



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN BIOINGEGNERIA PER LE NEUROSCIENZE

**Definizione di un modello per l'auto-monitoraggio
del livello di stress
durante una performance musicale.
Uno studio di caso: il progetto "Below 58 BPM"**

CANDIDATO

Tommaso Maddalena

Matricola 2037817

RELATORE

Prof. Sergio Canazza Targon

Università degli Studi di Padova

CO-RELATORE

Dott. Nicolò Merendino

Università degli Studi di Padova

ANNO ACCADEMICO 2022/2023
DATA DI LAUREA 14 DICEMBRE 2023

Abstract

Il canto è un'azione che richiede uno sforzo importante e comporta uno stress fisico e mentale da non sottovalutare. Di conseguenza è molto importante per un artista monitorare i livelli di stress durante una sessione di riscaldamento o durante un'esibizione e lo è ancor di più per un utente che convive con una patologia che ne ostacola la performance. Il progetto "Below 58 BPM", oggetto di approfondimento di questa tesi, ha come obiettivo la realizzazione di un dispositivo wearable, un collare, in grado di fornire all'utente la possibilità di effettuare un auto monitoraggio real-time del proprio livello di stress. In questo caso specifico il dispositivo è stato realizzato per un artista lirica che soffre di aneurisma carotideo. Con la seguente tesi si è cercato di ottimizzare l'hardware del dispositivo, in particolare attraverso l'adozione di un sensore ECG più efficiente e preciso per la misurazione dello stress, attraverso lo sviluppo di un software finalizzato alla creazione di un cloud online a libero accesso per il salvataggio e la condivisione dati e attraverso la creazione di un'applicazione in grado di migliorare l'esperienza dell'utente. L'obiettivo è quello di rendere più accessibile e inclusivo l'utilizzo del dispositivo a partire da un confronto personale con l'utente ed effettuando delle scelte che tengano al centro i concetti di semplicità e sostenibilità. Il tutto è volto a permettere all'artista di monitorare i propri livelli di stress e la propria attività attraverso auto-trattamenti medici grazie all'utilizzo di questo strumento.

Indice

1	Introduzione	1
2	Stato dell'arte	3
2.1	IoT, IoMusT ed Healthcare-IoT	3
2.2	Sostenibilità ambientale e sociale	6
2.3	Inclusione e accessibilità	7
2.4	Background del progetto	9
3	Metodologia "Reflection on Action"	11
3.1	Il metodo	11
3.2	Il progetto "Below 58 BPM"	12
3.3	Obiettivi	14
4	Sviluppo del progetto	15
4.1	Approfondimento del progetto	15
4.2	Implementazione del sensore AD8232	16
4.3	Sviluppo di un database con Firebase	19
4.4	Sviluppo di un applicazione per l'interazione utente-dispositivo .	21
4.5	Sommario	25
5	Analisi e discussione	27
5.1	Feedback e validazione	27
5.2	Analisi dello sviluppo del progetto	29
5.3	Sviluppi futuri	34
6	Conclusioni	35
	Bibliografia	39

1

Introduzione

La musica si basa su un principio di libertà espressiva e di inclusione unico. Un artista che viene privato della possibilità di potersi esprimere per motivi di salute ha il diritto di essere accompagnato ad un reinserimento nel mondo artistico e poter ricominciare una nuova vita artistica [1]. A certificare tale diritto sono la "Dichiarazione dei diritti umani" agli articoli 19 e 27 e "Il modello di classificazione internazionale del funzionamento, della disabilità e della salute (ICF)" dell'Organizzazione Mondiale della Sanità. Molti artisti convivono con patologie e disabilità contratte o presenti fin dalla nascita che ostacolano la propria carriera musicale. La storia insegna però che è possibile andare oltre la disabilità anche nella musica.

Diversi studi affermano che già Beethoven, affetto da una progressiva sordità, ricercò nuovi metodi per poter sentire le vibrazioni del suono del pianoforte e continuare a lavorare sul suo repertorio [2]. L'idea di poter affrontare una disabilità tramite nuove metodologie che integrano aspetti musicali ma anche medici e terapeutici iniziò a prendere piede negli ultimi anni del secolo scorso. In particolare, il progresso tecnologico e medico degli ultimi decenni ha portato grandi sviluppi nella promozione dell'inclusione di musicisti con disabilità nel mondo musicale [3]. I primi dispositivi e i primi trattamenti si basavano principalmente su principi fisici e meccanici. Un esempio è il dispositivo creato ad hoc per Michel Petrucciani, pianista jazz di fama mondiale colpito fin dalla nascita dall'osteogenesi imperfetta che non gli permise di superare l'altezza di circa un metro. Il pianoforte era integrato di uno strumento meccanico a parallelogramma che dava la possibilità di raggiungere facilmente i pedali [4].

L'avvento dell'Internet of Things (IoT), dell'intelligenza artificiale, degli studi sull'interazione uomo-macchina e di nuove interfacce musicali ha incentivato lo sviluppo di dispositivi e strumenti interconnessi tra loro non solo al fine di scoprire nuovi orizzonti artistici ma anche di migliorare l'esperienza dell'utente con disabilità o particolari patologie [5] [6]. Questi progressi hanno incrementato l'interesse dell'utilizzo di tecnologie elettroniche nel campo biomedico e nella terapia musicale. In particolare permettono all'utente di superare tutti quei limiti che può incontrare convivendo con la sua malattia senza interferire con la sua attività artistica. Oggi esistono molte associazioni e organizzazioni che dedicano tempo e denaro nella ricerca di tecnologie musicali di assistenza ed inclusione facendo affidamento per esempio a sistemi di IoMusT. Il programma OHMI - Music Making for People with Physical Disabilities [7] si pone come obiettivo quello di incentivare nuove ricerche a tema disabilità e musica ponendo una grande attenzione all'educazione musicale e ai problemi sociali legati alla re-inclusione di musicisti di tutto il mondo. Un'altra organizzazione è Human Instruments [8] che ha l'obiettivo di sviluppare Tecnologie Musicali Accessibili (AMT) e strumenti in collaborazione diretta con artisti disabili. Un progetto sviluppato negli ultimi anni da Human Instruments in collaborazione con altre società permette a dei ballerini sordi di sentire le vibrazioni della musica tramite un dispositivo wearable e poter danzare in sincronia, come fosse una vera e propria performance [9].

Alla base di tutti questi progetti ci sono diversi principi tra cui l'inclusione, l'assistenza, l'interazione, la sostenibilità tecnologica. Il progetto "Below 58 BPM", trattato nella seguente tesi, approfondisce questi elementi e concentra l'attenzione sull'accessibilità e sulla semplice applicabilità che deve garantire lo strumento. Lo studio ha come obiettivo la re-inclusione nel mondo musicale di una cantante lirica che soffre di un aneurisma carotideo tramite un dispositivo wearable. In particolare permette un auto-monitoraggio del livello di stress durante la performance e introduce la possibilità di elaborare in live la propria voce con l'uso di sistemi MIDI.

Il lavoro svolto e discusso nella tesi vuole migliorare l'esperienza dell'artista e il suo rapporto con lo strumento, cioè la sua voce, e il dispositivo stesso, integrando sensori più efficienti, organizzando un sistema cloud open-source di raccolta e condivisione dati e implementando un'applicazione per l'interazione utente-dispositivo.



Stato dell'arte

In questo primo capitolo vengono presentati e discussi gli argomenti alla base del progetto originale e del lavoro svolto nella tesi: l'Internet of Things (IoT), il concetto di sostenibilità e il tema dell'inclusione.

2.1 IoT, IoMUST ED HEALTHCARE-IoT

Turchet et al. [5] afferma che:

Il termine generico "Internet of Things" (IoT) si riferisce in generale all'estensione di Internet nel regno fisico, per mezzo di oggetti fisici quotidiani che sono distribuiti e ottimizzati spazialmente utilizzando tecnologie dell'informazione e della comunicazione. Nell'IoT il termine "Things" si riferisce a sistemi embedded connessi a Internet, in grado di interagire tra loro e cooperare per raggiungere obiettivi comuni. Gli oggetti sono caratterizzati da elettronica incorporata, comunicazione wireless, capacità di rilevamento e/o attuazione.

L'IoT ha visto negli ultimi anni uno sviluppo esponenziale grazie all'evoluzione tecnologica. In particolare la diffusione di nuove tecnologie di connessione sempre più efficienti anche a grandi distanze ha favorito una comunicazione più veloce e precisa tra dispositivi e non solo. La relazione che si crea tra l'utente e il dispositivo diventa fondamentale. Infatti tra le maggiori applicazioni dell'IoT troviamo il monitoraggio e la presa di decisioni rapide in situazioni critiche [5]. Le tecnologie IoT si dimostrano di grande importanza perché caratterizzate da

2.1. IOT, IOMUST ED HEALTHCARE-IOT

robustezza e velocità di trasmissione e permettono una gestione semplice del dispositivo da parte dell'utente. Per riassumere i vantaggi dell'IoT si potrebbero menzionare 4 principi: il valore (si rende la vita dell'utente più efficiente e sicura), i dati (si aiuta l'utente a conoscere i benefici e il valore dei suoi dati), la sicurezza (si costruisce la fiducia dei consumatori riguardo l'esperienza) e il design (si ricercano design e usabilità intuitivi) [10].

Come detto in precedenza la relazione che lega utente e dispositivo è rilevante ai fini dell'efficienza e questa viene ottimizzata se l'accesso al dispositivo e ai dati è relativamente facile. La connessione diretta che si può sviluppare tra il corpo dell'utente e un database online è un altro punto di forza delle tecnologie IoT ma allo stesso tempo è anche un tema critico. La raccolta e condivisione dei dati biomedici è argomento di diversi studi che ne analizzano le conseguenze etiche e sociali [11]. Una condivisione dati online ed open-source integrata con la possibilità di uno scambio di informazioni in real-time porta notevoli vantaggi ed è alla base di molti studi in campo medico-riabilitativo ma non solo [12]. I processi real-time trattati con le adeguate precauzioni sono importanti perché preservano i dati raccolti evitando eventuali complicanze di perdita di dati e favoriscono una comunicazione più veloce. Inoltre permettono di interagire in modo istantaneo con il dispositivo, garantendo un monitoraggio costante [13], e danno la possibilità di una condivisione dati veloce e sicura.

Disporre di tutte queste caratteristiche però si rivela anche difficile da gestire. Infatti rimangono aperte tutt'oggi molte sfide a riguardo, come l'automazione, la sicurezza dei dati, l'interoperabilità dei numerosi dispositivi e sensori. Molte ricerche in campo clinico tutt'oggi sono focalizzate alla ricerca di soluzioni efficienti a questi problemi [14]. Per esempio una sfida raccolta da molti gruppi di ricerca è il raggiungimento di un'elevata capacità di calcolo e di efficienza come la massimizzazione delle risorse di elaborazione in un singolo microprocessore a vantaggio della miniaturizzazione dei dispositivi.

L'Internet of Things è ormai alla base della ricerca mondiale nel campo tecnologico e non solo. Recentemente diversi termini sono stati utilizzati da vari autori per indicare sottosectori dell'IoT dedicati alla ricerca in ambiti più specifici. Uno di questi è IoMusT, Internet of Musical Things, che descrive l'integrazione di tecnologie IoT in campo musicale. La definizione vera e propria di IoMusT è difficile da esprimere perché esistono diverse prospettive a riguardo. Turchet et al. [5] ha proposto di estendere il concetto di IoT al dominio musicale considerando l'IoMusT come un sottocampo in cui l'infrastruttura tecnologica

sottostante abilita ecosistemi di dispositivi interoperabili che collegano musicisti e pubblico, per supportare le nuove interazioni musicista-musicista, musicista-pubblico, pubblico-pubblico [15]. L'IoMusT dunque può aprire nuovi orizzonti per l'industria musicale sulla via di nuove applicazioni e nuovi servizi per l'interconnessione tra regno digitale e fisico. La creazione e la progettazione di nuovi strumenti e dispositivi sono già argomento di ricerca. Le conferenze NIME (New Interfaces for Musical Expression) dimostrano e presentano ogni anno nuovi prodotti commerciali e terapeutici che implementano la basi dell'IoMusT [16].

Negli ultimi anni l'applicazione della tecnologia IoMusT si sta diffondendo anche in campo terapeutico e riabilitativo[17]. Le caratteristiche di tali dispositivi migliorano la qualità e l'effetto dei servizi di monitoraggio e assistenza necessari in ambito medico. L'IoT più in generale è ormai un punto di svolta per l'industria sanitaria. L'idea di una struttura sanitaria interconnessa [6] è una grande sfida ad oggi nel panorama biomedico e molti studi ne dimostrano il potenziale che può avere da un punto di vista assistenziale ed inclusivo. Aghmad et al. [18] definisce questo settore Healthcare-Internet of Things (H-IoT), un sistema che include microelettronica, medicina e computer science con lo scopo di migliorare la qualità della vita. L'H-IoT è un settore in via di sviluppo, con le tendenze attuali che enfatizzano il monitoraggio remoto dei pazienti, la tecnologia indossabile, l'analisi predittiva e gli ospedali intelligenti (Fig.2.1). Si prevede che la combinazione di intelligenza artificiale e telemedicina porterà a diagnosi più accurate, a un maggiore coinvolgimento dei pazienti e a migliori risultati sanitari. Diversi infatti sono i vantaggi che questo settore offre nell'ambito sanitario e terapeutico: sicurezza dei dati, alta tolleranza, bassa latenza, real-time, interoperabilità, bassi consumi energetici [19].



Figura 2.1: Organizzazione generica di una rete di Healthcare - Internet of Things (H-IoT) [20]

2.2 SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E SOCIALE

Il tema della sostenibilità è al giorno d'oggi argomento di discussione in ogni ambito di studio. Esistono diverse forme di sostenibilità ed ognuna di esse ha un impatto importante nel mondo. Nel lavoro svolto in particolare vengono osservati principi legati alla sostenibilità sociale e alla sostenibilità ambientale. Quest'ultima, forse la più nota, nel campo tecnologico e biomedico si riferisce all'impatto che la tecnologia ha sull'ambiente e a tutte le scelte che si possono prendere per minimizzarne le conseguenze [21]. Si tratta di sostenibilità ambientale dal momento che molti dei passi che vengono svolti negli studi hanno l'obiettivo di ridurre il consumo energetico, massimizzare le prestazioni e affrontare il problema, in costante crescita, dei rifiuti elettronici. Questa visione viene condivisa in molti progetti in campo tecnologico come per esempio nella ricerca di Koehly [22] dove vengono esplorati nuovi materiali grezzi e con specifiche proprietà elettriche per la progettazione di sensori di contatto. In questo caso l'applicazione di tali sensori può essere punto di partenza verso nuove tecnologie più sostenibili.

La comunità NIME (New Interfaces for Musical Expression) [23] si espone affermando che la sostenibilità deve diventare interesse centrale per i ricercatori e non solo dal punto di vista ambientale. In campo biomedico diventa fondamentale la cosiddetta sostenibilità sociale che approfondisce concetti come l'inclusività e l'accessibilità. Le tecnologie sviluppate devono essere accessibili a tutti in particolar modo a chi soffre di qualche malattia o disabilità. In campo musicale-terapeutico l'integrazione di Strumenti Musicali Digitali (Digital Musical Instruments, DMIs) nel percorso riabilitativo o terapeutico di un utente con disabilità, aiuta a rendere migliore l'esperienza musicale [24] [25] (Fig.2.2). Nel percorso di sviluppo di un progetto diventa fondamentale considerare l'utente come persona comune che deve interagire con qualche dispositivo. Si parla di sostenibilità sociale quando si considera questa interazione e si cerca di renderla il più semplice e ordinaria possibile. L'utilizzo di tecnologie facilmente reperibili, lo sviluppo di software o applicazioni di facile interazione, la personalizzazione di una ricerca sull'utente, sono tutti fattori che caratterizzano la sostenibilità sociale osservata da un progetto [26].

La ricerca in tale ambito richiede bisogni specifici e continui aggiornamenti e al giorno d'oggi le prospettive sono ampie.



Figura 2.2: Esempi di ADMI - Accessible Digital Musical Instruments [24]

2.3 INCLUSIONE E ACCESSIBILITÀ

La sostenibilità sociale descritta in precedenza racchiude due concetti base di una società o di una comunità: l'inclusione e l'accessibilità. La possibilità di vivere a pieno un'esperienza musicale o artistica dovrebbe essere concessa ad ogni persona e lo sviluppo tecnologico in campo musicale e terapeutico rappresenta un punto di partenza per dare questa occasione anche a chi non ne ha la possibilità fisica. Gli artisti con disabilità vivono la propria arte con dei limiti importanti che possono condizionare di molto la propria carriera e la propria vita. A volte queste barriere possono essere causa anche di ricadute psicologiche nella persona rivelandosi sotto forma di depressione, stress, ansia [27][28][29]. L'utilizzo di dispositivi musicali digitali ed elettronici in via di sviluppo in ambito biomedico, dalla terapia alla riabilitazione, si è rivelato nel corso degli anni un importante strumento per migliorare la vita di questi artisti. Molti risultati sono stati raggiunti integrando tecniche d'ingegneria nello sviluppo di strumenti musicali [30]. Nelle conferenze NIME negli ultimi anni sono stati presentati diversi dispositivi musicali con l'obiettivo oltre che di approfondire nuove frontiere musicali e tecnologiche anche di proporre nuove possibilità di riabilitazione medica per pazienti con disabilità.

2.3. INCLUSIONE E ACCESSIBILITÀ

Skuse et Knotts [31] hanno progettato e proposto un software online che permette di creare una rete di connessione tra musicisti con disabilità dal domicilio. Questi hanno la possibilità di praticare online come un ensemble interagendo fra loro. Questo studio oltre ad approfondire il concetto di accessibilità per una persona con difficoltà fisiche introduce un altro aspetto fondamentale: l'utente con disabilità è al centro dello sviluppo tecnologico del progetto [32]. Questa semplice intuizione è alla base di molte altre ricerche. Infatti lo sviluppo di questo metodo ha dimostrato come la partecipazione della persona stessa nell'evoluzione del progetto sia un vantaggio per apportare miglioramenti significativi. I ricercatori possono così confrontarsi direttamente con l'utente e ottenere feedback più veloci e personali, dunque sicuramente più efficienti. La creazione di una terapia di inclusione personalizzata grazie all'integrazione di tecnologie innovative e all'interazione con l'utente apre nuove frontiere anche nell'ambito biomedico [33].

Nuove applicazioni come i sistemi IoMusT promuovono la ricerca in tale direzione. Molti studi affermano l'importanza di un coinvolgimento totale dell'utente nello sviluppo dei dispositivi e di un legame forte tra utente e dispositivo. Lo strumento, il dispositivo wearable nel caso studiato, ha il compito di assistere l'utente. In campo musicale l'obiettivo principale è che l'assistenza non interrompa o influenzi la performance o la sessione ma permetta all'artista di continuare con naturalezza la propria azione. L'assistenza poi può avere due scopi pratici: aiutare l'artista nell'effettiva azione di produzione o ascolto musicale oppure assistere l'artista da un punto di vista puramente medico. Inoltre esistono studi che dimostrano come la musica possa essere utilizzata anche come fattore motivazionale per incentivare il coinvolgimento dell'utente al processo terapeutico e riabilitativo. Dopotutto il concetto di accessibilità è molto ampio e comprende diverse aree, tra cui l'accessibilità fisica [34], l'accessibilità cognitiva [35] e l'assistenza tecnologica [36].

I termini che descrivono inclusione e accessibilità sono molti e spesso è difficile fare una vera distinzione perché ognuno di essi descrive un diverso aspetto. Per esempio si parla di "musica adattiva" se questa implica un costante stato di perfezionamento e adattamento del musicista oppure si parla di "tecnologia musicale assistenziale" [24] se implica che una fonte esterna fornisce aiuto a una persona bisognosa. Nella ricerca si può incontrare anche il termine di "musica inclusiva" definita come l'uso di interfacce musicali allo scopo di superare le disabilità e permettere alla persona di riaffacciarsi al mondo musicale [37].

2.4 BACKGROUND DEL PROGETTO

Il progetto originale approfondito nella seguente tesi ha per titolo "Below 58 BPM" e fa parte del percorso di ricerca di Nicolò Merendino, dottorando presso l'Università degli Studi di Padova, con il quale ho collaborato per lo sviluppo di questo lavoro.

I concetti di accessibilità, inclusione, sostenibilità approfonditi in precedenza rappresentano punti fondamentali per lo sviluppo del progetto e del lavoro di tesi. Attraverso diverse scelte processuali abbiamo dato risposta alla necessità di una ricerca che integrasse tali principi con l'applicazione di tecnologie e dispositivi IoT allo scopo di ottenere un dispositivo efficiente, inclusivo e facilmente accessibile per l'utente.

Il progetto viene discusso e approfondito in un articolo ancora in via di pubblicazione e dunque per la seguente tesi tutte le informazioni legate al progetto originale sono state condivise da Nicolò con il sottoscritto.

3

Metodologia "Reflection on Action"

Nel seguente capitolo viene discussa la modalità di analisi "Reflection On Action" utilizzata nel processo di sviluppo della tesi e si approfondisce il caso di studio in modo più dettagliato. Infine viene spiegato come abbiamo integrato tale metodo di analisi nella ricerca e vengono presentati i principali obiettivi che ci siamo posti.

3.1 IL METODO

Per approfondire il lavoro svolto in un progetto esistono diverse modalità per svilupparne l'analisi e la discussione. In particolare si può distinguere tra una riflessione che viene svolta in parallelo con l'applicazione pratica (Reflection-in-action) e una riflessione che invece viene svolta solo in un secondo momento, una volta che il lavoro pratico sul progetto è concluso (Reflection-on-action).

Sharon Edwards [38] nella sua ricerca tenta di ridefinire il concetto di riflessione nel campo infermieristico come un processo a quattro dimensioni, cioè, oltre a Reflection-on-action e Reflection-in-action aggiunge Reflection-before-action e Reflection-beyond-action. Donald Schon nel suo libro "The Reflective Practitioner" [39] espone e descrive il suo pensiero riguardo il metodo di riflessione nella pratica professionale. Alcuni studi hanno analizzato le proposte di Schon e hanno approfondito alcuni punti. Ad esempio, Eraut et al. [40] ridefinisce le modalità descritte nel libro di Schon in base alle preposizioni utilizzate in modo che 'in' si riferisca ad una riflessione sul contesto, 'on' si riferisca ad una

3.2. IL PROGETTO "BELOW 58 BPM"

riflessione sul focus centrale e 'for' si riferisca ad una riflessione sullo scopo. Il modello di riflessione formulato da Schon nel 1991 è il primo documento che fornisce una distinzione tra la riflessione durante l'evento e la riflessione dopo l'evento.

Nella tesi seguente si è deciso di applicare il metodo "Reflection-on-action", annotando le esperienze vissute durante l'approccio pratico al progetto per poi riprendere il materiale descritto e analizzarlo in modo da avere la possibilità di svolgere un accurato lavoro di analisi e riflessione.

3.2 IL PROGETTO "BELOW 58 BPM"

Il progetto "Below 58 BPM" ha come obiettivo lo sviluppo di un dispositivo wearable che permetta all'artista un auto-monitoraggio del proprio livello di stress senza comprometterne la performance (Fig.3.1, Fig.3.2). Il caso di studio è stato sviluppato dal dottorando Nicolò Merendino con e per Eleonora Amianto, una cantante lirica a cui è stato diagnosticato un aneurisma carotideo che le ha danneggiato la carotide a vita pregiudicandone la carriera. Cantare è diventato un compito difficile e stressante, sia dal punto di vista mentale che fisico. Durante le sessioni di riscaldamento e di prova Eleonora doveva porre molta più attenzione sul suo battito cardiaco e sull'utilizzo della sua voce, sfruttando e sperimentando nuove tecniche di rilassamento vocale e di respirazione. In particolare era di fondamentale importanza evitare situazioni di elevato stress che portassero complicanze ulteriori durante il canto.

Dunque si è rivelato essenziale avere la possibilità di monitorare il proprio livello di stress durante il canto in modo tale da riconoscere il momento in cui rallentare e rilassarsi. Il dispositivo indossabile sviluppato è un collare che misura il battito cardiaco tramite un pulsossimetro e invia un feedback visivo tramite led e un feedback di vibrazione a contatto con la pelle. Inoltre il progetto prevede la possibilità di svolgere sessioni di rilassamento vocale senza interrompere la performance tramite l'applicazione di sistemi MIDI. In questo modo i suoni emessi dal corpo durante le fasi di respirazione possono essere processati digitalmente e diventare parte integrante della performance.

Il primo passo è stato strutturare il design hardware e software a partire dalla letteratura per poi spostarsi alla pratica con la costruzione di un prototipo con semplici strumenti di elettronica: breadboard, sensori e codice. Una volta sviluppata la scheda a circuito stampato è stata progettata l'interfaccia wearable.

In questa fase, si sono svolte sessioni di CAD e di fabbricazione digitale per lo sviluppo del dispositivo finale. In conclusione, si è studiato e analizzato come implementare in modo efficiente l'elaborazione dei suoni durante le sessioni di respirazione.

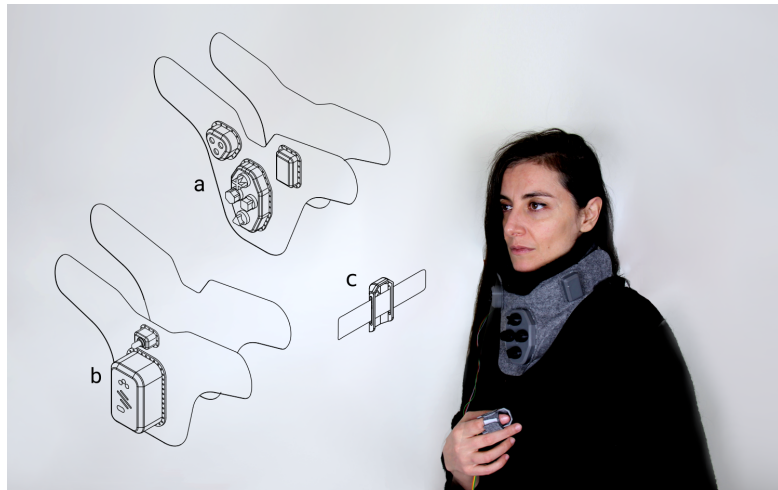
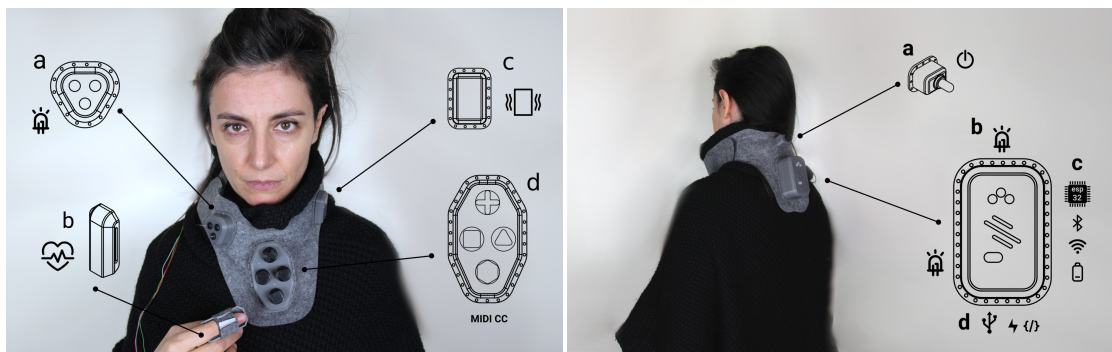


Figura 3.1: Panoramica



(a) Frontale

(b) Posteriore

Figura 3.2: Dispositivo

L'intero processo di sviluppo nasce da una stretta collaborazione con l'artista. Tutte le scelte e le decisioni sono state definite a partire da confronti costanti con Eleonora. Il dispositivo in primis nasce dalle esigenze specifiche dell'utente. Ad esempio, Eleonora ha avuto la possibilità di scegliere quale fosse il feedback con cui si trovasse meglio prima di implementarlo nel sistema. Questa modalità di progettazione caratterizzata da una continua interazione tra l'utente e il team di studio implica una personalizzazione del dispositivo che aumenta le probabilità di successo e incrementa l'efficienza. Includere l'utente nel processo di creazione

3.3. OBIETTIVI

del dispositivo che poi utilizzerà si rivela importante quando permette all'utente di entrare in sintonia con lo strumento già all'inizio del percorso di riabilitazione e facilitarne poi la convivenza.

Nel progetto molte decisioni sono state prese con uno sguardo indirizzato alla sostenibilità tecnologica e sociale come per esempio, la scelta di utilizzare particolari modelli, come la scheda ESP32, che rende lo strumento più efficiente contenendo il costo oppure la ricerca di ottimizzare la batteria lavorando con dispositivi e software che semplificano l'interazione con l'utente. Questa visione sostenibile è possibile anche grazie al fatto che il progetto si basa su tecnologie IoT che, come visto in precedenza, godono di diversi vantaggi che possono fare la differenza in un contesto in cui l'efficienza è fondamentale sia dal punto di vista terapeutico che dal punto di vista musicale.

3.3 OBIETTIVI

Dopo aver svolto assieme a Nicolò un approfondimento del progetto originale ci siamo confrontati per definire i possibili sviluppi del progetto. Abbiamo scelto alcuni punti su cui lavorare con lo scopo di ottimizzare il dispositivo e semplificarne l'interazione dell'artista.

I passi svolti e descritti nella tesi sono:

- Conoscenza del progetto originale, del dispositivo e del prototipo su cui si è lavorato;
- Implementazione del sensore AD8232 per la misurazione del segnale ECG;
- Sviluppo di un cloud open-source per la definizione di un database tramite Firebase;
- Sviluppo di un prototipo di applicazione per l'interazione utente-dispositivo;

Ogni singolo punto ha l'obiettivo di ottimizzare il progetto lavorando in termini tecnologici (utilizzo di sensori più efficienti e precisi), sostenibili (utilizzo di un cloud online per la condivisione dati, definizione di una modalità di standby tramite l'applicazione) e di inclusione (l'interazione tra utente e dispositivo migliora grazie all'utilizzo di un applicazione).

In conclusione il progetto è stato validato direttamente da Nicolò che ha assunto un ruolo di intermediario con l'artista. I feedback di ritorno sono stati inclusi nella ricerca e analizzati per formulare una riflessione sul lavoro svolto.

4

Sviluppo del progetto

Rispettando la metodologia "Reflection on Action" definita in precedenza e scelta come modalità di studio, nel seguente capitolo vengono innanzitutto esplicitati e descritti i passi pratici e concreti compiuti nel corso dello sviluppo del progetto.

4.1 APPROFONDIMENTO DEL PROGETTO

Per prima cosa è stato importante conoscere e approfondire il caso di studio. Dopo un primo incontro con Nicolò, in cui mi ha condiviso il materiale necessario e in cui abbiamo definito alcuni obiettivi, ho potuto avvicinarmi di più alla sua ricerca. Nicolò mi ha presentato il progetto e il dispositivo originale e infine mi ha condiviso il prototipo progettato inizialmente e sul quale avrei successivamente lavorato. Il prototipo è stato sviluppato su breadboard, utilizzando la scheda ESP32, in particolare il modello Lolin32 Lite. Per la misurazione del battito cardiaco il dispositivo integrava un sensore di pulsazioni basato su fotoplethysmogramma e alcuni potenziometri per inviare segnali addizionali di input. Inoltre con lo scopo di ottenere dei feedback aumentati visivi e tattili sono stati implementati alcuni led e un motore a vibrazione. L'intero progetto è stato sviluppato tramite linguaggio di codice Arduino mentre per quanto riguarda l'applicazione degli elementi MIDI si è sviluppata una patch di PureData.

Una volta studiato il design del circuito ho testato il dispositivo per osservare i livelli di efficienza e precisione raggiunti fino a quel momento e ho approfondito il funzionamento del dispositivo. La rilevazione del battito cardiaco, affidata

4.2. IMPLEMENTAZIONE DEL SENSORE AD8232

al sensore di pulsazioni indossato al dito, era poco stabile e precisa. I led presenti avevano diverse funzioni: un paio rappresentavano lo stato on-off del dispositivo, altri due invece si illuminavano a ritmo del battito per un feedback visivo e gli ultimi due invece erano collegati alle modifiche MIDI applicate. Il sensore di vibrazione invece restituiva un feedback tattile simile alla vibrazione dello smartphone. Nel dispositivo finale era previsto che il feedback tattile arrivasse direttamente al collo dell'utente (Fig.4.1).

È giusto sottolineare che nell'intera ricerca, visti gli obiettivi preposti, si è data poca importanza all'utilizzo e all'ottimizzazione dei potenziometri dediti allo sviluppo dei messaggi MIDI.

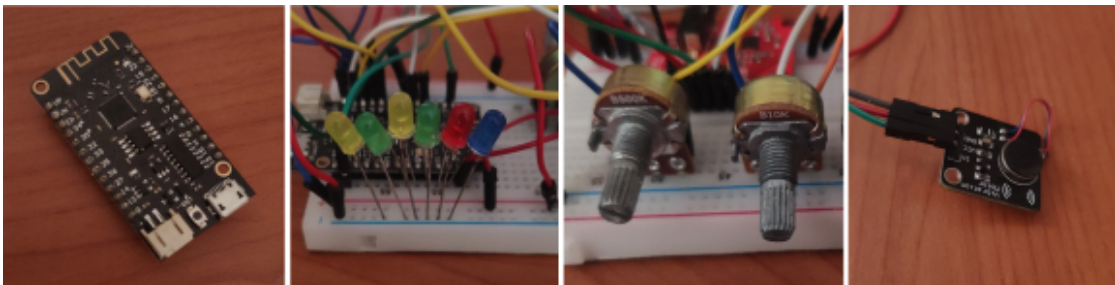


Figura 4.1: Sensori e componenti del prototipo

4.2 IMPLEMENTAZIONE DEL SENSORE AD8232

L'utilizzo di un sensore di pulsazioni basato su fotopleletismogramma si è rivelato poco preciso dalle ricerche precedenti. Valutando diverse possibilità abbiamo deciso di testare il modulo AD8232, un sensore molto utilizzato per la rilevazione dell'elettrocardiogramma (ECG) nell'ambito dell'H-IoT (Fig.4.2). L'ECG è un test diagnostico non-invasivo che rileva il ritmo cardiaco attraverso una registrazione dell'attività elettrica del cuore che avviene ad ogni battito. Il modulo AD8232 permette di registrare l'attività elettrica e ottenere l'ECG utilizzando tre elettrodi posti sulla cute della persona. Inizialmente ho testato il modulo in una breadboard a parte collegandolo singolarmente alla scheda ESP32 così da verificarne il funzionamento corretto (Fig.4.3). In questo caso ho collegato i pin 3.3V e GND del sensore ai rispettivi 3V e GND della scheda, il pin di output del sensore al pin VP della scheda ed infine i pin LO+ ed LO- del sensore ai pin 34 e 35 della scheda. Il modulo prevede due possibili input: uno formato da tre pin personalizzabili, RL, RA, LR, e uno formato da

un connettore biomedicale da 3.5 mm con tre elettrodi. I primi test li ho svolti utilizzando la prima modalità. Successivamente, una volta testato il generico funzionamento del dispositivo, ho iniziato ad utilizzare il connettore da 3.5 mm con i tre elettrodi. Generalmente il posizionamento degli elettrodi può essere di due tipi. Nel nostro caso abbiamo scelto di proseguire il lavoro con la modalità che prevede due elettrodi al torace e uno all'addome (Fig.4.4).

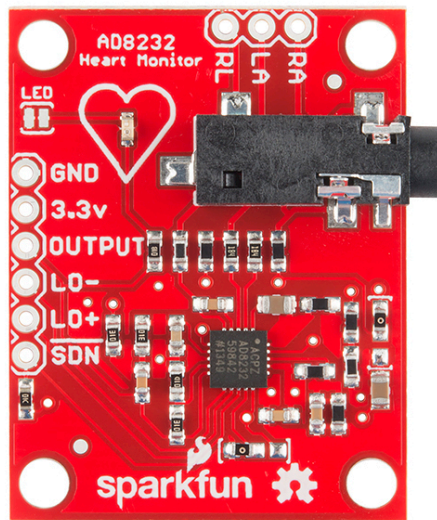


Figura 4.2: Modulo AD8232 per la misurazione ECG

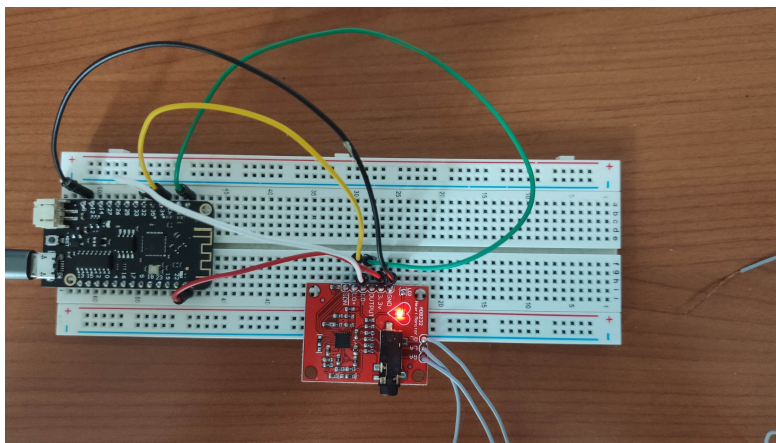


Figura 4.3: Immagine del circuito di test del modulo AD8232

A questo punto ho integrato il modulo nel prototipo applicando gli stessi collegamenti descritti in precedenza ottenendo il design rappresentato in figura (Fig.4.5, Fig.4.6).

4.2. IMPLEMENTAZIONE DEL SENSORE AD8232

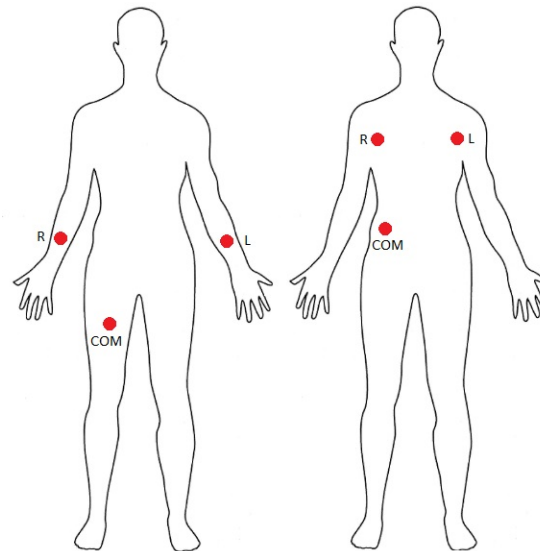
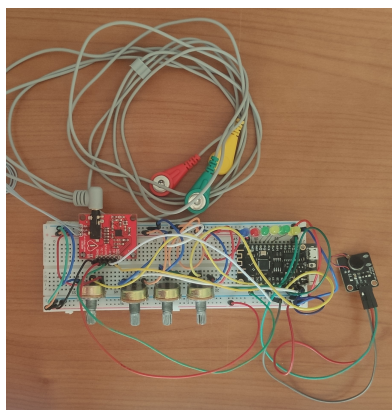
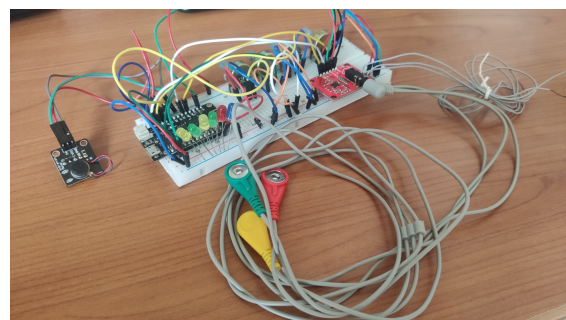


Figura 4.4: Configurazioni possibili di tre elettrodi per la misurazione ECG: braccio destro, braccio sinistro e gamba destra (figura a sinistra), torace e addome (figura a destra)

Di pari passo è stato necessario modificare anche il codice Arduino. Il codice in origine prevedeva un parametro di threshold per la rilevazione del battito. Con l'applicazione di un nuovo sensore più preciso si è dovuto testare e aggiustare tale parametro. È importante notare che nei primi test svolti la connessione dati è stata definita con un baudrate di 115200 per rilevare più dati possibili. Solo in un secondo momento abbiamo rivalutato tale parametro tenendo in considerazione le diverse modifiche e integrazioni applicate.



(a) Visione dall'alto



(b) Visione laterale

Figura 4.5: Immagine del circuito originale con il sensore ECG integrato

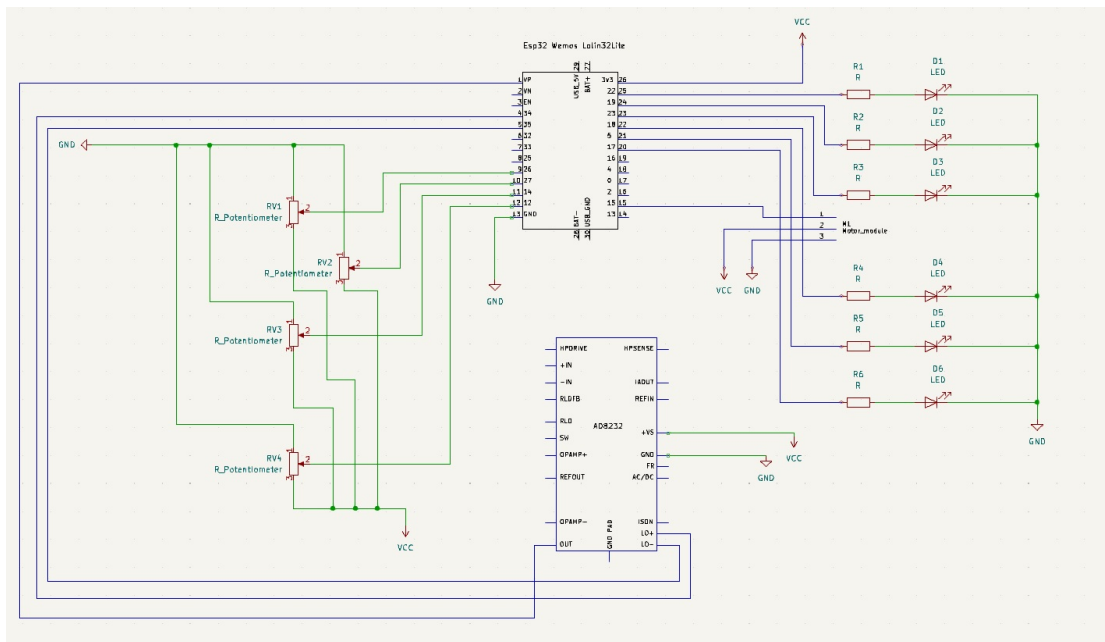


Figura 4.6: Schematico del circuito

4.3 SVILUPPO DI UN DATABASE CON FIREBASE

Il secondo obiettivo di ottimizzazione del dispositivo riguardava la condivisione dati. L'esigenza di poter accedere ai propri dati in qualsiasi momento e in modo libero era nata dal confronto con l'artista nelle sessioni di prova svolte nello studio originale.

Per trovare una risposta a questa necessità inizialmente abbiamo pensato a quali potessero essere dei software utili a tale scopo. Software e applicazioni come TimeScale, Rethink, Flutter si sono rilevati non opportuni in quanto non soddisfano i principi di base dello studio. Altro software testato è ThingSpeak che offre una buona versatilità e compatibilità con diversi altri elementi e la possibilità di visualizzare i dati inviati come diagrammi. Infine anch'esso è stato però scartato.

Dopo diverse ricerche abbiamo optato per l'utilizzo di Firebase, una web app open-source messa a disposizione da Google che offre vari servizi per la condivisione, la memorizzazione e l'analisi di database anche in real-time. All'interno dell'app esistono diverse modalità di cloud come Firestore o Real-Time Firebase. Nel nostro caso si è optato per l'utilizzo della seconda, testando anche un collegamento real-time, istantaneo, con il dispositivo, in modo da promuovere una condivisione dati rapida e sicura. Così facendo si sono riscontrati però

4.3. SVILUPPO DI UN DATABASE CON FIREBASE

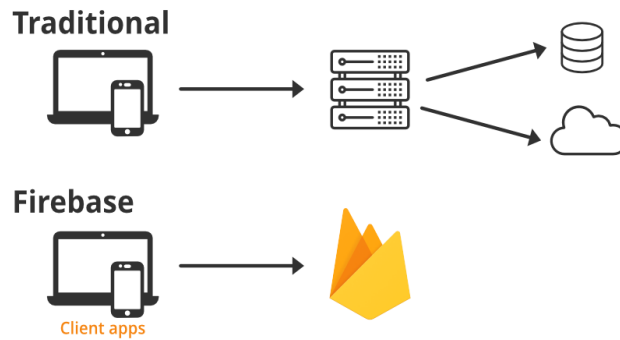


Figura 4.7: Sistema Firebase

alcuni limiti legati alla velocità di condivisione dati tramite la connessione WiFi. Di conseguenza è stato necessario cambiare prospettiva e abbiamo pensato ad una modalità alternativa: lasciare il compito computazionale alla scheda per poi inviare i dati a pacchetti al cloud di Firebase e non uno alla volta, in modo istantaneo, come previsto precedentemente. A tale scopo abbiamo integrato al processo anche l'utilizzo di un'altra applicazione, CoolTerm. Questa applicazione è un semplice terminale seriale che permette in modo efficiente di raccogliere i dati e poterli salvare sotto diversi formati così da analizzarli con fogli di lavoro o altri tipi di applicazioni. Quindi, il processo a questo punto era composto dai seguenti passaggi: calcolo e invio dei dati al seriale di CoolTerm, salvataggio dei dati e caricamento dei dati a pacchetti nel cloud. Seppur semplice, una volta applicato, l'intero processo si è rivelato macchinoso e poco accessibile poi per un utente. Abbiamo allora implementato lo stesso procedimento direttamente su codice Arduino, senza utilizzare un'applicazione di appoggio come poteva essere CoolTerm. La scheda, a questo punto, oltre a calcolare il dato aveva il compito di salvare i singoli valori in un vettore per poi inviare il vettore stesso al cloud di Firebase a pacchetti di 1000.

Firestore organizza i dati inviati in un database di cartelle, documenti e sottocartelle (Fig.4.8). Testando il caricamento dei dati ci siamo chiesti quale fosse la modalità migliore per organizzare i dati all'interno del database. L'opzione migliore è stata sviluppare l'organizzazione visiva in questo modo: una cartella principale nominata come la data del giorno contenente delle sottocartelle riferite alle diverse sessioni svolte nell'arco della giornata ad orari diversi.

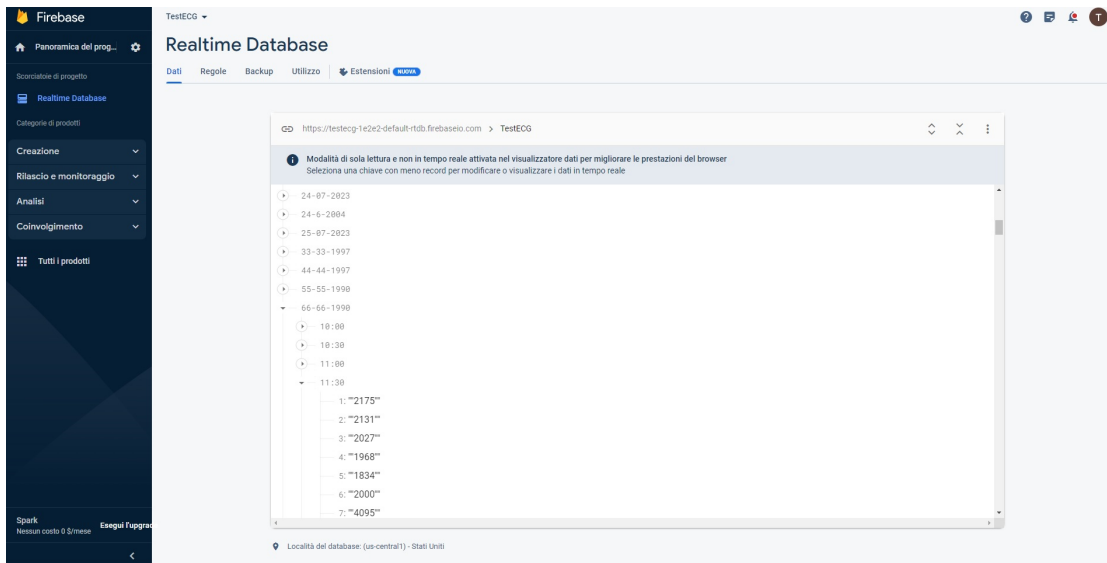


Figura 4.8: Layout del cloud Firebase

4.4 SVILUPPO DI UN APPLICAZIONE PER L'INTERAZIONE UTENTE-DISPOSITIVO

Dopo aver integrato un cloud esterno open-source per il caricamento e la condivisione dati ci siamo chiesti come rendere più accessibile il monitoraggio dei dati da parte dell'utente. Di conseguenza abbiamo ipotizzato che l'utilizzo di un'applicazione come integrazione al dispositivo potesse rivelarsi utile, semplice ed efficiente per l'interazione utente-dispositivo.

Per sviluppare un'applicazione di monitoraggio dati esistono diverse modalità. Inizialmente ho scelto di utilizzare Blynk, un'applicazione che permette di costruire e sviluppare prototipi di applicazioni attraverso l'utilizzo di diversi elementi e strumenti, usufruendo di un collegamento Bluetooth o WiFi con il dispositivo. L'applicazione stessa è facile e intuitiva ma per problemi di memoria sulla scheda del dispositivo legati all'utilizzo di diverse librerie (vedi Bluetooth, Firebase, Wifi,..) è stata abbandonata. A questo punto, confrontandomi con Nicolò, abbiamo pensato di testare App-Inventor, una web app per lo sviluppo di applicazioni che si basa su strutture a blocchi. Il primo prototipo di app prevedeva un design in cui il dispositivo svolgeva diverse funzioni, calcolava i dati, calcolava la data e poi caricava i dati su Firebase, mentre l'applicazione dava semplicemente la possibilità, tramite un pulsante, di mettere o meno in stand by il funzionamento. Sono sorti però alcuni limiti.

4.4. SVILUPPO DI UN APPLICAZIONE PER L'INTERAZIONE UTENTE-DISPOSITIVO

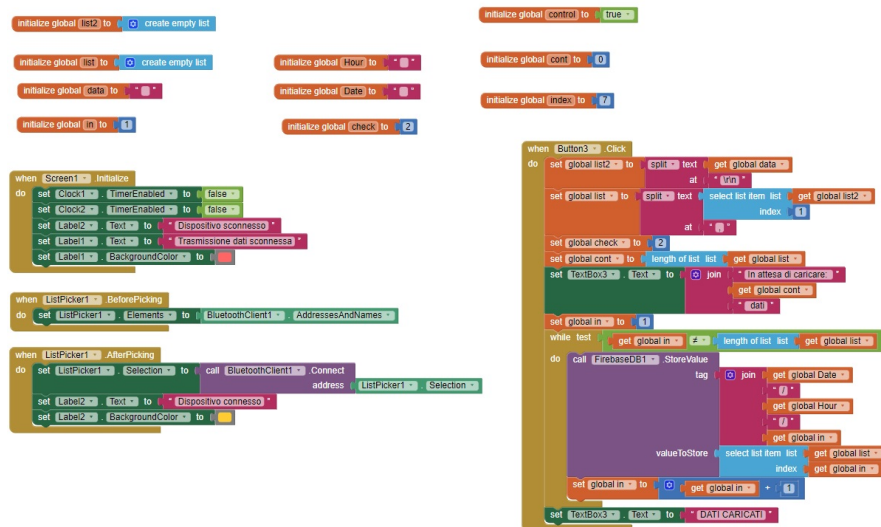


Figura 4.9: Design a blocchi dell'applicazione con App-Inventor, parte 1

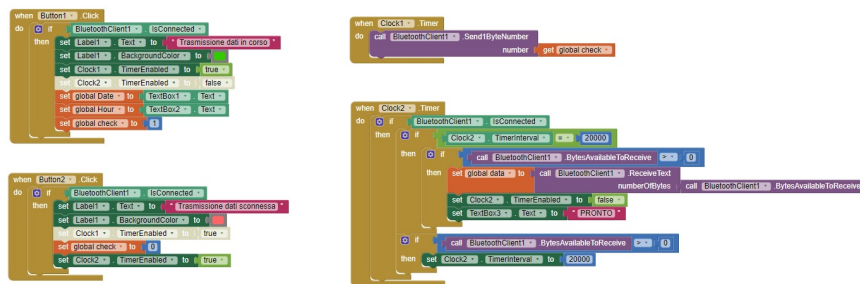


Figura 4.10: Design a blocchi dell'applicazione con App-Inventor, parte 2

Così abbiamo cambiato prospettiva: si è pensato di lasciare il compito del caricamento dati su Firebase all'applicazione stessa. In questo modo il dispositivo stesso ricava e calcola i dati per poi inviarli all'applicazione che li carica sul cloud. Nello sviluppo di tale modalità però è sorto un limite dato che la scheda usufruiva di un server online per recuperare la data e l'orario istantaneo e si andava così ad appesantire il progetto in termini di memoria. Di conseguenza abbiamo pensato di delegare questo compito all'utente. L'utente stesso si crea la sessione quando e dove vuole, scrivendo data e ora negli appositi spazi dell'applicazione. Questi valori vengono poi integrati nell'organizzazione delle cartelle del cloud.

A questo punto l'applicazione prevedeva questi step: creazione del collegamento BT con il device, scrittura della data e dell'ora per il salvataggio, invio di data e ora al dispositivo, pulsante di attivazione del caricamento dati.

Un altro elemento che inizialmente ci si era preposti di inserire nell'applicazione era un possibile feedback visivo dell'ECG. Analizzando il lavoro e osservando le diverse difficoltà sorte ancora da migliorare si è deciso di passare oltre e dare priorità all'ottimizzazione degli elementi di stand-by e di caricamento dati.

Infine abbiamo ripreso in mano il modello di applicazione implementato su App-Inventor e abbiamo cercato di migliorare diversi aspetti (Fig.4.9, Fig.4.10). Il design è stato modificato nuovamente in modo da renderlo più efficiente e preciso. In particolare abbiamo diviso l'azionamento della raccolta dati dal caricamento dei dati, in modo da appesantire meno il carico di lavoro del dispositivo in real-time. Nell'applicazione si trovano dunque dei pulsanti di attivazione e disattivazione della raccolta dati e un pulsante per attivarne il caricamento. Inoltre l'invio di data e ora è stato sviluppato in modo che avvenga solo nel momento in cui si aziona la raccolta dati nel background del codice tramite l'utilizzo di apposite variabili e non prima, come nel caso precedente.

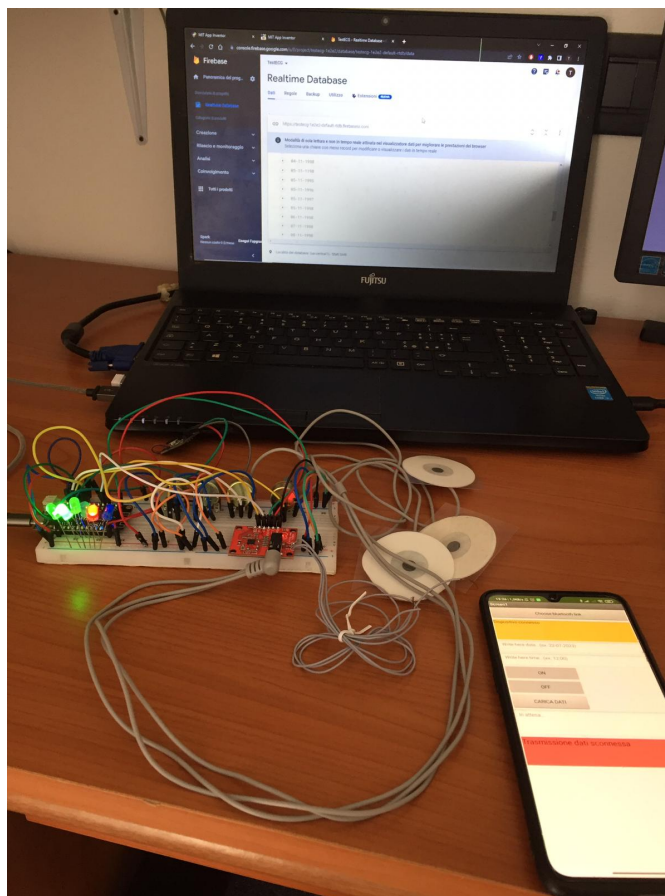


Figura 4.11: Visione del dispositivo con applicazione e Firebase attivi

4.4. SVILUPPO DI UN APPLICAZIONE PER L'INTERAZIONE UTENTE-DISPOSITIVO

Osservando il layout dell'applicazione si può notare la presenza anche di alcuni feedback visivi che facilitano l'interazione dell'utente. In particolare sono presenti dei riquadri di testo che inviano diversi avvisi: se la connessione Bluetooth con il dispositivo è andata a buon fine, se i dati sono stati caricati e se la trasmissione dati è in corso o meno (Fig.4.12).

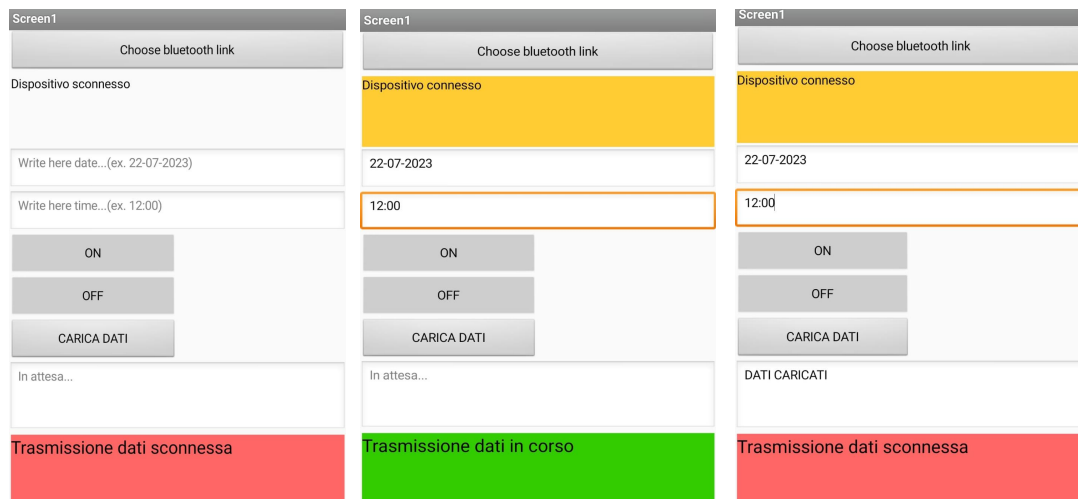


Figura 4.12: Layout dell'applicazione

Il design finale prevede che dall'applicazione si possano svolgere nell'ordine i seguenti passi:

- Collegamento Bluetooth con il dispositivo;
- Inserimento data e ora della sessione;
- Attivazione della raccolta dati nel dispositivo (tasto ON);
- Disattivazione della raccolta dati nel dispositivo (tasto OFF);
- Caricamento dei dati su Firebase;

4.5 SOMMARIO

Il risultato finale rappresenta un sistema musicale IoT la cui architettura può essere descritta come in figura (Fig.4.13): utilizzo di sensori e dispositivi tecnologici, connessioni Bluetooth e WiFi, unità processuali e applicazione. L'architettura rappresentata può sembrare complessa ma in realtà uno dei punti principali di tale studio è stato proprio sviluppare un dispositivo che sia di semplice progettazione e utilizzo. Tutte le parti che compongono l'architettura cercano di rispettare tale principio a partire dalla scelta del modulo di ECG fino alla scelta di Firebase e di App-Inventor, software open-source con i quali abbiamo sviluppato cloud e applicazione.

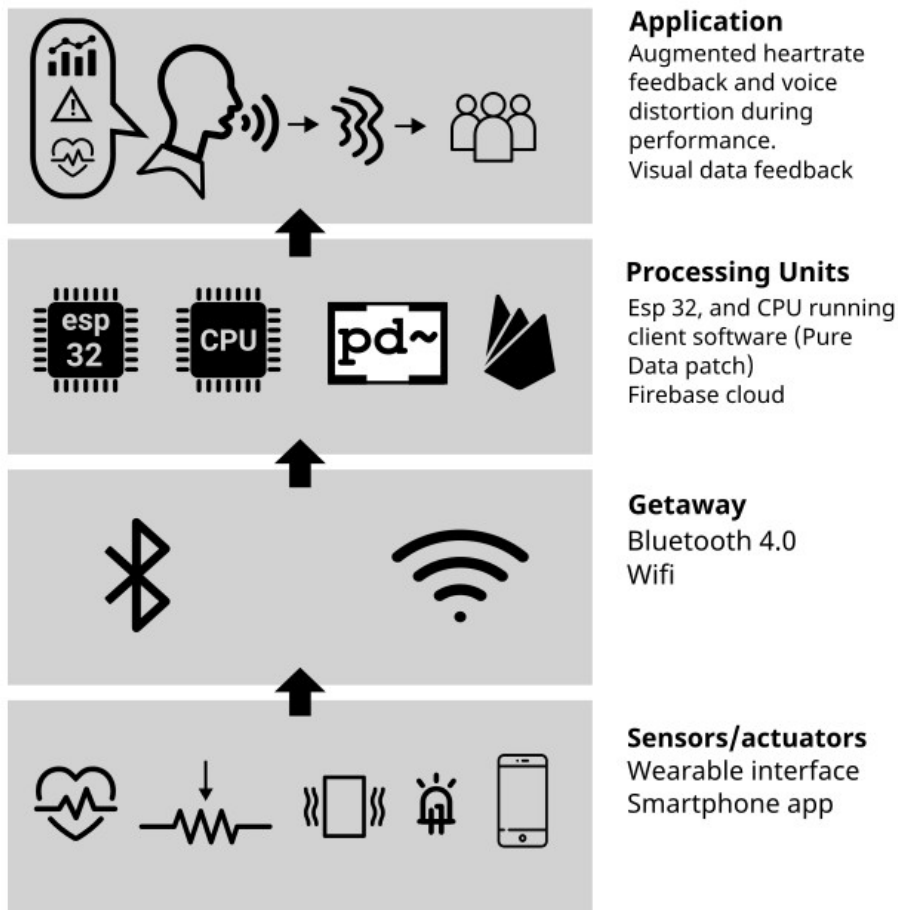


Figura 4.13: Architettura del sistema IoT di calcolo

5

Analisi e discussione

La metodologia "Reflection On Action" ci invita a questo punto ad approfondire il lavoro svolto, evidenziando limiti, vantaggi e svantaggi di ciò che è stato fatto e analizzando e discutendo i problemi riscontrati e le modifiche apportate al progetto. Seguendo tali linee guida nel seguente capitolo svolgiamo anche delle riflessioni sui passi svolti integrando le tematiche descritte inizialmente: inclusione, accessibilità, sostenibilità, IoT, open-source.

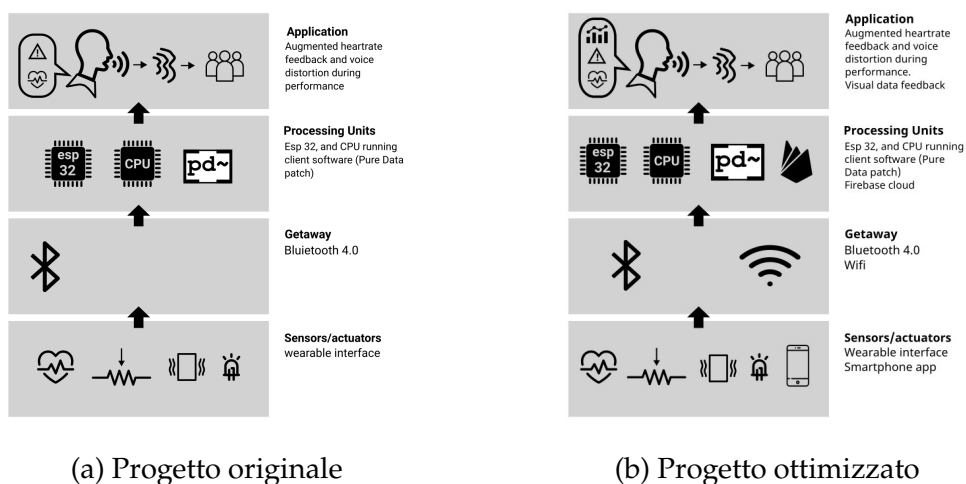
5.1 FEEDBACK E VALIDAZIONE

Innanzitutto, dopo aver concluso la parte applicativa del progetto, ho organizzato una interview con Nicolò per procedere con la validazione delle modifiche che ho apportato e raccogliere dei feedback. Da questo confronto abbiamo concluso che i miglioramenti apportati al prototipo rispondono alle richieste definite all'inizio del progetto. In particolare l'ottimizzazione svolta da un punto di vista tecnologico, sia hardware che software, soddisfa i principi di sostenibilità e accessibilità preposti. Con Nicolò abbiamo osservato che sotto l'aspetto dell'usabilità da parte dell'utente ci sono grandi miglioramenti. Per prima cosa il sensore di rilevazione del battito funziona meglio del precedente, è più preciso, veloce ed efficiente per il sistema IoT. Anche lo sviluppo dell'applicazione si è dimostrato un'importante integrazione per il progetto. In questo modo abbiamo facilitato l'interazione tra utente e dispositivo dando spazio così ad altri margini di miglioramento da questo punto di vista.

5.1. FEEDBACK E VALIDAZIONE

Un altro punto fondamentale sottolineato durante il confronto è stato l'utilizzo di strumenti open-source. Infatti questa modalità di sviluppo consente di integrare i miglioramenti apportati in maniera semplice e di sfruttare le capacità di software e web-app accessibili e di facile applicazione. In questo modo il lavoro può essere facilmente ripreso e ottimizzato anche in futuro da altri studi proprio grazie ad un linguaggio semplice oppure essere approfondito dallo stesso utente. Inoltre la condivisione di dati tramite software open-source apre anche alla possibilità di un approfondimento medico dei dati raccolti durante le sessioni e ad una personalizzazione più dettagliata di una possibile analisi medica e musicale. Per rendere accessibile il lavoro svolto è stata creata una repository online tramite la piattaforma GitHub dove viene raccolto il materiale sviluppato come codici o immagini.

L'architettura dell'intero sistema IoT diventa sicuramente più complessa rispetto a quella originale (Fig.5.1). Si può notare subito che sono stati aggiunti diversi elementi in ogni sezione dell'architettura. L'integrazione dello smartphone e della connessione WiFi per esempio sono due elementi caratteristici della tecnologia IoT che, nel caso di studio specifico, ottimizzano l'esperienza dell'utente favorendo connessioni veloci e accessibili da ogni posizione. Da un punto di vista processuale invece si osserva l'aggiunta di Firebase come elemento dedicato alla raccolta e condivisione dati. Infine nella sezione applicativa si è integrato il progetto originale aggiungendo anche un feedback visivo dei dati ECG che vengono raccolti del cloud che può servire per un'analisi istantanea del livello di stress dell'utente o per altre indicazioni.



(a) Progetto originale

(b) Progetto ottimizzato

Figura 5.1: Architettura del sistema IoT sviluppato

5.2 ANALISI DELLO SVILUPPO DEL PROGETTO

Alla base dello sviluppo del progetto ci sono diversi temi come la sostenibilità sociale e ambientale, l'inclusione in ambito musicale e l'utilizzo di nuove tecnologie IoT. Grazie alle scelte tecnologiche e progettuali prese abbiamo dato risposta a queste tematiche e ad alcune necessità dell'artista. Ricordiamo qui che lo scopo del progetto è aiutare l'artista a monitorare il proprio livello di stress durante una performance, di prova o di live, senza la necessità di interrompersi in caso di superamento di certi livelli limite ma con la possibilità, invece, di procedere con delle sessioni controllate di respiro e di canto. In modo particolare, diventa fondamentale rendere il dispositivo più accessibile all'artista ma anche, in parallelo, semplificare la fase di progettazione di modo che possibili studi futuri possano replicare e approfondire il progetto con chiarezza e semplicità. L'intero progetto dunque deve considerare una componente tecnologica, una componente medica e una componente dettata dalla musica.

Lo strumento descritto e ottimizzato è un dispositivo wearable, nello specifico un collare. I dispositivi indossabili sono sempre più diffusi perché permettono di continuare la propria vita in modo indipendente senza dover monitorare il dispositivo stesso e senza influenzare troppo le azioni quotidiane. In ambito medico si rivelano molto efficienti perché consentono un monitoraggio costante della propria situazione medica da parte dell'utente ma anche in alcuni casi da parte direttamente del medico o del ricercatore. Nel nostro caso il dispositivo è pensato in ambito musicale e se ne prevede l'utilizzo solo durante delle sessioni di canto in modo autonomo da parte dell'artista. Diventa quindi fondamentale che il dispositivo consenta di cantare senza interruzioni, senza limiti, senza disturbi inutili, e allo stesso tempo di monitorare lo stress offrendo dei feedback semplici all'artista. Il dispositivo stesso deve essere di facile utilizzo per l'utente, i dati raccolti devono essere accessibili in modalità aperta e gratuita e il progetto in sé deve essere il più replicabile e fruibile possibile. Per soddisfare queste osservazioni e rispettare i principi di sostenibilità, abbiamo optato per l'applicazione di tecnologie a basso costo e di facile reperibilità sfruttando inoltre le caratteristiche di software e applicazioni open-source. Così facendo abbiamo provato a minimizzare i costi futuri per una replicazione, un'integrazione del dispositivo e l'utilizzo dello stesso da parte di altri cantanti. Bisogna sottolineare però che questa scelta oltre ad offrire diversi vantaggi economici, di accessibilità e di condivisione, porta ad alcuni limiti.

5.2. ANALISI DELLO SVILUPPO DEL PROGETTO



Figura 5.2: Design del progetto ottimizzato

È normale infatti che elementi a basso costo siano meno efficienti di altri presenti sul mercato ad un prezzo più alto. In ogni caso i dispositivi tecnologici applicati come la scheda ESP32 o il sensore AD8232 sono elementi che si possono recuperare facilmente e che danno un contributo importante in termini di efficienza, soprattutto in ambito IoT. La scheda consente collegamenti Bluetooth e WiFi affidabili e dinamici mentre il modulo AD8232 rileva in modo preciso e rapido l'ECG dell'utente a differenza del sensore di pulsazioni presente in precedenza che funzionava saltuariamente e con minor precisione. La velocità e la precisione della raccolta e dell'invio dei dati è importante per una tecnologia IoT negli ambiti trattati, musicale e medico. Da un punto di vista musicale aiuta l'artista a continuare senza distrazioni la propria performance inviando dei feedback in real-time affidabili. In modo particolare, in questo caso di studio, dove è fondamentale il monitoraggio dello stress, una connessione affidabile, veloce e autonoma permette di non considerare nell'analisi quella componente di stress

che sarebbe dovuta all'attenzione dell'artista dedicata al funzionamento corretto del dispositivo. Dopotutto lo stress è influenzato da tanti fattori quotidiani che dovrebbero essere tenuti in considerazione e utilizzare elementi affidabili in termini tecnologici è un primo importante passo. L'artista deve, e in questo modo può, porre la sua concentrazione solo nel canto. Da un punto di vista medico e tecnologico, invece, le caratteristiche descritte evitano perdite di dati e rappresentano importanti fattori per una condivisione dati aperta e interattiva. In questo modo si favorisce la possibilità che i dati condivisi diventino materiale di analisi e approfondimento di nuove ricerche o semplicemente che vengano analizzati e monitorati da un ricercatore o un medico che segue l'artista. L'utilizzo del sensore AD8232, per come è stato implementato nel progetto, prevede l'applicazione di tre elettrodi sulla cute dell'utente. Se il dispositivo fosse pensato per un test in assoluta assenza di movimenti probabilmente non ci sarebbero problemi. In questo caso però dobbiamo porci il dubbio della mobilità e comodità dell'artista. Infatti l'applicazione di tre elettrodi, due nel torace e uno dell'addome, può rivelarsi invasivo per una persona che deve, nel nostro caso, cantare. Per risolvere tale problema si potrebbe pensare di renderli indossabili e quindi meno invasivi sia dal punto di vista tecnologico che estetico. Come si può notare dunque la scelta del modulo per la rilevazione dell'ECG è frutto di molte considerazioni legate alla sua efficienza e precisione, al basso costo, alla facile reperibilità, alle dimensioni, alla portabilità. Tutte queste caratteristiche favoriscono la longevità del dispositivo e il ridotto consumo di inutili sprechi rivelandosi dunque punti chiave da non sottovalutare e che rispettano i principi di sostenibilità sociale, economica e accessibilità preposti.

Il secondo passo eseguito nel progetto ha visto lo sviluppo di un cloud per la raccolta e la condivisione dati. Inizialmente abbiamo delineato quali caratteristiche dovesse avere una buona condivisione dati, riassumendole così: di facile applicazione, intuitiva, veloce, precisa, facilmente accessibile e interattiva. A tale scopo si è rivelata importante l'applicazione di software e applicazioni open-source. Tecnologie di questo tipo vantano la possibilità di essere accessibili da chiunque semplicemente tramite una semplice registrazione e molte di queste dispongono di piani interamente gratuiti. Se consideriamo le applicazioni future che potrebbe avere il dispositivo, usufruendo di queste modalità e tecnologie, si offre una condivisione di materiale e di dati molto efficiente e facilmente accessibile. L'open-source diventa strumento per favorire la durabilità del sistema e delle sue caratteristiche riducendo così anche un consumo inutile

5.2. ANALISI DELLO SVILUPPO DEL PROGETTO

per lo sviluppo di elementi già implementati. Inoltre la sincronizzazione tra dispositivi (PC, smartphone, cloud,) può essere sfruttata per rendere la tecnologia IoT sviluppata ancora più veloce e utile anche per raggiungere altri obiettivi dal punto di vista medico. Nello sviluppo del progetto abbiamo iniziato a ricercare un possibile software per la realizzazione del database. Alcuni programmi o siti come TimeScale, Flutter, Rethink, sono stati scartati subito perché prevedono dei piani di pagamento per l'uso. ThingSpeak, web app gratuita per la raccolta dati che garantisce anche una possibile visione grafica, non si è rivelata la giusta opzione. La raccolta dati e la connessione per l'aggiornamento dei dati era lenta e dunque non ideale per gli obiettivi del progetto. Sviluppare una raccolta dati veloce e precisa garantisce la possibilità di sfruttare il dispositivo durante sessioni live dove alla base non c'è l'obiettivo medico ma più l'obiettivo musicale, dell'esibizione. Il progetto infatti non prevede l'uso del dispositivo solo in ambiti di prove ma anche durante una vera e propria performance.

Soluzioni	Sviluppi e caratteristiche
Implementazioni hardware e sensore ECG	<ul style="list-style-type: none">- Efficienza, precisione, velocità- Connessione via Bluetooth per la comunicazione tra dispositivi- Ottimo per soluzioni IoT e wearable- Componenti a basso costo in vista di un risparmio economico futuro- Utilizzo di elettrodi fisici indossabili
Sviluppo di un cloud tramite Firebase	<ul style="list-style-type: none">- Raccolta dati real-time- Condivisione dati open-source, gratuita- Conservazione del progetto e dei dati, durabilità in vista di studi futuri- Possibilità di monitoraggio a seconda delle esigenze personali- Possibilità di monitoraggio da remoto da parte di medici e ricercatori
Sviluppo di un'applicazione per smartphone	<ul style="list-style-type: none">- Interazione utente-dispositivo migliore- Modalità intuitiva e accessibile (ovunque e in qualsiasi momento)- Soluzione ideale per un dispositivo wearable- Connessione tra dispositivi diversi risulta più semplice- Monitoraggio e raccolta dati accurato da parte dell'utente

Figura 5.3: Tabella riassuntiva di sviluppi e caratteristiche delle 3 soluzioni implementate

Garantire allora una raccolta dati rapida, in real-time, sicura e autonoma, che permetta all'artista di concentrarsi solo sulla sua esibizione, come già descritto, è punto chiave dell'intero processo. Così abbiamo optato per l'uso di Firebase. Questa web app offerta da Google è facilmente accessibile tramite il proprio profilo Google. La sua configurazione è semplice e all'interno il layout è abbastanza intuitivo. È open-source, gratuito, presenta una sezione apposita

per la raccolta dati in real-time e grazie alle impostazioni Google permette una facile condivisione dati. Nei primi test, come già spiegato nel capitolo precedente, Firebase fungeva solo da database. La vera raccolta in real-time veniva svolta da CoolTerm dal quale poi venivano inviati i dati alla web app. Questa modalità è stata poi scartata per rendere l'intero processo più semplice e meno pesante. Per un utente, meno passi ci sono da compiere meglio è. Dover utilizzare diversi programmi potrebbe creare della confusione e rilevarsi macchinoso quando l'obiettivo di chi lo utilizza è prima di tutto cantare senza troppe complicazioni.

Uno degli obiettivi principali definiti ad inizio progetto si riferisce alla semplificazione del dispositivo e alla sua accessibilità. Per approfondire questo argomento, dopo un breve confronto, abbiamo concluso che fosse importante considerare nello studio l'interazione che si crea tra utente e dispositivo. Nel progetto originale l'artista interagiva con il dispositivo solo tramite dei pulsanti e delle manopole presenti esternamente che le permettevano di attivare o meno il dispositivo e di applicare degli effetti MIDI alla propria voce. Il dispositivo ora però presenta nuove caratteristiche tra cui in particolare la possibilità di una raccolta e una condivisione dati istantanea ed è sorta la necessità di poter gestire tali funzioni. Una riflessione approfondita porta ad osservare che tra le molte opzioni che si possono offrire, c'è la possibilità di attivare o meno questa raccolta dati in modo semplice e autonomo in modo da offrire un monitoraggio più personale e preciso. Così facendo si favorisce una conservazione moderata dell'intero dispositivo, da un punto di vista energetico e di degrado. A tale scopo, dunque, è sorta l'idea di sviluppare un'applicazione che permetta all'utente di monitorare i dati, di raccogliarli, inviarli al cloud in modo indipendente ed eventualmente di ottenere dei feedback. La connessione allo smartphone è un punto chiave nelle tecnologie IoT e nei dispositivi wearable vista la diffusione e le capacità raggiunte. Ormai la maggior parte delle persone ha uno smartphone, e questo fa sì che diventi lo strumento più adatto per un'interazione e una condivisione real-time. L'utilizzo di un'applicazione risulta così un metodo intuitivo e accessibile da chiunque e dovunque. Come già descritto, per costruire un prototipo di applicazione abbiamo inizialmente testato Blynk. Da un punto di vista di accessibilità però non si è rivelata la scelta migliore perché presenta un layout forse troppo tecnologico e specifico e richiede un piano di pagamento per alcuni elementi utili allo scopo. Diversi problemi sono insorti anche nella scrittura del codice e nell'integrazione con il prototipo già sviluppato. Per l'attivazione dell'applicazione erano necessarie alcune librerie che portavano a

5.3. SVILUPPI FUTURI

sovraccarichi di memoria limitando così il funzionamento. Dunque abbiamo dovuto trovare un'alternativa e dopo una breve ricerca abbiamo scelto di utilizzare App-Inventor. Con questa applicazione, open-source, gratuita, facilmente accessibile e intuitiva, abbiamo definito la nostra applicazione per la raccolta e la condivisione dati. Per alleggerire il codice abbiamo definito nell'applicazione la possibilità di inserire autonomamente data e ora della sessione così da favorire la personalizzazione dell'intero progetto. La possibilità di attivare o meno la raccolta dati del dispositivo favorisce il risparmio energetico, importante in un contesto in cui vengono presi in considerazione molti elementi tecnologici a basso prezzo e quindi da questo punto di vista a volte poco affidabili. Inoltre grazie allo sviluppo dell'applicazione in futuro è possibile offrire all'utente una vasta gamma di feedback direttamente nello smartphone.

5.3 SVILUPPI FUTURI

L'intero progetto, ora ottimizzato, presenta molte caratteristiche e proprietà fondamentali di un sistema IoT che possono essere approfondite da studi futuri. In particolare, da questo punto di vista, la scelta di operare con diversi software ed applicazioni open-source facilita nuovi sviluppi e le possibilità che queste tecnologie offrono, come avere accesso in modo libero e aperto al materiale, favoriscono nuove implementazioni del progetto da parte di altre ricerche. Una condivisione dati aperta e ottimizzata si rivela quindi basilare per il processo di sviluppo sia da un punto di vista delle tecnologie musicali sia da un punto di vista medico. Un monitoraggio costante della salute di un utente è già oggi oggetto di studio e di approfondimento di molte ricerche e vede all'orizzonte un'importante crescita. Nel progetto di tesi il dispositivo è stato sviluppato e integrato come semplice prototipo. I prossimi passi prevedono anche un'ottimizzazione e realizzazione pratica dello strumento integrando anche una validazione più approfondita svolta assieme all'artista. Possibili studi futuri potrebbero anche applicare nuovi sensori al dispositivo contribuendo ad un'analisi diversa dei dati raccolti e ad un monitoraggio dello stress più dettagliato. Anche l'applicazione implementata offre margini di miglioramento e di integrazione al sistema, sia da un punto di vista tecnologico, come l'inserzione di nuovi feedback visivi, sia da un punto di vista estetico, per una sempre più buona e semplice interazione.



Conclusioni

Il progetto descrive lo sviluppo e l'ottimizzazione di un dispositivo wearable per il monitoraggio del livello di stress di una cantante lirica durante una performance integrando un sistema cloud per la condivisione dati e un applicazione per smartphone per l'interazione. Nello sviluppo abbiamo integrato un nuovo sensore per la rilevazione del battito cardiaco e nuovi elementi software e di linguaggio per migliorare l'esperienza dell'utente. Il materiale, codici, immagini, si possono recuperare da una repository in GitHub.

Le modifiche apportate ci hanno permesso di rispondere alle richieste personali dell'utente e di porre la giusta attenzione da un punto di vista della sostenibilità e dell'inclusione. L'IoT in particolare, in quanto settore multidisciplinare, favorisce un lavoro trasversale con la possibilità che si integrino contributi diversi derivati da discipline diverse. L'utilizzo di elementi open-source è punto chiave dell'intero progetto e ideale per il lavoro multidisciplinare perché offre una condivisione libera che fornisce la possibilità di nuove integrazioni e approfondimenti da parte di studi futuri in modo semplice e veloce. Nello specifico, è previsto un nuovo sviluppo del progetto basato sulla fabbricazione digitale del dispositivo. Diventa importante quindi una costante ricerca per migliorare ed ottimizzare il dispositivo, considerando nuove tecnologie e potenzialmente diversi utenti con diverse complicazioni mediche. Inoltre tale progetto rappresenta un esempio di come la sostenibilità ambientale può essere integrata nello sviluppo di sistemi IoT, considerando i bassi costi, i ridotti scarti e rifiuti. Allo stesso modo anche la sostenibilità sociale diventa parte integrante della ricerca. L'intero lavoro contribuisce infatti allo sviluppo di tecnologie musicali accessibili

(AMT) e inclusive con lo scopo di supportare artisti con disabilità reintegrando nel mondo della musica. Offrire una nuova possibilità ad una persona con disabilità o che soffre di una malattia non è sempre semplice e fattibile. Diventa fondamentale allora sviluppare dispositivi che consentano alla persona una reinclusione semplice e autonoma nel contesto desiderato. I principi di sostenibilità seguiti fanno sì che il progetto sia anche un esempio di transizione verso un futuro più sostenibile nel mondo biomedico e delle tecnologie IoT e diventando parte attiva nell'evoluzione tecnologica sostenibile.

Altro punto approfondito nel progetto e sempre più diffuso in ambito biomedico è la personalizzazione del dispositivo medico. Questo fattore favorisce l'efficienza dell'intero sistema perché pensato e sviluppato ad hoc per l'utente in questione. L'analisi, che viene svolta dallo stesso utente o da una terza persona, medico o ricercatore, si rivela così più semplice ed efficace. In precedenza abbiamo già visto e analizzato diversi possibili sviluppi futuri a partire dalle basi definite dal progetto, bisogna notare però che si rivela necessario svolgere in futuro dei test del dispositivo in una performance reale. L'intero lavoro svolto infatti si basa su test e validazioni in sessioni di prova ma lo scopo ultimo del progetto è l'utilizzo durante un'esibizione live. Testare dunque il sistema ottimizzato in diverse condizioni, in particolare durante una performance live, può aiutare sicuramente a rilevare eventuali problematiche e a ricevere ulteriori feedback dall'utente.

Integrare nello stesso contesto sostenibilità, inclusione, accessibilità e tecnologie IoT ci ha posto di fronte molte questioni a cui trovare risposta e molte scelte da prendere che possono comunque trovare ottimizzazioni e integrazioni negli studi futuri. Questo lavoro di tesi ha cercato di approfondire diversi aspetti del progetto originale "Below 58 BPM" sia da un punto di vista pratico e sia da un punto di vista teorico ponendo al centro l'obiettivo primo di un tale lavoro: offrire ad un artista con disabilità una nuova possibilità di esprimersi nella musica.

Bibliografia

- [1] Alex Lubet. «Disability rights, music and the case for inclusive education». In: *International Journal of Inclusive Education* 15 (2011), pp. 57–70.
- [2] Piero Mioli. «Beethoven». In: (2020), pp. 603–661.
- [3] D.Gloag. «Music and disability». In: *BMJ* 298 (1989), pp. 402–403.
- [4] Wikipedia. *Michel Petrucciani* — *Wikipedia, L'enciclopedia libera*. [Online; in data 18-settembre-2023]. 2023. URL: <http://it.wikipedia.org/w/index.php?>.
- [5] Luca Turchet et al. «Internet of Musical Things: Vision and Challenges». In: (2018).
- [6] Yesha Bhatt e Chintan Bhatt. «Internet of Things in HealthCare». In: *Internet of Things and Big Data Technologies for Next Generation Healthcare*. 2017, pp. 13–33.
- [7] OHMI. Online at: 18/09/2023. URL: <https://www.ohmi.org.uk/>.
- [8] *Human Instruments*. Online at: 18/09/2023. URL: <https://www.humaninstruments.co.uk/home>.
- [9] Chi-Ju Chao et al. «DanceVibe: Assistive Dancing for the Hearing Impaired». In: *Mobile Computing, Applications, and Services*. Vol. 240. 2018, pp. 21–39.
- [10] Tadrash Shah e Chintan M.Bhatt. «The Internet of Things: Technologies, Communications and Computing». In: *CSI Communications* (2014).
- [11] Lucia Scaffardi. «La medicina alla prova dellIntelligenza Artificiale». In: *DPCE Online* (2022).
- [12] Koichi Samuels. «The Meanings in Making: Openness, Technology and Inclusive Music Practices for People with Disabilities». In: *Leonardo Music Journal* (2015), pp. 25–29.

BIBLIOGRAFIA

- [13] Jennifer S.Raj. «A Novel Information Processing in IoT Based Real Time Health Care Monitoring System». In: *Journal of Electronics and Informatics* (2020).
- [14] Hoa Hong Nguyen et al. «A review on IoT healthcare monitoring applications and a vision for transforming sensor data into real-time clinical feedback». In: *2017 IEEE 21st International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)* (2017).
- [15] Steve Benford et al. «From interaction to trajectories: designing coherent journeys through user experiences». In: *CHI '09: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2009).
- [16] *The International Conference of NIME - New Interfaces for Musical Expression*. Online at: 25/09/2023. URL: <https://www.nime.org>.
- [17] Wendy L. Magee e Karen Burland. «Using Electronic Music Technologies in Music Therapy: Opportunities, Limitations and Clinical Indicators». In: *British Journal of Music Therapy* (2008), pp. 3–15.
- [18] Zahra Nasiri Aghdam, Amir Masoud Rahmani e Mehdi Hosseinzadeh. «The Role of the Internet of Things in Healthcare: Future Trends and Challenges». In: *Computer Methods and Programs in Biomedicine* (2021).
- [19] Mohit Kumar et al. «Healthcare Internet of Things (H-IoT): Current Trends, Future Prospects, Applications, Challenges, and Security Issues». In: *Electronics* (2023).
- [20] *How is IoT used in Healthcare*. Online at: 25/09/2023. URL: <https://www.kserve.co.in/how-is-iot-used-in-healthcar>.
- [21] Lon Åke Erni Johannes Hansson, Teresa Cerratto Pargman e Daniel Sapiens Pargman. «A Decade of Sustainable HCI: Connecting SHCI to the Sustainable Development Goals». In: *CHI '21: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2021).
- [22] Rodolphe Koehly. *Fabrication of sustainable resistive-based paper touch sensors: Application to music technology*. 2011. URL: <https://www.proquest.com/openview/8965c867c89a81ba404ae603802722e1/1?pq-origsite=gscholar&cb1=18750>.
- [23] Raul Masu et al. «NIME and the Environment: Toward a More Sustainable NIME Practice». In: *PubPub* (2021).

- [24] Emma Frid. «Accessible Digital Musical Instruments - A Review of Musical Interfaces in Inclusive Music Practice». In: *MTI* (2019).
- [25] Nicola Davanzo e Federico Avanzini. «A Dimension Space for the Evaluation of Accessible Digital Musical Instruments». In: (2020).
- [26] Sasha Costanza-Chock. *Design justice: community-led practices to build the worlds we need*. 2020.
- [27] Beatriz Rodríguez-Romero et al. «Prevalence and Associated Factors for Musculoskeletal Pain and Disability Among Spanish Music Conservatory Students». In: *Medical Problems of Performing Artists* 31 (2016), pp. 193–200.
- [28] Tim Patston e Terence Loughlan. «Playing with Performance: The Use and Abuse of Beta-Blockers in the Performing Arts». In: *Victorian Journal of Music Education* (2014), pp. 3–10.
- [29] Dianna T. Kenny. «A Systematic Review of Treatments for Music Performance Anxiety». In: *Anxiety, Stress and Coping* 18 (2005), pp. 183–208.
- [30] Jeppe Veirum Larsen, Dan Overholt e Thomas B. Moeslund. «The Prospects of Musical Instruments For People with Physical Disabilities». In: (2016).
- [31] Amble H.C. Skuse e Shelly Knotts. «Creating an Online Ensemble for Home Based Disabled Musicians: Disabled Access and Universal Design - why disabled people must be at the heart of developing technology.» In: (2020).
- [32] Bertalan Meskò e Dave deBronkart. «Patient Design: The Importance of Including Patients in Designing Health Care». In: *J Med Internet Res* (2022).
- [33] Jonathan Hook et al. «Waves: exploring idiographic design for live performance». In: *CHI '13: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2013).
- [34] Martin Wachs e T.Gordon Kumagai. «Physical accessibility as a social indicator». In: *Socio-Economic Planning Sciences* (1973).
- [35] Pierre-Antoine Cinquin, Pascal Guitton e Hélène Sauzèon. «Online e-learning and cognitive disabilities: A systematic review». In: *Computers and Education* (2019).
- [36] Chris Abbott. «Defining assistive technologies a discussion». In: *Journal of Assistive Technologies* (2007).

BIBLIOGRAFIA

- [37] Samuels K. «Enabling Creativity: Inclusive Music Interfaces and Practices». In: *In Proceedings of the International Conference on Live Interfaces (ICLI)* (2014).
- [38] Sharon Edwards. «Reflecting differently. New dimensions: reflection-before-action and reflection-beyond-action». In: *International Practice Development Journal* (2017).
- [39] Donald A Schon. *The Reflective Practitioner: how professionals think in action*. Ashgate, 1983.
- [40] Michael Eraut. «Schon Shock: a case for refraining reflection in action?» In: *Teachers and Teaching* (1995).

Ringraziamenti

A conclusione di questo lavoro desidero ringraziare il Professore Sergio Canazza per avermi dato la possibilità di integrare la mia passione per la musica con il mio percorso di studi. Questo lavoro è stato occasione per approfondire in modo più accurato il mondo musicale da un punto di vista tecnologico e scientifico e di affrontare nuovi approcci alla musica e nuove metodologie di indagine verso il suono e la sua percezione.

Ringrazio inoltre il Dottor Nicolò Merendino che mi ha dato fiducia e mi ha affidato gli sviluppi di un lavoro di ricerca per lui importante. È stata una bella esperienza di confronto, di discussione e di analisi che spero mi aiuti a ricordare sempre, nel mio futuro lavorativo, l'importanza di porre al centro dello studio la persona e le sue capacità.

Ringrazio infine la mia famiglia per il supporto che mi ha sempre dato e la comprensione dimostrata nei periodi meno brillanti del percorso.

Grazie a chi mi è vicino ogni giorno.