

## Installazioni interattive per la valorizzazione di strumenti musicali antichi: il flauto di Pan del Museo di Scienze Archeologiche e d'Arte dell'Università degli Studi di Padova

Edoardo Micheloni

Politecnico di Milano  
edoardo.micheloni@gmail.com

Niccolò Pretto, Federico Avanzini,  
Sergio Canazza, Antonio Rodà  
Università degli Studi di Padova  
name.surname@dei.unipd.it

### ABSTRACT

Questo articolo descrive un progetto relativo all'implementazione di un flauto di Pan virtuale all'interno di una installazione museale che verrà esposta presso il Museo di Scienze Archeologiche e d'Arte dell'Università degli Studi di Padova. In primo luogo, l'articolo introduce il problema della conservazione attiva e della valorizzazione degli strumenti in ambito museale. A seguire descrive l'installazione multimediale progettata appositamente per valorizzare un antico flauto di Pan ritrovato in Egitto, negli anni Trenta, durante una campagna di scavi archeologici. Il reperto è stato sottoposto a svariate analisi, quali scansioni 3D e Tomografia Computerizzata, da cui sono state estratte le misure interne ed esterne del flauto. Queste sono state indispensabili per ricavare l'intonazione delle canne e quindi creare il modello alla base del flauto virtuale. Infine, l'articolo descrive in maniera approfondita le scelte progettuali, le modalità di interazione e l'implementazione delle due sezioni dell'installazione dedicata al suono. L'utente, infatti, può "suonare" il flauto utilizzando come input sia i comandi touch, sia il "soffio".

### 1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, i musei si sono dovuti evolvere da luoghi dove tradizionalmente vengono conservati ed esposti reperti a istituzioni focalizzate sull'educazione e l'intrattenimento dei visitatori [1]. I curatori di musei e mostre, infatti, si sforzano sempre più di progettare e realizzare esposizioni che siano per i visitatori un'esperienza allo stesso tempo piacevole ed educativa [2].

Non di rado, capita di imbattersi in strumenti musicali, antichi o moderni, esposti all'interno di mostre o musei (non necessariamente dedicati alla musica). Questi strumenti possono essere suddivisi in tre principali categorie:

- Strumenti elettrofoni, dai primi fonografi fino ai moderni dispositivi digitali, come quelli esposti presso la Casa della Suono di Parma [3];
- Strumenti acustici tradizionali, ad esempio i violini conservati al Museo del Violino di Cremona;

Copyright: ©2016 Edoardo Micheloni et al. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



Figure 1. Flauto di Pan esposto presso il Museo delle Scienze Archeologiche e d'Arte (MSA) dell'Università di Padova.

- Strumenti musicali primitivi, come il flauto di Pan conservato presso Museo di Scienze Archeologiche e d'Arte (Figura 1), usato come caso di studio in questo articolo.

Questi oggetti sono molto differenti tra di loro, ma in quanto strumenti musicali hanno in comune la necessità di essere suonati per essere compresi appieno. È evidente, quindi, quanto sia insufficiente presentare uno strumento musicale chiuso in una teca e con una semplice didascalia a supporto. La maggior parte di questi strumenti però non possono essere suonati dal pubblico, sia per salvaguardare il reperto, sia, spesso, a causa di corrottele.

È necessario quindi trovare delle strade alternative per interagire con questi oggetti. La creazione di uno strumento virtuale, in grado di ricreare un suono vicino all'originale, è la soluzione proposta dagli autori, che già in progetti passati si sono dedicati alla conservazione attiva di strumenti musicali [4, 5]. La proposta nasce dalla trasposizione del concetto di copia conservativa che caratterizza la conservazione attiva di documenti sonori storici [6]: la virtualizzazione degli strumenti musicali viene proposta quindi come copia dello strumento, che poi verrà utilizzata e adattata per creare quella che possiamo chiamare copia di accesso.

Mentre per i documenti sonori storici esiste già una ricca letteratura riguardante la digitalizzazione, per la ricostruzione di strumenti musicali mancano ancora metodo-

logie condivise. L'articolo vuole fare un passo in questa direzione proponendo un caso di studio basato su un antico flauto di Pan conservato presso il Museo delle Scienze Archeologiche e d'Arte (MSA) dell'Università di Padova.

Ritrovato in Egitto negli anni Trenta, il reperto è uno dei tanti oggetti che arrivarono a Padova grazie alle ricerche archeologiche di Carlo Anti, che diresse la Missione Archeologica Italiana in Egitto dal 1928 e condusse i suoi scavi nel borgo antico di Tebtynis nell'oasi del Fayum, nel periodo dal 1930 al 1936, assistito dall'archeologo italo-inglese Gilbert Bagnani. Lo strumento è arrivato in Italia all'interno di una scatola usata per lastre fotografiche. La scatola probabilmente apparteneva a Bagnani, come documentato da una breve nota al suo interno. Il coperchio della scatola riporta invece una frase in francese scritta dalla moglie di Bagnani, che collocherebbe il reperto originale a Saqqara, in una zona limitrofa alla tomba del faraone Pepi II [7]. La datazione precisa verrà fornita dall'esame  $^{14}\text{C}$ , i cui risultati definitivi, al momento della scrittura del paper, non sono ancora disponibili.

Il flauto è composto da 14 canne di diversa lunghezza unite da corde e da leganti naturali. In origine, esso era rivestito da uno strato di resina, ora parzialmente mancante. L'eccezionale integrità di questo reperto ha consentito di procedere a uno studio approfondito che ha coinvolto un team multidisciplinare composto da esperti in archeologia, archeometria, archeologia virtuale, ingegneria informatica ed elettronica, musicologia, scienze della terra. Come riportato in [7], sono state effettuate numerose analisi come ad esempio una completa scansione laser 3D e una scansione a raggi X. In aggiunta a quanto riportato nel precedente articolo, alle analisi si è aggiunta una Tomografia Computerizzata (TC), che ha permesso di avere le misure interne del flauto, necessarie a sviluppare il modello.

Tutto il lavoro verrà presentato al pubblico mediante una installazione multimediale presentata nella sezione 2. Questa consentirà ai visitatori non solo di accedere alle informazioni sul flauto, ma anche di "suonare" il flauto virtuale. La sezione 3 presenterà quindi come sono stati ricreati i suoni del flauto, mentre la sezione 4 approfondirà le scelte progettuali e i dettagli implementativi della sezione dedicata all'interazione con il modello virtuale.

## 2. L'INSTALLAZIONE MUSEALE

Il Museo delle Scienze Archeologiche e d'Arte dell'Università di Padova metterà a disposizione dei visitatori un'installazione multimediale per accedere a tutte le informazioni riguardanti l'antico flauto di Pan. Il design dell'installazione si basa su due differenti sistemi di interazione: esplorativo e creativo [8].

L'interazione esplorativa, realizzata per mezzo di un display touchscreen, permette ai visitatori di muoversi all'interno di uno spazio multimediale attraverso una piattaforma informativa realizzata su misura per l'installazione, che riporta tutte le informazioni iconografiche e didattiche sullo strumento. Il secondo, invece, permette all'utente di accedere alla ricostruzione delle peculiarità sonore originali dello strumento con la modalità di interazione tipica del flauto: "il soffio".



Figure 2. L'installazione museale.



Figure 3. Schermata iniziale dell'applicazione touch con le cinque sezioni.

L'input touch consente ai visitatori di esplorare le 5 sezioni in cui sono raggruppati e presentati i diversi contenuti multimediali (figura 3). La sezione MITO nasce principalmente per soddisfare un pubblico giovane e presenta sotto forma di fumetto il racconto mitologico della nascita del flauto di Pan, tratto dalle Metamorfosi di Ovidio. La parte STORIA presenta le principali fonti letterarie e iconografiche che testimoniano la diffusione del flauto di Pan nel mondo, presentandole in successione mediante una linea temporale. La sezione FLAUTO è composta invece da quattro sottosezioni che presentano rispettivamente nozioni di musica greca e romana in Egitto, la storia del ritrovamento del reperto, una descrizione delle peculiarità dello strumento e i dettagli su come è stata prodotta una ricostruzione del flauto. La parte 3D consentirà di interagire con due modelli tridimensionali: una scansione laser esplorabile con semplici gesture touch, e una Tomografia Computerizzata (TC) renderizzata su tre piani perpendicolari che permettono la visione di sezioni interne del flauto. La sezione SUONO è una rappresentazione stilizzata dello strumento sullo schermo: toccando ogni canna viene riprodotto il suono, ricreato sulla base di analisi e misurazioni dello strumento (sezione 3).

L'interazione creativa si presenta come una rappresentazione stilizzata del flauto di Pan, intagliata sulla superficie del mobile dell'installazione. A differenza della sezione SUONO, appena descritta, l'interazione avviene grazie a dei sensori posizionati su dei fori che rappresentano le imboccature delle canne stilizzate. Il soffio dell'utente è l'input che viene interpretato e tradotto in suono.

### 3. DALLE MISURE AL MODELLO

Questo flauto di Pan è uno tra i reperti meglio conservati al mondo considerando il rapporto tra età e stato di conservazione, ed ha mantenuto, a distanza di millenni, quasi interamente la sua forma originale. Questo ha permesso di studiare diametro e lunghezza delle canne, al fine di poterne stimare l'intonazione originale. Ciò è possibile grazie alla formula:

$$f = \frac{c}{4(l_{int} + \Delta l)}$$

dove  $c$  rappresenta la velocità del suono,  $l_{int}$  la lunghezza interna e  $\Delta l \sim 0.305d_{int}$  il fattore di correzione all'estremità aperta della canna (proporzionale al diametro interno) [9]. Per ottenere le misure necessarie alle analisi, sono state impiegate due differenti metodologie, basate su due diverse ricostruzioni tridimensionali dello strumento. La prima campagna di misurazioni è stata portata a termine su una scansione laser tridimensionale, realizzata con uno ScanArm v3 con una accuratezza di  $\pm 35 \mu m$ . Le misure raccolte però sono solo esterne, e sono state la base per una approssimazione di quelle interne [7]. Il secondo modello tridimensionale utilizzato per raccogliere le misure è stata una Tomografia Computerizzata (TC). Grazie agli strumenti del software medicale Horos si è potuto procedere con misurazioni molto più accurate rispetto alle precedenti. Le misure estrapolate risentono di un errore di precisione del macchinario utilizzato per la TC: la risoluzione del pixel volumetrico (*voxel*) è di 0.625 mm. Nonostante la risoluzione inferiore, le misure interne delle canne sono reali, senza nessuna stima della posizione del nodo.

Nonostante il flauto sia uno dei meglio conservati al mondo, esso presenta alcune deformazioni strutturali che hanno influenzato sia la campagna di misurazione, sia la stima delle misure originarie dello strumento. Tra le principali possiamo enumerare: "ovalizzazione" delle canne, alcune rotture della struttura (in particolar modo nelle canne alle estremità), deterioramento delle imboccature e presenza di materiale organico all'interno delle canne. La procedura adottata durante le misurazioni ha tenuto in considerazione queste problematiche, infatti, le misure sono state raccolte in modo ridondante in differenti punti del flauto e su diversi piani.

Date le dimensioni ridotte dello strumento, piccole variazioni nelle misure (anche di pochi millimetri) possono comportare notevoli variazioni nella frequenza fondamentale risultante. Per ottenere un fattore di correzione più preciso, è stata eseguita una "circularizzazione" delle canne. Questa operazione mira a migliorare la stima del diametro dello strumento originario: le sezioni delle canne ovalizzate possono essere approssimate a ellissi. Siano  $a$  e  $b$  diametri ortogonali, il perimetro è calcolabile con

$$p \approx \pi(3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)})$$

approssimazione dello sviluppo in serie della formula completa. Il risultato è una buona stima del perimetro originale della canna, che permette quindi di ottenere il diametro come

$$d = \frac{p}{\pi}$$

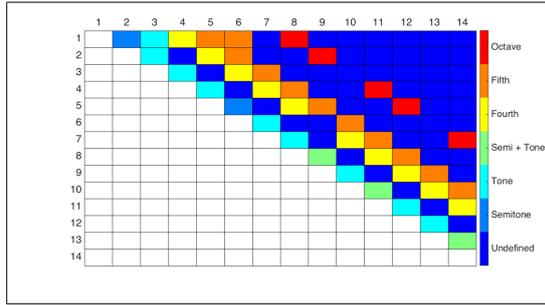


Figure 4. Intervalli di frequenze tra le 14 canne.

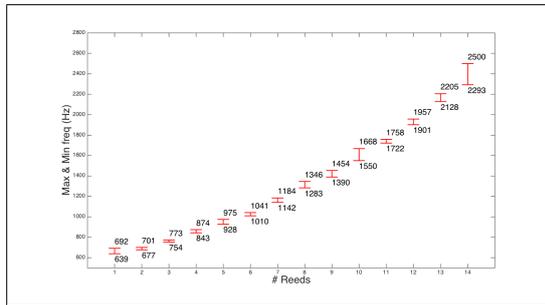


Figure 5. Massima e minima frequenza stimata per ciascuna canna.

Secondo gli studiosi [10], la musica greca antica era basata sul *tetracordo*, ovvero un gruppo di quattro note dove il rapporto tra l'intonazione della prima e quarta nota era uguale 4 : 3. Con le misure raccolte e con quest'ultima informazione, è stato possibile eseguire un studio preliminare che ha permesso di ottenere una corrispondenza di intervalli di frequenze tra le canne. Sono state considerate le misure massime e minime di diametro e di lunghezza, per stimarne la frequenza massima e minima (riportate in Fig. 5) e infine si è verificata la compatibilità dell'intervallo di frequenze stimate dalle misure con i rapporti descritti nei trattati teorici di musica greca antica.. In particolare, sono stati calcolati i rapporti

$$R(n) = \frac{f(n+3)}{f(n)}$$

con  $n = 1, 2, \dots, 11$  e  $f(n)$  frequenza fondamentale della canna. Verificando quindi che

$$\frac{f(n+3)_{min}}{f(n)_{max}} \leq 4 : 3 \leq \frac{f(n+3)_{max}}{f(n)_{min}}$$

si può avere una prima conferma della presenza di un rapporto di quarta giusta.

Eseguito questo confronto per tutte le canne e per i principali intervalli, è stato ottenuto il risultato in Fig.(4), dove è possibile notare che gran parte degli intervalli tra gruppi di quattro canne sono compatibili con la definizione di tetracordo. Inoltre, è possibile distinguere intervalli compatibili con il tono (9 : 8) e altri intervalli più pic-

coli compatibili con l'intervallo che nei trattati di teoria è chiamato *diesis* (256 : 234).

Grazie ai risultati ottenuti, è stato possibile identificare le intonazioni di ciascuna canna, ed è stato possibile realizzare i campioni per l'installazione museale, che verranno descritti nelle sezioni successive.

#### 4. IMPLEMENTAZIONE DEL FLAUTO VIRTUALE

I risultati delle analisi presentati nella sezione 3 hanno permesso di realizzare dei campioni audio indispensabili per la ricostruzione del suono originale del flauto di Pan nell'installazione. Questi campioni sono stati utilizzati sia nella rappresentazione del flauto realizzata tramite sensori, sia nella sezione SUONO dell'applicazione touch, descritte nella sezione 2.

##### 4.1 Acquisizione ed elaborazione del segnale

Uno dei principali fattori critici di successo del progetto, in grado di influenzare profondamente l'implementazione dell'installazione, è stata la scelta dei sensori da adoperare nella parte del mobile dedicata all'interazione creativa. Per trovare il sensore adatto all'installazione sono state vagliate diverse alternative. Le prime ipotesi si sono focalizzate su sensori tipicamente usati su anemometri o su strumentazioni per la spirometria. I principali fattori che hanno permesso di scartare l'ipotesi sono stati: le dimensioni non adatte all'installazione, l'impossibilità di fermarsi repentinamente al termine del soffio e in alcuni casi la necessità di dover appoggiare la bocca a dei tubicini, soluzione che non si adatta al design dell'installazione.

La seconda alternativa prevedeva l'utilizzo di sensori piezoelettrici sia nel formato classico "a contatto", sia nella versione sensibile alla flessione della sua struttura (*Piezo Film Sensor*). Queste tipologie di sensori hanno ottenuto i migliori risultati in termini di interpretazione della durata e dell'intensità del soffio. Nonostante ciò, sono stati scartati a causa delle dimensioni che difficilmente si adattano alle esigenze dell'installazione e la poca resistenza alle vibrazioni causate da eventuali colpi sul mobile.

Nonostante le performance leggermente inferiori, in termini di stabilità del segnale acquisito e resistenza ai rumori ambientali, la scelta finale è ricaduta su capsule microfoniche a condensatore. Le dimensioni contenute e la risposta attendibile in termini di intensità e durata del soffio permettono, con un ridotto apporto di elaborazione del segnale, di ottenere il risultato desiderato.

L'elaborazione è stata implementata con una scheda Arduino Mega 2560. Il software caricato nel microcontrollore si divide in tre principali sezioni: la prima gestisce i dati di input provenienti dai microfoni, attivando le sezioni successive solo se l'ampiezza del segnale supera una soglia preimpostata; la seconda elabora i dati ricevuti ed, infine, la terza gestisce l'invio e la ricezione dei messaggi per la riproduzione del suono del flauto.

Per impostare la soglia della prima sezione, ogni sensore è stato equipaggiato con un circuito di condizionamento

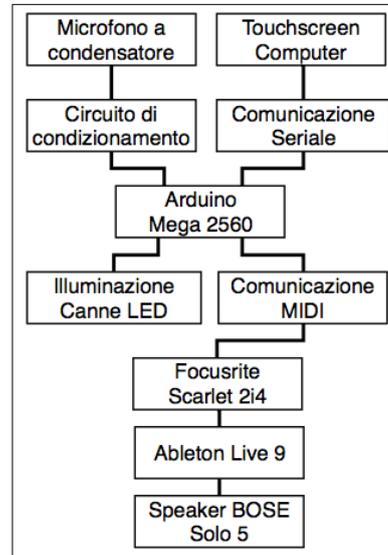


Figure 6. Schema funzionamento.

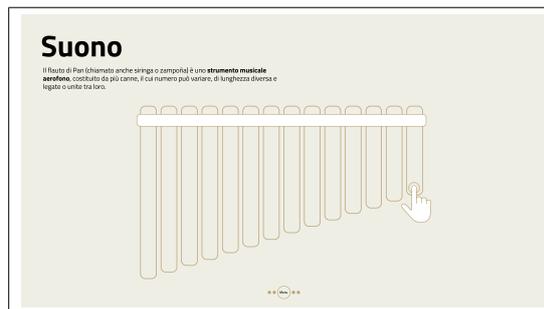


Figure 7. Sezione SUONO.



Figure 8. Sezione "Soffio" dell'installazione.

pensato *ad hoc*, e che si discosta leggermente dai comuni standard di utilizzo. Dato che Arduino può fornire una singola tensione, il segnale è stato infatti amplificato da un operazionale a singola alimentazione (5 V) anziché a doppia (5 V, -5 V). Con l'introduzione di questa soglia, le normali piccole oscillazioni causate da rumori ambientali o elettronici non vengono considerate, mentre l'evento sonoro viene attivato solo al superamento della stessa. Per usufruire anche delle tensioni negative prodotte dalla capsula microfonica (non necessarie per la definizione dei parametri del soffio), sarebbe stato necessario utilizzare un partitore resistivo in ingresso all'operazionale, per introdurre un offset di tensione a 2,5 V anziché a 0 V. Questa implementazione, però, sarebbe risultata meno stabile a causa dell'impossibilità di utilizzare una soglia costante. I segnali che superano la soglia vengono analizzati da Arduino per definire le tre *feature* che caratterizzano il soffio (attacco, intensità e durata [11]), e quindi il relativo suono delle canne virtuale suonata.

Il modello utilizzato dalla sezione SUONO dell'applicazione touch non prevede questo livello di sofisticazione. L'interfaccia, sviluppata con il motore grafico Unity 3D, propone le 14 canne stilizzate (Figura 7). Ognuna di queste è realizzata con un *GameObject* [12] a cui sono associati script, sviluppati in C# che permettono al visitatore di ascoltare il campione relativo alla canna selezionata. A differenza della parte precedente, il campione viene riprodotto sempre con una durata costante. Attraverso la porta seriale viene inviato un messaggio ad Arduino, il quale gestirà la priorità dei messaggi provenienti dai sensori e dal touch. Poiché non è previsto l'utilizzo contemporaneo di entrambi i metodi di interazione e non è possibile "suonare" più canne nello stesso momento, il microcontrollore gestisce l'output con un meccanismo di mutua esclusione, scartando i messaggi che arrivano quando la risorsa è occupata.

## 4.2 Rendering

I tre parametri individuati nell'elaborazione del "soffio" (attacco, intensità e durata) vengono tradotti in messaggi MIDI da Arduino. I messaggi inviati sono: *NoteOn*, *NoteOff* e *ControlChange*. Il primo viene usato per avviare la riproduzione dei campioni, il secondo per terminarla e il terzo per modulare il suono in base all'intensità del soffio. La comunicazione tra Arduino ed il PC è stata realizzata direttamente con una porta MIDI, e non tramite seriale. La porta in uscita è stata saldata direttamente sul *protoshield* di Arduino Mega, mentre l'altro terminale è stato collegato alla scheda audio del PC alla base dell'installazione.

In questa fase, il progetto prevede di utilizzare dei campioni sonori creati a partire da una libreria commerciale e opportunamente modificati: una volta selezionati i campioni più vicini a ognuna delle frequenze trovate per le 14 canne, questi sono stati opportunamente portati al pitch corretto con il software Melodyne. Per ogni canna sono stati adattati due diversi tipi di campioni: un campione lungo (circa 8 secondi) e uno "*flutter*". I campioni vengono gestiti con Ableton Live 9, che grazie alla mappatura quasi totale dei propri controlli, il software consente di modifi-

care facilmente i parametri interni grazie ai messaggi ricevuti in input. Il progetto Ableton, creato per la gestione dei suoni del flauto, è costituito da due canali *multitrack*, uno per la sezione "soffio" dell'installazione e l'altro per quella touch. In ognuno di questi canali sono state inserite le singole tracce audio, assegnate ognuna ad una differente nota del *Piano Roll*. Per la sezione touch, vengono usati solamente i messaggi fondamentali di *NoteOn* e *NoteOff*. Il *multitrack* relativo alla parte sensorizzata dell'installazione, invece, è caratterizzato dalla presenza di 4 *samples* (i primi tre derivanti dal campione "lungo", mentre l'ultimo da quello *flutter*) per aggiungere definizione all'attacco, alla quantità d'aria usata e alla saturazione del suono (gestite dai messaggi di *ControlChange*. Questi sono:

**Attack** - usato per enfatizzare l'attacco del suono, ed esaltarne il suo classico suono "T";

**Air** - necessario per "arricchire" il suono dopo l'attacco;

**Note** - il campione originale;

**Flutter** - per enfatizzare i picchi di intensità del soffio.

Il messaggio di *ControlChange*, sono stati mappati su una macro del canale *multitrack* che controlla il parametro *Chain* dello stesso. Così facendo, a seconda del parametro ricevuto, *Chain* varierà dando più o meno enfasi alle tracce aggiuntive per interpretare al meglio l'intensità del soffio. Grazie a una scheda audio esterna e a una soundbar Bose Solo5, posizionata in una fessura nella parte alta dell'installazione, il visitatore potrà ascoltare il rendering sonoro della canna desiderata.

Per rendere più coinvolgente l'installazione e per arricchirne l'esperienza interattiva, è stato implementato un feedback di tipo visivo, oltre che sonoro. Ecco perché, all'interno delle canne stilizzate del flauto, sono state aggiunte delle strisce LED di colore bianco che si accendono e variano la loro luminosità a seconda dell'intensità del soffio. L'implementazione sfrutta le porte digitali di Arduino, usabili come modulatori PWM: l'intensità luminosa delle strisce LED varia in maniera inversamente proporzionale alla lunghezza dell'intervallo in cui le porte forniscono tensione alle luci. Per quanto riguarda l'utilizzo della modulazione su un singolo LED, Arduino è perfettamente in grado di fornire sufficiente corrente (40 mA massimi su ciascuna porta). Per strisce LED di lunghezza variabile tra gli 70 cm e i 40 cm, invece, la corrente fornita dalla scheda è insufficiente. Per risolvere il problema è stato aggiunto un trasformatore esterno adeguatamente tarato al consumo energetico delle singole parti. Per poter utilizzare la modulazione PWM con l'alimentatore esterno, è stato utilizzato un BJT che passa dalla zona di "interdizione" a quella di "conduzione", ricevendo tensione alla base dai pin digitali di Arduino, che si occupano della modulazione.

Come spiegato nella sottosezione precedente, Arduino gestisce anche la concorrenza tra le due parti dell'installazione. La riproduzione del suono proveniente da sorgenti diverse o da più di una canna contemporaneamente non è consentita. Per far capire questa regola ai visitatori, al momento della riproduzione di un suono dalla sezione "soffio", verrà colorata la canna equivalente sullo schermo e vi-

ceversa verrà accesa la striscia LED equivalente. La gestione di questi processi è affidata a uno script che si occupa della comunicazione seriale e che gestisce di conseguenza anche i flag necessari ad impedire la contemporanea riproduzione del suono. Anche Arduino ha nel suo codice una sezione delegata alla gestione delle informazioni ricevute ed inviate ad Unity per la gestione della concorrenza.

## 5. CONCLUSIONI

Il lavoro presentato è parte di un progetto più ampio, che ha coinvolto un team di persone con competenze estremamente eterogenee. La multidisciplinarietà è una delle principali peculiarità di questo progetto, che vuole porsi come esempio per progetti simili che mirano alla modellazione e alla valorizzazione di uno strumento musicale. Questo flauto antico è stato uno caso di studio che, per la sua intrinseca complessità, ha permesso di affrontare e risolvere un notevole numero di problematiche in svariati settori scientifici. Gli autori sono certi che le metodologie sviluppate in questo lavoro potranno quindi essere da esempio, o perlomeno un punto di partenza per progetti simili che coinvolgono strumenti musicali di tutte e tre le categorie presentate nella sezione 1. Lo stesso vale per progetti che vogliono affrontare il tema della conservazione attiva di strumenti musicali.

Allo stesso tempo il progetto apre diversi interrogativi che si concretizzeranno in svariati futuri sviluppi. Per affinare la ricostruzione del flauto virtuale è previsto, nel breve termine, uno studio dell'imboccatura del flauto, per comprendere come la sua forma modifichi il suono prodotto. Ulteriori analisi saranno poi effettuate per capire la composizione del materiale depositato nel fondo di alcune canne del flauto. Inoltre, si cercherà di ottenere stime più precise dell'intonazione del flauto, unendo i dati raccolti con elementi di teoria musicale della Grecia antica. Per validare le modalità di interazione con l'installazione museale è prevista una fase di test di usabilità che coinvolgerà alcuni soggetti sperimentali.

Nel medio termine, è prevista la sintesi del suono del flauto attraverso un modello fisico, che andrà a sostituire l'attuale realizzazione per campionamento. L'obiettivo è rendere più precisa la ricostruzione e aumentare le modalità di interazione e le capacità espressive. Quest'ultimo obiettivo è comune per il futuro progetto che prevede di realizzare una copia del flauto sensorizzata. Una stampa 3D delle stesse dimensioni del reperto e l'aggiunta di sensori quali giroscopio e accelerometro, consentirebbe di rilevare nuove *feature*, come ad esempio l'inclinazione del flauto, che influenza la resa sonora ed è alla base di alcune comuni tecniche utilizzate dai musicisti che suonano il flauto di Pan. Quest'ultimo futuro sviluppo, inoltre, entrerebbe di diritto in un ambito di ricerca sempre più di tendenza: la stampa 3D di strumenti musicali [13].

## 6. RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è parzialmente supportato dal progetto *Archaeology & Virtual Acoustics - A Pan flute from ancient*

*Egypt* sovvenzionato dall'Università di Padova con il finanziamento no. CPDA133925

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. H. Falk and L. D. Dierking, "School field trips: Assessing their long-term impact," *Curator: The Museum Journal*, vol. 40, no. 3, pp. 211–218, 1997.
- [2] A. Antoniou and G. Lepouras, "Modeling visitors' profiles: A study to investigate adaptation aspects for museum learning technologies," *J. Comput. Cult. Herit.*, vol. 3, pp. 7:1–7:19, Oct. 2010.
- [3] A. Rigolli, P. Russo, and I. L. Casa della musica (Parma, *Il suono riprodotto: storia, tecnica e cultura di una rivoluzione del Novecento : atti del convegno annuale del Laboratorio per la divulgazione musicale : Parma, 10 e 11 novembre 2006*. Giornale della musica, EDT, 2007.
- [4] F. Avanzini and S. Canazza, "Virtual analogue instruments: an approach to active preservation of the studio di fonologia musicale," in *The Studio di Fonologia - A Musical Journey* (M. Novati and J. Dack, eds.), pp. 89–108, Milano: Ricordi (MGB Hal Leonard), June 2012.
- [5] S. Canazza, C. Fantozzi, and N. Pretto, "Accessing tape music documents on mobile devices," *ACM Trans. on Multimedia Comput., Commun. Appl.*, vol. 12, no. 1s, p. 20, 2015.
- [6] F. Bressan and S. Canazza, "A systemic approach to the preservation of audio documents: Methodology and software tools," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2013, p. 21 pages, 2013.
- [7] F. Avanzini, S. Canazza, G. De Poli, C. Fantozzi, N. Pretto, A. Rodà, I. Angelini, C. Bettineschi, G. Deotto, E. Faresin, A. Menegazzi, G. Molin, G. Salemi, and P. Zanolletto, "Archaeology and virtual acoustics. a pan flute from ancient Egypt," in *(SMC2015)*, (Maynooth), pp. 31–36, July 2015.
- [8] N. Simon, *The participatory museum*. Museum 2.0, 2010. Creative Commons.
- [9] N. H. Fletcher and T. D. Rossing, *The physics of musical instruments*. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [10] S. Hagel, *Ancient Greek music: a new technical history*. Cambridge University Press, 2009.
- [11] M. Russ, *Sound Synthesis and Sampling*. Music technology series, Elsevier/Focal Press, 2004.
- [12] A. Okita, *Learning C# Programming with Unity 3D*. CRC Press, 2015.
- [13] A. Zoran, "The 3d printed flute: Digital fabrication and design of musical instruments," *Journal of New Music Research*, vol. 40, no. 4, pp. 379–387, 2011.