



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

Laurea Triennale in Ingegneria Informatica

**Sistema intelligente di monitoraggio  
della postura basato su  
sensori FSR e machine learning**

Relatore:

**Prof. Enzo Mingozzi**

Candidato:

**Samuel Scarabelli**

---

ANNO ACCADEMICO 2024/2025



# Abstract

Questa tesi prende come punto di partenza il sistema sviluppato dal mio team durante l'edizione 2024 del Samsung Innovation Campus e approfondisce la parte da me curata, relativa alla progettazione della componentistica hardware. Il sistema consiste in una sedia smart dotata di sensori di pressione integrati nella seduta, in grado di monitorare la postura dell'utilizzatore e fornire feedback tramite vibrazioni in caso la postura risulti essere scorretta. La progettazione hardware ha riguardato la scelta delle componenti necessarie al corretto funzionamento del sistema, la selezione dei modelli più adatti e l'implementazione di un sistema embedded che integra sensori, microcontrollore e motori vibranti. L'obiettivo principale è garantire affidabilità, efficienza energetica e facilità d'integrazione delle componenti, permettendo al contempo al software di classificare la postura in tempo reale e garantire all'utente una user experience piacevole.



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>9</b>
1.1	Presentazione del problema . . . . .	9
1.2	Descrizione della soluzione proposta . . . . .	9
1.3	Obiettivi della sedia smart . . . . .	9
1.4	Contributo personale . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Analisi del problema</b>	<b>11</b>
2.1	Contestualizzazione del problema . . . . .	11
2.2	Soluzioni esistenti . . . . .	11
2.3	Limiti delle soluzioni attuali . . . . .	11
2.4	Valore aggiunto della sedia smart . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Progetto della sedia smart</b>	<b>13</b>
3.1	Funzionamento generale del sistema . . . . .	13
3.2	Componenti hardware e software . . . . .	13
3.3	Ruolo dell'hardware nel sistema . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Progettazione hardware</b>	<b>17</b>
4.1	Componenti . . . . .	17
4.1.1	Sensori FSR . . . . .	17
4.1.2	Microcontrollore . . . . .	17
4.1.3	Motori vibranti . . . . .	17
4.1.4	Mosfet . . . . .	18
4.1.5	Batteria e convertitore step-up per l'alimentazione . . . . .	18
4.1.6	Convertitore A/D . . . . .	18
4.1.7	Multiplexer . . . . .	18
4.1.8	Resistenze . . . . .	18
4.2	Motivazioni della scelta dei componenti . . . . .	19
4.2.1	Costo . . . . .	19
4.2.2	Affidabilità . . . . .	19
4.2.3	Integrazione . . . . .	19
4.3	Componenti alternativi e confronto . . . . .	19
4.4	Schema circuitale . . . . .	21

<b>5</b>	<b>Dimensionamento dei componenti</b>	<b>23</b>
5.1	Convertitore A/D e resistenza del partitore di tensione . . . . .	23
5.2	Sensori FSR . . . . .	24
5.3	Resistenza di pull-down . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Analisi economica</b>	<b>25</b>
6.1	Costi dei singoli componenti . . . . .	25
6.2	Costo complessivo del prodotto . . . . .	25
6.3	Confronto con soluzioni esistenti . . . . .	26
<b>7</b>	<b>Analisi energetica</b>	<b>27</b>
7.1	Consumo dei singoli componenti . . . . .	27
7.2	Tempo di funzionamento stimato . . . . .	27
7.3	Progettazione della batteria . . . . .	28
7.3.1	Configurazione delle celle: singola vs multiple . . . . .	28
7.3.2	Convertitore step-up e capacità effettiva . . . . .	28
<b>8</b>	<b>Discussione sulla progettazione hardware</b>	<b>29</b>
8.1	Vantaggi della soluzione proposta . . . . .	29
8.2	Limiti tecnici . . . . .	29
8.3	Possibili miglioramenti futuri . . . . .	30
<b>9</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>31</b>
9.1	Riepilogo del progetto . . . . .	31
9.2	Sintesi del contributo personale . . . . .	31
9.3	Considerazioni finali . . . . .	31

# Elenco delle figure

3.1	Mockup della sedia smart . . . . .	14
3.2	Mockup dell'applicazione . . . . .	15
4.1	Schema circuitale dei componenti interconnessi . . . . .	21
5.1	Posizionamento dei sensori all'interno della seduta. Immagine presa dall'articolo Dong et al. (2023) [1] . . . . .	24





# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Presentazione del problema

Con lo sviluppo esponenziale che l'industria 3.0 e, successivamente, quella 4.0 hanno subito dall'inizio degli anni 2000 a oggi, numerosi compiti che venivano svolti manualmente dalle persone sono stati rimpiazzati da attività sempre più sedentarie. In un articolo pubblicato dal Journal of Physical Therapy Science [2] viene evidenziato come una postura scorretta da seduti possa aumentare significativamente l'insorgere di dolori nella zona lombare; inoltre, in un articolo pubblicato dalla rivista The Spine Journal [3], viene illustrato come una seduta scorretta possa causare la compressione delle radici nervose lombari, aumentando il rischio di dolore lungo il nervo sciatico, intorpidimento e formicolii nelle gambe e, nei casi più gravi, debolezza muscolare e alterazione dei riflessi.

### 1.2 Descrizione della soluzione proposta

Durante l'edizione 2024 del Samsung Innovation Campus, io e il mio gruppo abbiamo progettato un sistema di monitoraggio della postura per far fronte al problema sopracitato. Il sistema si concretizza in una sedia ergonomica che, tramite sensori di pressione situati all'interno della seduta e un algoritmo SVM, riesce a identificare la postura assunta dall'utilizzatore, avvisandolo nel caso in cui essa sia scorretta.

### 1.3 Obiettivi della sedia smart

Il sistema da noi progettato permette all'utilizzatore di prendere consapevolezza della propria postura da seduto e, nel caso essa sia scorretta, lo aiuta a sviluppare in autonomia una postura corretta. Inoltre, favorisce l'acquisizione dell'abitudine a non rimanere seduto per periodi prolungati, contribuendo al suo benessere.

## 1.4 Contributo personale

Il mio contributo al lavoro è stato quello di progettare tutta la componentistica hardware necessaria al corretto funzionamento del sistema. In particolare, mi sono occupato della scelta dei vari componenti hardware, del loro collegamento e dell'alimentazione dell'intero sistema; tutto questo verrà esaminato dettagliatamente in seguito.

## Capitolo 2

# Analisi del problema

### 2.1 Contestualizzazione del problema

Il problema di una seduta scorretta affligge persone di qualunque tipo, dal bambino all'adulto, dal lavoratore allo studente. Essendo un disagio diffuso all'interno di un gruppo così eterogeneo, la sua soluzione deve garantire una user experience piacevole, efficace e accessibile.

### 2.2 Soluzioni esistenti

In commercio sono presenti diverse soluzioni per il problema della postura scorretta da seduti; i principali sono:

- Fasce posturali: cinghie con struttura rigida ma morbide che devono essere indossate attorno alle ascelle e al torso, impedendo l'assunzione di una postura scorretta.
- Dispositivi elettronici: sistemi come l'UPRIGHT GO 2™ o l'Halipax Dual Sensor Smart Posture Trainer utilizzano un sensore posizionato sulla parte superiore della schiena (tramite laccetto, adesivo o fasce) che rileva l'eventuale postura scorretta dell'utente e glielo segnala tramite una leggera vibrazione.

### 2.3 Limiti delle soluzioni attuali

Le fasce posturali hanno il grande svantaggio di essere un sistema ingombrante e scomodo da indossare o rimuovere; inoltre non permettono alla pelle di respirare correttamente, data la loro natura aderente, causando, specialmente nei periodi più caldi, un disagio. I dispositivi elettronici forniscono una pessima user experience, in quanto essi devono essere mantenuti nella posizione corretta per avere un risultato efficace; questo può essere fatto tramite un adesivo, che è scomodo da posizionare e può staccarsi in seguito ad un urto o ad un'eccessiva sudorazione, o un laccetto, che

non permette di avere costantemente un posizionamento corretto del dispositivo; inoltre il dispositivo può essere facilmente danneggiato da un urto, oppure staccarsi senza che l'utente se ne accorga.

## **2.4 Valore aggiunto della sedia smart**

Il sistema sviluppato dal mio gruppo non prevede di indossare alcun dispositivo, è completamente invisibile all'utente e, fintanto che l'utente è seduto, esso rileva costantemente e correttamente la postura del suo utilizzatore.

## Capitolo 3

# Progetto della sedia smart

### 3.1 Funzionamento generale del sistema

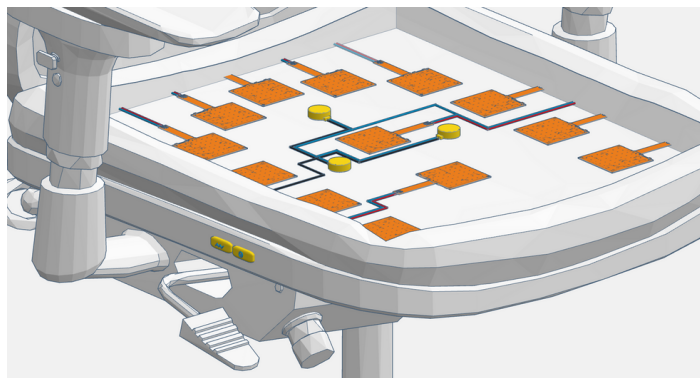
Il sistema prevede l'utilizzo di 13 sensori Figura 3.1a di pressione posizionati all'interno della seduta del sistema. I sensori sono collegati ad un microcontrollore Figura 3.1b, posizionato sullo schienale del sistema, che acquisisce ed elabora i dati rilevati dai sensori. Questi dati elaborati vengono inviati ad un applicazione per smartphone Figura 3.2 tramite la quale è possibile tenere traccia delle proprie abitudini posturali e regolare le funzionalità della sedia. Se l'elaborazione dei dati porta al rilevamento di una postura classificata come scorretta, il microcontrollore attiva 3 motori vibranti Figura 3.1a, posizionati all'interno della seduta, per segnalare all'utente la sua postura scorretta. Il sistema dispone, inoltre, di due pulsanti Figura 3.1c situati sul lato destro della seduta, tramite i quali è possibile accendere o spegnere il sistema e attivare o disattivare la vibrazione. Il tutto è alimentato da una batteria Figura 3.1b, situata nella parte posteriore dello schienale del sistema, la quale può eventualmente essere rimossa per essere ricaricata o sostituita.

### 3.2 Componenti hardware e software

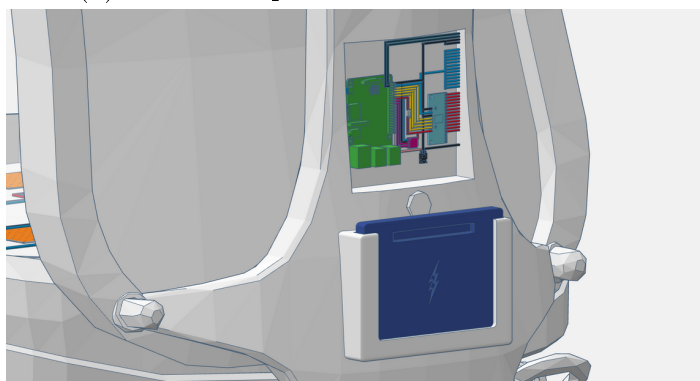
La componentistica hardware si articola in: tredici sensori di pressione, tre motori vibranti, un microcontrollore, un multiplexer a 16 canali, un convertitore A/D, due resistenze, un transistor, un pacco batterie e un convertitore step-up. La componentistica software si articola in: un algoritmo di preprocessing dei dati con Z-score, un modello SVM per la classificazione dei dati, del codice tramite cui i dati vengono acquisiti, elaborati ed utilizzati e il linguaggio di programmazione Python con specifiche librerie di machine learning.

### 3.3 Ruolo dell'hardware nel sistema

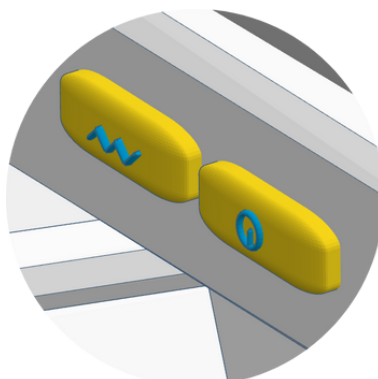
L'hardware del sistema deve permettere la corretta ed efficiente esecuzione del software, un'autonomia del sistema sufficientemente lunga ed una buona user experience.



(a) Sensori di pressione e motori vibranti

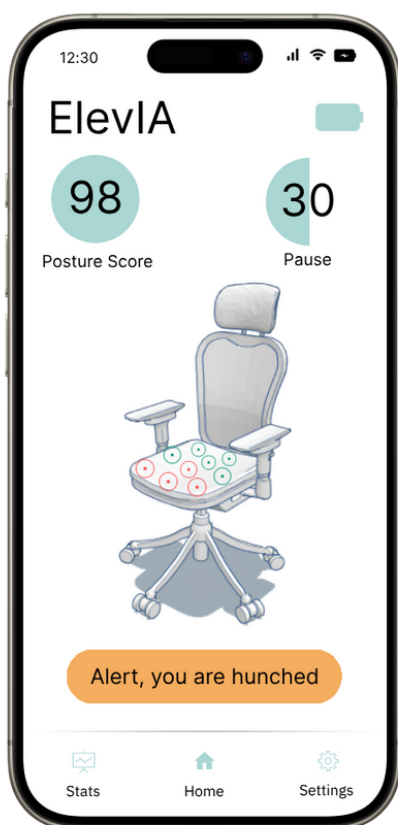


(b) Circuito elettrico del microcontrollore e pacco batterie

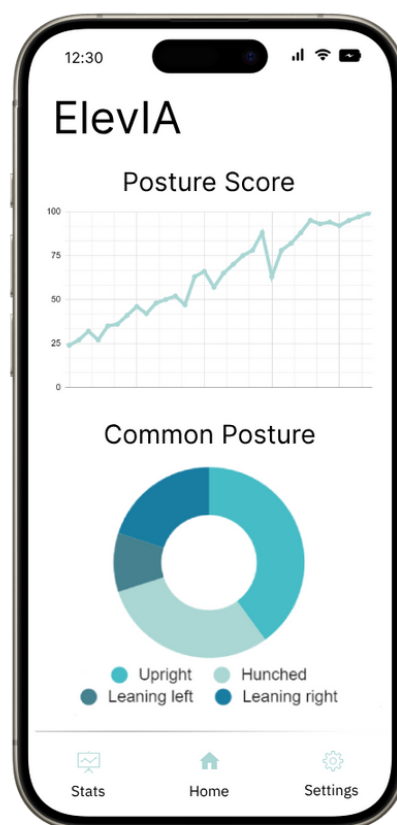


(c) Pulsanti d'interazione

Figura 3.1: Mockup della sedia smart



(a) Home



(b) Statistiche

Figura 3.2: Mockup dell'applicazione





# Capitolo 4

## Progettazione hardware

### 4.1 Componenti

Di seguito vengono elencati i componenti necessari all'implementazione del sistema con relativa funzione e specifico modello scelto per ogni componente.

#### 4.1.1 Sensori FSR

I sensori FSR sono una categoria di sensori che, all'interno di un circuito, si comportano come una resistenza che cambia valore in relazione alla forza o pressione che viene applicata su di loro. Il modello da me scelto è l'FSR 406, in quanto supporta un intervallo di forze fino a  $10^2$  N; utilizzandone 13 possiamo applicare complessivamente su di essi una forza pari a  $13 \cdot 10^2$  N, che corrispondono approssimativamente ad un carico massimo di 130 kg, quindi sufficientemente grande per permettere l'utilizzo del sistema a una persona di peso medio [4].

#### 4.1.2 Microcontrollore

Il microcontrollore è un circuito integrato monolitico che presenta al suo interno un'unità di elaborazione centrale, una memoria non volatile, una memoria volatile e diverse periferiche integrate. Il modello da me scelto è il Raspberry Pi 3 in quanto offre, ad un costo contenuto, una sufficiente potenza di calcolo per l'esecuzione dell'algoritmo SVM.

#### 4.1.3 Motori vibranti

I motori vibranti sono dei componenti che, se ricevono una tensione ai capi, producono una vibrazione. Il modello da me scelto è l'Adafruit Vibrating Mini Motor Disc, in quanto è semplice da utilizzare e compatibile con il Raspberry Pi 3, funzionando con tensioni massime di 5 V (come la tensione erogata dal pin 2 del Raspberry Pi 3) [5].

#### 4.1.4 Mosfet

I mosfet sono una tipologia di transistori che, tramite l'applicazione (o la non applicazione) di una tensione sul terminale di gate, permettono (o non permettono) alla corrente di scorrere dal terminale di drain a quello di source (nel caso di un N-Mosfet). Il modello da me scelto è l'N-Channel 20 V (D-S) MOSFET Si2302CDS, in quanto compatibile con le tensioni erogate dal Raspberry Pi 3 [6].

#### 4.1.5 Batteria e convertitore step-up per l'alimentazione

La batteria è il componente che alimenta l'intero sistema mentre il convertitore permette di fornire al Raspberry la corretta tensione in ingresso. Ho scelto di utilizzare 14 celle ricaricabili agli ioni di litio Samsung INR21700-33J [7] collegate in parallelo tra di loro, in quanto riescono insieme a fornire una capacità sufficiente ad alimentare il sistema per un periodo di tempo ragionevole; ho scelto invece come convertitore step-up l'MT3608 [8], in quanto compatibile con le tensioni necessarie.

#### 4.1.6 Convertitore A/D

Il convertitore A/D serve per convertire i dati analogici misurati dai sensori di pressione in dati digitali da poter essere elaborati dal microcontrollore. Il modello da me scelto è l'ADS1015 [9], in quanto compatibile con le restanti componenti del sistema.

#### 4.1.7 Multiplexer

Il multiplexer è un dispositivo che permette, utilizzando quattro uscite GPIO del microcontrollore, di attivare, uno per volta, tutti i sensori di pressione, riuscendo in pochi millisecondi a leggere i dati da tutti i 13 sensori all'interno del sistema. Il modello da me scelto è il CD74HCx4067 [10], in quanto compatibile con le restanti componenti del sistema.

#### 4.1.8 Resistenze

La resistenza è un componente necessario per il corretto funzionamento dei sensori di pressione, in quanto essi si comportano come una resistenza con valore proporzionale alla pressione che gli viene applicata. Per poter leggere correttamente il valore della tensione sul sensore, avremo bisogno di un partitore di tensione che ci permette di leggere la tensione ai capi della resistenza fissa, che sarà anch'essa proporzionale alla pressione applicata sui sensori. Avremo inoltre bisogno di un'altra resistenza, detta di pull-down, per permettere una corretta disattivazione dei motori vibranti quando necessario.

## 4.2 Motivazioni della scelta dei componenti

### 4.2.1 Costo

Le specifiche componenti del sistema sono state da me selezionate, oltre che per le loro funzionalità, anche con l'intento di cercare di mantenere il costo del sistema finale il più basso possibile. Per ogni componente ho considerato il suo costo al dettaglio, ipotizzando costi minori nel caso di produzione in serie del sistema.

### 4.2.2 Affidabilità

I modelli delle principali componenti del sistema, ovvero microcontrollore, sensori e batteria, sono stati scelti, non solo per le loro funzionalità, ma anche per la loro affidabilità.

Il microcontrollore Raspberry Pi 3 è un prodotto riconosciuto in tutto il mondo per essere solido, in quanto sviluppato da una fondazione riconosciuta (la Raspberry Pi Foundation). Questa ha dimostrato negli anni di creare prodotti duraturi, efficienti ed efficaci, garantendo supporto e mantenimento dei prodotti per molti anni. Inoltre, la diffusione di questo prodotto (e degli altri modelli di Raspberry) dimostra come esso sia altamente affidabile, dati gli innumerevoli progetti sviluppati tramite il suo utilizzo.

I sensori FSR, prodotti dalla Interlink Electronics, vengono testati per resistere fino a 10 milioni di attuazioni a 1kg, garantendo una ripetibilità di uscita pari al  $\pm 2\%$ . Le celle agli ioni di litio Samsung INR21700-33J hanno un'affidabilità garantita, in quanto esse vengono utilizzate anche per applicazioni automobilistiche (come ad esempio nei veicoli Tesla [11]), dimostrando una lunga durabilità e stabilità nel tempo.

### 4.2.3 Integrazione

I modelli delle componenti sono stati scelti garantendo tra di loro compatibilità elettrica, assicurandomi che ogni componente riceva tensioni e corrente correttamente. Oltre alla scelta dei componenti, per garantire la corretta integrazione del sistema, ho utilizzato dei convertitori nel caso in cui i componenti non fossero tra di loro compatibili di default.

## 4.3 Componenti alternativi e confronto

I modelli/tipologie scelti delle componenti principali, ovvero microcontrollore, batteria e sensori, sono stati scelti, rispetto ad altri modelli/tipologie, confrontandone le caratteristiche che interessano la realizzazione del sistema. Possiamo evincere dalle tabelle di confronto dei diversi microcontrollori 4.1, sensori 4.2 e tipologie di tecnologie per la batteria 4.3 come le scelte da me fatte siano quelle che massimizzano le

prestazioni, senza compromettere il corretto funzionamento del sistema, garantendo facilità di implementazione e mantenendo il costo il più basso possibile.

Parametro	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 4 Model B	Arduino Uno R3
CPU	Quad-core Cortex-A53 @ 1.2 GHz	Quad-core Cortex-A72 @ 1.5 GHz	ATmega328P @ 16 MHz
RAM	1 GB	2–8 GB	2 KB SRAM
Wi-Fi	Wi-Fi 2.4 GHz	Wi-Fi 2.4/5 GHz	/
Bluetooth	Bluetooth 4.1	Bluetooth 5.0	/
Consumo e alimentazione	400–700 mA a 5V	600–1000 mA a 5V	20–50 mA a 5V
Prezzo	35 €	50–80 €	20–25 €
Algoritmo SVM	Eseguibile ma da addestrare altrove	Eseguibile ed addestrabile	Impossibile

Tabella 4.1: Tabella di confronto tra i microcontrollori

Parametro	FSR (FSR406)	Sensore Capacitivo	Sensore Piezoelettrico	Cella di carico
Range di pressione	Medio (da 100g a decine di kg)	Basso-medio (molto sensibili a piccoli carichi)	Medio-alto (forza dinamica, non statica)	Alto (fino a centinaia di kg)
Sensibilità	Media, buona per pattern di pressione	Alta, ma sensibili a disturbi ambientali	Alta a variazioni rapide, scarsa per valori statici	Molto alta e precisa
Costo medio	10 €	20 €	30 €	70 €
Integrazione	Molto facile (solo ADC)	Richiede elettronica dedicata	Necessita amplificazione e condizionamento	Necessita amplificatore
Ingombro	Molto sottile, flessibile	Sottile, ma fragile	Sottile, poco flessibile	Ingombrante e rigido

Tabella 4.2: Tabella di confronto tra le tipologie di sensori

Parametro	Li-ion 3270 mAh	Batterie Li-Po 3.7 V	Pacco Ni-MH AA	Batterie Alcaline AA
Tensione nominale	3.7 V per cella	3.7 V	4.8–6 V (4–5 celle da 1.2 V)	6–7.5 V (4–5 celle da 1.5 V)
Capacità	3270 mAh per cella	2000–5000 mAh	2000–2500 mAh	2000–3000 mAh
Peso	Medio, dipende dal numero di celle	Basso	Alto	Alto
Costo	Basso-medio	Medio	Basso	Molto basso
Durata cicli	300–500 cicli	300–500 cicli	500–1000 cicli	1 ciclo (usa e getta)
Alimentazione continua a 5 V	Serve regolatore step-up	Serve regolatore step-up	Serve regolatore step-up	Serve regolatore step-up
Integrazione nella sedia	Compatto e modulare	Più fragile	Ingombrante	Ingombrante

Tabella 4.3: Tabella di confronto tra le tipologie di batterie.

4.4 Schema circuitale

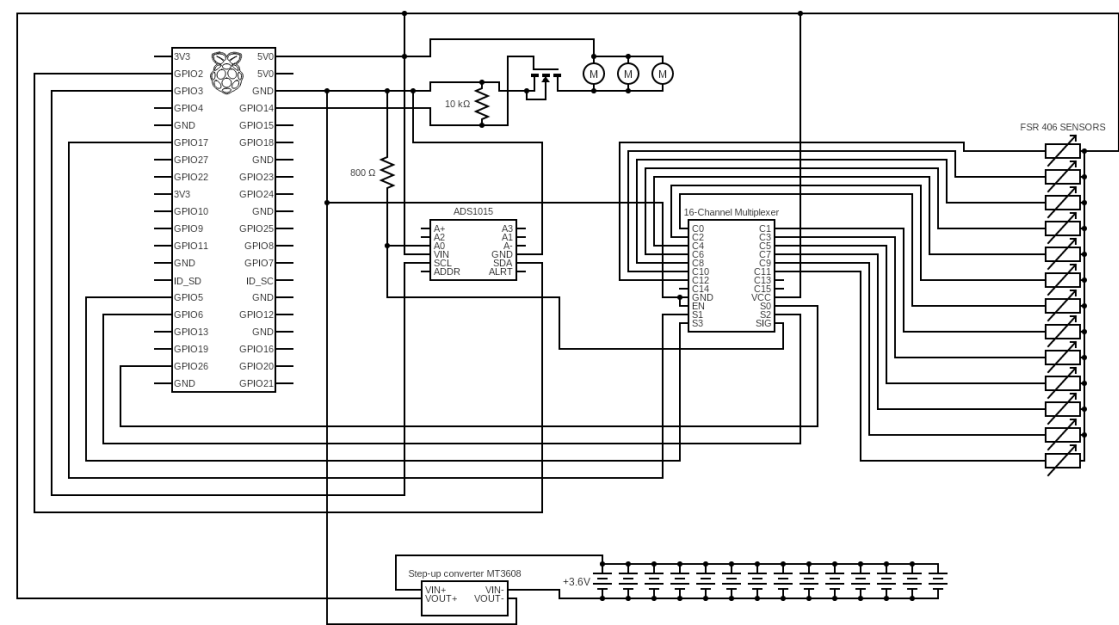


Figura 4.1: Schema circuitale dei componenti interconnessi



## Capitolo 5

# Dimensionamento dei componenti

### 5.1 Convertitore A/D e resistenza del partitore di tensione

Sappiamo che ogni sensore è elettricamente considerabile come una resistenza di valore variabile in base alla pressione applicata su di esso: quando non viene applicata nessuna pressione il sensore ha una resistenza di circa  $10\text{ M}\Omega$ , mentre, quando viene applicata la pressione massima, ha una resistenza di circa  $200\text{ }\Omega$ .

Per garantire che la tensione, proporzionale al valore della resistenza del sensore, sia correttamente rilevata, imposto il PGA del convertitore pari a  $\text{PGA} = 1$ . In questo modo, il range di tensione che il convertitore può leggere in ingresso è  $[-4.096\text{ V}, +4.096\text{ V}]$ . Poiché il modello di convertitore da me scelto lavora su 12 bit, la sensibilità rilevabile di tensione risulta pari a:

$$V_{\text{sensibilità}} = \frac{\text{range di tensione}}{\text{numero di livelli}} = \frac{2 \cdot 4.096\text{ V}}{2^{12}} \approx 0.0002\text{ V},$$

sufficiente per il corretto funzionamento del sistema.

Per far sì che la tensione in ingresso al convertitore (proporzionale alla resistenza del sensore) rientri nel range di funzionamento del convertitore, utilizzo un partitore di tensione realizzato tramite una resistenza di valore  $R = 800\text{ }\Omega$ . In questo modo:

- Quando non viene applicata pressione sul sensore, la tensione in ingresso al convertitore è

$$V_{\text{inMin}} = 5\text{ V} \cdot \frac{800\text{ }\Omega}{800\text{ }\Omega + 10\text{ M}\Omega} \approx 0.0004\text{ V},$$

- Quando viene applicata la pressione massima rilevabile, la tensione in ingresso al convertitore è

$$V_{\text{inMax}} = 5\text{ V} \cdot \frac{800\text{ }\Omega}{800\text{ }\Omega + 200\text{ }\Omega} = 4\text{ V}.$$

## 5.2 Sensori FSR

Una volta scelta la tipologia e il modello dei sensori da utilizzare bisogna decidere il loro posizionamento nello spazio. Basandomi sui risultati riportati nell'articolo Dong et al. (2023), pubblicato sulla rivista Sensors [1], ho scelto di posizionare i sensori come riportato in Figura 5.1, in modo tale da garantire un corretto funzionamento del sistema.

## 5.3 Resistenza di pull-down

Quando il motore vibrante non deve essere azionato, il MOSFET deve rimanere spento, bloccando il flusso di corrente. La resistenza di pull-down, posizionata tra il gate del MOSFET e la massa, serve a garantire questo stato, altrimenti rumori elettrici o interferenze potrebbero attivare il MOSFET in modo imprevedibile, azionando involontariamente i motori. La resistenza deve avere un valore sufficientemente elevato per garantire quanto descritto e una resistenza da 10 k $\Omega$  va bene.

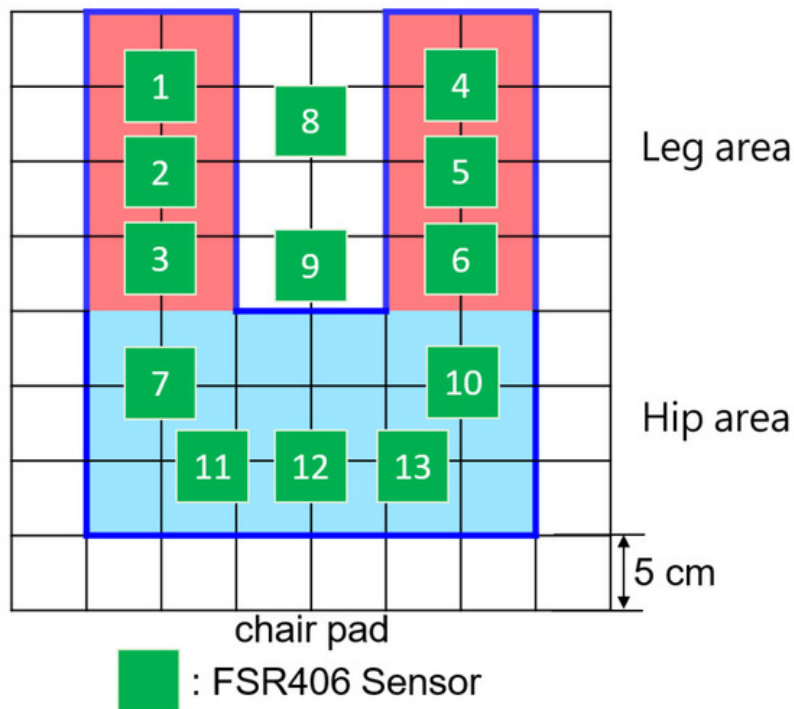


Figura 5.1: Posizionamento dei sensori all'interno della seduta. Immagine presa dall'articolo Dong et al. (2023) [1]



# Capitolo 6

## Analisi economica

### 6.1 Costi dei singoli componenti

Stimiamo il costo di ogni singolo componente per poter effettuare una stima del costo del prodotto finale:

- x1 Microcontrollore: 35 €
- x1 Convertitore A/D: 5 €
- x1 Multiplexer a 16 canali: 5 €
- x2 Resistenza:  $2 \times 1 \text{ €} = 2 \text{ €}$
- x14 Cella agli ioni di litio:  $14 \times 1,29 \text{ €} = 18 \text{ €}$
- x1 Convertitore step-up: 5 €
- x1 Transistore: 1 €
- x13 Sensore FSR:  $13 \times 11,25 \text{ €} = 146 \text{ €}$

Il costo totale dei componenti del sistema è di circa 200 €.

### 6.2 Costo complessivo del prodotto

Al costo totale dei componenti del sistema bisogna aggiungere il costo della sedia, su cui verranno installati i componenti, il costo della manodopera e il costo di componenti secondari (connettori, viti, supporti, ...). Considerando che il progetto di questo sistema aveva come finalità l'ipotetica messa in vendita del prodotto, il costo stimato dal mio gruppo per il prodotto completo è di 450 €.

### 6.3 Confronto con soluzioni esistenti

Le soluzioni esistenti, come fasce posturali o sensori da applicare sul corpo, hanno un costo nettamente inferiore rispetto al nostro sistema, che deriva, oltre che dalla semplice somma dei costi da sostenere per realizzarlo, anche dalla comodità e dall'esperienza utente che offre, di gran lunga superiore rispetto alle altre soluzioni esistenti sul mercato. Inoltre c'è da tener conto del fatto che una normale sedia ergonomica di fascia alta arriva a costare anche più di 450 €, rendendo il costo del nostro prodotto competitivo per le funzionalità che offre.

# Capitolo 7

## Analisi energetica

### 7.1 Consumo dei singoli componenti

Di seguito la lista del consumo stimato di ogni componente e dell'algoritmo di rilevamento della postura:

- Microcontrollore: 2,6 W
- Convertitore A/D: trascurabile
- Multiplexer a 16 canali: trascurabile
- Resistenze: trascurabile
- Sensori: trascurabile
- Transistore: trascurabile
- Algoritmo SVM: 0,5 W

Il consumo totale è quindi di circa  $2,6 \text{ W} + 0,5 \text{ W} = 3,1 \text{ W}$ .

### 7.2 Tempo di funzionamento stimato

Ipotizzando il caso d'uso di un lavoratore o studente che trascorre molte ore al giorno seduto, per molti giorni alla settimana, è ragionevole sovrastimare un tempo di utilizzo pari a 8 h al giorno per 7 giorni. Ci interessa quindi che il sistema abbia un'autonomia di

$$7 \times 8 \text{ h} = 56 \text{ h}.$$

## 7.3 Progettazione della batteria

Data la potenza dissipata dai componenti e dall'algoritmo, pari a 3,1 W, e alimentando il microcontrollore a 5 V, calcoliamo la corrente assorbita dal microcontrollore come la potenza dissipata diviso la tensione di alimentazione:

$$I = \frac{3,1 \text{ W}}{5 \text{ V}} \approx 0,62 \text{ A}.$$

Avendo stimato un'autonomia di 56 h, la capacità minima della batteria deve essere pari alla corrente assorbita dal microcontrollore moltiplicata per il tempo di funzionamento:

$$C_{\min} = 0,62 \text{ A} \times 56 \text{ h} \approx 35.000 \text{ mAh}.$$

Avremo quindi bisogno di 14 celle agli ioni di litio, con capacità individuale pari a 3.270 mAh, per ottenere una capacità totale pari a

$$C_{\text{tot}} = 14 \times 3.270 \text{ mAh} \approx 45.780 \text{ mAh},$$

sufficiente ad alimentare il sistema per la durata stimata.

### 7.3.1 Configurazione delle celle: singola vs multiple

La scelta di utilizzare 14 celle agli ioni di litio di capacità individuale pari a 3.270 mAh in parallelo, piuttosto che una sola cella di capacità almeno pari a 35.000 mAh, deriva dal fatto che una sola grande cella della capacità minima richiesta risulta essere ingombrante, pesante e molto costosa, nonché difficile da reperire. Inoltre, il guasto di una singola cella su quattordici non compromette le funzionalità del sistema, ma solo la riduzione della sua autonomia; mentre se utilizzassimo un'unica grande cella, il suo guasto comprometterebbe interamente il corretto funzionamento del sistema.

### 7.3.2 Convertitore step-up e capacità effettiva

Il pacco batterie, composto da 14 celle in parallelo, fornisce una capacità di 45.780 mAh e una tensione di 3,6 V. Essendo il microcontrollore alimentato a 5 V, avremo bisogno di un convertitore step-up che dissipa energia, fornendo una tensione in uscita maggiore di quella in entrata. Ipotizzando un'efficienza del convertitore step-up pari al 90%, la capacità complessiva della batteria si riduce a

$$C_{\text{eff}} = 0,9 \times 45.780 \text{ mAh} \approx 41.202 \text{ mAh},$$

rimanendo comunque nei limiti della stima.

## Capitolo 8

# Discussione sulla progettazione hardware

### 8.1 Vantaggi della soluzione proposta

La soluzione proposta presenta numerosi vantaggi. Come prima cosa, l'utilizzo di sensori FSR permette un'implementazione semplice del sistema, garantendo una rilevazione della pressione accurata in un tempo sufficientemente basso. L'utilizzo di un numero ridotto di componenti, inoltre, permette di ottenere un sistema funzionale senza avere un'elevata complessità. Per quanto riguarda il microcontrollore, l'utilizzo del Raspberry Pi 3 fornisce, ad un costo contenuto, una potenza di calcolo adeguata al preprocessing dei dati e all'esecuzione dell'algoritmo SVM, scaricando la complessità nelle fasi preliminari di addestramento dell'algoritmo SVM. La batteria modulare agli ioni di litio garantisce un'autonomia adeguata al sistema, nonché una buona affidabilità per quanto riguarda il funzionamento del sistema, in casi di guasti alla batteria.

### 8.2 Limiti tecnici

Il Raspberry Pi 3, non essendo progettato per applicazioni a basso consumo, rende necessario l'utilizzo di un pacco batterie relativamente ampio. L'utilizzo di componenti indipendenti e già pronti all'uso (come convertitori, multiplexer, ...) semplifica la loro integrazione, a discapito di un ingombro fisico maggiore. Il sistema, inoltre, è stato progettato tralasciando l'implementazione di circuiti di protezione, necessari all'interno di un sistema completo da poter essere messo sul mercato, rendendolo così poco affidabile per utilizzi duraturi e intensivi. Infine, l'architettura è stata progettata ad hoc per la specifica applicazione, non permettendo quindi una scalabilità semplice.

## 8.3 Possibili miglioramenti futuri

L'utilizzo di un microcontrollore più efficiente permetterebbe di ridurre i consumi e di conseguenza costo e dimensione della batteria. Progettare da zero un circuito integrato che sostituisca multiplexer, convertitore A/D e convertitore step-up ridurrebbe l'ingombro totale della componentistica hardware, migliorando inoltre la sua affidabilità. L'introduzione di sistemi di protezione garantirebbe una maggiore sicurezza dal punto di vista elettrico e migliorerebbe l'affidabilità complessiva del sistema.

# Capitolo 9

## Conclusioni

### 9.1 Riepilogo del progetto

Il lavoro svolto ha avuto come obiettivo la progettazione di una sedia smart: tramite sensori FSR integrati nella seduta raccogliamo dati relativi alla postura che l'utente sta assumendo e li inviamo a un microcontrollore. Il microcontrollore elabora i dati e stima, con buona precisione, la postura dell'utente, riconoscendo posture scorrette e segnalando, tramite motori vibranti integrati nella seduta, quando queste vengono assunte.

### 9.2 Sintesi del contributo personale

Il contributo personale è consistito nella progettazione dell'hardware necessario al corretto funzionamento del sistema, selezionando i componenti adeguati (in termini di efficacia, efficienza e costo), studiando un dimensionamento energetico volto a garantire un'autonomia adeguata e definendo uno schema circuitale che permetta ai vari componenti di interagire coerentemente tra loro.

### 9.3 Considerazioni finali

Il sistema sviluppato dal mio gruppo è una possibile soluzione a un problema legato alla sedentarietà ed alla postura scorretta, che colpisce sempre più persone. Il sistema offre una soluzione semplice ed efficiente, che non è invasiva per l'utente e che gli permette di sviluppare abitudini salutari che rimangono anche al di fuori dell'utilizzo del sistema. I risultati ottenuti dimostrano la fattibilità dell'idea, permettendo di apportare migliorie e modifiche al fine di ottenere un sistema più performante. Inoltre, la soluzione proposta dal mio gruppo può fungere da punto di partenza per lo sviluppo di nuove idee volte a risolvere il problema della sedentarietà e della postura scorretta.





# Bibliografia

- [1] Wei Dong, Yihong Zhou, Yujie Zhang, Yihan Wang, Jiawei Jin, and Hui Lin. Sitting posture monitoring and correction system based on fsr pressure sensors. *Sensors*, 23(13):5894, 2023.
- [2] Min-Jeong Jung and Won-Gyu Yoo. Effects of prolonged sitting with slumped posture on trunk muscular fatigue in adolescents with and without chronic lower back pain. *Journal of Physical Therapy Science*, 32(4):319–324, 2020.
- [3] T. F. Alamin, G. B. J. Andersson, and W. Zhong. The effect of standing vs. variants of the seated position on lumbar intersegmental angulation and spacing: A radiographic study of 20 asymptomatic subjects. *The Spine Journal*, 18(11):1985–1991, 2018.
- [4] SGBotic. Fsr 406 datasheet. [https://www.sgbotic.com/products/datasheets/sensors/FSR406\\_datasheet.pdf](https://www.sgbotic.com/products/datasheets/sensors/FSR406_datasheet.pdf).
- [5] Adafruit Industries. Adafruit vibrating mini motor disc datasheet. [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/1201/P1012\\_datasheet.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/1201/P1012_datasheet.pdf).
- [6] Inc. Vishay Intertechnology. Si2302cds n-channel 20 v (d-s) mosfet. <https://www.vishay.com/docs/68645/si2302cds.pdf>, 2012.
- [7] Samsung SDI. Samsung inr21700-33j 3270mah lithium-ion cell datasheet. <https://files.batteryjunction.com/frontend/files/samsung/datasheet/SAMSUNG-INR-21700-33J-Datasheet.pdf>.
- [8] Olimex Ltd. Mt3608 dc-dc step up converter datasheet. <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>.
- [9] Texas Instruments. Ads1015 12-bit analog-to-digital converter datasheet. [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1015.pdf?ts=1733662155954&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1015.pdf?ts=1733662155954&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F), 2023.
- [10] Texas Instruments. Cd74hc4067 16-channel analog multiplexer datasheet. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc4067.pdf>, 2022.

- [11] thunderheart. Samsung 33j - a 21700 li-ion battery designed for tesla. <https://endless-sphere.com/sphere/threads/samsung-33j-a-21700-li-ion-battery-designed-for-tesla.98717/>, 2019. Accesso: 23 settembre 2025.