcune informazioni devono essere trasmesse costantemente in maniera da comunicare al giocatore tutto quello che c'è da sapere su un evento continuo come può essere il movimento della palla: questa è in costante movimento e si ferma solo alla fine di un round, alla fine della partita o con la messa in pausa del gioco. Durante il gioco è fondamentale sapere sempre dove si trova.

Altre informazioni legate a eventi istantanei, invece, non hanno bisogno di essere comunicate costantemente e sono state gestite diversamente.

4.3.1 Elementi

Le prime due informazioni fondamentali per poter giocare a Pong sono:

- la posizione della palla;
- la posizione della racchetta.

Per entrambe le entità la pratica seguita è stata quella di usare la lateralizzazione del suono per informare il giocatore sulla posizione angolare relativa al piano orizzontale, mentre per la distanza è stata utilizzata l'intensità, nel caso della palla (si veda la Fig. 14), o una variazione di tono, nel caso della racchetta.

Palla

Essendo la palla l'elemento principale del gioco la sua posizione è quello che si è cercato di descrivere nella maniera più accurata possibile.

La distanza minima che la palla può avere è quella che avrebbe sullo stesso asse della racchetta del giocatore (che coincide all'asse su cui è posto il punto di ascolto), mentre quella massima è la fine del campo opposto, poco oltre l'avversario di modo che si riesca a sentire il rimbalzo di entrambi i giocatori. Distanza minima corrisponde ad ampiezza massima del suono e distanza massima ad ampiezza minima.

La scala di valori all'interno di questi estremi non è calcolata linearmente, ma in maniera logaritmica per ottenere un risultato più fedele alla fisica del suono: l'intensità di un suono, infatti, diminuisce di 6dB ad ogni raddoppio della distanza percorsa dalla sorgente. In particolare è stata utilizzata la formula $y = m \frac{1}{(1+R(x-1))}$, dove m è la distanza minima, R è un valore proporzionale alla ripidità della curva (nel caso del progetto è stato utilizzato un valore di 1), ed x è la posizione della palla, normalizzata (si veda la Fig. 15).

Per descriverne l'azimuth (angolo sul piano orizzontale) sono state utilizzate le HRTF, ma in questo caso il valore preso non è la semplice coordinata della palla rispetto al punto di ascolto. Per avere una migliore percezione di profondità si utilizza l'angolo compreso tra il segmento che unisce la palla al punto di ascolto e l'asse verticale su cui l'ascoltatore è posto (si veda la Fig. 16). In questo modo il suono della palla sul bordo del campo in prossimità del giocatore risulterà più laterale rispetto al suono della palla sempre sul bordo del campo, ma vicino all'avversario. L'angolo varia tra 0 e π e quando vale 0 significa che la fonte del suono è posizionata alla propria destra, perpendicolare al piano sagittale; quando vale π significa che è all'estrema sinistra ed il caso intermedio, identificato da un angolo di $\pi/2$, rappresenta l'allineamento sul piano mediano.

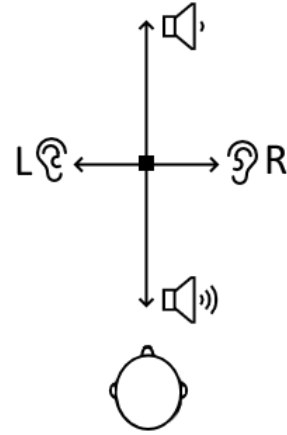


Figura 14: Descrizione della palla.

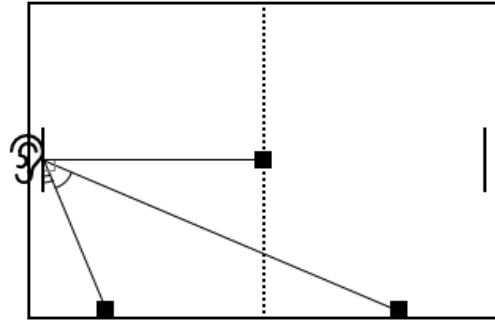
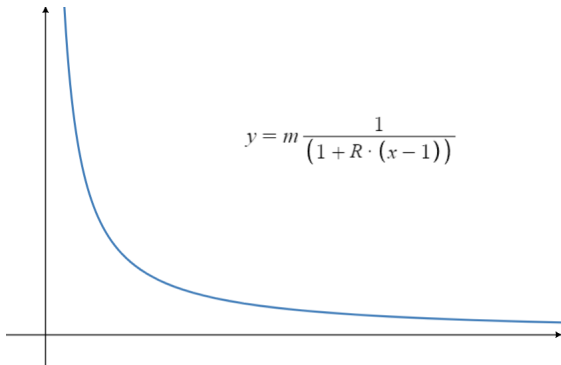


Figura 15: Funzione distanza-volume. Figura 16: Dipendenza angolo-azimuth.

In una prima fase del progetto sono stati utilizzati due tipi di suono per descrivere la palla: uno simula un flusso di bolle, mentre l'altro modella il rotolamento su una superficie ruvida.

Per evitare di avere una casistica di test troppo elevata, si è scelto di utilizzare solo uno di questi due suoni: il flusso di bolle. Tutti i test riportati nella sezione

dei risultati sono stati condotti con questo tipo di suono. La scelta è stata fatta con un sondaggio, da cui il suono delle bolle è risultato preferito.

Si è deciso di proporre un suono poco ecologico (lontano dall'esperienza quotidiana del suono prodotto da una palla che rotola, anche se comunque realistico) come quello del flusso di bolle dopo aver assistito alla dimostrazione di un progetto dedicato alla mobilità in autonomia delle persone cieche o ipovedenti, dove un apparato indossabile veniva usato per rilevare l'ambiente circostante alla persona con dei sensori e trasmettere per via sonora le informazioni all'utente[18]. Il suono utilizzato era un flusso di bolle e vista la ricca qualità informativa è stato scelto di riproporlo in questo progetto.

Un ultimo stimolo, meno percettibile di volume e lateralità, è usato per descrivere l'allineamento della palla rispetto all'ascoltatore attraverso il flusso di bolle: più la palla è centrata e più il flusso risulterà forte e con più bolle. Il volume non viene alterato da questo parametro.

Nella Figura 17 è rappresentato il file di Pure data con cui i dati inviati dal gioco vengono utilizzati per generare stimoli audio della palla. In particolare, si evidenzia l'elemento *earplug~* che si occupa di applicare le HRTF ai segnali che riceve in ingresso: il movimento della palla ed i rimbalzi, che verranno visti in seguito. Tutte le informazioni relative alla palla, esclusi i rimbalzi, vengono smistate dall'elemento *routeOSC* per essere trattate e inviate, come ultimo step, dall'oggetto menzionato prima: *earplug~*. Queste informazioni sono: la distanza, la posizione laterale, il tipo di suono (fisso nell'ultima versione considerata per i dati) e la frequenza di bolle.

Sempre in questo file vengono trattate alcune informazioni indirettamente collegate alla palla come la segnalazione di gol ed il conto alla rovescia, spiegate successivamente nel testo.

Racchetta

Questo è l'unico elemento di gioco sotto il controllo diretto del giocatore, e si muove esclusivamente sul piano frontale tra le due sponde laterali del campo. Come per la palla, questo oggetto emette suoni quando si muove, ma a differenza della palla non è in continuo movimento, ma risponde ai comandi del giocatore. Di conseguenza non genera stimoli sonori costanti nel corso del round. Sono stati implementati due effetti audio per descriverne la posizione: uno legato alla distanza dal centro del campo e uno legato al movimento.

- Distanza: questa informazione è veicolata attraverso il panning del suono ed è linearmente dipendente dalla posizione della racchetta: al centro i suoni arrivano bilanciati sia da destra che da sinistra, agli estremi arriva solo dalla rispettiva cuffia e nei valori intermedi i suoni si spostano linearmente. Non

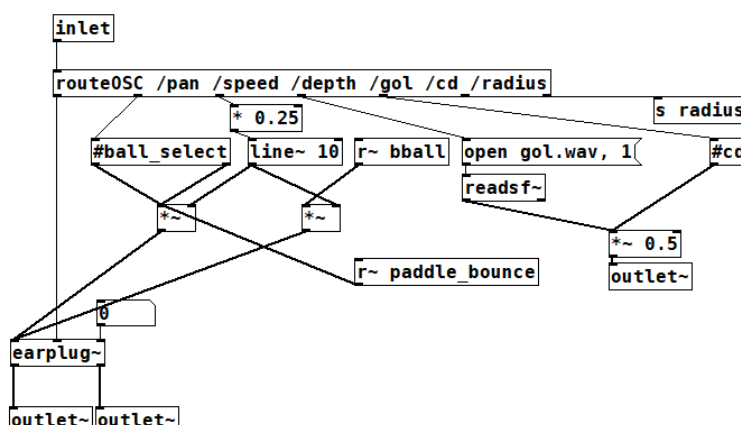


Figura 17: Patch di Pd che gestisce l'audio della palla (#ball.pd).

avendo una componente di profondità rispetto al punto di ascolto, ma solo di distanza destra/sinistra, non è stato utilizzato un modello complesso come quello delle HRTF.

- Movimento: questa informazione è trasmessa attraverso il cambio di tonalità del segnale legato alla racchetta. Il movimento verso destra è descritto attraverso un aumento della frequenza e quindi una tonalità più alta, mentre il movimento a sinistra da un decremento della frequenza ed una tonalità più bassa. Questa mappatura orizzontale della frequenza sembra essere abbastanza consolidata sia tra chi ha studiato musica sia tra chi non ha esperienze teoriche/pratiche nel settore [19]. La distanza percorribile dalla racchetta è stata divisa in 30 step uguali e ad ognuno di questi corrisponde un numero che viene utilizzato come MIDI note number, quindi a posizioni della racchetta uguali corrispondono sempre suoni con la stessa frequenza. Nel punto centrale viene inviato il key number 69 corrispondente ad un LA centrale (A4: 440Hz). Queste sinusoidi sono sia un feedback di movimento, in quanto prodotte solo quando la racchetta si sposta, sia un'informazione sulla posizione, in quanto la frequenza dipende direttamente dalla posizione.

Per quanto riguarda la posizione della racchetta si hanno quindi due modi indipendenti di conoscerla: la direzione da cui arriva il suono e la frequenza del suono stesso (si veda la Fig. 18).

Si tiene a precisare che gli stimoli appena spiegati sono generati, più che dal movimento effettivo della racchetta, dalla ricezione di input di movimento da parte

del giocatore. Ne consegue che se la racchetta si trova a contatto di una sponda e il giocatore continua a premere il tasto per muovere in quella direzione, pur non avvenendo alcuno spostamento i suoni introdotti sopra vengono generati lo stesso. Non dovendo descrivere cambiamenti, tuttavia, rimangono costanti in panning e frequenza (entrambi i valori saranno ai rispettivi estremi: sinistra/destra per il panning e 185Hz/1046.5Hz per la frequenza).

La Figura 19 mostra il contenuto del file che gestisce gli output audio presentati sopra. Come nel caso della palla le informazioni vengono smistate dall'elemento *routeOSC* e comprendono: la posizione, usata per il panning; il volume, usato per riprodurre o no il suono della barra, e il valore del segmento occupato dalla racchetta, utilizzato nella sottopatch di Figura 20. Qui l'elemento *mtof* trasforma questo valore, interpretato come key note MIDI, nella rispettiva frequenza che viene poi utilizzata dall'oscillatore per generare la sinusoide audio.

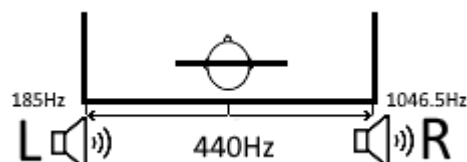


Figura 18: Posizione racchetta.

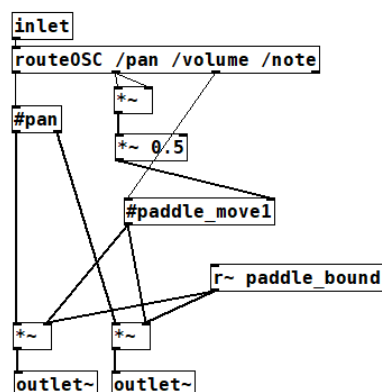


Figura 19: Patch di Pd che gestisce i suoni della racchetta (#paddle.pd).

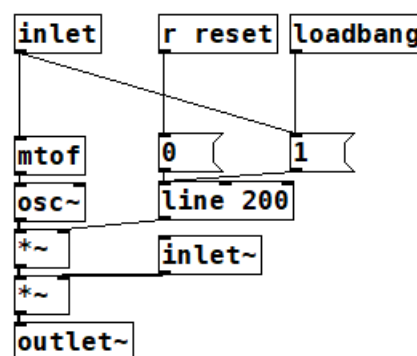


Figura 20: #paddle_move1.pd: sottopatch di #paddle.pd.

Altri suoni

Altre informazioni utili all'esperienza di gioco implementate sono:

- Rimbalzi: aiutano ad informare il giocatore di eventi utili all'interno del round. Ogni rimbalzo comporta infatti l'inversione di una delle due direzioni di movimento della palla: dal punto di vista del giocatore un rimbalzo sulle pareti comporta un cambio di verso orizzontale mentre un rimbalzo su una racchetta cambia il verso verticale. I due tipi di rimbalzo differiscono leggermente come suono.

Un ulteriore rimbalzo molto più basso e secco è stato aggiunto per indicare al giocatore quando la racchetta raggiunge il bordo del campo (il lato, pur essendo sottinteso dal tasto con cui si è arrivati a far scattare il suono, è indicato dallo stesso panning della racchetta e dalla sua frequenza massima/minima). Nella Figura 21 a lato si vedono gli

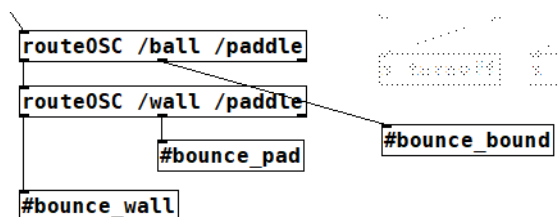


Figura 21: Elementi della patch principale che gestiscono i rimbalzi.

elementi della patch principale di Pd (si veda la Fig. 7) che gestiscono i suoni dei tre rimbalzi: due dipendenti dalla palla (uno per le pareti e uno per la racchetta) e uno che coinvolge solo la racchetta e le pareti (`#bounce_bound`).

- Effetti: suoni aggiunti per la segnalazione di un gol e per la preparazione del giocatore al lancio della palla. Non hanno caratteristiche variabili e quindi non si è utilizzato un modello procedurale, ma dei campioni audio o degli oscillatori a frequenza fissa. Sono stati inseriti nella patch con i suoni della palla (si veda la Fig. 17).

Trasmissione dati

I valori che servono per modellare i suoni del gioco vengono preparati (ad esempio normalizzando tra 0 e 1 oppure trasformando valori lineari su scala logaritmica) negli script C# che gestiscono il gioco. Da qui, attraverso il protocollo OSC, vengono inviati a Pure Data e utilizzati come input per la produzione di audio procedurale o come parametri di controllo o ancora come trigger, ad esempio per attivare/disattivare l'audio o per riprodurre i suoni campionati. La maggior parte dei valori viene utilizzata come arriva, ma alcuni parametri vengono riscaldati anche su Pure data, a seconda della necessità. Lo spazio degli indirizzi OSC utilizzato è strutturato nella maniera seguente, ricordando che i nodi rappresentano i metodi e sono tra di loro separati da un simbolo forwardslash '/' (si veda la Sez. 3.2).

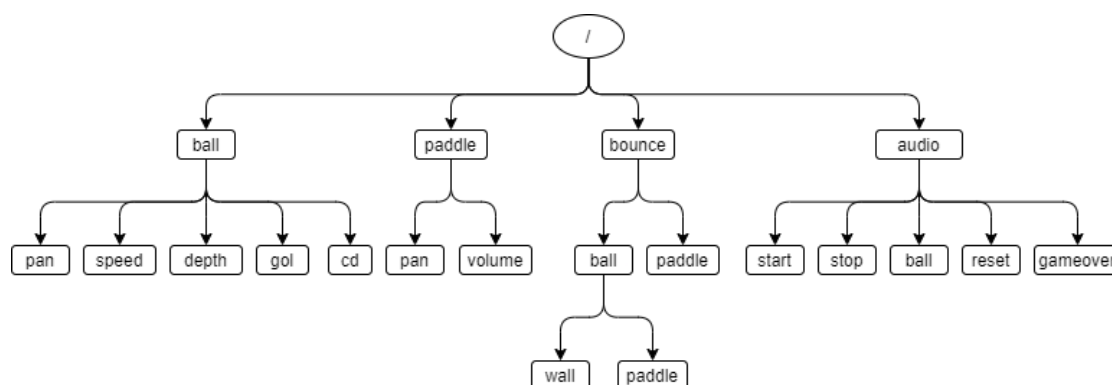


Figura 22: Spazio di indirizzamento dei messaggi OSC.

Un esempio di indirizzo valido è: `/bounce/paddle`, utilizzato per riprodurre il suono dell'urto della racchetta contro una sponda.

4.3.2 Prospettiva

Un'altra decisione presa è stata quella sul dove posizionare il giocatore all'interno del campo: nel gioco originale il punto di vista si trova al centro, rialzato e ruotato verso il basso. Si ha quindi una visuale fissa, centrata e dall'alto verso il basso (si veda la Fig. 23).

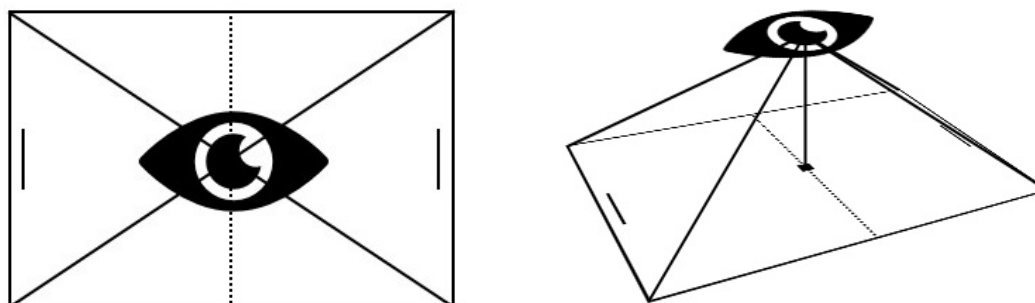


Figura 23: Prospettiva originale.

Per la versione riproposta in questo progetto si è adottato un altro approccio: il punto di ascolto è spostato ad un lato del campo (in particolare sul lato inferiore, su cui si muove la racchetta di chi gioca), alla stessa altezza degli elementi di gioco e rivolto verso il campo stesso. Rispetto alla camera originale ci si ritrova quindi traslati verso sinistra, abbassati a livello del campo e ruotati di 90° sia verso l'alto (non si è più rivolti verso il basso) che verso destra (si guarda verso l'avversario), come rappresentato nella Figura 24. In più è tutto ruotato a sua volta di 90° verso

sinistra per ottenere la visuale con gli avversari in verticale anziché in orizzontale. Questo per avere una corrispondenza tra struttura dei suoni e delle immagini.

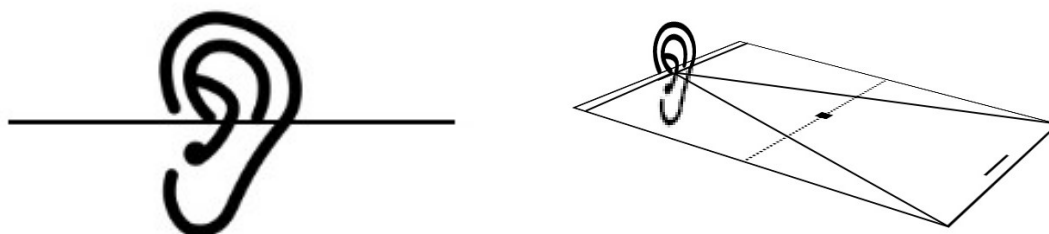


Figura 24: Prospettiva del progetto.

Oltre alla posizione del punto di ascolto è stato necessario decidere il sistema di riferimento a cui fissarlo e sono state valutate due possibilità:

1. punto di ascolto solidale al campo;
2. punto di ascolto solidale alla racchetta del giocatore.

Nel caso di punto di ascolto solidale al campo, il giocatore percepisce palla e racchetta spostarsi rispetto a lui (si veda la Fig. 25), ovvero rispetto all'asse centrale che attraversa il campo nella sua lunghezza. Di conseguenza deve muovere la racchetta in modo che al momento giusto i due elementi mobili siano allineati. In questo caso sono da utilizzare contemporaneamente due informazioni separate ed indipendenti: posizione della racchetta e posizione della palla. Si consideri ad esempio la situazione in cui la racchetta del giocatore sia a contatto della sponda destra e la palla sia anch'essa a contatto di quella sponda e vicina al giocatore.

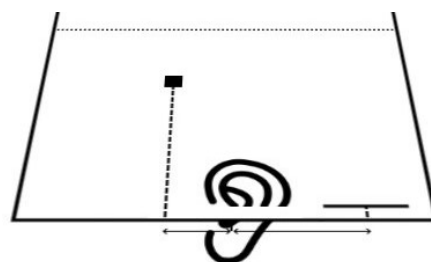


Figura 25: Modello solidale al campo. Le informazioni necessarie sono quelle della palla e della racchetta rispetto al centro.

Con questo modello, fisso al centro del campo, entrambi i suoni risuoneranno quasi esclusivamente nella cuffia destra dell'ascoltatore. Questo perché entrambi gli oggetti, rispetto al punto di ascolto, si trovano all'estremità destra o quasi.

Nel secondo caso, dal punto di vista del giocatore, a muoversi attorno a lui sono la palla ed il campo. Il campo di per sé non porta alcuna informazione utile all'ascoltatore: in una situazione del genere è necessario sapere solo dove si trova la palla (davanti o di lato) rispetto a sé stessi e muoversi di conseguenza (si veda la Fig. 26). Il giocatore, quindi, non avrebbe problemi a seguire i movimenti della palla pur non conoscendo la sua posizione all'interno del campo. La posizione della racchetta viene comunque trasmessa nella stessa maniera della modalità audio solidale al campo. In questo modo si ha un punto di riferimento fisso con cui conoscere la propria posizione all'interno del campo. Riprendendo l'esempio del caso precedentemente, quindi, avendo racchetta e palla sulla sponda destra e la palla a distanza verticale ravvicinata. Con questo modello, mentre la racchetta viene percepita come in quello precedente, la palla viene sentita in maniera diversa: il suono sarà frontale e non laterale. Questo perché il punto di ascolto è solidale alla racchetta e spostando questa si muove anche il punto di ascolto centrale, nel caso dell'esempio specifico a destra, allineandosi con la palla stessa.

Per il progetto finale sono stati implementati entrambi i modelli proposti.

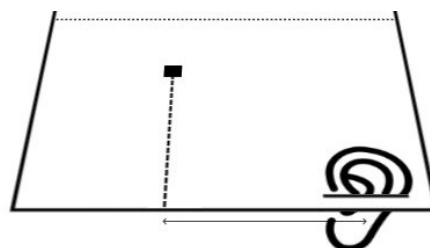


Figura 26: Modello solidale alla racchetta. In questo caso il giocatore è posto sulla racchetta, quindi l'informazione necessaria è solo quella della palla.

Capitolo 5

Test

5.1 Protocollo e soggetti

5.1.1 Protocollo

I dati sono stati raccolti facendo provare il gioco ad un gruppo di persone. Le informazioni ricavate e studiate corrispondono ad alcune variabili del gioco, salvate dal programma in un file csv di modo da poter essere in seguito lette, elaborate ed interpretate.

Per la raccolta dei dati tutti i soggetti sono stati istruiti allo stesso modo con il seguente protocollo:

1. Fase di istruzione. In questa prima fase sono stati introdotti tutti i suoni presenti nel gioco ed è stato spiegato come interpretarli per ricavarne informazione: dal cambio di intensità della palla al conto alla rovescia di inizio round. Sono state descritte anche le varie modalità con le differenze sia dal punto di vista audio che di gioco, e i comandi necessari ad interagire. Successivamente, ai soggetti è stato fatto provare il gioco con la presenza di feedback visivo oltre che di quello uditivo, di modo che potessero associare e comprendere appieno le spiegazioni presentate in precedenza.
2. Fase di raccolta dati. In questa seconda fase sono stati effettuati i test da cui sono stati raccolti i dati. Può essere divisa a sua volta in sottofasi:
 - (a) Verificati i vari suoni e le loro dipendenze, sono iniziati i test effettivi: ai soggetti sono state fatte provare entrambe le modalità di gioco *endless* (*endless 1* ed *endless 2*, si veda la Sez. 4.2.1), a schermo oscurato. Per questo punto i soggetti sono stati divisi in due gruppi, a seconda dell'ordine con cui hanno effettuato le partite: il *gruppo 1* ha giocato

prima *endless 1* e poi *endless 2*, mentre il *gruppo 2* ha giocato prima *endless 2* e poi *endless 1*.

- (b) Dopo aver provato le modalità audio 1 e 2 (audio solidale al campo e solidale alla racchetta) ognuno ha potuto scegliere quale modalità audio continuare ad utilizzare, effettuando tutte le partite successive solo con quella.
- (c) Stabilita la modalità audio da utilizzare, è stato chiesto di svolgere delle partite in modalità di gioco AI, in cui quindi il giocatore poteva segnare lui stesso. Il numero di partite è stato lasciato decidere ai singoli giocatori, ma ne sono state richieste almeno tre.
- (d) Come parte finale è stata fatta giocare un'ultima partita nella modalità *endless* e sempre con la modalità audio scelta dal soggetto.

Inoltre, sono stati fatti compilare due questionari: uno prima dei test, per raccogliere dati anagrafici e informazioni personali da utilizzare nell'analisi, e uno dopo aver concluso il test, per valutare l'esperienza soggettiva.

I test audio sono stati svolti esclusivamente attraverso l'utilizzo di cuffie o auricolari stereofonici.

Valori

I valori raccolti durante le partite sono:

- il punteggio (sia del giocatore che dell'IA), per conoscere l'evoluzione della partita: come cambia il punteggio nel susseguirsi dei round e se si riesce a giocare contro il computer;
- il numero di volte in cui la palla rimbalza durante il round, sia contro la racchetta del giocatore che contro quella della IA, per capire quanto i round stessi durino e quanto si riescano a localizzare correttamente la palla e la racchetta;
- se la schermata di gioco è visibile o meno, per sapere se i dati di quella partita in particolare sono significativi ai fini dello studio oppure no;
- la posizione della palla relativa alla racchetta quando avviene un rimbalzo, od un gol, dal lato del giocatore, per capire ad esempio se vi è una tendenza predominante nello sbagliare più in una direzione rispetto ad un'altra;
- la velocità istantanea quando il giocatore subisce un gol, in modo anche qui da vedere se i gol avvengono più spesso in certe condizioni piuttosto che in

altre. Le condizioni qui si riferiscono, oltre che alla velocità totale, anche alle singole componenti orizzontali e verticali.

Attraverso i questionari sono stati raccolti dati su:

- elementi anagrafici (sesso ed età);
- esperienza nell'ambito videoludico o abitudine nell'ascolto in cuffia o di audio localizzato;
- pareri sull'importanza dell'audio nei videogiochi ed un'autovalutazione della propria abilità nel localizzare una sorgente sonora;
- domande sull'esperienza di gioco dopo i test.

Le domande sull'esperienza di gioco sono state estratte da un questionario standard, il Game Experience Questionnaire (GEQ) [20]. Sono state tenute solo domande sugli aspetti del gioco inerenti alla tipologia, evitando quindi di riportare domande, ad esempio, sulla componente sociale del gioco o dell'esplorazione. Il questionario è ampiamente utilizzato, nonostante la criticata mancanza di documentazione scientifica [21].

5.1.2 Soggetti

La popolazione che ha partecipato ai test è composta da un totale di 35 individui appartenenti ad entrambi i sessi e di diverse età comprese tra i 23 ed i 64 anni. Età e sesso non sono bilanciati, infatti sul totale 26 individui sono di sesso maschile e 9 di sesso femminile, mentre quasi la metà (16) ha 31 o 32 anni (si veda la Fig. 27).

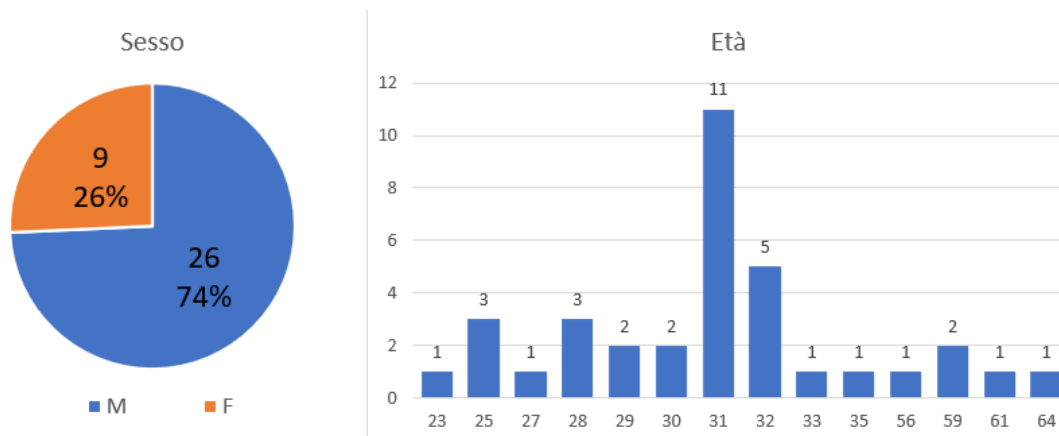


Figura 27: Composizione dei partecipanti ai test per sesso ed età.

Dei soggetti nessuno ha dichiarato impedimenti sensoriali (vista e udito) rilevanti, ma una persona è affetta da un disturbo neurologico per cui assume regolarmente farmaci che potrebbero impattare, come effetti collaterali, su riflessi, movimenti, coordinazione e stato d'animo.

Questionario 1

Tra le informazioni preliminari chieste ai partecipanti, è stato ritenuto utile chiedere con che frequenza si fosse abituati ad ascoltare audio in cuffia (o auricolari) ed ascoltare audio spazializzato, di qualsiasi tipo (tramite videogiochi o film, cuffie o impianti multicanale).

Come si può vedere nei grafici in Figura 28, ad entrambe le domande più del 75% dei partecipanti ha risposto con una frequenza almeno media (“a volte”).



Figura 28: Grafico A: frequenza di ascolto in cuffia/auricolari. Grafico B: frequenza di ascolto audio spazializzato.

Un'altra statistica estratta riguarda il campo videoludico: è stata chiesta l'esperienza dei partecipanti (come frequenza di utilizzo di videogiochi) e dei pareri sull'importanza dell'audio nei videogiochi (sia in generale che specificamente riguardo alla localizzazione delle sorgenti sonore). Nel primo caso (si veda la Fig. 29) la popolazione sembra ben distribuita tra tutte le categorie e nel secondo (si veda la Fig. 30) la maggior parte delle persone ha attribuito una grande importanza agli stimoli audio nei videogiochi, anche chi ha poca o nessuna esperienza diretta con i videogiochi stessi.

Interessante notare che il gruppo di cinque persone che ha dichiarato di non giocare mai a videogiochi è composto da quattro dei cinque soggetti sopra ai 50 anni ed uno di 32. La quinta persona con età maggiore di 50 anni gioca raramente.

Questo si allinea con l'esperienza quotidiana in cui i videogiochi sono ancora un passatempo/sport estremamente giovanile.

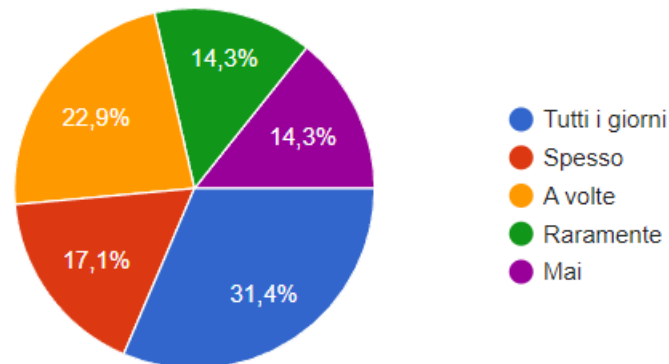


Figura 29: Frequenza di utilizzo dei videogiochi.

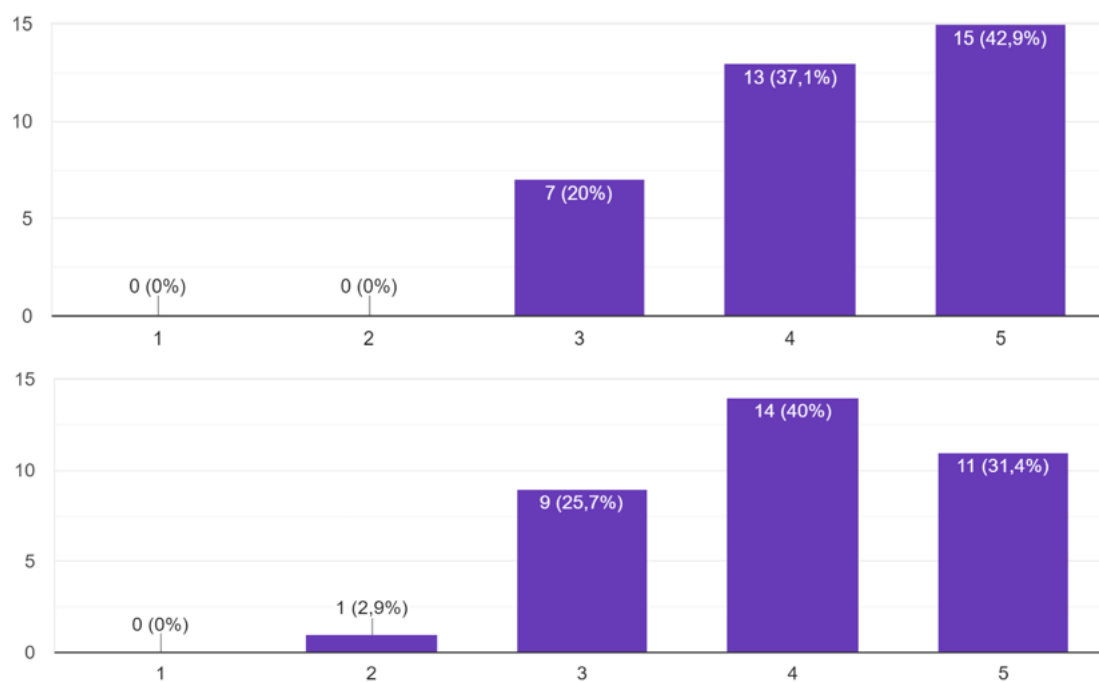


Figura 30: Importanza espressa riguardante gli stimoli audio nei videogiochi: nel grafico superiore riguardo agli stimoli audio in generale, mentre in quello inferiore specificamente riguardo a quelli spazializzati. Il parere è stato espresso attraverso una scelta da 1 a 5 dove 1 = inutili e 5 = fondamentali.

5.2 Risultati

Per quanto riguarda le partite i dati ritenuti più interessanti sono principalmente quelli riguardanti i rimbalzi, in quanto primo riscontro pratico dell'efficacia delle interazioni implementate. In linea di principio migliori saranno gli stimoli sonori maggiore sarà il numero di rimbalzi effettuati durante i vari round, fermo restando che abilità, esperienza ed attitudine personale rimangono elementi determinanti per il risultato. I rimbalzi considerati nei conteggi comprendono sia quelli del giocatore che quelli della IA.

Rimbalzi medi

Prendendo la media sul totale delle partite effettuate si ottiene il grafico di Figura 31.

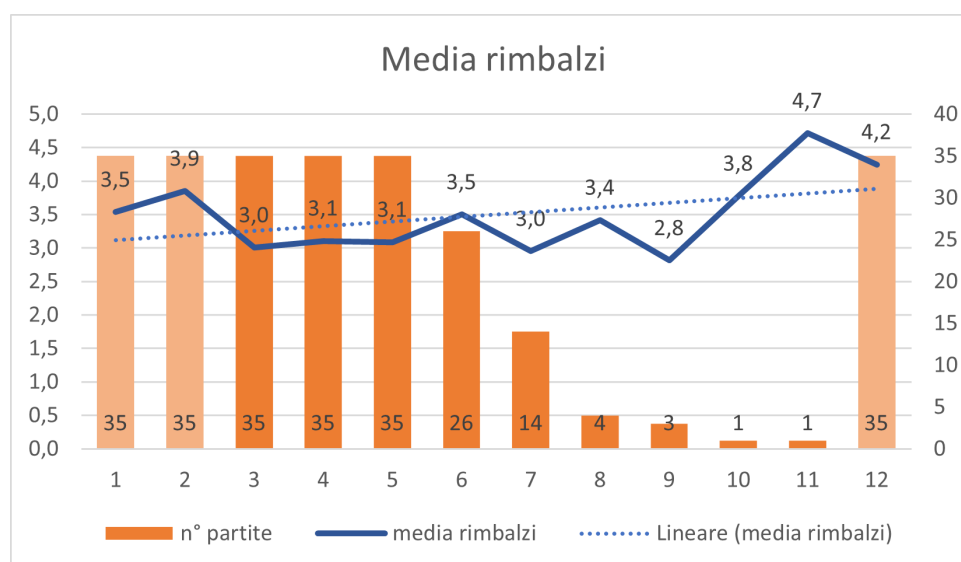


Figura 31: Grafico riportante la media dei rimbalzi. Sull'ascissa sono riportate le partite svolte, sull'ordinata primaria il numero di rimbalzi medi (linea) e sulla secondaria il numero di soggetti che hanno giocato e fornito dati per la partita sulla relativa ascissa (barre). In più sono stati differenziate graficamente le partite in modalità di gioco endless (arancione chiaro) da quelle AI (arancione scuro).

Da qui si nota un generale miglioramento nel corso dello svolgimento delle partite, ad eccezione di quando si cambia dalla modalità di gioco endless a quella AI, ovvero alla terza partita. Inoltre, la media per le partite in modalità di gioco AI dopo la quarta ha un comportamento molto variabile, ottenendo il risultato più basso. Ignorando le partite per cui meno della metà dei partecipanti ha fornito dati,

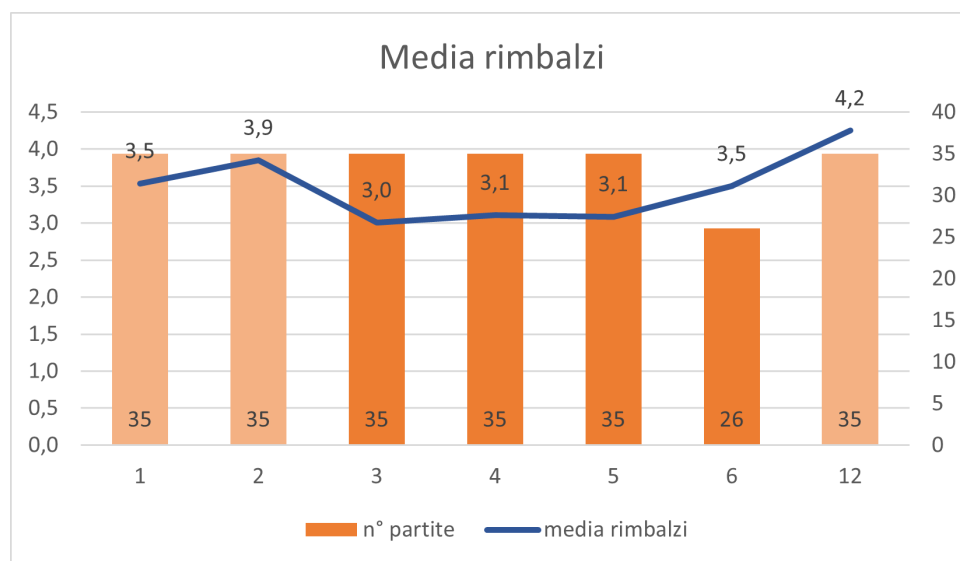


Figura 32: Media dei rimbalzi delle sole partite giocate dalla maggior parte dei soggetti.

i risultati sono quelli presentati nel grafico in Figura 32. Da questo secondo grafico non sembrano esserci ricadute nel corso degli esperimenti, sempre con l'eccezione del passaggio iniziale tra le due diverse modalità di gioco.

Per questo comportamento particolare un fattore determinante potrebbe essere quello che, prima di effettuare ognuna delle prime due partite, sono stati giocati dei punti di prova per prendere confidenza con gli stimoli audio. Quindi i primi due test in particolare sono avvenuti con una memoria degli stimoli audio più vivida.

Un altro motivo, valido in un numero limitato di casi, ha a che fare con il fatto che nella modalità di gioco AI, a differenza di quella endless, i round non possono andare avanti all'infinito. Oltretutto, in questa modalità di gioco, la serie di rimbalzi può essere interrotta anche da un gol subito dall'intelligenza artificiale e quindi un numero basso di rimbalzi non implica direttamente un risultato peggiore.

Si cita, ma non si approfondisce, un'eventuale motivazione psicologica dovuta al fatto di passare da una modalità in cui si sa di non poter vincere, ad una in cui invece si sa essere possibile.

Gruppi

Come spiegato in precedenza (si veda la Sez. 5.1.1), i soggetti sono stati suddivisi in due gruppi a seconda dell'ordine con cui hanno giocato le prime due partite. L'attribuzione è stata completamente casuale, con l'unico accorgimento di mantenere i due gruppi bilanciati.

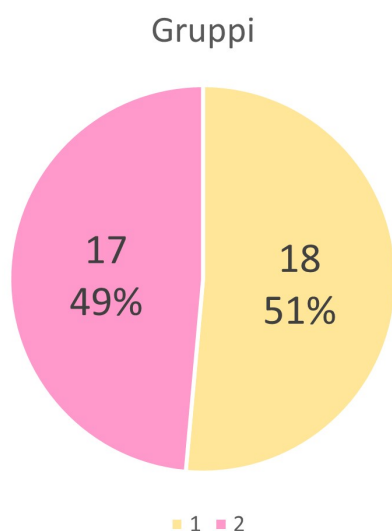


Figura 33: Composizione dei gruppi in base alla modalità audio assegnata.

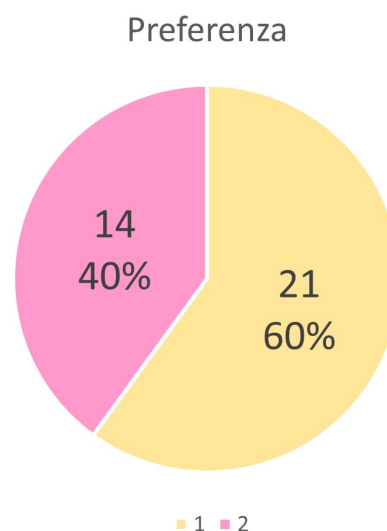


Figura 34: Preferenza espressa dai soggetti sulla modalità audio con cui giocare.

Il risultato è stato quello di avere i due gruppi bilanciati, con un solo elemento in più per il gruppo uno (si veda la Fig. 33). La scelta che ognuno ha fatto riguardo alla modalità audio con cui giocare è riportata nella Figura 34, dove si nota una preferenza nella modalità audio 1. Come si vede dalla Tabella 1, l'ordine di prova non sembra aver influenzato la scelta, mentre sembra esserci una preferenza per i soli maschi a favore della prima modalità audio, ovvero quella solidale al campo da gioco.

preferenza	maschi	femmine	gruppo 1	gruppo 2	totale
AI 1	17	4	11	10	21
AI 2	9	5	7	7	14
totale	26	9	18	17	

Tabella 1: Dati sulle preferenze della modalità audio.

Sembra inoltre esserci una correlazione tra la scelta della modalità audio ed i risultati ottenuti, come evidenziato nel grafico di Figura 35.

In questo grafico, infatti, si nota come la media di rimbalzi delle partite sia quasi sempre maggiore nel gruppo 2. Le uniche eccezioni sono le seconde e le seste partite contro l'intelligenza artificiale (numero quattro e otto nel grafico). Nel primo caso differiscono di 0,06 (arrotondando alla seconda cifra decimale si

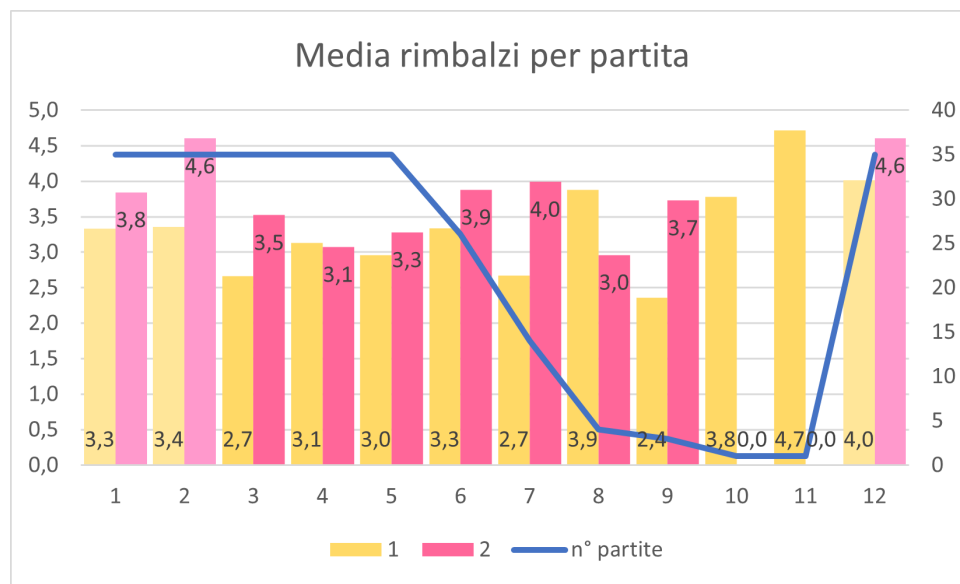


Figura 35: Comparazione tra la media dei rimbalzi dei due gruppi sulle varie partite giocate. Gli istogrammi rappresentano le medie dei gruppi, con scala sull'asse delle ordinate primario, mentre la linea rappresenta il numero di soggetti che hanno giocato n partite (con n uguale alla relativa ascissa) e quindi il numero di partite su cui è stata calcolata la media. Come in precedenza sfumature di colori diverse sono state utilizzate per distinguere le modalità audio.

ottiene 3,13 per il gruppo 1 e 3,07 per il gruppo 2), mentre nel secondo caso il numero di partite svolte lo rende meno significativo. Solo un individuo che ha scelto la modalità audio 1 è arrivato a giocare nove partite contro l'IA, mentre nessuna delle persone che ha scelto il gruppo 2 è arrivata a farne più di sette.

Al fine di analizzare le eventuali correlazioni tra le due modalità audio, sono stati svolti due t-test. Il primo è stato calcolato sulle prime due partite, endless, di tutti i partecipanti. Siccome ogni soggetto ha iniziato svolgendo i test con una partita endless per modalità audio, tutti hanno entrambi i dati e il t-test è di tipo paired. È stato ottenuto un p-value $p=0,338$ quindi non è possibile rifiutare l'ipotesi che esclude relazioni tra le distribuzioni dei risultati delle due modalità audio.

Il secondo t-test è stato calcolato in base all'ultima partita fatta da tutti, sempre di tipo endless, ma con la modalità audio che è stata scelta dal singolo individuo. Il test è quindi unpaired visto che i dati dei due gruppi sono indipendenti e si è assunto che i due campioni avessero varianza uguale in quanto il rapporto tra le due è minore di 4. Il p-value risultante è stato $p=0,487$. Come per il test precedente non si è potuta rifiutare la null hypothesis né verificare la presenza o

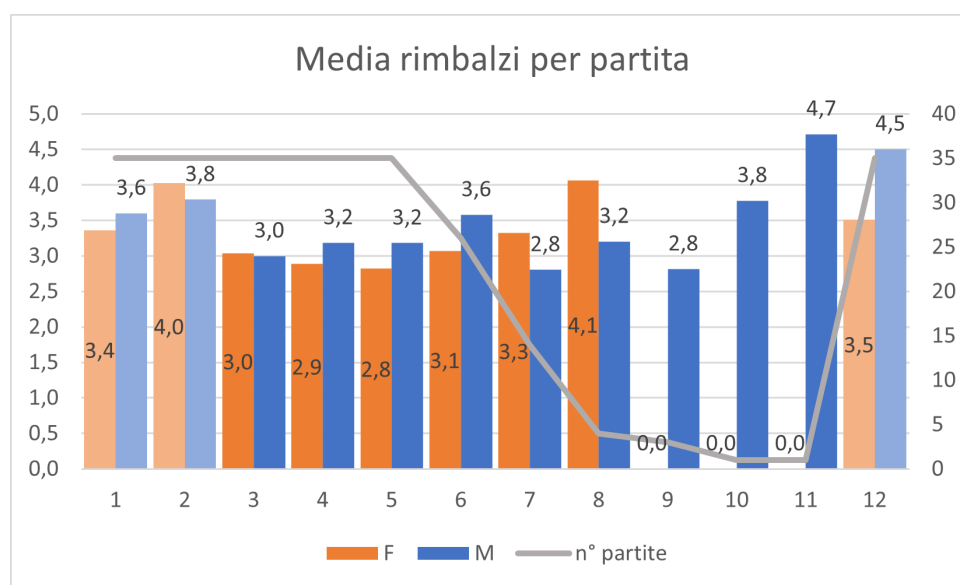


Figura 36: Rimbalzi raggruppati per sesso. A parte la differente scelta cromatica il significato rimane quello spiegato nei grafici precedenti dello stesso tipo.

assenza di correlazioni tra le modalità audio.

Nonostante questi due test non abbiano portato a conclusioni, le scelte dei soggetti indicano che ci sia una preferenza per la modalità audio 1, ma la modalità 2 risulta più facile da interpretare e giocare.

Un'altra comparazione è rappresentata nel grafico di Figura 36 dove non si è raggruppati per modalità audio, ma per sesso. Dall'immagine si vede come le medie siano molto simili, nonostante il gruppo femminile comprenda solo nove soggetti e tra questi sono presenti tre delle cinque persone meno giovani e ben cinque usano videogiochi raramente o meno.

Gol e vittorie

Utili, soprattutto con la finalità di valutare l'applicazione come gioco, sono anche delle statistiche sui punti segnati e le partite vinte dai giocatori. In questo paragrafo non vengono considerate le partite in modalità di gioco endless in quanto il giocatore non ha possibilità di segnare e quindi vincere. Su 155 partite giocate, 147 sono state vinte dall'IA e le rimanenti otto da quattro dei 35 giocatori. Tutte queste partite sono state giocate su 1310 round, 1063 vinti dall'IA e 247 dai giocatori. Questo vuol dire che poco più del 5% delle partite e quasi il 19% dei round sono stati vinti dai giocatori, come riassunto nella Tabella 2.

(vinti da)	giocatore	IA	percentuale
Round	247	1063	18,85%
Partite	8	147	5,16%

Tabella 2: Dati sulle vittorie dei round e delle partite. Le percentuali sono calcolate per i giocatori.

Analizzando la media dei rimbalzi personali, ovvero la media sulle partite di un singolo soggetto, si nota che le persone che hanno vinto sono tra i soggetti con i valori più alti (si veda la Tab. 3). Si nota anche, tuttavia, che nonostante il test numero 15 abbia una media di 5, tra le più alte, non ha vinto nessuna partita. In più, il test numero 32 ha vinto una partita con una media ben al di sotto (2,7) di quelle delle altre partite vinte e anche al di sotto di sotto delle medie di rimbalzi con cui il test numero 15 non è riuscito a vincere nemmeno una partita. Anche il test numero 7, nonostante abbia giocato una partita con media 6 ed una partita con media 6,9, che è il valore massimo ottenuto tra tutte le partite, ha vinto in una partita statisticamente meno performante. In questa situazione il fattore primario è il caso: siccome l'IA e il vettore velocità della palla dipendono in certa misura da variabili aleatorie, capita che si verifichino situazioni in cui sia più facile segnare gol rispetto ad altre.

La situazione migliore, per segnare gol, è quella in cui la racchetta avversaria si ferma ad una estremità del campo e deve intercettare la palla sulla sponda opposta, quando questa ha componenti verticale ed orizzontale della velocità uguali o la prima poco maggiore della seconda. In alcuni casi è stato notato anche che la palla potrebbe assumere una traiettoria che la porta più volte di seguito a rimbalzare nella stessa zona, cosa che potrebbe facilitare il giocatore permettendogli effettivamente di alzare la media dei rimbalzi.

soggetto	medie singoli test									media personale
	AI 1	AI 2	AI 3	AI 4	AI 5	AI 6	AI 7	AI 8	AI 9	
test17	0,4	2,0	1,5							1,3
test22	0,4	1,1	0,4	0,6	2,3	4,0	2,0			1,6
test11	3,0	1,4	1,5	2,5	1,4					2,0
test4	2,7	1,4	1,9							2,0
test34	1,6	3,0	1,6							2,0
test12	2,2	1,9	2,4							2,2
test21	0,4	2,8	4,0	2,3	2,4					2,4
test18	2,3	3,0	2,7	2,6	1,4					2,4
test6	2,9	2,6	2,1	3,1	2,3					2,6
test5	3,8	2,4	1,7							2,6
test10	3,3	1,6	2,4	3,3	2,6	1,9	3,7			2,7
test20	3,1	3,1	3,0	2,3	2,0					2,7
test1	2,0	3,3	2,8	2,9						2,7
test33	2,6	2,5	2,9	3,0						2,7
test9	2,7	2,8	2,2	3,4						2,8
...										
test32	3,9	2,7	5,7	4,0	4,8	4,1				4,2
test3	4,6	4,0	4,5							4,4
test15	4,2	3,8	5,7							4,6
test7	4,2	6,0	6,9	5,5						5,7
test31	6,9	6,3	6,5	6,9						6,6

Tabella 3: Tabella con le medie dei singoli soggetti. In verde sono evidenziate le partite vinte dai giocatori. Sono riportati anche i risultati dei soggetti con le medie più basse per confronto. I risultati esclusi hanno tutti una media personale compresa tra 3,0 e 3,9. È stata aggiunta una colorazione per identificare in quale modalità audio sono state giocate le partite (giallo = 1, rosa = 2). Nell'Appendice A è stata invece inserita la tabella completa (A1).

Le vittorie sui singoli round sono riportate in Figura 37. Qui i soggetti sono stati ordinati in base al numero di round vinti su tutte le partite fatte (linea arancione). La rispettiva media personale è rappresentata dalla linea blu e fino alla fine del grafico non sembra esserci una definita correlazione tra le due. Gli istogrammi invece rappresentano il rapporto tra i punti segnati dal soggetto (ovvero i round vinti) ed il numero di partite effettuate. L'andamento è simile a quello dei round vinti, suggerendo che i due fattori non siano indipendenti. Da questi dati risulta quindi che fino ad una certa media di rimbalzi, di circa quattro, i punti dipendano principalmente dalle variazioni dei parametri di gioco, mentre da quel valore in su l'abilità del giocatore sembra assumere un ruolo più importante.

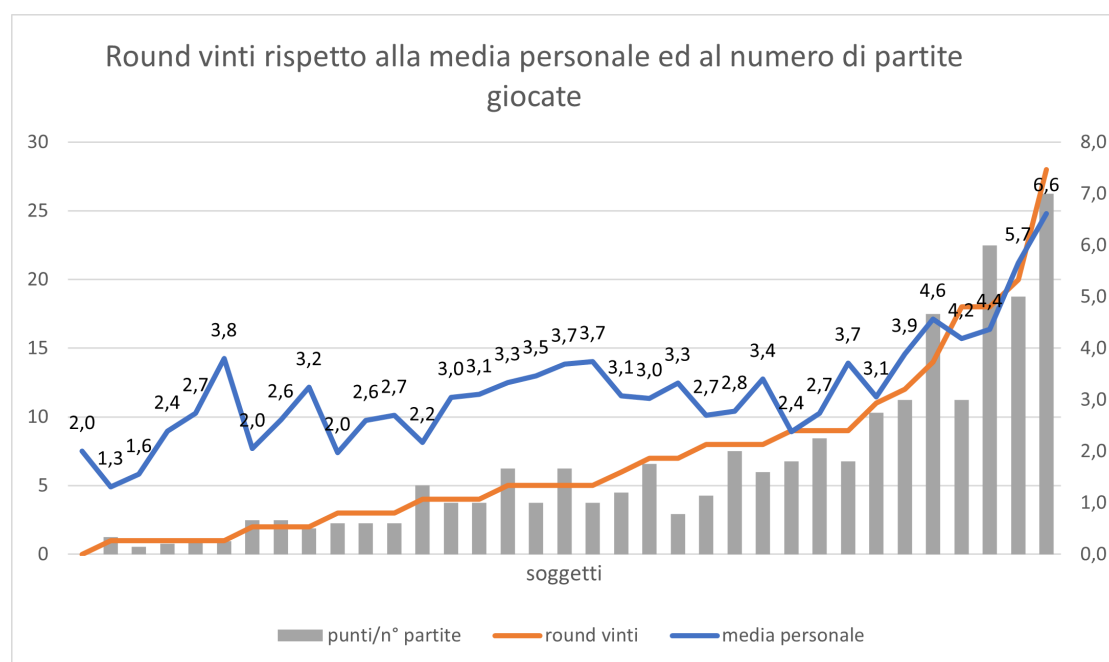


Figura 37: La linea arancione dei round vinti utilizza la scala principale, mentre la linea blu e gli istogrammi utilizzano la scala secondaria. Sull'asse orizzontale sono disposti tutti i soggetti in ordine di round vinti.

Mediamente i round in cui un giocatore ha segnato gol sono durati 5,3 rimbalzi, mentre quelli in cui ha segnato l'IA sono durati 3,9.

È interessante anche osservare i dati raggruppati in base alla frequenza di utilizzo di videogiochi: come mostrato in Figura 38, i dati sembrano suggerire un lieve contributo dato dall'esperienza videoludica, soprattutto distinguendo chi ne ha poca (*mai, raramente o a volte*) con chi ne ha molta di più (*spesso o tutti i giorni*). Non sembra essere tuttavia un fattore particolarmente rilevante nel caso dei rimbalzi medi, soprattutto se si escludono i quattro soggetti che hanno vinto

delle partite (uno nella categoria *a volte*, due nella categoria *spesso* e uno nella categoria *tutti i giorni*), ottenendo il grafico successivo di Figura 39. Nella Tabella 3 infatti, i test numero 17, 11, 12, 21, 33 e 9, sono sei delle 11 persone che hanno espresso di giocare tutti i giorni. La media dei round vinti, invece, sembra suggerire che ci sia un effettivo collegamento con l'abitudine di usare videogiochi: andando a vedere la deviazione standard si ottiene che il gruppo con meno esperienza ha una deviazione standard maggiore di quello con più esperienza, come riportato in Tabella 4. Utilizzare con una certa frequenza videogiochi sembra quindi avere quantomeno l'effetto di far giocare in maniera più consistente, ma non sembra indicare una maggior bravura.

gruppo	deviazione standard
<i>mai + raramente + a volte</i>	0,940
<i>spesso + tutti i giorni</i>	0,463

Tabella 4: Deviazioni standard raggruppando i dati per frequenza di utilizzo dei videogiochi.

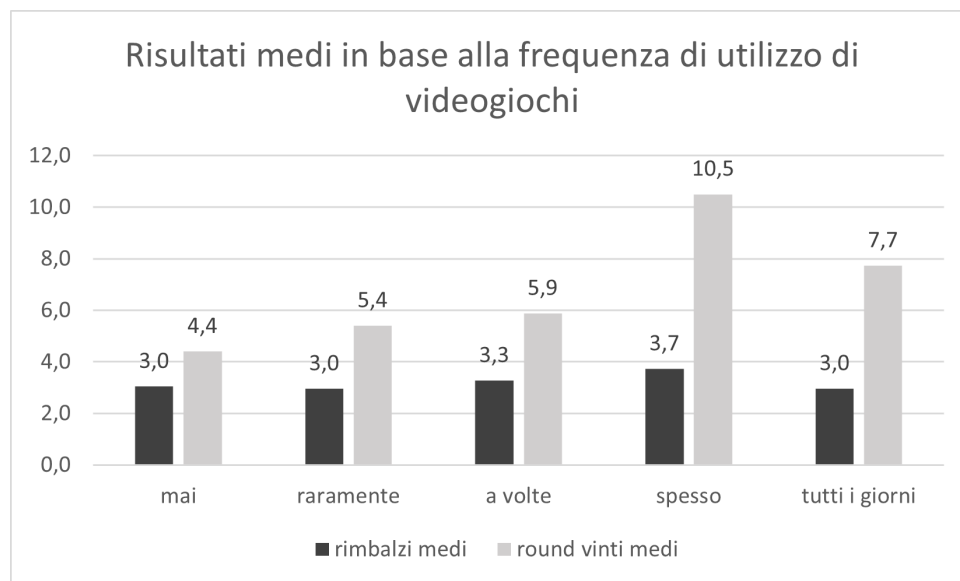


Figura 38: Rappresentazione della media dei rimbalzi e dei round vinti raggruppati per frequenza di uso di videogiochi.

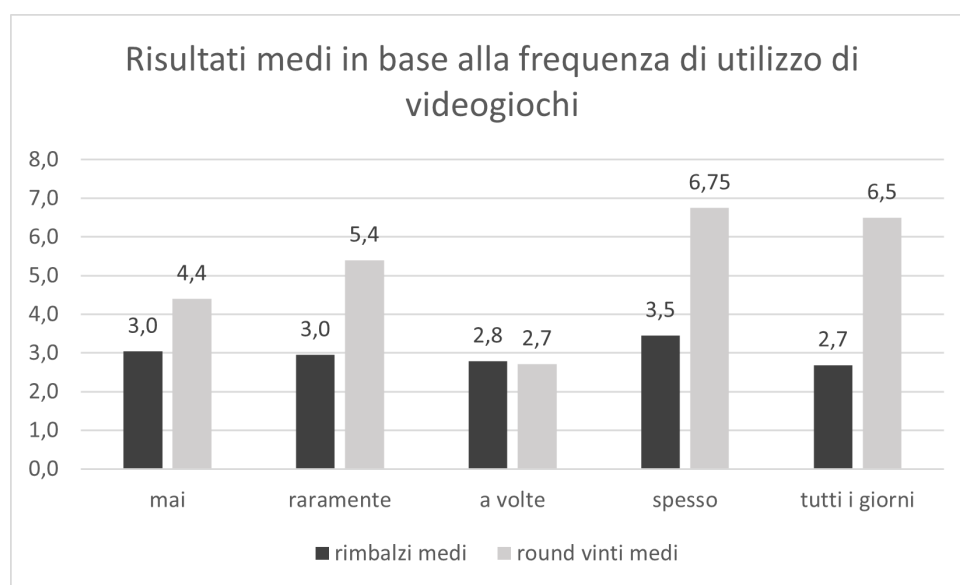


Figura 39: Come il grafico di Figura 38, ma escludendo i quattro soggetti che hanno avuto delle vittorie.

Posizione rimbalzi e gol

Oltre al numero di rimbalzi e gol fatti e subiti, nel caso del giocatore sono state raccolte informazioni su dove questi siano avvenuti. Ad ogni rimbalzo del giocatore e ad ogni gol subito dal giocatore è stata salvata la posizione relativa della palla rispetto alla racchetta.

Queste informazioni sono state raccolte e sintetizzate nel grafico in Figura 40. Per non avere valori troppo dispersi con una sola occorrenza, le posizioni sono state arrotondate ad una sola cifra decimale. Sull'asse orizzontale sono riportate le suddette posizioni, mentre sull'asse verticale quante volte queste siano state registrate. È stata inoltre aggiunta una forma rettangolare che raffigura la racchetta, per evidenziare graficamente le posizioni che corrispondono a rimbalzi, rispetto a quelle che rappresentano gol. Le due barre più scure rappresentano gli estremi per cui si può registrare un rimbalzo e corrispondono ai valori -2,5 e 2,5. Infine, si è voluto specificare che il numero di valori registrati corrispondenti a rimbalzi costituisce il 61,15% dei dati inseriti nel grafico. La distribuzione non sembra avere particolari anomalie ad eccezione di alcuni range con molte più ricorrenze di altri, ed una leggera depressione esattamente al centro, ma questa è comprensibile in quanto la precisione nella localizzazione frontale è minore rispetto a quella laterale.

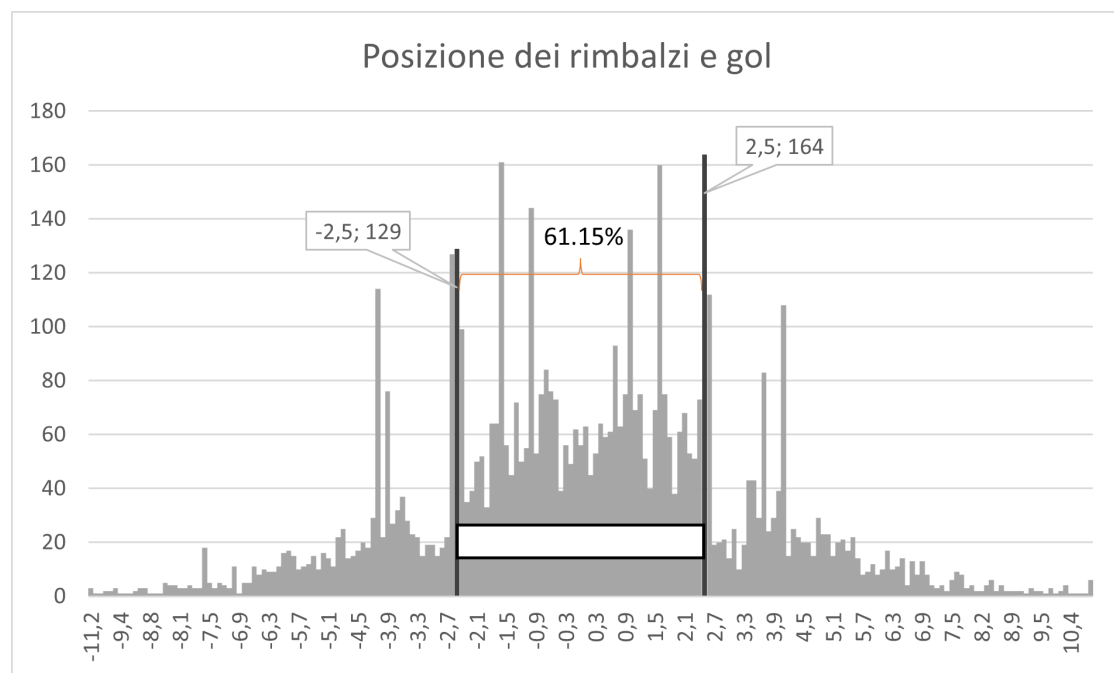


Figura 40: Grafico dei rimbalzi/gol. Tutte le posizioni sono della palla relativamente alla racchetta del giocatore. L'immagine della racchetta è puramente raffigurativa e non rispecchia le proporzioni effettive dell'oggetto di gioco.

5.3 Questionario 2

La prima parte del secondo questionario è incentrata su alcune caratteristiche audio del gioco. Una delle prime domande è stata su cosa fosse stato ritenuto più difficile da localizzare: la racchetta o la palla. Nel grafico in Figura 41 sono riportate le risposte: circa il 70% dei soggetti ha trovato più difficile localizzare la racchetta e i rimanenti voti sono distribuiti quasi equamente tra chi ha avuto difficoltà con la palla e chi non ha espresso una preferenza.

Difficile da localizzare:

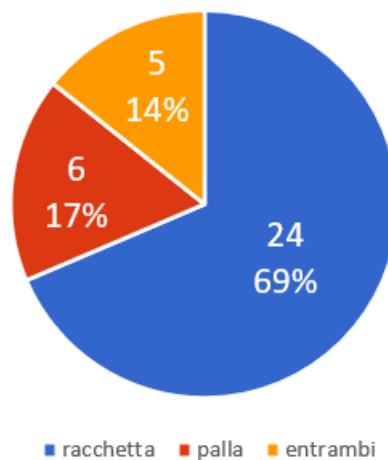


Figura 41: Elemento ritenuto più difficile da localizzare.

Le percentuali sono mantenute anche considerando in maniera separata chi ha scelto di giocare in una modalità audio piuttosto che nell'altra e quindi non sembra essere stato un fattore determinante nella scelta delle modalità audio.

Una leggera correlazione sembra però essere presente nell'identificare la modalità audio 1 come più realistica e la modalità audio 2 come più semplice. Alla domanda (a risposta multipla) del perché fosse stata scelta quella modalità audio, le risposte sono mostrate nei grafici di Figura 42: chi ha scelto la modalità audio 1 lo ha fatto più per realismo, mentre chi ha scelto la modalità audio 2 leggermente più per facilità. Questa autovalutazione sembra essere in linea con il fatto che chi ha scelto la modalità audio 2 abbia ottenuto risultati migliori sulle medie dei rimbalzi (si veda la Fig. 35).

Sempre sulla localizzazione della racchetta è stato chiesto quale elemento audio sia stato più utile per localizzarla e le risposte sono abbastanza equamente distribuite tra lo spostamento laterale del suono e il cambiamento nell'altezza dello

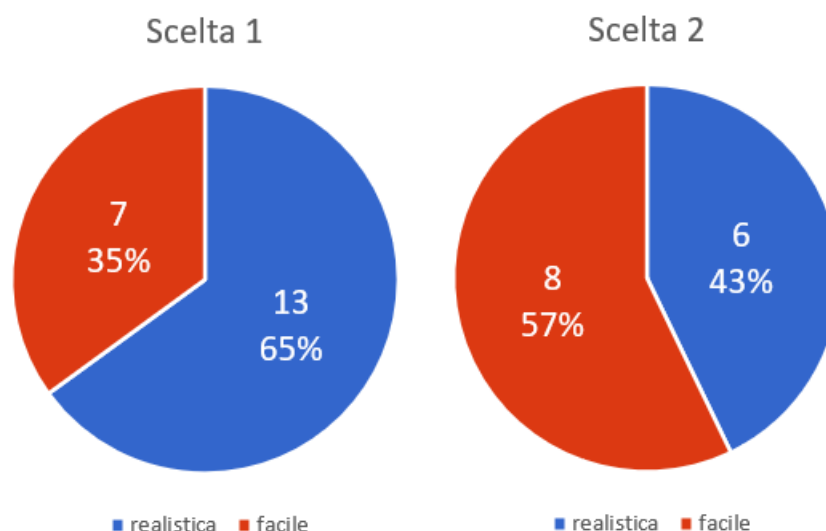


Figura 42: Motivazioni sulla scelta della modalità audio preferita raggruppate in base alla scelta stessa.

stesso (si veda la Fig. 43). In più cinque soggetti hanno usato come metodo principale il suono dovuto allo scontro tra la racchetta ed una delle due sponde laterali. Una persona invece non ha espresso una preferenza tra le prime due opzioni.

In ultima analisi, per la prima parte del secondo questionario, sono state poste due domande sulla giocabilità: in una si chiedeva se l'applicazione era stata ritenuta giocabile solo con l'audio, mentre nell'altra se al soggetto era sembrato di essere migliorato proseguendo con le partite. Le risposte alla prima domanda sono rappresentate in Figura 44 e si nota come solo tre risposte siano state negative, anche se in un terzo dei casi positivi è stato ritenuto possibile attraverso un po' di pratica.

Per la seconda domanda più della metà ha avuto la percezione di essere migliorato ed effettivamente tra i primi grafici visti sui rimbalzi medi era evidenziata una lieve crescita, anche se non particolarmente indicativa a livello statistico (si veda la Fig. 32).

Game Experience Questionnaire

Le risposte alle domande proposte del GEQ (si veda la Sez. 5.1.1) sull'esperienza di gioco sono state utilizzate per estrarre una serie di parametri su come si siano sentiti i soggetti durante e dopo aver giocato (si vedano rispettivamente le Tabelle 5 e 6). I valori sono le medie delle risposte date e quindi seguono la stessa scala:

Localizzazione racchetta

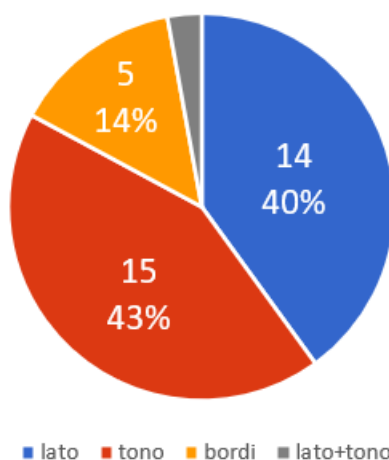


Figura 43: Maggior contributo nel localizzare la racchetta. Seguendo la legenda: spostamento del suono tra le cuffie, variazione di frequenza del suono, contatto con i bordi ed entrambe le prime.

Giocabilità audio-only

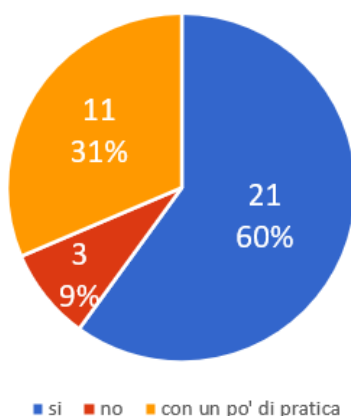


Figura 44: Giudizio sulla giocabilità solo attraverso stimoli audio.

Miglioramento

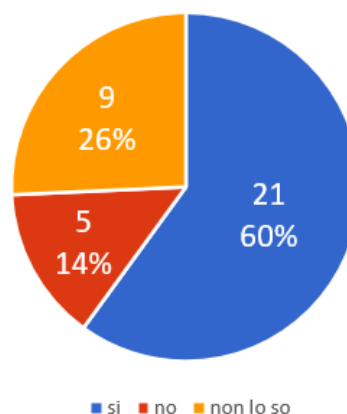


Figura 45: Giudizio sulla percezione di un miglioramento nel corso dei test.

da 1 a 5 dove 1 equivale a “per niente”, 2 ad “appena”, 3 ad “abbastanza”, 4 a “molto” e 5 equivale ad “estremamente”.

Considerazioni su queste tabelle sono trattate nelle conclusioni dentro al Capitolo 6.

componente	score
competenza	2,4
concentrazione	3
tensione/fastidio	2,1
sfida	4,1
influenza negativa	1,8
influenza positiva	3,2

Tabella 5: Componenti che raggruppano le domande sulle sensazioni provate in gioco.

componente	score
esperienza positiva	2,9
esperienza negativa	1,6
stanchezza	1,7

Tabella 6: Componenti che raggruppano le domande sulle sensazioni provate dopo aver finito i test.

5.4 Casi particolari

Sono stati brevemente analizzati alcuni casi ritenuti possibilmente di interesse. I relativi dati possono essere comparati a quelli di tutti i soggetti consultando le tabelle dell'Appendice A (tabella A1 per i dati delle sole partite in modalità di gioco AI, tabella A2 per i dati su tutte le partite).

test31 Questo è stato il soggetto con la migliore performance: con la media di rimbalzi più alta e il maggior numero di partite vinte: quattro su quattro. Il giocatore, nelle partite con l'IA, ha segnato 28 gol e ne ha subiti otto.

È interessante segnalare il fatto che nonostante dalla Tabella 3 i risultati sembrano poco più alti rispetto al secondo con il migliore risultato, in realtà la differenza è più netta andando a guardare i dati completi (tabella A2 in appendice A), riportati per comodità nella Tabella 7.

test31	14,8	10,3	6,9	6,3	6,5	6,9						14,6	9,5
--------	------	------	-----	-----	-----	-----	--	--	--	--	--	------	-----

Tabella 7: Dati estesi sul soggetto 31.

Da queste informazioni è ben evidenziata la restrizione sui rimbalzi data dall'IA nelle relative partite: in modalità di gioco endless il giocatore ha registrato una

media di rimbalzi doppia rispetto alla modalità di gioco AI (13,2 contro 6,6).

In questo caso si può assumere che il soggetto non abbia avuto problemi nell'interagire con il gioco attraverso stimoli sonori, nonostante la frequenza di utilizzo di videogiochi dichiarata nei questionari sia media.

L'elemento segnalato più difficile da localizzare è stata la racchetta, ed il metodo migliore di riconoscimento è stato utilizzare gli urti contro i le sponde (si vedano le Fig. 41 e 43).

test11 Questo soggetto è già stato citato nella Sezione 5.1.2 sulla popolazione perché sotto terapia cronica con medicinali che influiscono su aspetti ritenuti importanti nello svolgimento dei test.

I risultati sono stati tra i più bassi, com'era possibile prevedere dalla maggiore inibizione dovuta alla situazione personale, e analizzando le medie delle partite fatte (si veda la Tab. 8), non si notano particolari segni di miglioramento.

test11	3,0	1,8	3,0	1,4	1,5	2,5	1,4					1,3	2,0
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--	--	--	--	-----	-----

Tabella 8: Dati estesi sul soggetto 11.

In questo caso il giocatore, contro l'IA, ha subito 35 gol e ne ha segnati tre e non vi sono ambiguità sui rimbalzi medi dovute all'intervento di una IA.

È interessante segnalare che il soggetto ha 33 anni, ha dichiarato di utilizzare videogiochi con frequenza giornaliera e risulta essere uno dei pochi ad aver espresso di aver avuto una maggiore difficoltà nel localizzare la palla rispetto alla racchetta (si veda la Fig. 41).

test22 L'ultima persona considerata è quella che, su tutte le partite che ha giocato, ha ottenuto la media di rimbalzi più bassa, come risulta dai dati nella Tabella 9.

test22	1,2	2,8	0,4	1,1	0,4	0,6	2,3	4,0	2,0			2,4	1,7
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--	--	-----	-----

Tabella 9: Dati estesi sul soggetto 22.

Sulle sette partite giocate in modalità AI, un solo gol è stato segnato rispetto ai 49 subiti.

L'analisi temporale delle partite suggerisce che in questo caso ci sia stata una sorta di apprendimento. Andando a contare i rimbalzi nelle singole partite, si vede infatti che le ultime tre partite sono andate molto meglio rispetto alle prime (si veda la Tab. 10).

partita AI	rimbalzi solo del giocatore
1	0
2	2
3	0
4	0
5	4
6	8
7	3

Tabella 10: Totale rimbalzi del giocatore per singola partita AI.

Questo andamento era già stato segnalato nelle Figure 31 e 32, ma i dati non sono sufficientemente numerosi o significativi per affermare che sia una caratteristica generalizzabile.

Anche in questo caso l'età è 32 anni, ma la frequenza di utilizzo di videogiochi è media ("a volte").

Capitolo 6

Conclusioni

6.1 Risultati

Esperienza di gioco

Dal punto di vista dell'esperienza di gioco, i risultati del GEQ risultano essere promettenti: le componenti positive, infatti, hanno ottenuto risultati medi/altri, mentre le componenti negative hanno valori più bassi. Dalla prima tabella, sull'esperienza provata giocando (si veda la Tab. 5):

- *competenza*. In questa categoria i soggetti si sono espressi sul fatto di essersi sentiti abili nel giocare, lasciando come giudizio medio 2,4. Questo valore si trova a metà tra “appena” ed “abbastanza” ed è la caratteristica positiva meno votata. Visti i risultati analizzati nella Sez. 5.2 è naturale aspettarsi un feedback basso, soprattutto considerando che si tratta di un'esperienza videoludica diversa da praticamente tutto quello a cui si è abituati.
- *concentrazione*. Con un parere equivalente ad “abbastanza”, si può assumere che i soggetti si siano ritenuti sufficientemente coinvolti nel gioco. Questo a maggior ragione se si tiene in considerazione la sua natura originale di gioco arcade sportivo: senza una storia, personaggi o ambientazioni da cui farsi coinvolgere, ma una sfida di abilità dal design estremamente semplice.
- *tensione/fastidio*. In questa categoria una valutazione di 2,1 evidenzia principalmente una sensazione di frustrazione ricollegabile alla difficoltà del gioco. La principale frustrazione espressa è stata quella di subire gol all'inizio del round, senza riuscire a fare nemmeno il primo rimbalzo.
- *sfida*. Questa categoria ha raccolto il punteggio più alto di tutte (4,1) e da una parte indica quanto il gioco sia stato trovato difficile e quanto i soggetti

abbiano dovuto impegnarsi, mentre dall'altro quanto sia stato preso come sfida e quindi quanto abbia coinvolto i giocatori sotto questo aspetto.

- *influenza negativa*. Dall'1,8 risultato da questa componente possiamo concludere che le persone che hanno effettuato i test non hanno quasi per niente percepito influenze negative sul morale o sulla stanchezza.
- *influenza positiva*. I soggetti invece sembrano aver tratto benefici da queste poche partite al gioco, con giudizi positivi sull'essersi "abbastanza" divertiti e aver provato sensazioni piacevoli.

Dalla seconda tabella (si veda la Tab. 6), incentrata su quello che l'esperienza di gioco ha lasciato ai soggetti:

- *esperienza positiva*. Con un valore prossimo all'"abbastanza" (2,9) i giocatori hanno espresso un parere generalmente positivo sull'esperienza, ritenendosi soddisfatti.
- *esperienza negativa*. Coerentemente l'esperienza non ha contribuito negativamente sui soggetti, ottenendo il valore più basso di 1,6.
- *stanchezza*. Infine, le partite giocate non sembrano aver pesato mentalmente e fisicamente, con un giudizio di 1,7, tra "appena" e "per niente".

Visti i giudizi medi-alti sull'*influenza positiva* e sull'*esperienza positiva* nonostante il valore medio-basso della *competenza*, le difficoltà incontrate a causa del diverso approccio sensoriale sembrano essere state comprese ed accettate dai giocatori, lasciando comunque una traccia positiva.

Un risultato inaspettato rivelato dal questionario è stato quello della *stanchezza*: data la natura dei suoni (digitali, ascoltati in cuffie o auricolari, fortemente localizzati e poco naturali) uno dei timori era quello di generare stanchezza dall'ascolto ripetuto, tenendo anche in considerazione che solo pochi test sono durati meno di mezz'ora, dalle prove iniziali fino all'ultima partita.

Interazioni

Dal punto di vista delle interazioni audio, il problema principale si è rivelato essere il capire la posizione della racchetta controllata dal giocatore. È possibile che questo sia uno dei fattori che ha portato chi ha scelto la modalità audio 2 (solidale alla racchetta) ad ottenere risultati maggiori: in questo caso, infatti, la posizione della racchetta non è rilevante ai fini puramente di gioco. La difficoltà è comunque stata riscontrata anche per questi soggetti.

L'implementazione degli stimoli relativi alla posizione della palla, invece, è stata ritenuta sufficiente e soddisfacente, fin dalle partite di prova prima dei test.

Per definire quanto effettivamente sia maggiormente chiara la posizione della palla rispetto alla posizione della racchetta potrebbe essere utile ed interessante prevedere dei test in cui i giocatori hanno modo di vedere esclusivamente la racchetta e le sponde ai suoi lati. Con questa modifica, nel caso i risultati dovessero migliorare sarebbe confermata la maggior confidenza nell'identificare la posizione della palla rispetto a quella della racchetta.

Si lascia l'esperimento come eventuale sviluppo futuro.

Escluse le interazioni con la racchetta, tutti gli altri stimoli audio sono stati ben accolti dai soggetti, sia quelli più tradizionali come il conto alla rovescia o il suono del gol, che quelli più particolari, come gli urti, o non convenzionali, come il flusso di bolle utilizzato per descrivere la posizione della palla.

In generale, inoltre, si può dire che i dati anagrafici (sesso ed età) non sembrano aver influenzato i risultati dei test sulle partite. Anche la frequenza di utilizzo dei videogiochi non sembra portare particolari benefici: nonostante chi giochi più spesso sembri avere vinto, in media, qualche round in più, il numero di rimbalzi medi non è più alto rispetto agli altri.

Infine, visti soprattutto i pareri personali dei soggetti, sembra che gli stimoli sonori con cui sono gestite le interazioni siano sufficientemente informativi da permettere un apprendimento ed un miglioramento nei risultati ottenuti. Anche i dati raccolti sembrano tendere verso questa conclusione (si veda la Fig. 32), ma i risultati non sono abbastanza netti né i dati sufficienti a confermare questa ipotesi.

Giocabilità

Dal punto di vista della giocabilità questa versione di Pong sembra dipendere molto dal giocatore stesso, presentandosi come un ostacolo difficile da superare per chi non dimostra una certa attitudine nell'interpretare gli stimoli audio.

Un altro fattore importante è sicuramente il comportamento dell'avversario. Date le finalità di questo progetto è stato ritenuto più utile mantenere una IA governata da regole semplici, di modo che non impattasse troppo sui risultati.

Dal punto di vista puramente videoludico, tuttavia, sarebbe opportuno apportare delle modifiche. Alcune di queste potrebbero prevedere un bilanciamento dell'intelligenza artificiale a seconda delle performance del giocatore, oppure modificare la meccanica di aumento della velocità della palla durante il round.

Anche per queste modifiche si rimanda agli eventuali sviluppi futuri.

6.2 Problemi noti

Si segnalano i seguenti problemi noti relativi all'applicazione realizzata per lo studio.

- Sotto condizioni non del tutto verificate è stato visto che nella fase di preparazione del round la palla potrebbe conservare del movimento dal round precedente, venendo lanciata da un punto leggermente diverso da quello voluto. Sembra avvenire quando la palla viene toccata dalla racchetta del giocatore allo stesso momento in cui viene registrato il gol. Questo bug non compromette la giocabilità o la validità dei test, ma rimane un effetto indesiderato.
- Quando la palla rimbalza sulla racchetta del giocatore, mentre questa si trova a contatto di una sponda e al contempo il giocatore sta premendo il movimento nella stessa direzione della sponda stessa, nel frame temporale in cui avviene l'urto, la racchetta si muove appena all'interno della sponda. Questo si ritiene essere dovuto al fatto che l'urto palla-racchetta fa ignorare l'urto sponda-racchetta per il singolo istante del contatto, permettendo il movimento descritto. Nel momento in cui ci si muove nella direzione opposta, tuttavia, la racchetta si muove liberamente, non rimanendo incastrata nella parete, e quindi la partita non ne è influenzata se non nel particolare caso in cui la palla assuma una traiettoria per cui si ritrovi a rimbalzare più volte di fila nello stesso angolo e il giocatore continui ad inviare l'input di movimento in quella direzione.

6.3 Sviluppi futuri

Si presentano ora alcune modifiche o aggiunte ritenute interessanti.

- Campo. Cambiare le proporzioni del campo aumentando lo spazio percorribile dal giocatore e vedere se, come presunto, diventa più difficile giocare avendo palla a racchetta più posizioni possibili.
- Suoni racchetta. Aumentare e/o cambiare gli stimoli sonori associati alla racchetta per facilitarne l'interpretazione della posizione da parte del giocatore.
- Modalità a visibilità parziale. Sperimentare con alcuni test specifici su visibilità parziali, come citato in precedenza (si veda Sez. 6.1). Ad esempio lasciando visibile la racchetta per stabilire la precisione con cui si localizza la palla o, viceversa, lasciando visibile la palla e fare test per la racchetta.

- **Sonificazione totale.** Il progetto prevede l'utilizzo totale dell'audio solo per le fasi di gioco effettivo, mentre la navigazione dei menu non è supportata da riferimenti sonori, o software tts, e richiede l'utilizzo della vista. Per lo scopo del progetto queste caratteristiche non erano necessarie, ma per una eventuale distribuzione rivolta anche, ma non solo, ad un pubblico non vedente, bisognerebbe arricchire anche tutte queste parti di elementi audio. Lo stesso varrebbe per delle istruzioni sul gioco.
- **Dispositivi mobili.** Una delle opzioni valutate all'inizio, ma scartata, era stata quella di realizzare il progetto per dispositivi mobili, utilizzando il giroscopio come sistema di input. In questo caso, l'utilizzo del dispositivo come racchetta stessa potrebbe arricchire le interazioni con il gioco e renderle più intuitive, magari portando a diversi risultati e diverse preferenze tra le modalità audio (ad esempio potrebbe semplificare la localizzazione della racchetta e far migliorare i risultati della modalità audio 1).
- **Campioni diversi.** Utile al fine di trarre conclusioni sulle interazioni di questo gioco sarebbe anche estrapolare risultati da un campione a cui viene sottoposta la sperimentazione con una fase di preparazione diversa. L'esperimento è stato basato sulla comprensione degli stimoli audio anche grazie a delle prove visive iniziali. Potrebbe essere interessante paragonare questo campione con uno a cui vengono fornite le stesse informazioni, ma a cui non viene fatto provare prima il gioco con la vista. Inoltre, sarebbe utile far giocare persone con deficit visivi e quindi, tendenzialmente, con un senso dell'udito più fine ed allenato, e vedere se i risultati sono più alti rispetto a quelli ottenuti.
- **Rimbalzi.** Implementare rimbalzi più vari in cui l'angolo di riflessione può cambiare, entro certi limiti, in base a dove viene toccata la palla con la racchetta.
- **IA.** Modificare l'IA e le meccaniche di gioco in modo da facilitare l'approccio ad un gioco simile ad ogni tipologia di giocatore. In questo caso bisognerebbe fare attenzione a trovare il corretto bilanciamento tra rendere il gioco player-friendly e lasciarlo al tempo stesso abbastanza impegnativo per chi si trova bene a giocare senza stimoli visivi, visto il giudizio positivo dato sotto questo aspetto.

Appendice A

Tabelle

Nella tabella A1 sono rappresentati i valori del numero di rimbalzi medi di ogni soggetto in ogni partita giocata contro l'intelligenza artificiale e la risultante media totale personale. Il colore rappresenta la modalità audio scelta (giallo = 1, rosa = 2). I dati sono ordinati per media personale crescente.

Tabella A1

soggetto	medie singoli test									media personale
	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5	AI6	AI7	AI8	AI9	
test17	0,4	2,0	1,5							1,3
test22	0,4	1,1	0,4	0,6	2,3	4,0	2,0			1,6
test11	3,0	1,4	1,5	2,5	1,4					2,0
test4	2,7	1,4	1,9							2,0
test34	1,6	3,0	1,6							2,0
test12	2,2	1,9	2,4							2,2
test21	0,4	2,8	4,0	2,3	2,4					2,4
test18	2,3	3,0	2,7	2,6	1,4					2,4
test6	2,9	2,6	2,1	3,1	2,3					2,6
test5	3,8	2,4	1,7							2,6
test10	3,3	1,6	2,4	3,3	2,6	1,9	3,7			2,7
test20	3,1	3,1	3,0	2,3	2,0					2,7
test1	2,0	3,3	2,8	2,9						2,7
test33	2,6	2,5	2,9	3,0						2,7
test9	2,7	2,8	2,2	3,4						2,8
test2	3,2	3,8	3,0	2,1						3,0
test23	2,4	4,3	1,8	3,7						3,0

test26	1,8	3,0	3,6	3,9						3,1
test24	1,9	3,9	2,9	3,0	3,8					3,1
test8	3,2	2,8	3,0	3,4						3,1
test29	5,3	2,7	1,6	3,3						3,2
test19	2,6	3,0	2,3	3,6	3,5	3,8	2,7	3,8	4,7	3,3
test35	3,1	4,0	2,9							3,3
test25	3,6	3,1	4,3	2,7	3,3					3,4
test13	3,3	2,4	3,4	4,9	3,3					3,5
test16	5,7	3,5	1,9							3,7
test27	3,0	2,1	4,6	4,3	4,5					3,7
test28	2,3	4,0	4,1	4,7	3,6					3,7
test30	3,6	4,7	2,3	4,6						3,8
test14	3,2	3,7	4,2	4,4						3,9
test32	3,9	2,7	5,7	4,0	4,8	4,1				4,2
test3	4,6	4,0	4,5							4,4
test15	4,2	3,8	5,7							4,6
test7	4,2	6,0	6,9	5,5						5,7
test31	6,9	6,3	6,5	6,9						6,6

Nella tabella A2 sono rappresentati i valori del numero di rimbalzi medi di ogni soggetto su tutte le partite effettuate, sia in modalità di gioco endless che in modalità di gioco AI, e la risultante media totale personale. I colori delle prime due partite endless (E1, E2) indicano a quale gruppo il soggetto appartiene (gruppo 1 se E1 gialla ed E2 rosa, gruppo 2 se E1 rosa ed E2 gialla), mentre il colore dell'ultima partita endless (E3) indica la modalità audio scelta. I dati sono ordinati per media personale crescente.

Tabella A2

soggetto	medie singoli test												media personale
	E1	E2	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5	AI6	AI7	AI8	AI9	E3	
test22	1,2	2,8	0,4	1,1	0,4	0,6	2,3	4,0	2,0			2,4	1,7
test11	3,0	1,8	3,0	1,4	1,5	2,5	1,4					1,3	2,0
test12	1,7	1,4	2,2	1,9	2,4							3,1	2,1
test4	2,1	2,2	2,7	1,4	1,9							2,5	2,1
test18	1,4	2,6	2,3	3,0	2,7	2,6	1,4					1,9	2,2
test34	4,2	2,6	1,6	3,0	1,6							1,1	2,3
test20	1,2	2,1	3,1	3,1	3,0	2,3	2,0					3,2	2,5

test33	2,1	2,7	2,6	2,5	2,9	3,0						3,3	2,7
test26	1,8	2,1	1,8	3,0	3,6	3,9						3,5	2,8
test1	2,6	2,5	2,0	3,3	2,8	2,9						3,7	2,8
test17	6,1	2,7	0,4	2,0	1,5							4,2	2,8
test24	1,9	3,2	1,9	3,9	2,9	3,0	3,8					3,0	2,9
test6	4,4	2,4	2,9	2,6	2,1	3,1	2,3					4,0	3,0
test10	1,4	5,8	3,3	1,6	2,4	3,3	2,6	1,9	3,7			4,6	3,1
test5	3,8	3,9	3,8	2,4	1,7							3,7	3,2
test2	1,8	6,1	3,2	3,8	3,0	2,1						2,6	3,2
test9	3,0	4,5	2,7	2,8	2,2	3,4						4,2	3,3
test21	5,2	4,1	0,4	2,8	4,0	2,3	2,4					5,4	3,3
test29	5,0	2,8	5,3	2,7	1,6	3,3						2,8	3,4
test13	2,4	1,9	3,3	2,4	3,4	4,9	3,3					6,1	3,5
test30	2,2	2,3	3,6	4,7	2,3	4,6						4,9	3,5
test19	3,2	6,9	2,6	3,0	2,3	3,6	3,5	3,8	2,7	3,8	4,7	2,5	3,5
test27	3,2	2,3	3,0	2,1	4,6	4,3	4,5					4,3	3,5
test23	6,2	3,5	2,4	4,3	1,8	3,7						3,1	3,6
test28	3,5	2,8	2,3	4,0	4,1	4,7	3,6					3,7	3,6
test35	3,4	5,6	3,1	4,0	2,9							2,7	3,6
test25	4,2	4,4	3,6	3,1	4,3	2,7	3,3					4,7	3,8
test8	3,3	6,7	3,2	2,8	3,0	3,4						4,8	3,9
test16	2,9	5,4	5,7	3,5	1,9							4,2	3,9
test14	3,5	4,0	3,2	3,7	4,2	4,4						4,6	3,9
test32	4,4	6,2	3,9	2,7	5,7	4,0	4,8	4,1				4,7	4,5
test3	4,6	2,5	4,6	4,0	4,5							7,9	4,7
test15	3,6	5,7	4,2	3,8	5,7							6,2	4,9
test7	4,5	6,0	4,2	6,0	6,9	5,5						9,2	6,0
test31	14,8	10,3	6,9	6,3	6,5	6,9						14,6	9,5

Bibliografia

- [1] Simon Tripp, Martin Grueber, Joseph Simkins, and Dylan Yetter. Video games in the 21st century: The 2020 economic impact report, 2020.
- [2] Axel Stockburger. The game environment from an auditory perspective. In *Proceedings: Level Up: Digital Games Research Conference. Utrecht University*, volume 2, 2003.
- [3] Karen Collins. Game sound: An introduction to the history, theory, and practice of video game music and sound design. 2008.
- [4] Mats Liljedahl. Sound for fantasy and freedom. 2011.
- [5] Niklas Röber and Maic Masuch. Playing audio-only games: A compendium of interacting with virtual, auditory worlds. In *DiGRA Conference*, 2005.
- [6] Niklas Röber and Maic Masuch. Leaving the screen new perspectives in audio-only gaming. 2005.
- [7] Johnny Friberg and Dan Gärdenfors. Audio games: New perspectives on game audio. pages 148–154, 01 2004.
- [8] R.H. Baer. *Videogames: In the Beginning*. Rolenta Press, 2005.
- [9] Bosun Xie. *Head-related transfer function and virtual auditory display*. J.Ross Pubs, 2013.
- [10] Kazuhiro Iida. *Individuality of HRTF*, pages 59–105. 2019.
- [11] Gavin Kearney and Tony Doyle. An hrtf database for virtual loudspeaker rendering. *Journal of the audio engineering society*, 2015.
- [12] Simone Spagnol, Kristján Bjarki Purkhús, Rúnar Unnthórsson, and Sverrir Karl Björnsson. The viking hrtf dataset. In *16th Sound and music computing conference*, pages 55–60. Sound and Music Computing Network, 2019.

- [13] Cal Armstrong, Lewis Thresh, Damian Murphy, and Gavin Kearney. A perceptual evaluation of individual and non-individual hrtfs: A case study of the sadie ii database. *Applied Sciences*, 8(11):2029, 2018.
- [14] Matthew Wright. Open sound control: an enabling technology for musical networking. *Organised Sound*, 10(3):193–200, 2005.
- [15] Andy Farnell. An introduction to procedural audio and its application in computer games, 2007.
- [16] Miller Puckette. Max at seventeen. *Computer Music Journal*, 26:31–43, 2002.
- [17] E. Adams. *Fundamentals of Game Design*. Always learning Pearson. New Riders, 2014.
- [18] Simone Spagnol, Rebekka Hoffmann, Marcelo Herrera Martínez, and Runar Unnthorsson. Blind wayfinding with physically-based liquid sounds. *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, 115:9–19, 2018.
- [19] R. Timmers and L. Shen. Representation of pitch in horizontal space and its dependence on musical and instrumental experience. *Psychomusicology: Music, Mind and Brain*, 26(2):139–148, June 2016.
- [20] Wa Wijnand IJsselsteijn, de Yaw Yvonne Kort, and Karolien Poels. The game experience questionnaire. 2013.
- [21] Effie L.-C. Law, Florian Brühlmann, and Elisa D. Mekler. Systematic review and validation of the game experience questionnaire (geq) - implications for citation and reporting practice. In *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, CHI PLAY '18, page 257–270, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.



Progetto sviluppato presso il Laboratorio di Informatica Musicale
<https://www.lim.di.unimi.it>