

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Progettazione e prototipo di un'arpa MIDI a una corda

Relatore

Prof. Rodà Antonio

Laureando

Soffiati Corrado

Correlatore

Merendino Nicolò

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Data di laurea 27/09/2024

Alle persone che hanno condiviso con me questi anni e mi hanno insegnato ad accettarmi.

Sommario

L'obiettivo di questo elaborato è la costruzione di un prototipo di arpa MIDI a una corda, che può fungere da base per lo sviluppo di un'arpa MIDI completa. Si effettua quindi una ricerca sugli aspetti più critici della progettazione: sensori, microcontrollore per l'acquisizione del segnale ed elaborazione, protocollo MIDI. Il progetto è in collaborazione con l'arpista professionista pescarese Annabella Palleri, con cui si sono discusse le esigenze artistiche. Viene inoltre fornito del contesto sul concetto di strumento musicale, rapporto tra musicista e interfacce utilizzate ed esempi di progettazione. Una parte corposa è dedicata all'ideazione e costruzione fisica del prototipo. Si riportano due programmi sviluppati in autonomia e le modifiche al programma di un autore esterno per Arduino UNO R3. Si conclude con una discussione sul prototipo prodotto e possibili migliorie.

Indice

1	Background	1
1.1	Interfacce musicali	1
1.1.1	<i>New Interfaces for Musical Expression</i>	2
1.2	Strumenti e protocollo MIDI	2
1.2.1	Protocollo MIDI	2
1.2.2	Effetti MIDI per chitarra elettrica	4
1.3	Arpa MIDI	5
1.3.1	Concerto per arpa MIDI e orchestra	6
1.3.2	Soluzioni artigianali	6
1.3.3	Nimecraft e Digital Luthiery	7
2	Metodologia	9
3	Ideazione del prototipo	11
3.1	Brief di progetto	11
3.1.1	Esigenze artistiche	11
3.1.2	Esigenze tecniche	12
3.1.3	Altre considerazioni	12
3.2	Prototipazione	12
3.2.1	Corde	12
3.2.2	Trasduttori	13
3.2.3	Acquisizione e trasmissione dati	15
3.2.4	Costruzione	20
4	Discussione	25
4.1	Validazione dall'arpista	25
4.2	<i>Reflection on action</i>	26
4.3	Possibili migliorie	28

5 Conclusione	31
Bibliografia	33

Elenco delle figure

1.1	Logo MIDI. Immagine di dominio pubblico.	3
1.2	Flusso di dati MIDI. Immagine da https://www.chd-el.cz/support/application/app001-midi/	4
1.3	Daisy chain di tre synth. Immagine da [7], pag.21	5
1.4	Porte MIDI e cavo. Immagine da https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=142551	5
1.5	Varie arpe. Da sinistra: classica a 47 corde, celtica a 34 corde, celtica a 22 corde.	7
3.1	Pickup magnetici montati su chitarra. Crediti dell'immagine: Future. Dal sito: https://www.guitarworld.com/gear/how-does-a-guitar-pickup-really-work	13
3.2	Tre trasduttori piezo, due dei quali con dell'elettronica per la compatibilità a 5V.	13
3.3	Messaggi di Note OFF ripetuti.	17
3.4	Messaggi di Note ON ricevuti correttamente.	17
3.5	Durante il secondo 298 appaiono sei acquisizioni.	17
3.6	Tensione in ingresso rilevata in base ai sample acquisiti. Immagine da [14], pag.54	19
3.7	Schema di base del prototipo.	21
3.8	Levigatura di un asse e spigolo interno dopo l'assemblaggio delle due.	21
3.9	Assestamento e taglio dell'asse lunga.	23
3.10	Prototipo completo e Arduino UNO R3 con sensore "Pusokei".	23

Capitolo 1

Background

1.1 Interfacce musicali

Il rapporto tra persone e musica è argomento di grande interesse sia in campo umanistico che scientifico. Ma cosa si intende esattamente per *musica*? Si possono dare svariate definizioni in base alla qualità musicale che si vuole accentuare. Qualcuno potrebbe ipotizzare che consista in un insieme di suoni armoniosi, altri che debbano suscitare delle emozioni, altri ancora che qualunque *pattern*, anche solo ritmico, possa essere considerato musica. La discussione può essere approfondita prendendo in considerazione i mezzi con cui le persone producono suoni. Pensando cronologicamente, si può supporre che migliaia di anni fa si utilizzasse il proprio corpo o oggetti della natura come pietre e legna per creare ritmi, oppure che il ritmo sia un prodotto di un lavoro di gruppo, oppure un mezzo per coordinarsi [1]. Sono anche stati trovati reperti a forma di flauto che potrebbero essere strumenti musicali primordiali. Col passare dei millenni e la ricerca di mezzi di espressione sempre più raffinati, sono state inventate numerose nuove interfacce musicali, fino alla produzione industriale che ha permesso ad un pubblico sempre più vasto di ottenere uno strumento con relativa facilità.

Nell'era corrente l'espressione musicale assume forme sempre più differenziate e innovative. Diversi fattori come preferenze personali, modello culturale in cui si è cresciuti, studi effettuati, disabilità visibili e non visibili, proprietà del sistema uditivo [2] e molti altri influenzano le persone e il loro modo di esprimere le proprie idee e, in particolare, il loro modo di vivere la musica.

Un musicista può quindi avere diverse necessità riguardanti il suo ambiente musicale. Per importanza spiccano sicuramente gli strumenti musicali (o interfacce), che possono essere modificati, o meglio, *customizzati* a piacere. La promozione e ricerca in campo artistico, scientifico e tecnologico, considerando soprattutto la personalizzazione degli strumenti, è portato avanti da numerosi gruppi di lavoro. Tra questi è di interesse citare *Instrument Inventors*, comunità di

artisti basata su: sviluppo dei talenti delle persone, ricerca di eccellenze a livello internazionale, diversità culturale, paga dignitosa per tutti e tutte [3]. I lavori del gruppo includono laboratori, programmi mediatici, eventi, installazioni artistiche.

1.1.1 *New Interfaces for Musical Expression*

La conferenza internazionale sulle nuove interfacce per l'espressione musicale (NIME) unisce ricercatori e musicisti da tutto il mondo per la condivisione della conoscenza e degli ultimi lavori rivoluzionari sul *design* di nuove interfacce musicali. La conferenza è tenuta annualmente, e viene svolta dal 2001 in diverse città del mondo, ospitata da gruppi di ricerca dedicati al *design* delle interfacce, l'interazione uomo-macchina, e la musica digitale [4] (trad. dell'autore).

Le pubblicazioni dei partecipanti sono sottoposte a *peer-review* e rese disponibili gratuitamente a chiunque le voglia consultare (*open access gold*). Gli ambiti di ricerca sono molti vari, tra questi ricordiamo: liuteria, realtà virtuale, apprendimento automatico, gestualità. Un esempio interessante è l'articolo *Material embodiments of electroacoustic music: An experimental workshop study* [5]. Gli autori hanno inizialmente sottoposto i partecipanti all'ascolto di differenti brani, con l'obiettivo di ottenere descrizioni testuali e gestuali dei suoni utilizzati, e poi hanno messo a disposizione dell'argilla per permettere ai partecipanti di costruire un prototipo di uno strumento che, nelle loro idee, avrebbe potuto riprodurre i brani precedentemente ascoltati.

1.2 Strumenti e protocollo MIDI

Con l'avvento della digitalizzazione e della musica elettronica, artisti da tutto il mondo hanno cercato, e ancora cercano, nuovi mezzi di espressione. Spesso queste interfacce originali sono basate su strumenti già esistenti, altre volte sono create *ad hoc* dal musicista o dalla collaborazione di più persone.

Nonostante già nella prima metà del XX secolo le persone sperimentassero con la musica elettronica [6] utilizzando strumentazione elettromeccanica prima e a nastro dopo, si è dovuto attendere fino agli anni ottanta per la proposta di un protocollo standard volto ad assicurare il funzionamento tra dispositivi di costruttori diversi. Si tratta del MIDI.

1.2.1 Protocollo MIDI

Il protocollo MIDI è stato ideato in modo da ottenere un alto livello di espandibilità e compatibilità. Con espandibilità si intende «*un insieme piuttosto vasto di comandi[...]. Le specifiche MIDI contengono messaggi che codificano funzioni o comandi cui un dispositivo compatibile*



Figura 1.1: Logo MIDI. Immagine di dominio pubblico.

può rispondere o meno» [7]. La compatibilità è la proprietà fondamentale del protocollo: la versione 1.0 è ancora tutt'oggi in uso e permette la retro-compatibilità con strumentazione meno recente. Diversi dispositivi dotati di MIDI possono comunicare usando un insieme di comandi condivisi e immediatamente comprensibili.

Un altro aspetto notevole è quello economico: nell'era del massiccio utilizzo di sintetizzatori da parte di artisti di grande rilievo e popolarità come David Bowie, Paul McCartney, Kraftwerk e molti altri, aziende leader di settore come Yamaha, Roland, Korg e Oberheim spingevano gli investimenti nel settore. Da questa competizione commerciale è nato tuttavia il problema della compatibilità, che il protocollo MIDI proposto a inizio degli anni ottanta si apprestava a risolvere con una spesa relativamente contenuta [8].

I dati vengono spediti da un mittente in grado di generare dati MIDI e ricevuti da uno o più destinatari (di solito dei sintetizzatori) abilitati alla loro analisi. In base al *setup*, questi possono spesso essere interscambiabili. Il flusso è unidirezionale (mittente→destinatario), per essere reso bidirezionale si ha bisogno un ulteriore canale trasmissivo dove i ruoli dei dispositivi sono invertiti.

Il protocollo è seriale asincrono con velocità di trasmissione pari a 31250 bit/s $\pm 1\%$ e 16 canali disponibili. Ogni parola è composta di 10 bit senza bit di parità: 1 bit di start, 8 bit di dati MIDI effettivi e 1 bit di stop. Queste scelte sono frutto di studi che confrontano velocità di propagazione del suono, tempi di latenza del comparto digitale e numero di eventi registrati (caso di solista o più musicisti in contemporanea), fattori fondamentali per ottenere una *performance* soddisfacente.

I messaggi MIDI sono formati da un byte di stato, riconoscibile poichè inizia con 1, e poi una serie di byte di dati (che iniziano con 0). Per esempio, il seguente messaggio:

```
92 3C 40
```

configura *Note ON* sul canale 3, suona la nota *middle C*, a metà della velocità massima (0x40 è 64 in decimale, metà della velocità massima disponibile).

Tra i principali comandi MIDI si ricordano: *Note ON*, *Note OFF* (ottenibile anche con *Note ON* a velocità nulla), *CONTROL CHANGE*, *PITCH BEND*. Ulteriori informazioni ed esempi sono disponibili su siti come [9] e vari testi in letteratura.

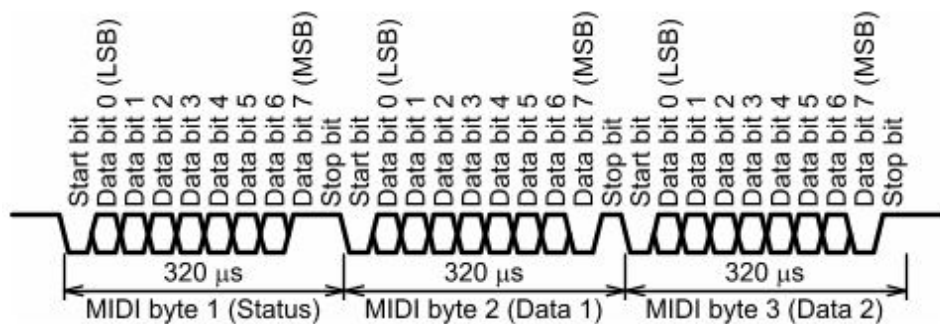


Figura 1.2: Flusso di dati MIDI. Immagine da <https://www.chd-el.cz/support/application/app001-midi/>.

Una porta MIDI è dotata di 3 connettori: MIDI IN riceve i messaggi in ingresso, MIDI OUT trasmette i messaggi elaborati in uscita, MIDI THRU propaga in uscita i messaggi ricevuti su MIDI IN, in modo da poter connettere in serie (daisy-chain) più interfacce prestando attenzione alle latenze. I connettori sono standard DIN a 5 pin, uno dei pochi campi in cui è rimasto utilizzato, e la lunghezza massima del cavo è 15m.

Il protocollo MIDI è rimasto pressoché invariato dalla sua implementazione. Nonostante lo sviluppo di alcune varianti come "MIDI Machine Control", "MIDI Show Control" e "General MIDI", lo standard sopravvive tuttora. Nel 2005 è nata l'idea di un aggiornamento (MIDI 2.0), concretizzato poi nel 2020 grazie agli sforzi condivisi di aziende costruttrici di interfacce musicali come Roland, Korg e Yamaha, ma anche produttori di elettronica di consumo: Apple, Microsoft e Google, e persino compagnie specializzate in software musicali come Ableton e Native Instruments [7].

1.2.2 Effetti MIDI per chitarra elettrica

Un interessante utilizzo del protocollo MIDI e di interfacce musicali *custom* è presentato in "Advanced MIDI Guitar Effects System" [10]. L'autore ha progettato un sistema per l'elaborazione *real time* di effetti generati dall'utilizzo una pedaliera tramite un Digital Signal Processor (DSP). Il tutto organizzato con standard MIDI.

La pedaliera, basata sul microcontrollore 8051, è dotata di molteplici switch da attivare col piede per la selezione dell'effetto desiderato e due pedali per l'intensità. E' stata programmata per generare e trasmettere al DSP dati MIDI: cambio di effetto, canale, numero di pedale, nuovo valore. E' stata inoltre aggiunta dell'elettronica per ottenere un riferimento in tensione stabile.

Effetti come Fuzz, Tremolo, Delay, Flanger sono stati implementati nel DSP tramite algoritmi discreti, riportati nel documento. Le connessioni MIDI tra pedaliera, DSP e PC sono state implementate utilizzando dell'ulteriore elettronica per permettere la compatibilità elettrica. E'

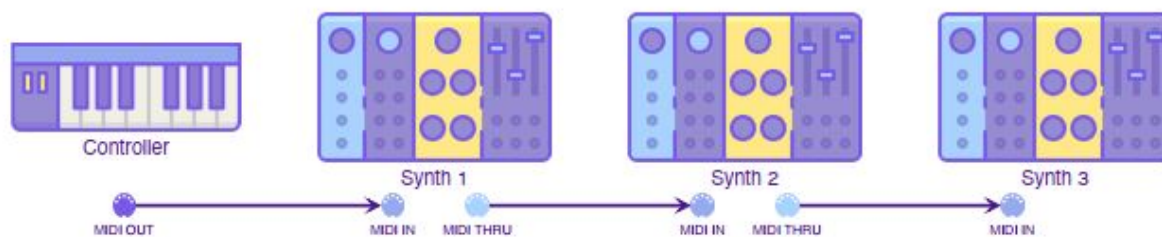


Figura 1.3: Daisy chain di tre synth. Immagine da [7], pag.21

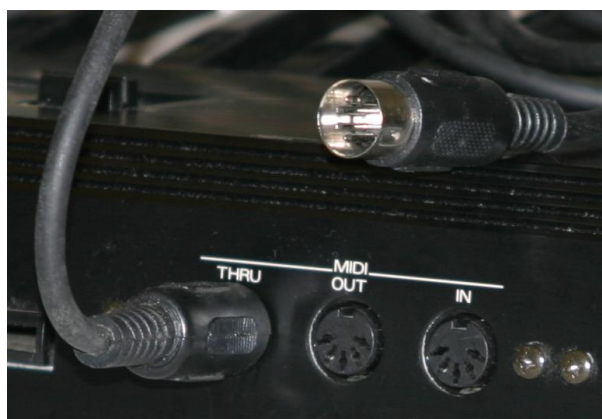


Figura 1.4: Porte MIDI e cavo. Immagine da <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=142551>

stata inoltre programmata in Java un'interfaccia grafica per la programmazione della pedaliera in maniera semplice e intuitiva. Il sistema finito è sicuramente uno stimolante caso di studio.

Senza entrare nel dettaglio, un altro progetto interessante è "The MIDI Pick" [11], plectro dotato di sensore di pressione che trasmette in maniera *wireless* valori (analogici o digitali) in base a quanto viene stretto, anche in formato MIDI.

1.3 Arpa MIDI

L'arpa è uno strumento a corda. Nel corso dei secoli ne sono state costruite di diversi tipi, in base al periodo storico e alla regione. Si spazia da forme più originali come l'arpa liberiana e l'arpa doppia a quelle più classiche dell'arpa irlandese. L'arpa moderna a pedali è sicuramente la versione più conosciuta e che si vede più spesso nelle orchestre. Altri modelli di rilievo contemporaneo sono l'arpa celtica, elettroacustica ed elettrica. Lo strumento varia in dimensioni, numero di corde, meccanica e prezzo in base alla configurazione scelta. Il materiale di costruzione standard è il legno, di vari colori e durezza a seguito delle scelte del liutaio e del cliente, mentre le arpe elettriche più recenti possono essere in fibra di carbonio.

L'arpa oggetto di questo elaborato è una particolare versione in cui la vibrazione della corda viene captata da un sensore e trascinata in segnale elettrico. Il segnale viene poi acquisito, elaborato e infine trasmesso secondo protocollo MIDI. Questo può essere utile ai musicisti che vogliono sperimentare diversi suoni utilizzando uno strumento a loro familiare.

La letteratura disponibile riguardante l'arpa MIDI scarseggia, tuttavia si possono già trovare delle soluzioni sia sperimentali che professionali.

1.3.1 Concerto per arpa MIDI e orchestra

Commissionato dall'arpista Sioned Williams in collaborazione con Camac Harps e PRS For Music Foundation, nel 2011 si è svolto *No Doubt: Concerto for MIDI harp and orchestra*, condotto da Andrew Litton ed eseguito da Sioned Williams e la BBC Symphony Orchestra. L'arpa suonata era MIDI e, tra gli altri suoni, sono state anche riprodotte frasi dette da persone come George Bush e Robin Cook. Un utilizzo sicuramente fuori dagli schemi della musica classica [12].

1.3.2 Soluzioni artigianali

Cercando sui motori di ricerca si possono trovare alcune implementazioni di arpa MIDI. Due sono di particolare interesse.

Un utente del sito hackaday.io [13] riferisce di aver costruito un'arpa MIDI funzionante, con video annessi. Le corde sono per la chitarra, e i sensori degli estensimetri utilizzati insieme a un amplificatore AD620. Il segnale è poi acquisito da un Arduino DUE ed elaborato secondo lo standard MIDI con l'ausilio di librerie dedicate. Il segnale viene trasmesso ad un Raspberry PI con Zynthian (sintetizzatore) e Pianoteq (tastiera virtuale). Il *designer* intende anche aggiungere pedali per i semitoni, al momento selezionabili tramite uno schermo touch per l'Arduino. Il concetto tuttavia è fermo dal 2020.

Un progetto più ampio e approfondito è descritto in "*Adaptation of an Harp for MIDI Implementation and Sound Amplification*" [14]. L'autore ricerca nel dettaglio trasduttori che convertano stress meccanici delle corde in cariche elettriche (*piezotransducers*) e utilizza un Teensy 3.5 per l'acquisizione e la conversione MIDI. Ulteriore elettronica e vari algoritmi sono stati implementati per la compatibilità elettrica e il filtraggio dei segnali. Il tutto considerando i costi per ottenere un prodotto competitivo sul mercato. La documentazione è stata redatta nel 2019 e, seppur tuttora rilevante, incontra dei limiti: il progetto è stato sviluppato specificatamente per la scheda Teensy 3.5 e sono quindi necessari degli interventi sul programma e, volendo, anche sull'hardware aggiuntivo per la compatibilità con altre piattaforme. L'autore ha inoltre



Figura 1.5: Varie arpe. Da sinistra: classica a 47 corde, celtica a 34 corde, celtica a 22 corde.

personalizzato il *design* del trasduttore piezoelettrico utilizzato ([14], cap.6), mentre può essere interessante la ricerca di soluzioni commercialmente disponibili.

1.3.3 Nimecraft e Digital Luthiery

Per arrivare allo sviluppo di un'interfaccia utilizzabile è importante la condivisione dell'esperienza degli artigiani, al fine di costruire uno strumento tecnicamente eccellente e di gradimento del cliente. Una valutazione in tal senso è stata eseguita da J.Armitage et al. in "*The finer the musician, the smaller the details*": *NIMEcraft under the microscope*. [15].

Gli autori hanno condotto una serie di interviste indirizzate a liutai studenti, apprendisti e professionisti, interrogandoli sulle tecniche di produzione dei loro strumenti. Ne è nata una discussione sull'importanza della conoscenza acquisita lavorando. Gli intervistati hanno trovato difficoltà a descrivere verbalmente le azioni intraprese a livello di dettagli per migliorare notevolmente lo strumento. Mentre si ha a disposizione una serie di guide precise su come costruire uno strumento che suoni bene, è poi necessario un processo di decisione basato sulla conoscenza implicita del professionista per rendere uno strumento eccellente. A questi *set* di manualità ed esperienze gli autori hanno dato il nome di "*NIMEcraft*".

Sempre con l'obiettivo di approfondire la costruzione di un'interfaccia musicale, è interessante lo studio condotto da N.Renney et al. in *Studying how digital luthiers choose their tools* [16]. Per liuteria digitale si intende il mestiere di creare strumenti musicali digitali, che può essere eseguito da diverse figure coinvolte nell'ambito, tra queste: compositori, artisti, ingegneri del software, professori, direttori creativi, ricercatori. Gli autori hanno intervistato 27 persone con

diversi gradi di esperienza nel *design* e costruzione di interfacce musicali digitali con lo scopo di capire la relazione tra *designer* e strumenti di lavoro utilizzati come software, linguaggio di programmazione e supporti elettronici. L'analisi delle interviste ha mostrato come i partecipanti condividano vari motivi nelle scelte progettuali: *performance*, interoperabilità, facilità di utilizzo, accessibilità, familiarità ed efficienza nell'utilizzo e disponibilità. Si conclude quindi che l'approccio alla costruzione di un DMI (*Digital Musical Instrument*) dipende da diversi fattori incluso l'ambiente lavorativo e le qualità e i limiti degli attrezzi a propria disposizione. E' inoltre da notare che spesso il *design* delle interfacce musicali digitali è frutto della collaborazione tra vari artisti e, più in generale, della comunità.

Capitolo 2

Metodologia

Obiettivo di questa tesi è il progetto di un prototipo di arpa MIDI a singola corda.

Per lo sviluppo si è seguita una metodologia basata sulla *Research Through Design* [17]. Questa consiste sulla prototipizzazione e sul *design* di un prodotto come mezzo di arricchimento della conoscenza generale anche utilizzabile successivamente in altre ricerche. Durante lo sviluppo, il *designer* si confronta con le opportunità e i limiti del progetto, ed è quindi portato alla ricerca di nuove idee e soluzioni. «*Research Through Design* è un termine principalmente utilizzato in ambito accademico e nelle comunità di progettisti (soprattutto di interfacce uomo-macchina). [...] Si osserva anche che azioni di *design* contribuiscono al miglioramento non solo un singolo prodotto o una situazione ma aiutano la scoperta, il chiarimento e la promozione di principi generali utilizzabili in altri contesti.» ([17], par. 41.1.15, trad. dell'autore).

I seguenti punti riassumono gli *step* intrapresi.

- **Incontro conoscitivo.** Il progetto è stato richiesto dall'arpista professionista Annabella Palleri. Si è quindi organizzato un incontro per discutere delle esigenze artistiche con la diretta interessata. Ne sono nati spunti di riflessione, anche sull'ambito tecnico del progetto.
- **Tabella di marcia.** Il tempo disponibile per il progetto, data l'imminente laurea dell'autore, è di circa due mesi, periodo feriale estivo incluso. E' quindi importante darsi dei tempi da rispettare e scrivere un indice che fornisca una strategia di progetto.
- **Svolgimento.** Un primo approccio consiste nell'individuare il contesto attorno alla personalizzazione delle interfacce musicali. Vengono quindi studiati articoli, libri e tesi di altri autori. Poi inizia la progettazione del prototipo vera e propria: si studia la (poca) letteratura disponibile in merito e si cercano possibili soluzioni alle sfide tecniche del progetto: trasduttori, corde, acquisizione del segnale, programma per la generazione del segnale

MIDI, microcontrollore, supporto. Questi saranno descritti più nel dettaglio nel capitolo "Ideazione del prototipo".

- **Appunti.** Durante tutto il progetto si tiene un registro dove riportare i progressi effettuati e le difficoltà incontrate. Questo è anche utile in caso di dubbi, o su decisioni prese in precedenza che in un secondo momento non appaiono più chiare.
- **Validazione.** Completato il prototipo, si organizza un nuovo incontro con Annabella Palleri per avere un *feedback* sul reparto artistico e sulle funzionalità.
- **Analisi e discussione.** Terminato il colloquio di validazione, ci si trova (online o in presenza) per analizzare le possibili criticità incontrate (*Reflection on action*) e proporre eventuali migliorie.

In accordo con la metodologia *Research Through Design* ([17], par. 41.2) ci si pone alcune domande:

- **Quale conoscenza si è acquisita?** Contesto riguardante le interfacce musicali e digitali, protocollo MIDI, proprietà e funzionamento di trasduttori piezoelettrici, aggiornamento di un programma per la compatibilità tra diverse piattaforme. Più in generale, come impostare un progetto e dove reperire le informazioni necessarie al suo svolgimento.
- **Come viene condiviso il progetto, e a chi è rivolto?** Questa tesi viene caricata sull'archivio delle tesi di laurea dell'Università degli Studi di Padova ¹. L'elaborato funge da base per un possibile prodotto di arpa MIDI completo e c'è quindi l'evenienza di una commercializzazione. Tra le opzioni di visualizzazione della tesi è disponibile, se necessario, l'embargo di uno o più anni. La tesi è rivolta a tutte le persone interessate alla personalizzazione degli strumenti o interfacce musicali, e vuole essere anche una limitata revisione della letteratura disponibile alla data della pubblicazione.
- **Quali metodi e processi sono stati seguiti?** La metodologia è basata sul *Research Through Design*, e il processo è stato di: raccolta di informazioni, stesura di una *roadmap*, ricerca di componenti e programmi online, scrittura di programmi in autonomia, costruzione del prototipo e scrittura dell'elaborato, revisione e analisi.
- **Cosa è stato prodotto?** Un prototipo di arpa MIDI a una corda con programma per Arduino UNO R3.

¹<https://thesis.unipd.it/>

Capitolo 3

Ideazione del prototipo

3.1 Brief di progetto

L'arpista Annabella Palleri ¹ ha contattato il Centro di Sonologia Computazionale dell'Università degli Studi di Padova per una proposta di collaborazione: la costruzione di un'arpa MIDI. Aveva già provato un'implementazione in autonomia con risultati per lei insoddisfacenti, di conseguenza la decisione di rivolgersi al CSC per un progetto più ampio. Questo elaborato viene quindi redatto in questo contesto: si svilupperà un sistema di acquisizione e di elaborazione dati MIDI affidabile per un prototipo di arpa MIDI a una corda.

Si è organizzato un incontro online in data 22 luglio 2024 per discutere progetto e budget a cui hanno partecipato: l'arpista Annabella Palleri, il Prof. Antonio Rodà del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (relatore), il Dottorando Nicolò Merendino (supervisore) e Corrado Soffiati (autore, studente laureando nel corso triennale di Ing. Elettronica presso l'Università degli Studi di Padova). Il colloquio è avvenuto su un canale dedicato all'Università della piattaforma Zoom ed è durato poco più di un'ora. Non avendo il computer a disposizione in quel momento ho preso appunti su un foglio, e li ho poi trascritti quando ne ho avuto l'opportunità. L'incontro è servito a presentarsi, a comprendere le necessità artistiche di Annabella Palleri e le possibili implementazioni tecniche.

3.1.1 Esigenze artistiche

Durante il colloquio Annabella Palleri ha riferito di volere disponibilità di uno strumento con accordatura immediata e innovativo. E' già in possesso di un'arpa elettrica e idealmente vorrebbe poter avere un sistema per scegliere facilmente tra arpa MIDI ed elettrica (sistema che esula dall'obiettivo di questa tesi, ma potrà essere approfondito in seguito). Ha notato inoltre come

¹<https://annabellapalleri.jimdofree.com/biografia/>

l'arpa elettrica sia già un prodotto di nicchia, e quindi un'arpa MIDI possa essere uno strumento rivolto a un pubblico ancora più specifico. Da una consultazione sul sito dell'azienda Salvi Music² produttrice di arpe classiche, elettroacustiche ed elettriche si apprende che un'arpa elettrica può essere a 29 corde. E' ragionevole pensare che un'arpa MIDI completa potrebbe presentare lo stesso numero di corde.

3.1.2 Esigenze tecniche

L'obiettivo di questa tesi è la prototipazione di un'arpa MIDI a singola corda ed è quindi fondamentale effettuare delle scelte: tipo di corda da utilizzare, trasduttore, microcontrollore per l'acquisizione del segnale, supporto, budget. Questi saranno dettagliati nella sezione "Prototipazione". Durante l'incontro online sono stati sollevati importanti spunti di discussione: Annabella Palleri ha riferito che in precedenza aveva già provato a utilizzare la sua arpa elettrica come base per un'arpa MIDI aggiungendo un *pickup* con successo. Il Prof. Rodà tuttavia è intervenuto prendendo in considerazione il costo, che per un'arpa MIDI completa di tutte le corde potrebbe essere proibitivo in caso di commercializzazione di un prodotto finito, e ha quindi suggerito, visto l'ambito della tesi, che Soffiati provveda alla ricerca di altri sensori più economici. Dato il suo campo di ricerca, Nicolò Merendino è intervenuto ricordando l'importanza della sostenibilità del progetto: l'utilizzo di sensori già sperimentati potrebbe migliorare l'impatto ambientale.

3.1.3 Altre considerazioni

Annabella Palleri ha espresso l'intenzione di considerare il progetto anche in ottica commerciale. E' interessata allo sviluppo di un prodotto finito (che esula dallo scopo di questa tesi) che possa essere competitivo sul mercato nonostante l'arpa MIDI sia un prodotto molto specifico e rivolto a un pubblico specializzato. Annabella Palleri ha infatti richiesto ai partecipanti all'incontro su Zoom di firmare un accordo di non divulgazione (*NDA*).

Questa tesi viene quindi sottoposta a embargo per un tempo concordato in 18 mesi.

3.2 Prototipazione

3.2.1 Corde

Dati i diversi tipi di corde utilizzate su un'arpa, la scelta per il prototipo è rilevante. Durante l'incontro online Annabella Palleri ha riferito l'importanza di mantenere la sensazione tattile che

²<https://www.delta-harp.com/>



Figura 3.1: Pickup magnetici montati su chitarra. Crediti dell'immagine: Future. Dal sito: <https://www.guitarworld.com/gear/how-does-a-guitar-pickup-really-work>

un'arpista sperimenta mentre suona lo strumento, e sarebbe quindi meglio avere la possibilità di provare con più tipologie di corde. Ha provveduto a fornire a Soffiati diverse corde per arpa elettrica: 2x *3rd Octave D String* in carbonio, 1x *5th Octave G String* in metallo, 1x *5th Octave F String* in metallo, tutte comprate sul negozio online di Salvi Music ³.

3.2.2 Trasduttori

Un trasduttore consiste in un dispositivo che, tramite principi fisici, trasforma una grandezza in un'altra. Nel nostro caso si vuole trasdurre la vibrazione di una corda in un segnale elettrico che possa essere acquisito da un sistema digitale. La ricerca di un trasduttore (in gergo *pickup*), parte dagli utilizzi già affermati per le chitarre elettriche. Se ne riscontrano principalmente di due tipi: magnetici e piezoelettrici. Si approfondiscono quindi pro e contro di queste proposte.

Trasduttori magnetici

Basati sul principio fisico dell'induzione magnetica, i trasduttori magnetici catturano con accuratezza e precisione le variazioni di campo magnetico prodotte dal movimento delle corde dotate

³<https://store.salvimusic.it/product-categories/str>

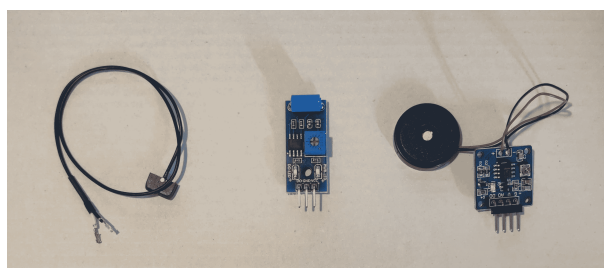


Figura 3.2: Tre trasduttori piezo, due dei quali con dell'elettronica per la compatibilità a 5V.

di nucleo ferromagnetico, producendo una forza elettromotrice secondo la Legge di Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B(t)}{dt}. \quad (3.1)$$

Nonostante questi trasduttori siano ottimi, altamentente commercializzati e le loro proprietà ampiamente conosciute e studiate [18], potrebbero non essere ideali per il progetto in questione. L'importanza del *feedback* tattile sulle corde costringe all'utilizzo di corde di nylon o carbonio, e non essendo dotate di nucleo ferromagnetico impediscono l'utilizzo dei trasduttori magnetici. Un'arpa completa è dotata sia di corde in nylon o carbonio sia di corde metalliche, quindi in teoria si potrebbero comunque usare in parte. Per questo prototipo si è deciso tuttavia di non utilizzarli.

Trasduttori piezoelettrici

L'altra importante tipologia di trasduttori è quella dei piezoelettrici. L'effetto è dato dalla caratteristica di alcuni cristalli e ceramiche di poter sviluppare una carica elettrica in risposta alla deformazione meccanica [19]. Questo li rende adatti a una vasta gamma di applicazioni: misura di urti, vibrazioni, pressioni e forze, il tutto in contesti dinamici. Non sono infatti sensibili a sollecitazioni costanti.

In merito al prototipo, sono stati provati tre modelli. Due acquistati tramite canali online, uno fornito da Annabella Palleri.

Il primo (in figura 3.2, a destra) è di marca "Pusokei". utilizza un foglio ceramico circolare di diametro 20mm come trasduttore, e l'elettronica è dotata di un potenziometro per impostare la sensibilità. La tensione in uscita può essere selezionata tramite i pin sulla scheda: analogica o digitale (range 0-5V).

Il secondo (in figura 3.2, al centro) è di marca "AZ-Delivery" modello SW420. E' un modulo che in presenza di vibrazioni sul sensore, produce una tensione in uscita a livello alto.

Il terzo (in figura 3.2, a sinistra) è un Ghost® Piezo Acoustic Steel String Saddle, un *pickup*.

Utilizzando un programma di prova scritto in autonomia e che sarà analizzato successivamente, si provano i primi due trasduttori.

Prova: Trasduttore "Pusokei"

Il primo trasduttore in prova è quello di marca "Pusokei" fornito con modulo per la tensione a 5V. Collegato secondo quanto indicato dal produttore, il trasduttore funziona correttamente. La schedina è dotata di un potenziometro per la sensibilità. Provando a ruotarlo, non si riscontrano cambiamenti sostanziali. Si prova ad emettere delle vibrazioni appoggiando la bocca al foglio ceramico, ma non si ottengono risultati. Funziona invece dando dei colpetti col dito.

Prova: Trasduttore "AZ-Delivery"

Come il precedente, anche questo fornisce 5V in uscita ed è stato collegato secondo le note produttive. Rispetto al primo trasduttore il potenziometro fornito varia notevolmente la sensibilità. Raccoglie meglio le vibrazioni, tanto che se rimane appoggiato su un piano e si batte col pugno sullo stesso piano, l'uscita si porta a valore alto. Tuttavia è digitale, l'uscita si porta a 0 oppure 5V, quindi non può essere utilizzato in maniera analogica.

3.2.3 Acquisizione e trasmissione dati

Una scelta progettuale fondamentale riguarda il microcontrollore utilizzato per l'acquisizione del segnale trasdotto, la sua elaborazione in formato MIDI e successiva trasmissione. I sistemi con microcontrollore disponibili sul mercato più utilizzati per progetti sia DIY (*Do It Yourself*) che professionali sono molteplici: Arduino, Raspberry Pi, ESP32 [20][21] ecc. Marca e modello si scelgono in base alle necessità e competenze del *designer*.

Per questo prototipo si è scelto Arduino UNO R3. Il sistema è facilmente reperibile ed economico. Il fatto che sia *open-source* ha attratto molti appassionati di informatica ed elettronica, creando una comunità esperta e disponibile. Il linguaggio di programmazione è una variante del C++ e il supporto per eventuali difficoltà nella programmazione è affidabile, e non mancano programmi a cui ispirarsi per la stesura di un nuovo progetto. Un aspetto importante è la scalabilità: il programma scritto per Arduino UNO è replicabile per altri modelli della stessa piattaforma, più indicati per un prodotto completo.

Effettuando una ricerca su internet riguardante i progetti di arpa MIDI si è trovato un programma ottimizzato proprio per un'arpa MIDI⁴, si tratta dello sviluppo della tesi precedentemente menzionata nella sottosezione 1.3.2. Sul sito sono disponibili molti *tools* per lo studio del segnale acquisito come l'analisi con Fourier, la visualizzazione grafica, la validazione dell'ADC. Il programma è disponibile e gratuito, tuttavia potrebbe essere fin troppo completo e di difficile interpretazione per un progetto più circoscritto ad un primo prototipo. Per questo motivo si è scritto un nuovo programma utilizzando l'IDE Arduino versione 2.3.2 in modo da testare i vari trasduttori.

Programma di prova: prima versione

Una prima versione del programma di prova è la seguente:

```
#include <MIDI.h>
```

⁴<https://github.com/Mafiosi/Midi-Harp>

```

//MIDI initialization
MIDI_CREATE_DEFAULT_INSTANCE();
//Variables declaration
int string_input = 3;
//Functions
void sendData(){
    MIDI.sendNoteOn(60, 127, 1);
}
void stopData(){
    MIDI.sendNoteOff(60, 0, 1);
}

void setup(){
    Serial.begin(115200);
    MIDI.turnThruOff();
    pinMode(string_input, INPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(string_input), sendData, RISING);
}

void loop(){
    //void loop
}

```

Si utilizza il sistema di *interrupt* per l'acquisizione del segnale da un pin digitale, e viene eseguito il comando di *Note ON* alla ricezione del fronte di salita. E' da notare che il baud rate di 115200 non è in accordo col protocollo MIDI. Questo è dovuto ad un tool aggiuntivo che è stato utilizzato per controllare il corretto funzionamento del programma e dei sensori: *The hairless MIDI to Serial bridge*⁵. L'utilizzo consente di trasformare virtualmente la porta USB del computer in una porta MIDI. Nella versione finale, il baud rate si può agevolmente ripristinare al valore previsto dal protocollo. Permette inoltre un primo *debugging*, fornendo utili messaggi. Questo tool aggiuntivo ha consentito una rapida risoluzione dei problemi nel programma, di cui segue un esempio.

Inizialmente nella funzione di *setup()* era presente la seguente riga di codice:

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(string_input), stopData, FALLING);
```

⁵<https://projectgus.github.io/hairless-midiserial/>

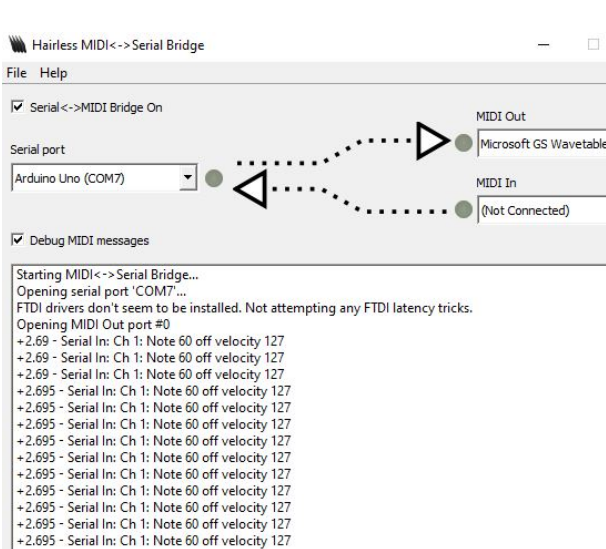


Figura 3.3: Messaggi di Note OFF ripetuti.

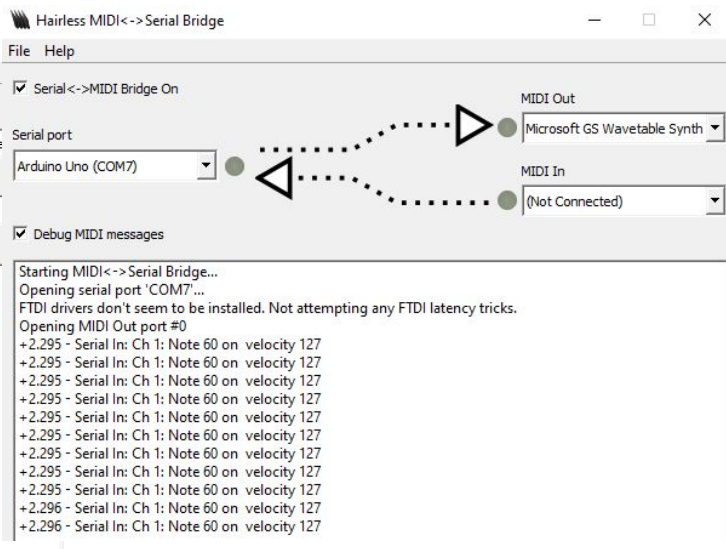


Figura 3.4: Messaggi di Note ON ricevuti correttamente.

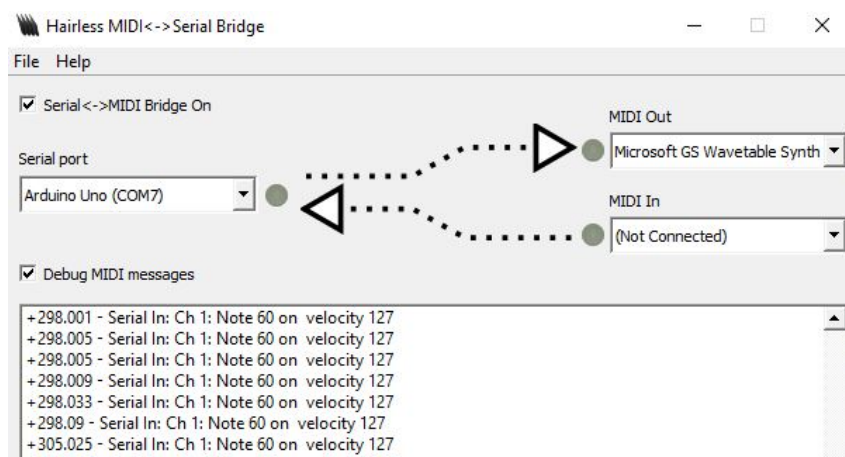


Figura 3.5: Durante il secondo 298 appaiono sei acquisizioni.

con `stopData()` funzione che implementa il comando *Note OFF*.

Come visibile in figura 3.3 si ottenevano solamente continui messaggi di *Note OFF*. Eliminata la riga di codice, il programma funziona: il comando di *Note ON* invia un pacchetto MIDI in maniera corretta (figura 3.4) e la nota selezionata viene riprodotta anche con l'audio, e si può fisicamente ascoltare dalle casse del computer.

Durante la prova con questo trasduttore è sorto un problema col programma: le vibrazioni vengono continuamente acquisite dall'*interrupt*, e la nota ritrasmessa anche molteplici volte al secondo, come visibile in figura 3.5.

E' stata quindi modificata la funzione `sendData()` in modo da avere un intervallo di tempo minimo tra due eventi. L'acquisizione è migliorata, ma non ancora soddisfacente. Si è quindi ripensato al funzionamento di base del programma.

Programma di prova: seconda versione

In questa versione si è sostituito il funzionamento ad *interrupt* con una lettura continua di un pin di ingresso analogico. L'utilizzo consente una rilevazione più precisa. Anche in questo caso è previsto un intervallo di tempo minimo tra due acquisizioni consecutive, in più il comando di *Note ON* è inviato solo se il valore acquisito supera una soglia (*threshold*) personalizzabile dall'utente. Segue il programma:

```
//Libraries
#include <MIDI.h>
//MIDI initialization
MIDI_CREATE_DEFAULT_INSTANCE();

//Variables declarations
int input_pin = A0; //Input pin for string acquisition
int THRESHOLD = 600; //Acquisition threshold
//Time control variables
int TIME_BETWEEN_ACQUISITIONS = 250;
unsigned long int last_time = 0;
unsigned long int current_time;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  MIDI.turnThruOff(); //Turn off MIDI Through
  pinMode(input_pin, INPUT);
}

void loop() {
  int reading = analogRead(input_pin); //Input reading
  if(reading > THRESHOLD){
    current_time = millis();
    if(current_time - last_time > TIME_BETWEEN_ACQUISITIONS){
      MIDI.sendNoteOn(60, 127, 1); //Send MIDI package
      //Serial.println(reading); //Serial print for debugging
      last_time = current_time; //Timing update
    }
  }
}
```

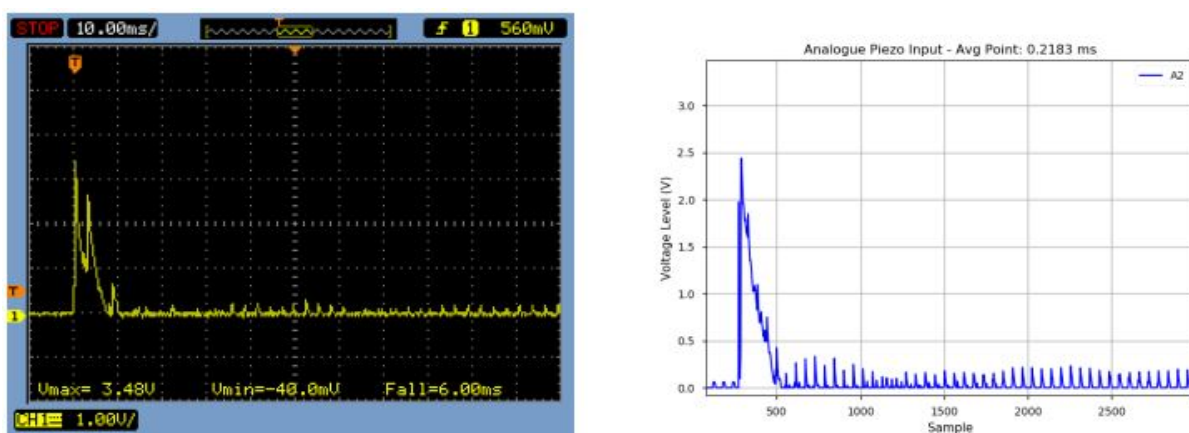


Figura 3.6: Tensione in ingresso rilevata in base ai sample acquisiti. Immagine da [14], pag.54

Il programma funziona bene ma non implementa il comando di *Note OFF*. Dopo queste prime prove in autonomia, avendo preso abbastanza confidenza col sistema si è deciso di studiare il programma scritto dall'autore esterno citato in 3.2.3.

Programma: Adaptation of an Harp for MIDI Implementation

Il programma, disponibile su <https://github.com/Mafiosi/Midi-Harp>, «funge da interfaccia MIDI per l'arpa, in modo da convertire la vibrazione della corda in un messaggio MIDI» (trad. dell'autore). E' stato scritto per il sistema Teensy 3.5⁶ e l'autore sostiene la compatibilità con Arduino UNO. Su questo elaborato non si riporta il programma completo, ma si effettuano alcune considerazioni e modifiche per permettere la piena compatibilità col sistema Arduino UNO R3.

- **Librerie:** il sistema Teensy prevede il tipo di variabile *elapsedMillis* per un conteggio dell'intervallo di tempo, mentre normalmente su Arduino sono necessarie due variabili di tipo *unsigned long int* e le funzioni *millis()* o *micros()*, e poi effettuare la differenza tra il conteggio salvato nelle due variabili. Modificare tutte le variabili di questo tipo presenti nel programma è dispendioso in termini di tempo, si è quindi optato per la ricerca di una libreria "ponte" tra i due sistemi. Si è scelta la libreria *elapsedMillis*⁷, che funziona in maniera ottimale.

Il sistema Teensy implementa automaticamente una libreria per la generazione di pacchetti MIDI, cosa non prevista su Arduino. Si è quindi aggiunta una libreria tra le tante disponibili, in questo caso *Arduino MIDI Library*⁸, molto utile in quanto crea automaticamente i pacchetti di dati MIDI e li invia tramite porta seriale.

⁶<https://www.pjrc.com/teensy/>

⁷<https://github.com/pfeerick/elapsedMillis>

⁸https://github.com/FortySevenEffects/arduino_midi_library

- **Modifiche:** il programma originario era pensato per due ingressi. Si è quindi modificato alcune variabili per diminuire il numero di ingressi da due a uno. Il pin di acquisizione è stato sostituito con il pin "A0" di Arduino UNO. Aggiunto un comando di inizializzazione per la libreria MIDI. Modificato il richiamo alle funzioni MIDI.
- **Threshold:** è impostata una soglia minima per la quale viene inviato il comando di *Note ON*. Se avvengono almeno 40 acquisizioni "nulle", è invece attivato *Note OFF*. Modificata l'equazione per la rilevazione della velocità con la quale inviare il comando di *Note ON*.
- **Temporizzazione:** è previsto un periodo minimo di 250ms tra l'invio di una nota e un'altra.

Il funzionamento di questo programma si basa (come la seconda versione scritta in autonomia) sull'acquisizione analogica e l'invio del comando di *Note ON* solo se viene superata una soglia impostabile. Anche in questo caso si ha un intervallo di tempo minimo tra l'invio di due note. In più è previsto un sistema di acquisizione di più campioni in base all'ADC utilizzato dal microcontrollore. L'immagine 3.6 mostra come la tensione al pin di ingresso vari in base al numero di rilevazioni. All'inizio supera la soglia impostata nel programma, poi scende rapidamente.

Nota: l'immagine 3.6 ritrae il caso specifico di [14], è utilizzata solo come esempio per questo elaborato.

3.2.4 Costruzione

La costruzione fisica del prototipo inizia da un'idea del *design*.

Idea di base

Prendendo in considerazione la figura 3.7:

- La scelta più naturale è quella di una forma che si avvicini all'arpa. In questo caso è stato scelto un *design* triangolare con supporto in legno.
- Il punto 1 indica il piolo per l'aggancio della corda e per l'accordatura. La corda è posizionata in modo che l'avvitamento la porti in tensione e la attorcigli su se stessa, bloccandola. La corda scende perpendicolarmente alla base, dove passa attraverso un foro. Sulla superficie esterna della base è eseguito il nodo per fissare la corda.
- Il punto 2 è riferito a un supporto per il sensore, che viene posto di fronte alla corda.

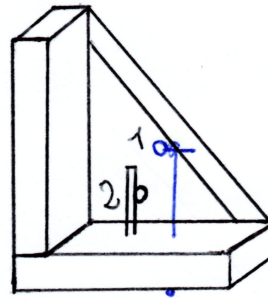


Figura 3.7: Schema di base del prototipo.

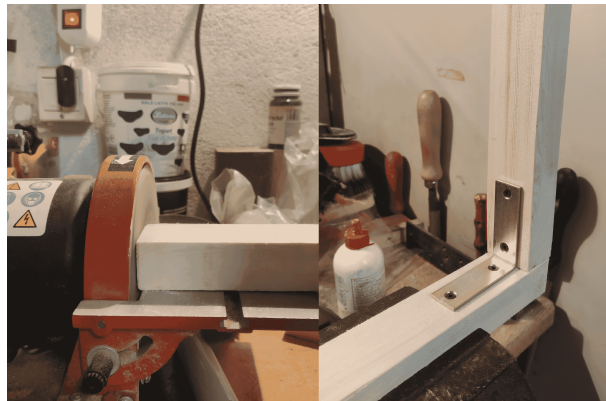


Figura 3.8: Levigatura di un asse e spigolo interno dopo l'assemblaggio delle due.

Assemblaggio

Il materiale è stato acquistato presso un rinomato rivenditore disponibile in zona e consiste in alcune assi di legno di abete da 1m, viti, viti con occhiello, squadre di metallo. Si è seguito il seguente procedimento per l'assemblaggio del prototipo.

- Dalla prima asse ne sono state ricavate due di 40cm. Queste sono state lisciate con una raspa da legno, carta vetrata e un disco abrasivo sia sulle superfici che sugli spigoli. Poi sono stati eseguiti due fori con un trapano a punta sottile come guida per le viti. Le assi sono state montate in maniera perpendicolare tramite due viti sulla superficie esterna, e quattro viti e una squadra in metallo sulla superficie interna. E' stata anche usata della colla tra le due assi per ottenere maggiore robustezza (figura 3.8).
- L'asse rimanente è stata prima montata a lato della base già assemblata utilizzando ancora colla e viti. E' stato poi levigato e lasciato a riposo affinché la colla si asciugasse e il materiale si assestasse. Successivamente sono state tagliate le parti in eccesso e di nuovo levigate (figura 3.9).

- Sulla base è stato effettuato un foro passante a pochi centimetri di distanza dalla squadra in metallo. Sulla superficie esterna la corda è bloccata grazie ad un supporto già in dotazione, poichè si è utilizzato una corda *5th Octave F String*. All'altro capo, la corda è stata fissata ad una vite con occhiello chiuso che funge da piolo per accordatura, il quale è avvitato nell'asse diagonale.
- All'inizio si pensava di posizionare il trasduttore su un supporto in legno parallelo alla corda. Prima di procedere si è provata un'altra soluzione: appoggiare il foglio ceramico circolare del trasduttore di marca "Pusokei" in un punto dove la vibrazione della corda, propagandosi sulla superficie, potesse essere ben rilevata. E' stata quindi effettuata una prova col sensore posizionato vicino al piolo di accordatura con successo (figura 3.10): quando la corda viene suonata, le casse del computer emettono la nota scelta nel programma.

Prova: trasduttore Ghost®

Questo trasduttore non è provvisto di modulo per la compatibilità a 5V. E' quindi sorto il dubbio su possibili danni che potrebbe causare al microcontrollore in caso sia direttamente connesso. Si è effettuato un semplice test col multimetro: connessi i puntali ai capi del trasduttore, questo viene mosso per simulare una vibrazione. Sul multimetro si è letta una tensione massima prodotta di 0.21V, che rientra largamente nei parametri di funzionamento del microcontrollore.

Il trasduttore è stato collegato direttamente ai pin GND e A0 dell'Arduino e si è effettuata una prova analoga a quelle precedenti. Nonostante la vibrazione venisse rilevata, spesso il comando di *Note OFF* non veniva inviato. Questo portava ad uno "stallo": poichè *Note OFF* non veniva emesso, non era possibile inviare un altro comando di *Note ON*. Di conseguenza, si è optato per mantenere sul prototipo il trasduttore di marca "Pusokei".



Figura 3.9: Assestamento e taglio dell'asse lunga.

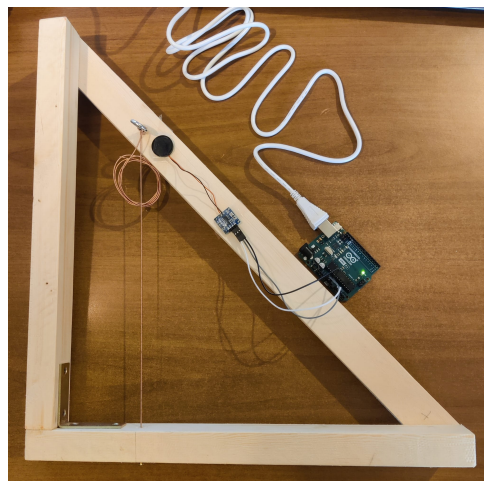


Figura 3.10: Prototipo completo e Arduino UNO R3 con sensore "Pusokei".

Capitolo 4

Discussione

4.1 Validazione dall'arpista

Come anticipato nel capitolo 2, completato il prototipo si procede con un nuovo colloquio con l'arpista Annabella Palleri per ottenere un *feedback*.

A questo incontro in videochiamata sono presenti gli stessi partecipanti dello scorso *meeting*. Inizia Nicolò Merendino presentando i risultati del progetto: il prototipo è completo e funzionante e Corrado Soffiati ha quasi terminato la tesi. Nota inoltre l'importanza di avere una base di partenza per lo sviluppo di ulteriori prototipi in vista di un prodotto finito, quindi un approccio "step by step". Segue Corrado che presenta il prototipo: forma, materiale, supporti utilizzati, trasduttore. Si procede a una dimostrazione: sollecitando la corda viene prodotta una nota MIDI. Annabella Palleri nota come siano udibili due suoni: sia la corda pizzicata che la nota prodotta digitalmente, e si domanda come si possa risolvere. Corrado suggerisce che con un trasduttore più sensibile la corda possa essere suonata più dolcemente e quindi il suono prodotto meno rilevabile, mentre la nota MIDI possa essere amplificata per "mascherare" la corda. Il Prof. Rodà esprime delle considerazioni sulla latenza notevole e Corrado commenta che potrebbe essere causata dalla videochiamata. Viene poi spiegato genericamente il funzionamento del programma redatto in autonomia e di quello scritto da un autore esterno e modificato.

Seguono altre riflessioni espresse durante il colloquio.

- **Considerazioni dell'arpista:** Annabella Palleri ricorda l'importanza di provare il prototipo con una corda di nylon, essendo che la maggior parte delle corde di un'arpa sono di quel materiale. Si complimenta per la rapidità di svolgimento del progetto nonostante le vacanze estive e propone un colloquio in data da destinarsi.
- **Open-source versus closed-source:** si riflette sui risvolti commerciali che Annabella Palleri ha esposto nell'incontro precedente. Questa situazione pone la questione dell'acces-

sibilità del progetto, preferendo un approccio *open-source* rispetto ad un sistema chiuso o il contrario. La letteratura riguardante l'argomento "open-source versus closed-source" è vasta e si concentra soprattutto su argomenti come sicurezza, qualità del software e competitività del mercato [22][23][24].

Dato il tempo e il budget limitato, il progetto di questo elaborato è stato sviluppato su una piattaforma *open-source*. Annabella Palleri ha espresso la preferenza di un sistema chiuso, sarà quindi necessario lo studio di soluzioni particolari e personalizzate per ampliamenti futuri.

- **Collaborazione:** prima di rivolgersi al Centro di Sonologia dell'Università di Padova, Annabella Palleri si era rivolta ad un liutaio di sua conoscenza per poter personalizzare la sua arpa. E' quindi possibile il coinvolgimento di un altro professionista per i prossimi sviluppi del progetto, e viene confermata l'importanza degli studi condotti sulle *New Interfaces for Musical Expression*, il *NIMEcraft* e la liuteria digitale.

4.2 Reflection on action

Durante lo svolgimento si è scritto un "diario di progetto", aggiornato quotidianamente. Questo ha permesso di tenere traccia delle situazioni affrontate in maniera ottimale e di quelle più difficili. In accordo con la metodologia *Research Through Design* presentata nel capitolo 2, si conduce un'analisi tematica. In tabella 4.1 sono riassunti i punti principali. Segue un approfondimento.

AGEVOLE	DIFFICOLTOSO
Analisi del background	Studio, modifiche, collaudo del programma esterno
Scrittura programma di test ex-novo	Collaudo dei trasduttori
Risoluzione di bug	Prova col pickup Ghost® Piezo Acoustic Steel
Utilizzo di <i>tool</i> di test	String Saddle
<i>Design</i> e costruzione del prototipo	

Tabella 4.1: Elenco di varie situazioni affrontate durante lo svolgimento del progetto.

Difficoltà riscontrate

- Il programma esterno analizzato nei capitoli precedenti a una prima lettura non appare di facile interpretazione. Nonostante sia notevolmente commentato, è servito uno studio approfondito per capirlo al meglio. Questo è stato necessario per poter aggiungere alcune librerie e modificare delle variabili al fine di rendere il programma compatibile col progetto dell'elaborato. Anche il collaudo si è rivelato problematico: la risoluzione dei

bug del programma ha fatto abbandonare l'idea del suo utilizzo in favore di un programma sviluppato in autonomia. Tuttavia l'esperienza maturata dalla scrittura di programmi ex-novo ha reso possibile il funzionamento completo di quello esterno.

- Il collaudo dei trasduttori acquistati è inizialmente sembrato semplice: collegato il modulo alla piattaforma le vibrazioni venivano rilevate senza particolari problemi. Tuttavia quando sono stati provati insieme al programma e poi direttamente sul prototipo si sono riscontrati problemi di sensibilità. La prova di un trasduttore con sola uscita digitale ha reso più confusionario il processo e la scrittura del programma, poichè un approccio con rilevazione analogica si è dimostrato più accurato. Si ribadisce quindi l'importanza delle specifiche del progetto e che vengano decise in fase di ideazione.
- L'utilizzo di una selletta originariamente pensata per un altro sistema non è risultato soddisfacente per questo particolare progetto. La difficoltà principale origina dal suo utilizzo in un contesto diverso da quello per cui è stato originariamente sviluppato. Sia il cablaggio che la performance non erano in linea con le specifiche. E' tuttavia consigliabile uno studio più approfondito di questo tipo di applicazione, poichè l'utilizzo di un trasduttore di qualità garantita in altri contesti potrebbe essere interessante sotto vari aspetti come costi di ricerca e inquinamento ambientale ed elettronico.

Situazioni agevoli

- Lo studio del contesto riguardante il *design* degli strumenti e delle interfacce musicali è stato fondamentale per lo sviluppo del pensiero critico e l'acquisizione della conoscenza di base necessaria al progetto. La lettura di libri, testi e articoli è risultata scorrevole e chiara nonostante i termini tecnici e l'utilizzo di una lingua secondaria.
- La scrittura di un programma ex-novo per una piattaforma dedicata è servito a comprendere al meglio le necessità progettuali dell'aspetto informatico e ad arricchire la conoscenza generale del funzionamento del prototipo. In particolare, sono stati necessari più momenti di riflessione al fine di applicare in maniera ottimale gli strumenti a disposizione. Schemi e diagrammi di flusso hanno contribuito ad una stesura ordinata dell'elaborato.
- Durante la scrittura e modifica dei programmi si sono affrontati numerosi problemi che ne impedivano la corretta compilazione e/o funzionamento. L'utilizzo di una piattaforma *open-source* ha consentito l'accesso a informazioni precise e gratuite disponibili su vari forum. Questo ha permesso una rapida risoluzione degli errori e un approfondimento del sistema utilizzato.

- Poichè non si aveva disponibilità di un prodotto compatibile col protocollo MIDI, è stato necessario l'utilizzo di software aggiuntivo. In questo caso si è utilizzato un programma per l'abilitazione virtuale della porta USB alla ricezione MIDI, uno dei tanti disponibili online. L'interfaccia grafica semplice ne ha permesso l'utilizzo immediato e il *tool* ha velocizzato notevolmente il lavoro.
- La conoscenza di un obiettivo a lungo termine dall'inizio del progetto ha nettamente facilitato il *design* del prototipo e la scelta dei materiali per la sua costruzione. E' da notare che, tuttavia, è necessaria una certa manualità e attrezzatura da lavoro specifica per ottenere risultati soddisfacenti in breve tempo.

4.3 Possibili migliorie

Concluso il colloquio si può discutere di varie proposte da tenere in considerazione per migliorare il prototipo e da applicare a un possibile prodotto finito.

Una prima idea consiste nel coinvolgimento di più persone nel progetto. Un approccio multidisciplinare prevede il contributo di varie altre figure come liutai, ingegneri elettronici, del software, del suono, meccanici e musicisti. Questo è sicuramente un mezzo di arricchimento della conoscenza e può essere di ispirazione per tutti i partecipanti, che hanno modo di analizzare le sfide progettuali da più punti di vista, così da poter produrre soluzioni originali.

Riguardo il microcontrollore utilizzato, è necessario un sistema che possa gestire più ingressi analogici e possibilmente con maggiore potenza di calcolo. Si può pensare a soluzioni come il *multiplexing* e/o l'utilizzo di altri modelli di Arduino o schede Teensy, Raspberry PI o ESP32. Per un'arpa completa si possono considerare anche altre soluzioni, come la famiglia STM32.

Il programma esterno modificato per questo progetto è ottimizzabile per più ingressi, prestando attenzione alle latenze. Per questo motivo è consigliabile un sistema più prestante.

E' necessario uno studio più approfondito riguardante la posizione del trasduttore, in modo che possa rilevare correttamente le vibrazioni che si propagano attraverso il supporto. E' consigliabile anche la ricerca di un trasduttore più sensibile. Sono disponibili e facilmente acquistabili gli stessi fogli ceramici circolari del sensore di marca "Pusokei", ma senza il rivestimento protettivo esterno, e si possono trovare di diverse dimensioni.

I trasduttori provati e utilizzati per questo progetto sono esclusivamente piezoelettrici. Tuttavia è da notare che un'arpa completa presenta sia corde di nylon o carbonio, sia metalliche. L'utilizzo di trasduttori magnetici è quindi da prendere in considerazione.

Il sistema corrente necessita di cablaggio per l'alimentazione e il data output. Un miglioramento potrebbe consistere nell'utilizzo di batterie per l'autonomia energetica e di piattaforme dotate di comunicazione wireless.

Capitolo 5

Conclusione

Lo sviluppo di questo progetto si è rivelato essere un'interessante sfida di *design*.

La ricerca relativa al *background* ha fornito importante contesto sulla personalizzazione delle interfacce musicali e casi di studio da cui trarre ispirazione. Si è fornita un'introduzione tecnica al protocollo MIDI ed esempi di progetti in cui è centrale. Infatti il protocollo MIDI è ancora uno standard nell'industria nonostante sia stato ideato più di trent'anni fa.

La metodologia *Research Through Design* ha fornito un metodo di lavoro e suggerimenti sull'impostazione dell'analisi dei dati raccolti.

Il risultato finale dell'elaborato è un prototipo di arpa MIDI a una corda. Gli aspetti più critici della progettazione sono stati la ricerca e il collaudo di un trasduttore adatto e le modifiche di compatibilità ad un programma esterno. Il prototipo è funzionante e può servire come base per lo sviluppo di un progetto più ampio.

Bibliografia

- [1] T. Magnusson, *Sonic Writing: Technologies of Material, Symbolic, and Signal Inscriptions*. Bloomsbury Academic, 2019, isbn: 978-1-5013-1389-9.
- [2] J. H. McDermott e A. J. Oxenham, «Music perception, pitch, and the auditory system,» *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 18, n. 4, pp. 452–463, 2008, Sensory systems, issn: 0959-4388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.09.005>. indirizzo: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959438808001050>.
- [3] I. Inventors. «Mission.» (2024), indirizzo: <https://instrumentinventors.org/about/mission/>.
- [4] NIME. «The International Conference on New Interfaces for Musical Expression.» (2024), indirizzo: <https://www.nime.org/>.
- [5] E. Tomas, T. Gorbach, H. Tellioglu e M. Kaltenbrunner, «Material embodiments of electroacoustic music: an experimental workshop study,» in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, M. Queiroz e A. X. Sedó, cur., Porto Alegre, Brazil: UFRGS, 2019, pp. 1–6. doi: 10.5281/zenodo.3672842. indirizzo: http://www.nime.org/proceedings/2019/nime2019_paper001.pdf.
- [6] L. Hiller. «electronic music.» (2024), indirizzo: <https://www.britannica.com/art/electronic-music>.
- [7] L. A. Ludovico, *MIDI. Una guida al protocollo, alle estensioni e alla programmazione*. Milano University Press, 2021, isbn: 979-12-80325-28-0.
- [8] P. Manning, *Electronic and Computer Music*. Oxford University Press, mar. 2013, isbn: 9780199746392. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199746392.001.0001. indirizzo: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199746392.001.0001>.
- [9] D. V. Brink. «David's MIDI Spec.» (1995), indirizzo: [https://www.cs.cmu.edu/~music/cmsip/readings/davids-midi-spec.htm#:~:text=The%20MIDI%20Specification&text=31250%20\(%C2%B1%201%25\)%20baud,is%20sent%20in%20320%20microseconds..](https://www.cs.cmu.edu/~music/cmsip/readings/davids-midi-spec.htm#:~:text=The%20MIDI%20Specification&text=31250%20(%C2%B1%201%25)%20baud,is%20sent%20in%20320%20microseconds..)

- [10] R. O'Malley, «Advanced MIDI Guitar Effects System,» 2006.
- [11] R. Vanegas, «The MIDI pick: trigger serial data, samples, and MIDI from a guitar pick,» in *Proceedings of the 7th International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, ser. NIME '07, Association for Computing Machinery, 2007, pp. 330–332, isbn: 9781450378376. doi: 10.1145/1279740.1279812. indirizzo: <https://doi.org/10.1145/1279740.1279812>.
- [12] Ricordi. «No Doubt: Concerto for MIDI harp and orchestra.» (2015), indirizzo: <https://www.camac-harps.com/blog/en/uncategorized/no-doubt-concerto-for-midi-harp-and-orchestra/>.
- [13] julien.hors. «MIDI concert harp.» (2020), indirizzo: <https://hackaday.io/project/167148-midi-concert-harp>.
- [14] J. M. A. Beleza, «Adaptation of an Harp for MIDI Implementation and Sound Amplification,» tesi di laurea mag., Universidade do Porto, 2019, <https://hdl.handle.net/10216/121424>.
- [15] J. Armitage, F. Morreale e A. Mcpherson, "The finer the musician, the smaller the details" : *NIMEcraft under the microscope*, lug. 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.28115.58402.
- [16] N. Renney, B. Gaster, T. Mitchell e H. Renney, «Studying How Digital Luthiers Choose Their Tools,» in *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '22, New Orleans, LA, USA: Association for Computing Machinery, 2022, isbn: 9781450391573. doi: 10.1145/3491102.3517656. indirizzo: <https://doi.org/10.1145/3491102.3517656>.
- [17] P. Stappers e E. Giaccardi, «Research through Design,» English, in *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, M. Soegaard e R. Friis-Dam, cur., 2nd. The Interaction Design Foundation, 2017, pp. 1–94.
- [18] N. G. Horton e T. R. Moore, «Modeling the magnetic pickup of an electric guitar,» *American Journal of Physics*, vol. 77, n. 2, pp. 144–150, feb. 2009, issn: 0002-9505. doi: 10.1119/1.2990663. eprint: https://pubs.aip.org/aapt/ajp/article-pdf/77/2/144/13086344/144_1_online.pdf. indirizzo: <https://doi.org/10.1119/1.2990663>.
- [19] M. D. S. B. Bera, «Piezoelectric Effect, Piezotronics and Piezophotonics: A Review,» *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 2016.
- [20] J. E. Noriega-Linares e J. M. Navarro Ruiz, «On the Application of the Raspberry Pi as an Advanced Acoustic Sensor Network for Noise Monitoring,» *Electronics*, 2016.

- [21] M. Babiuch, P. Foltýnek e P. Smutný, «Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing,» in *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765944.
- [22] S. Comino e F. M. Manenti, «Open source vs closed source software: Public policies in the software market,» *Industrial Organization*, vol. 306001, 2003.
- [23] B. Mishra, A. Prasad e S. Raghunathan, «Quality and profits under open source versus closed source,» *ICIS 2002 Proceedings*, p. 32, 2002.
- [24] G. Schryen e R. Kadura, «Open source vs. closed source software: towards measuring security,» in *Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing*, 2009, pp. 2016–2023.
- [25] NIME. «Proceedings Archive.» (2024), indirizzo: <https://www.nime.org/archives/>.
- [26] D. Group, *Gli strumenti musicali di ogni epoca e di ogni paese*. Gruppo Editoriale Fabbri S.p.A., 1977.
- [27] D. Strings. «Harp Woods and Anatomy.» (2021), indirizzo: <https://manufacturing.dustystings.com/harps/about-harps/woods-anatomy>.
- [28] P. Zotto, S. L. Russo e P. Sartori, *Fisica Generale, Elettromagnetismo-Ottica*. Edizioni LaDotta, 2019.