

TECNOLOGIE PER LA DIDATTICA MUSICALE: UN'ESPERIENZA CON LA REALTÀ VIRTUALE

Michele Geronazzo

Rolf Nordhal

Stefania Serafin

Dept. of Architecture, Design & Media Tech.

Aalborg University Copenhagen

{mge, rn, sts}@create.aau.dk

Edoardo Degli Innocenti

Diego Vescovi

Dept. of Information Eng.

University of Padova

edosigma@gmail.com

ves.diego@gmail.com

Federico Avanzini

Dept. of Computer Science

University of Milano

avanzini@di.unimi.it

ABSTRACT

La mobile virtual reality (VR) sta diventando sempre più popolare e accessibile a tutti coloro che possiedono un nuovo smartphone. In particolare, la didattica digitale può trarre vantaggio dall'interazione naturale e dall'immersione in ambienti virtuali, a partire dalla scuola primaria. Questo articolo presenta un quadro tecnico e metodologico a supporto dell'uso della mobile virtual reality nell'istruzione primaria, volto a migliorare l'apprendimento musicale in termini di ascolto attivo, attenzione e tempo. Viene innanzitutto presentata un'applicazione multiplatforma chiamata VR4EDU, di cui si descrivono le scelte di progetto e lo sviluppo delle applicazioni di virtual reality, con particolare attenzione a una innovativa soluzione di "locomozione virtuale" che risulta essere intuitiva e usabile. Le applicazioni di VR4EDU possono funzionare su hardware a basso costo, diventando quindi appetibili per un uso didattico. L'approccio proposto è stato validato tramite uno studio con due classi dell'ultimo anno di scuola primaria, incentrato sull'identificazione e l'apprendimento dei generi musicali. Una valutazione preliminare dei risultati mostra un miglioramento nell'apprendimento della caratterizzazione del genere rispetto alle lezioni tradizionali basate su materiale stampato e ascolto passivo.

1. INTRODUZIONE

In molti paesi occidentali, l'educazione musicale ha subito tagli dei finanziamenti pubblici, seguendo una tendenza generale a deprivilegiare la musica e le altre attività legate all'arte [1]. Questi tagli sono negativi, soprattutto considerati i molti potenziali benefici dell'educazione musicale per i bambini. Ricerche precedenti mostrano che l'educazione musicale è utile per migliorare le capacità cognitive spazio-temporali [2], anche se i benefici nel migliorare le prestazioni in altre materie, come ad esempio la matematica, non sono stati ancora dimostrati. L'educazione musicale comprende sia l'apprendimento di uno strumento che imparare a conoscere la teoria della musica e la sua storia.

Copyright: ©2018 Michele Geronazzo et al. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 3.0 Unported](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

La Realtà Virtuale (VR) è stata recentemente adottata per insegnare diverse materie, che vanno dalla storia dell'arte [3] all'anatomia [4] e ad altre discipline scientifiche che richiedono l'uso di un laboratorio [5].¹ La musica, tuttavia, non rientra tra i sopracitati argomenti. La principale domanda di ricerca di questo articolo è se la VR può essere efficacemente sfruttata per l'apprendimento della musica nelle scuole primarie, con un focus sulla teoria e la storia della musica. In particolare proponiamo una nuova applicazione di VR, denominata VR4EDU di seguito, che viene utilizzata in questo studio per facilitare l'apprendimento dei generi musicali.

La maggior parte delle applicazioni educative sviluppate finora usa dispositivi di VR piuttosto costosi. Infatti una delle ragioni per cui le tecnologie VR sono rimaste finora lontane dalla portata delle scuole primarie è la fattibilità finanziaria [6]. Tuttavia, questa limitazione è ora in fase di superamento grazie allo sviluppo di tecnologie hardware a basso costo e alla disponibilità di pacchetti software per la simulazione di ambienti 3D. Ad esempio, per le attività in classe sono state pensate appositamente soluzioni come i visori VR di cartone (che possono essere messi a disposizione di un'aula) in combinazione con smartphone (tipicamente già posseduti dagli alunni o dalle loro famiglie), facilitando esperienze interattive e personalizzate di apprendimento immersivo [7, 8]. La tecnologia di VR per smartphone, in particolare, può essere facilmente introdotta nelle dinamiche di insegnamento in classe [9]. In questo lavoro seguiamo questo approccio e utilizziamo visori VR mobili disponibili in commercio in combinazione con software multiplatforma gratuiti.

Ci rivolgiamo a parte del programma nazionale di musica per le scuole primarie italiane, con specifico riferimento a un sottoinsieme di obiettivi di apprendimento, conoscenze, abilità e attività, evidenziati in corsivo nella Tabella 1.

Il punto (1) riguarda la conoscenza degli strumenti musicali: VR4EDU approfondisce la conoscenza di strumenti legati a specifici generi musicali. Il punto (2) si riferisce all'esperienza di ascolto, tradizionalmente basata sulla riproduzione mono o stereo in classe: con VR4EDU l'esperienza di ascolto è individuale, in quanto la musica viene trasmessa attraverso auricolari e arricchita da un ambiente immersivo. Il punto (3) ha a che fare con la cultura musicale, in particolare con i generi musicali, ed è l'obiettivo

¹ Una risorsa preziosa è <https://vrschoolresearch.com/>

Tabella 1: Porzione del programma di musica della scuola pubblica. Le voci numerate e in grassetto rappresentano parti specifiche del programma prese in considerazione da VR4EDU.

<i>Obiettivi di apprendimento</i>	<i>Conoscenza</i>	<i>Competenze</i>	<i>Attività</i>
Essere in grado di cantare conoscendo le regole della musica.	(1) Conoscere le caratteristiche sonore e le famiglie di strumenti.	Saper rispettare le regole della direzione musicale	(2) Ascolto, registrazione dati, registrazione di programmi specifici con il computer, il LIM o il CD.
Essere in grado di seguire correttamente il ritmo.	Conoscere la notazione convenzionale.	(1) Sapere riconoscere l'appartenenza di uno strumento alla sua famiglia.	Canzoni da esercitazione eseguite con strumentazione d'aula, con flauto o con strumenti personali.
Essere in grado di suonare strumenti ritmici facili o altri strumenti melodici.	Conoscere le componenti antropologiche della musica. (3) Conoscere canzoni appartenenti a un repertorio variegato di genere popolare.	Sapere utilizzare risorse espressive nell'intonazione di canti semplici sia singolarmente che in gruppo, nel rispetto delle regole stabilite.	Esercitazione di canto corale o individuale con l'uso del microfono.
	Conoscere le quattro dimensioni del suono (intonazione, timbro, volume, durata).	Sapere leggere e interpretare testi di brani legati ad uno specifico contesto storico-sociale della canzone.	(4) Attività grafica-pittorica, attività di danza o interpretazione con il corpo.
		Sapere eseguire brani semplici con il flauto, da solo o in gruppo.	

principale dell'applicazione: VR4EDU espone gli alunni a brani musicali che appartengono a generi diversi e possono essere ascoltati ed esplorati in modo interattivo. Infine, il punto (4) riguarda le attività di apprendimento, in particolare le attività di movimento con la musica: VR4EDU utilizza i movimenti del corpo per consentire agli alunni di muoversi all'interno dell'ambiente virtuale 3D, incoraggiandoli a ballare sul posto e spostarsi mentre ascoltano la traccia di musica di sottofondo.

2. LAVORI CORRELATI

Il potenziale delle nuove tecnologie per migliorare i risultati e l'apprendimento degli studenti – se usate in modo appropriato – è stato riconosciuto da molto tempo [10]. In particolare, la sperimentazione della tecnologia VR nell'istruzione primaria, secondaria e superiore è iniziata nei primi anni '90 [11, 12], con l'utilizzo di visori, guanti e tute "full-body". Nel complesso la ricerca precedente mostra alcuni risultati incoraggianti per quanto riguarda l'uso della VR in contesti educativi [13]. Una meta-analisi sull'efficacia dell'uso della VR nell'insegnamento [14] ne conferma il potenziale, ancor di più quando si utilizzano ambienti basati su giochi piuttosto che simulazioni.

L'immersione offerta dalle tecnologie VR offre forti benefici che possono supportare gli studenti [7]: questa promuove l'apprendimento attraverso un maggiore coinvolgimento e facilita il trasferimento di conoscenze dalla classe al mondo reale; inoltre promuove esperienze educative che attingono all'*apprendimento in situ* e all'*apprendimento attraverso il fare*. La prima definizione si riferisce all'apprendimento che avviene in una comunità di pratica, nello stesso contesto in cui viene applicata [15], mentre la seconda postula che il coinvolgimento attivo degli studenti nella costruzione di nuove conoscenze li aiuta a padroneggiare, mantenere e generalizzare tali conoscenze [16]. Questi approcci contrastano con gli ambienti didattici tradizionali in cui gli studenti imparano per assimilazione, cioè ascoltando passivamente un istruttore.

Riguardo ad applicazioni di VR per la musica in particolare, la maggior parte sono mirate a suonare strumenti musicali virtuali piuttosto che allo studio della teoria della musica. Ad esempio, Music Room² è una raccolta di strumenti percussivi con cui interagire utilizzando i "controller" dello smartphone. Inoltre, la filosofia dell'applicazione è che agisce come un MIDI controller per l'utilizzo in qualsiasi Workstation Audio Digitale (DAW). Un'applicazione simile è Soundstage VR,³ che, oltre agli strumenti VR interattivi, include anche una catena di mix modulari con una libreria di effetti ed elaborazioni, nonché una fase di looping e registrazione da utilizzare in post-produzione o in altre produzioni multimediali.

Queste applicazioni promuovono il gioco e l'interazione con strumenti musicali VR per produrre musica o per allenare abilità ritmiche, con uno scopo commerciale. D'altra parte, la ricerca accademica ha sviluppato nel corso degli anni diversi strumenti musicali VR, con lo scopo principale di creare simulazioni o estensioni di quelli esistenti [17]. Inoltre, in passato sono stati proposti anche ambienti virtuali per imparare a suonare strumenti tradizionali, ad esempio un flauto [18] e un tutor per pianoforte [19], per citarne solo alcuni.

La realtà aumentata, dove uno strumento tradizionale è "arricchito" con la tecnologia, sembra essere più adatta della realtà virtuale per insegnare a suonare uno strumento musicale. Ciò è dovuto principalmente al fatto che gli strumenti musicali sono interfacce estremamente sofisticate che si sono sviluppate nel corso dei secoli, mentre le interfacce VR sono in confronto ancora primitive. Per questo in letteratura sono apparsi diversi sistemi, come Andante e Andantino [20, 21], dove la realtà aumentata viene utilizzata per proiettare personaggi animati su una tastiera per pianoforte, al fine di coinvolgere i bambini non solo nel suonare la giusta nota, ma anche nelle caratteristiche immancabili di una performance musicale.

Naturalmente l'immersività è fondamentale anche per il canale uditivo. La letteratura adotta il termine "auralizza-

² musicroomvr.com/

³ soundstagevr.com/

zione” per riferirsi al rendering audio spaziale in ambienti virtuali [22]. Le tecnologie audio spaziali permettono la direzione dell’attenzione degli utenti e il miglioramento del realismo dell’esperienza VR con un’influenza positiva sul carico di lavoro, le prestazioni e la presenza [23]. Inoltre, l’interazione circolare tra presenza ed emozioni è ben nota nella letteratura scientifica e porta a considerare la realtà virtuale come un mezzo affettivo [24], capace cioè di interagire con gli stati affettivi [25] e i processi di memoria [26]. Nel caso del nostro studio in particolare, poiché la musica evoca forti emozioni, può anche essere coinvolta nella formazione di ricordi su informazioni associate a un particolare contesto, genere musicale o brano [27]. Per tutte queste ragioni, le interazioni affettive tra memoria contestuale e contenuti musicali rendono la navigazione attiva in VR uno strumento efficace per l’apprendimento della musica.

3. L’APPLICAZIONE VR

Abbiamo sviluppato un’esperienza di ascolto VR coinvolgente, arricchita da modelli 3D visivamente accattivanti di strumenti musicali. Abbiamo progettato due diverse applicazioni VR, “Musical Labyrinth Exploration” (MLE in seguito) e “Room Learning Experience” (RLE in seguito). La prima rappresenta un’esperienza preliminare in cui gli studenti possono imparare a muoversi nell’ambiente 3D di VR4EDU, mentre la seconda è l’effettiva applicazione di apprendimento dei generi musicali, da usare come integrazione al programma scolastico tradizionale.

Questa sezione presenta gli elementi principali e gli aspetti innovativi delle applicazioni.

3.1 Scenari VR e interazioni

Lo scenario MLE è un labirinto 3D che aiuta ad apprendere il sistema di navigazione, in modo che gli utenti abbiano l’opportunità di prendere confidenza con l’esplorazione dell’ambiente 3D. A questo scopo, l’applicazione propone il seguente compito: all’utente viene chiesto di trovare quattro diverse aree colorate in cui sono posizionate quattro sfere sospese a mezz’aria, che rappresentano le sorgenti sonore di quattro diversi brani musicali (si veda la Fig. 1 per una rappresentazione schematica della mappa).

Questo compito è pensato per incoraggiare l’utente a esplorare l’intero labirinto, imparando progressivamente a evitare i muri e a compiere percorsi stretti e articolati. Per rendere facilmente distinguibili i brani musicali, abbiamo selezionato quattro timbri diversi: pianoforte, chitarra classica, violino, flauto. Per incoraggiare ulteriormente l’esperienza di esplorazione, le tracce vengono rese udibili attraverso le pareti in modo che l’utente possa comprendere la direzione del suono in ingresso anche quando la sfera galleggiante non è visibile. Di conseguenza, gli utenti sono istruiti a prestare attenzione sia allo stimolo visivo che a quello uditivo per la navigazione, sfruttando la sorgente sonora come un segnale acustico di aiuto al raggiungimento dell’obiettivo [28].

Lo scenario RLE è composto da uno spazio rettangolare limitato dove l’utente può ascoltare un brano rappresenta-

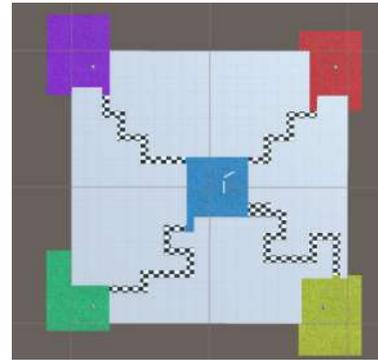


Figura 1: Vista dall’alto del labirinto MLE. Le caselle rossa, viola, verde e gialla sono le quattro camere e la casella azzurra è la stanza di partenza situata al centro. Il percorso a labirinto è raffigurato con il pavimento a scacchiera. In ogni stanza è visibile un piccolo punto che rappresenta la sfera della sorgente audio.



Figura 2: Split screen dall’applicazione RLE. Qui è visibile il titolo principale con il nome del genere e i suoi principali strumenti caratterizzanti.

tivo di uno specifico genere musicale. Inoltre, i modelli 3D degli strumenti musicali appartenenti ad un genere specifico vengono posizionati nello spazio come se fossero collocati su un palcoscenico, nella consueta disposizione di una tipica performance reale. Abbiamo deciso di limitare lo spazio esplorabile in modo da aiutare l’utente a concentrarsi sugli strumenti e sul loro suono, riducendo al minimo le distrazioni.

All’utente viene inizialmente dato un messaggio di benvenuto che introduce la stanza e un messaggio sempre acceso con il titolo del genere musicale di quella stanza, insieme ai suoi principali strumenti caratterizzanti. Queste informazioni testuali possono essere lette sempre in un colpo d’occhio, inoltre vicino ad ogni modello 3D viene posizionato il nome corretto dello strumento corrispondente (si veda la Fig. 2 per uno esempio).

L’applicazione RLE propone otto diverse “stanze di genere”, insieme ai rispettivi strumenti tipici del genere in questione. Lo spazio architettonico di ogni stanza non varia da un genere all’altro. Cambiano solo titolo, etichette e strumenti musicali (con la loro disposizione spaziale).

3.2 Implementazione

L’hardware usato include tre smartphone: un iPhone 6s, un LG G2 e un Samsung Galaxy S7 Edge, tutti equipaggiati con un display ad alta risoluzione e in grado di reg-

gere il carico computazionale dell'applicazione. Il feedback uditivo è stato reso con cuffie circumaurali Sennheiser HD 429, Beats by Dr. Dre e Satechi Wireless, connesse direttamente agli smartphone.

Lo sviluppo software è basato su Blender 2.77,⁴ programma di grafica 3D open source molto diffuso, e Unity 5.34f1⁵ con la SDK per Google Cardboard.⁶ Blender è stato usato per creare i principali modelli 3D (pareti del labirinto e delle stanze, ecc.). Unity ha il vantaggio di essere cross-piattaforma e ha permesso di compilare VR4EDU sia per Apple iOS che per Android OS.

Per quanto riguarda il rendering audio, le quattro sorgenti sonore associate alle sfere nell'applicazione MLE sono state realizzate utilizzando le funzionalità native di Unity. In particolare abbiamo usato una legge logaritmica per l'intensità come funzione della distanza, con il parametro "max-distance" (la distanza a cui l'intensità smette di decrescere) regolato a 50 m e corrispondente a intensità nulla. Quindi non si sente alcun suono oltre i 50 m di distanza, e questo assicura anche che le quattro tracce audio non possano essere udite tutte contemporaneamente.

Per l'applicazione RLE abbiamo usato regolazioni diverse: ancora una legge logaritmica di decadimento dell'intensità, ma questa volta con i parametri "min-distance" e "max-distance" regolati rispettivamente a 30 m e 50 m. Inoltre l'intensità oltre i 50 m è regolata a un valore non nullo, cosicché è sempre possibile sentire la traccia anche a distanze elevate. Questo invita l'utente ad avvicinarsi alla sorgente sonora. Per distanze minori di 30 m, invece, l'intensità è costante al livello massimo. Le sorgenti sonore sono posizionate al centro della stanza, in particolare nel baricentro dei modelli 3D degli strumenti.

Al fine di ottimizzare il carico computazionale, alcuni modelli 3D sono stati semplificati decimando vertici e facce (usando Blender). Questo si è reso necessario dal momento che test iniziali hanno evidenziato che modelli 3D troppo dettagliati diminuivano il frame-rate della visualizzazione deteriorando l'esperienza di navigazione. Abbiamo validato la nostra procedura di decimazione attraverso un test in cui abbiamo misurato il frame-rate in una simulazione di navigazione all'interno della Stanza Rock di RLE, usando lo smartphone più performante e quello meno potente, ovvero Samsung (1440 × 2560 pixel, circa 534 ppi, processore Samsung Exynos 8 Octa 8890 Octa Core 2.3 GHz 64bit, Mali T880 MP12) e LG (1080 × 1920 pixel, circa 424 ppi, processore Quad-core 2.26 GHz Krait 400, GPU Adreno 330). Il frame-rate massimo (quando nessun modello 3D deve essere renderizzato) è stato impostato a 60 fps. I risultati mostrano che usando i modelli decimati il frame-rate non scende mai sotto i 59 fps su entrambi gli smartphone, mentre senza decimazione scende a valori molto bassi (3-4 fps).

3.3 Navigazione

Uno degli aspetti chiave dell'applicazione VR4EDU è la progettazione di un sistema di navigazione affidabile e in-

tuitivo in grado di fornire indicazioni di orientamento spaziale per supportare l'usabilità e l'apprendimento [29]. L'adozione di un visore VR richiede il design di un'efficace "locomozione virtuale", in quanto il modo in cui le persone si muovono nell'ambiente virtuale è fondamentale per migliorare l'esperienza di apprendimento e prevenire problemi come la "motion sickness" e la perdita di equilibrio.

Il problema della locomozione virtuale è stato ampiamente studiato [30]. Abbiamo considerato diverse opzioni, in particolare prendendo ispirazione da interfacce comuni come telecomandi e joystick, così come approcci che prevedono di camminare sul posto [31]. La maggior parte di queste soluzioni richiede un dispositivo di input, che tiene costantemente occupate le mani degli utenti. Per offrire la più naturale e intuitiva esperienza di movimento per la navigazione e l'interazione, pur limitando i movimenti nel mondo reale [32], abbiamo progettato una soluzione che sfrutta i sensori inerziali dello smartphone all'interno del visore VR e una serie di semplici gesti del corpo. In particolare, abbiamo definito i seguenti gesti:

- Inclinare la testa in avanti/indietro → movimento rettilineo avanti/indietro.
- Ruotare la testa a destra/sinistra sul piano coronale → movimento rettilineo a destra/sinistra.
- Voltare la testa a destra/sinistra → rotazione della vista a destra/sinistra.

Al fine di rendere questa soluzione utilizzabile e prevenire instabilità, abbiamo fatto sì che non si verifichi alcun movimento tangenziale se l'inclinazione è inferiore a una soglia prefissata.

Più formalmente: si consideri un sistema di riferimento solidale con la testa dell'utente, in cui X è l'asse destra-sinistra, Y è l'asse alto-basso e Z è l'asse fronte-retro. Definiamo con $a_{x,y,z}$ le accelerazioni misurate dai sensori inerziali lungo questi assi (queste assumono valori nell'intervallo $[-1, +1]$ e rappresentano frazioni dell'accelerazione di gravità⁷). Dette $v_{x,y,z}$ e $\Delta_{x,y,z}$ rispettivamente le velocità tangenziali di spostamento nell'ambiente virtuale e le soglie di inclinazione, le equazioni di movimento vengono scritte come segue:

$$v_x(t) = \begin{cases} (a_x(t) \mp \Delta_x) \cdot b^{-a_x(t)} & |a_x(t)| > \Delta_x \\ 0 & \text{altrove,} \end{cases} \quad (1a)$$

$$v_y(t) = 0 \quad \text{sempre,} \quad (1b)$$

$$v_z(t) = \begin{cases} (a_z(t) \mp \Delta_z) \cdot b^{-a_z(t)} & |a_z(t)| > \Delta_z \\ 0 & \text{altrove.} \end{cases} \quad (1c)$$

Sperimentalmente abbiamo rilevato che per movimenti tipici a_z non eccede mai il valore 0.53. Abbiamo poi usato i valori $\Delta_z = \Delta_x = 0.1$ e $b = 2$, che producono una velocità tangenziale massima di circa 25 m/s.⁸

Questo particolare valore di velocità massima è stato scelto sulla base di un test di usabilità con un gruppo di cinque bambini di 10-11 anni, che non hanno partecipato alla valutazione successiva. Il test ha proposto tre stanze

⁴ www.blender.org/foundation

⁵ unity3d.com

⁶ developers.google.com/vr/unity

⁷ docs.unity3d.com/Manual/MobileInput.html

⁸ docs.unity3d.com/ScriptReference/CharacterController.Move.html

Genere	Brano	Strumenti
Blues	Sweet home Chicago	“Cigar Box”, Armonica
Trio classico	Haydn trio n. 39	Clavicembalo, Violino, Viola
Country	Fly around my pretty little miss	Banjo, Violino
Disco	Togheter forever	Sintetizzatore
Folk	Cincirinella teneva teneva	Tamburello, Fisarmonica
Jazz	Take five	Sassofono, Contrabbasso
Rock	Satisfaction	Basso el., Chitarra el., Batteria
Swing	Singing on nothing	Tromba

Tabella 2: Generi musicali considerati, brani proposti in aula e strumenti musicali caratterizzanti.

quadrate di diverse misure e diverse velocità di navigazione. I risultati hanno mostrato una preferenza una stanza di dimensioni 50 × 50 m esplorata a velocità massima di 25 m/s. In particolare questo significa che la stanza può essere percorsa in 2 s, e questo valore corrisponde al massimo tempo di reazione a uno stimolo visivo per bambini di questa età [33].

4. UN ESPERIMENTO IN AULA

L'applicazione VR4EDU è stata preliminarmente collaudata in una scuola elementare, con l'obiettivo di confrontare i risultati di apprendimento di una classe esposta a didattica tradizionale con quelli di una seconda classe esposta all'uso dell'applicazione. Come caso di studio abbiamo scelto l'apprendimento di generi musicali.

4.1 Protocollo sperimentale

Complessivamente sono stati coinvolti 36 bambini (18 per classe) di quinta elementare, tutti di età compresa tra i 10 e gli 11 anni assieme ai loro insegnanti. La prima classe (il “gruppo di controllo”) ha svolto le lezioni usando esclusivamente metodi tradizionali, mentre la seconda (il “gruppo VR”) ha fatto uso di VR4EDU come strumento integrativo alle lezioni tradizionali. Entrambe le classi comprendevano alunni con Bisogni Educativi Speciali (BES): 4 la prima, 6 la seconda.

Il protocollo didattico è stato articolato in quattro lezioni per ciascuna delle due classi, seguite dallo stesso insegnante (con l'aggiunta di due tecnici di supporto per il gruppo VR). La Tabella 2 riassume i generi musicali considerati, i corrispondenti brani musicali proposti agli alunni e gli strumenti musicali caratterizzanti.

Durante la prima lezione entrambi i gruppi hanno svolto un pre-test (descritto più avanti) finalizzato a quantificare le loro conoscenze di partenza. In aggiunta il gruppo VR ha svolto una sessione di ambientamento con la realtà virtuale, tramite l'applicazione MLE.

Nella seconda lezione entrambi i gruppi hanno analizzato i generi Blues, Trio classico, Country, Rock. In particolare ne hanno analizzato la storia, gli strumenti caratterizzanti e la loro disposizione tipica sul palco. A ogni genere sono stati dedicati circa 15 minuti. Gli alunni del

gruppo di controllo hanno ascoltato i corrispondenti brani attraverso un diffusore, mentre quelli del gruppo VR hanno usato a turno l'applicazione RLE per ascoltare i brani (circa 2 minuti per genere). Ad esempio, nell'analisi del Blues gli alunni hanno esplorato la “stanza del Blues” all'interno dell'applicazione RLE. Al termine degli ascolti, a entrambi i gruppi è stato chiesto di ritagliare sagome di strumenti musicali caratterizzanti ciascun genere e di incollarle seguendone la tipica disposizione sul palco.

La terza lezione si è svolta con le medesime modalità della seconda. In questo caso entrambi i gruppi hanno analizzato i generi Disco, Jazz, Folk, Swing.

Infine, nella quarta lezione entrambi i gruppi hanno svolto un post-test (descritto più avanti) finalizzato a quantificare le conoscenze acquisite. Il post-test aveva la stessa struttura del pre-test iniziale, seppure con domande diverse, e ha permesso di valutare eventuali differenze di apprendimento tra i due gruppi. In aggiunta entrambi i gruppi hanno risposto a un questionario (pure descritto più avanti), finalizzato a raccogliere dati qualitativi sull'esperienza di apprendimento.

4.2 Test e questionario

Il modello di test (pre- e post-) proposto agli alunni è quello normalmente usato dall'insegnante per valutare le conoscenze degli alunni. Si articola in tre esercizi.

1. **Identificazione** del genere: gli alunni ascoltano quattro brani e, al termine di ognuno, scrivono il genere corrispondente.
2. **Associazione** tra strumenti e genere: gli alunni collegano graficamente le immagini di sette strumenti musicali ai generi in cui questi sono usati.
3. **Disposizione spaziale** degli strumenti sul palco: gli alunni devono indicare la posizione (primo piano o secondo piano) di otto strumenti associati ai vari generi (ad esempio, chitarra elettrica, basso elettrico e batteria nel Rock).

L'unica differenza tra pre-test e post-test è stata nella scelta di generi e strumenti. Questa differenziazione è stata introdotta per non rendere banale l'esecuzione del post-test.

Il punteggio del test è stato calcolato come semplice percentuale delle risposte corrette, su un totale di 19 risposte (4, 7 e 8 risposte per il primo, il secondo e il terzo esercizio). Abbiamo valutato anche la percentuale di risposte corrette per ciascun singolo esercizio.

In aggiunta ai test quantitativi, l'esperienza di apprendimento è stata valutata qualitativamente tramite un questionario composto da 7 domande proposte a entrambi i gruppi e due domande aggiuntive proposte solo al gruppo VR. Le prime 4 domande (D1-4) richiedevano una risposta su una scala di Likert a 5 punti, mentre le successive 3 (D5-7) erano domande aperte.

D1: Quanto ti è sembrato difficile imparare i diversi generi musicali?

D2: Durante le attività quanto ti sei impegnato?

D3: Vorresti scoprire altri generi musicali?

D4: Quanto ti sei divertito durante le lezioni di musica sui generi musicali?

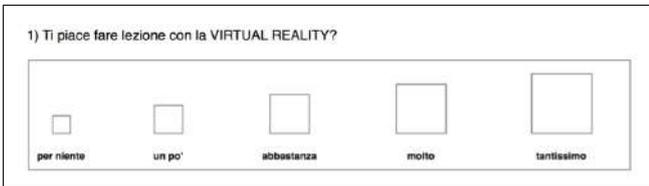


Figura 3: Presentazione grafica delle risposte su una scala di Likert a 5 punti.

D5: Scrivi le cose che ti sono piaciute di più durante queste lezioni sugli strumenti musicali.

D6: Scrivi le cose che non ti sono piaciute, o cosa cambieresti in queste lezioni di musica.

D7: Conosci la Virtual Reality? Cosa ne pensi?

La Fig. 3 mostra la presentazione grafica fornita agli alunni per rispondere alle prime 4 domande su una scala di Likert a 5 punti. La dimensione crescente dei riquadri aiuta il bambino a meglio comprendere le diverse risposte [34].

Infine, le due domande aggiuntive proposte solo al gruppo VR hanno utilizzato la stessa scala di Likert e sono state le seguenti:

D8: Ti piace fare lezione con la Virtual Reality?

D9: Secondo te la Virtual Reality è utile per imparare i diversi generi musicali e gli strumenti?

4.3 Risultati preliminari

I risultati del pre-test e del post-test sono riassunti in Fig. 4.

In particolare la Fig. 4(a) mostra i punteggi globali ottenuti nei due test da ciascun alunno del gruppo di controllo e dal gruppo VR. Si può immediatamente notare che gli alunni del gruppo VR hanno incrementato in maniera significativa i propri punteggi tra il pre- e il post-test, senza alcuna eccezione. In media, la percentuale di risposte corrette è stata circa 42% nel pre-test, e 65% nel post-test. Questo risultato suggerisce che il gruppo VR abbia appreso in maniera efficace i contenuti delle lezioni.

In contrasto, gli alunni del gruppo di controllo hanno mostrato risultati meno positivi, con un incremento quasi nullo dei punteggi tra il pre- e il post-test. In media, la percentuale di risposte corrette è stata circa 48% sia nel pre-test che nel post-test. Anche questo risultato contribuisce a mostrare che le lezioni integrate dall'uso di VR4EDU sono state più efficaci delle lezioni tradizionali. Tale conclusione è ulteriormente corroborata dalla circostanza che il gruppo VR partiva da un livello di conoscenza generalmente inferiore rispetto al gruppo di controllo, come mostrato dai risultati del pre-test.

Le Fig. 4(b,c,d) mostrano il dettaglio dei risultati per ciascuno dei tre esercizi che componevano il test. In tutti il gruppo VR ha avuto risultati migliori del gruppo di controllo. In particolare l'Esercizio 1 è stato il più impegnativo, al punto che gli alunni del gruppo di controllo hanno peggiorato il proprio punteggio tra il pre- e il post-test. Al contrario l'Esercizio 3 è risultato essere quello più facile.

Una prima analisi del questionario mostra alcune differenze tra i due gruppi. Le domande D1-3 hanno raccolto punteggi simili tra i due gruppi, con una tendenza a un maggior coinvolgimento e una minore percezione di diffi-

coltà da parte del gruppo VR. La domanda D4 ha invece mostrato una netta differenza tra i punteggi, a indicare un livello di divertimento marcatamente più alto per il gruppo VR. Le risposte alle successive domande aperte D5-7 confermano queste tendenze. Infine, le ultime due domande D8-9 poste solo al gruppo VR hanno raccolto valutazioni estremamente positive (il punteggio massimo nella quasi totalità e nessun punteggio inferiore a 4).

5. CONCLUSIONI

In questo contributo abbiamo presentato il framework multiplatforma VR4EDU, composto da due applicazioni di realtà virtuale in ambiente mobile, MLE e RLE. Abbiamo descritto in dettaglio le scelte di progetto e lo sviluppo delle applicazioni, con particolare attenzione a una innovativa soluzione di "locomozione virtuale" che risulta essere intuitiva e usabile. Abbiamo mostrato che le applicazioni possono funzionare su hardware a basso costo o comunque già posseduto dagli alunni o dalle loro famiglie, diventando quindi appetibili per un uso didattico.

In secondo luogo abbiamo presentato alcuni risultati sperimentali preliminari sull'uso di VR4EDU nella didattica musicale in una scuola primaria. I dati sperimentali sono incoraggianti e suggeriscono che l'uso di VR4EDU come strumento integrativo alla didattica tradizionale porta dei miglioramenti nell'apprendimento degli alunni, e un loro maggiore coinvolgimento. Tuttavia l'analisi di questi risultati è ancora molto incompleta e necessita di approfondimenti volti a verificare se e quanto le differenze osservate tra i due gruppi di alunni (gruppo di controllo e gruppo VR) siano significative dal punto di vista statistico. Sarà quindi necessario esaminare i dati sperimentali attraverso opportuni test statistici, quali ANOVA sui due fattori considerati (metodo didattico e conoscenza pre/post), e successivi test "post-hoc" per confronti appaiati.

Un secondo approfondimento dei dati sperimentali si focalizzerà su un'analisi dedicata agli alunni con BES, per valutare in che misura l'approccio proposto possa portare loro dei vantaggi nel processo di apprendimento, in relazione a specifiche difficoltà personali, di scrittura/lettura o di attenzione.

Sviluppi futuri dell'applicazione riguarderanno in particolare il miglioramento del realismo dell'ambiente virtuale e del livello di dettaglio degli strumenti musicali, nonché una maggiore immersività della scena acustica ad esempio tramite l'uso di registrazioni multitraccia che permettano di distribuire anche acusticamente gli strumenti musicali nello spazio virtuale [35, 36].

Per quanto riguarda i protocolli didattici, sarà possibile estendere il framework VR4EDU al fine di esplorare altri argomenti e materie. Infine, è opportuno notare che negli esperimenti qui riportati l'esperienza di realtà virtuale è stata proposta a pochi alunni alla volta (a causa della disponibilità di soli 3 dispositivi). Di conseguenza la personalizzazione della didattica (spiegazioni fornite a piccoli gruppi per volta, anziché all'intera classe) potrebbe aver influito sul migliore apprendimento. Sarà quindi utile verificare l'efficacia dell'approccio proposto anche nel caso in cui tutti gli alunni usino l'applicazione contemporaneamente.

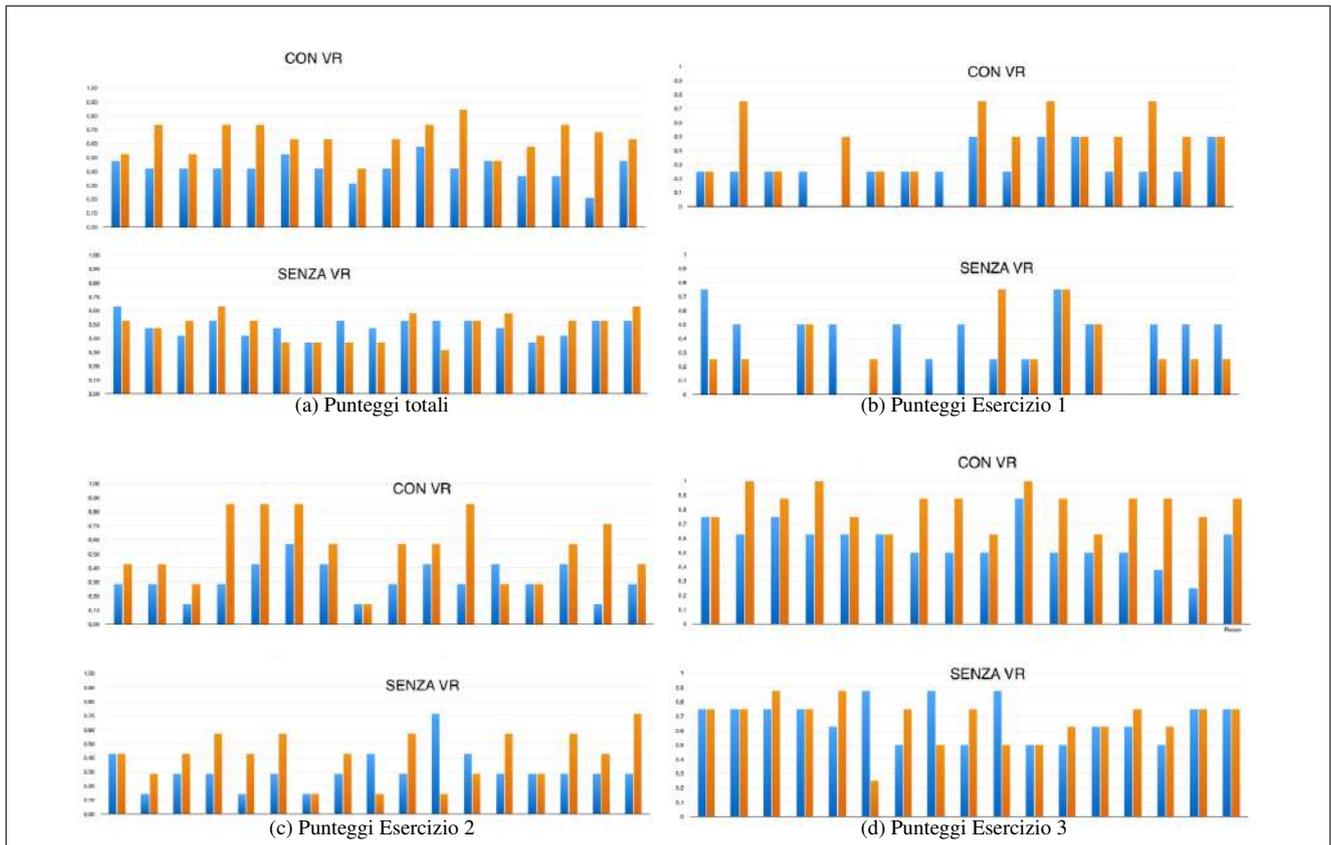


Figura 4: Risultati del pre-test (in blu) e del post-test (in arancione): punteggi globali e punteggi per i singoli esercizi.

6. REFERENCES

- [1] M. C. Dwyer, “Reinvesting in arts education: Winning america’s future through creative schools.,” *President’s Committee on the Arts and the Humanities*, 2011.
- [2] R. Črnčec, S. J. Wilson, and M. Prior, “The cognitive and academic benefits of music to children: Facts and fiction,” *Educational Psychology*, vol. 26, no. 4, pp. 579–594, 2006.
- [3] A. Casu, L. D. Spano, F. Sorrentino, and R. Scateni, “Riftart: Bringing masterpieces in the classroom through immersive virtual reality.,” in *Eurographics Italian Chapter Conference*, pp. 77–84, 2015.
- [4] S. Jang, J. M. Vitale, R. W. Jyung, and J. B. Black, “Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment,” *Computers & Education*, vol. 106, pp. 150–165, 2017.
- [5] T. De Jong, M. C. Linn, and Z. C. Zacharia, “Physical and virtual laboratories in science and engineering education,” *Science*, vol. 340, no. 6130, pp. 305–308, 2013.
- [6] P. Moreno-Ger, J. Torrente, J. Bustamante, C. Fernández-Galaz, B. Fernández-Manjón, and M. D. Comas-Rengifo, “Application of a low-cost web-based simulation to improve students’ practical skills in medical education,” *International Journal of Medical Informatics*, vol. 79, no. 6, pp. 459–467, 2010.
- [7] C. Dede, “Immersive interfaces for engagement and learning,” *science*, vol. 323, no. 5910, pp. 66–69, 2009.
- [8] A. Amer and P. Peralez, “Affordable altered perspectives: Making augmented and virtual reality technology accessible,” in *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)*, pp. 603–608, Oct. 2014.
- [9] C. Ball and K. Johnsen, “An accessible platform for everyday educational virtual reality,” in *Everyday Virtual Reality (WEVR), 2016 IEEE 2nd Workshop on*, pp. 26–31, IEEE, 2016.
- [10] N. R. Council”, *How people learn: Brain, mind, experience, and school: Expanded edition*. National Academy Press, 2000.
- [11] C. Byrne and T. A. Furness, “Virtual reality and education,” in *Exploring a new partnership: Children, Teachers and Technology*, pp. 181–189, 1994.
- [12] C. Youngblut, “Educational uses of virtual reality technology.,” tech. rep., Institute for Defense Analyses, Alexandria, Va, 1998.
- [13] B. Dalgarno and M. J. W. Lee, “What are the learning affordances of 3-D virtual environments?,” *British*

- Journal of Educational Technology*, vol. 41, pp. 10–32, Jan. 2010.
- [14] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, “Effectiveness of virtual reality-based instruction on students’ learning outcomes in k-12 and higher education: A meta-analysis,” *Computers & Education*, vol. 70, pp. 29–40, 2014.
- [15] J. Lave and E. Wenger, *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge university press, 1991.
- [16] R. C. Schank, T. R. Berman, and K. A. Macpherson, “Learning by doing,” *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory*, vol. 2, pp. 161–181, 1999.
- [17] S. Serafin, C. Erkut, J. Kojs, N. C. Nilsson, and R. Nordahl, “Virtual Reality Musical Instruments: State of the Art, Design Principles, and Future Directions,” *Computer Music Journal*, vol. 40, pp. 22–40, Sept. 2016.
- [18] K. Johanna, G. Romero, D. Andres, R. Lopez, L. A. Luengas, J. Carlos, and B. Guevara, “Virtual flute: Electronic device that uses virtual reality to teach how to play a flute,” in *Education Engineering (EDUCON), 2010 IEEE*, pp. 211–216, IEEE, 2010.
- [19] J. Chow, H. Feng, R. Amor, and B. C. Wünsche, “Music education using augmented reality with a head mounted display,” in *Proceedings of the Fourteenth Australasian User Interface Conference-Volume 139*, pp. 73–79, Australian Computer Society, Inc., 2013.
- [20] X. Xiao, B. Tome, and H. Ishii, “Andante: Walking figures on the piano keyboard to visualize musical motion,” in *NIME*, pp. 629–632, 2014.
- [21] X. Xiao, P. Puentes, E. Ackermann, and H. Ishii, “Andantino: Teaching children piano with projected animated characters,” in *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children*, pp. 37–45, ACM, 2016.
- [22] M. Vorländer, *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Springer Publishing Company, Incorporated, 1st ed., 2007. 00379.
- [23] K. Bormann, “Presence and the Utility of Audio Spatialization,” *Presence*, vol. 14, pp. 278–297, June 2005.
- [24] G. Riva, F. Mantovani, C. S. Capideville, A. Preziosa, F. Morganti, D. Villani, A. Gaggioli, C. Botella, and M. Alcañiz, “Affective Interactions Using Virtual Reality: The Link between Presence and Emotions,” *CyberPsychology & Behavior*, vol. 10, pp. 45–56, Feb. 2007.
- [25] A. Gorini and G. Riva, “Virtual reality in anxiety disorders: the past and the future,” *Expert Review of Neurotherapeutics*, vol. 8, pp. 215–233, Feb. 2008.
- [26] H. Sauzéon, P. Arvind Pala, F. Larrue, G. Wallet, M. Déjos, X. Zheng, P. Guitton, and B. N’Kaoua, “The use of virtual reality for episodic memory assessment: effects of active navigation,” *Exp Psychol*, vol. 59, no. 2, pp. 99–108, 2011.
- [27] L. Jäncke, “Music, memory and emotion,” *J Biol*, vol. 7, no. 6, p. 21, 2008.
- [28] M. Geronazzo, A. Bedin, L. Brayda, C. Campus, and F. Avanzini, “Interactive spatial sonification for non-visual exploration of virtual maps,” *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 85, pp. 4–15, Jan. 2016.
- [29] Z. Merchant, E. T. Goetz, W. Keeney-Kennicutt, O.-m. Kwok, L. Cifuentes, and T. J. Davis, “The learner characteristics, features of desktop 3d virtual reality environments, and college chemistry instruction: A structural equation modeling analysis,” *Computers & Education*, vol. 59, pp. 551–568, Sept. 2012.
- [30] F. Steinicke, Y. Visell, J. Campos, and A. Lécuyer, *Human walking in virtual environments*. Springer, 2013.
- [31] M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, and F. P. Brooks Jr, “Walking, walking-in-place, flying, in virtual environments,” in *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, pp. 359–364, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1999.
- [32] W. Hürst and M. Helder, “Mobile 3d graphics and virtual reality interaction,” in *Proceedings of the 8th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ACE ’11, (New York, NY, USA), pp. 28:1–28:8, ACM, 2011.
- [33] K. Bucsuházy and M. Semela, “Case study: Reaction time of children according to age,” *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 408 – 413, 2017. TRANSBALTICA 2017: TRANSPORTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY: Proceedings of the 10th International Scientific Conference, May 4–5, 2017, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania.
- [34] M. Wrzesien and M. Alcañiz Raya, “Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the E-Junior project,” *Computers & Education*, vol. 55, no. 1, pp. 178–187, 2010. 00154.
- [35] G. D. Romigh and B. D. Simpson, “Do you hear where I hear?: isolating the individualized sound localization cues,” *Front. Neurosci*, vol. 8, p. 370, 2014.
- [36] M. Geronazzo, E. Peruch, F. Prandoni, and F. Avanzini, “Improving elevation perception with a tool for image-guided head-related transfer function selection,” in *Proc. of the 20th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-17)*, (Edinburgh, UK), pp. 397–404, Sept. 2017.