



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA
INFORMATICA

CORSO DI SISTEMI EMBEDDED

Smart Insole

Autori:

Maria Laura Bisogno
Antonio Nappi
Vittorio Senatore

Docenti:

Professor Mario Vento
Professor Vincenzo Carletti

Luglio 2018

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Scopo del documento	1
1.2	Scopo del progetto	1
2	Specifiche funzionali del sistema	2
2.1	Funzionamento	2
3	Struttura della Smart Insole	4
4	Architettura hardware	6
4.1	Descrizione della board utilizzata	6
4.2	Modulo Bluetooth	7
4.3	Descrizione dei sensori utilizzati	7
4.4	Descrizione degli attuatori utilizzati	12
4.5	Schema elettrico	13
5	Architettura software	15
5.1	Main	15
5.2	Conversion Complete Callback	15
5.3	ColorLed	15
5.4	Unbouncing Button	16
5.5	ConvertAngleAcc	16
5.6	ConvertWeight	16
5.7	CheckMovement	16
5.8	CheckCorrectDistribution	16
5.9	CheckWalk	16
6	Consumi	18
7	Sviluppi futuri	19
	Riferimenti bibliografici	20

1 Introduzione

1.1 Scopo del documento

Questo documento serve a presentare la smart insole sviluppata come progetto finale del corso di Sistemi Embedded.

Tale documento è da intendersi come documentazione del progetto sviluppato, saranno quindi descritti i componenti hardware utilizzati, il software implementato.

1.2 Scopo del progetto

Lo scopo di tale progetto è quello di realizzare una smart insole capace di rilevare come l'utilizzatore distribuisce il peso su varie parti del piede e mediante feedback luminosi, tramite un led RGB, e tattili, tramite un motore vibrante, cercare di far riportare all'utente il piede in una posizione corretta. Questo dispositivo può essere usato quindi:

- nelle terapie riabilitative per collezionare i dati del paziente e monitorarne i progressi;
- come strumento diagnostico, magari in situazioni di monitoraggio giornaliero (o per periodi di tempo più lunghi);
- come strumento di prevenzione per l'insorgenza di malattie dovute al posizionamento scorretto.

2 Specifiche funzionali del sistema

Il progetto consiste nella realizzazione di una suola intelligente in grado di misurare e valutare l'appoggio del piede dell'utente fornire informazioni circa la stabilità dell'appoggio stesso e circa eventuali sbilanciamenti o atteggiamenti dannosi. Il sistema dispone di un led e di un motore per segnalare all'utente l'errata postura e quindi portare l'utente ad una corretta distribuzione del peso.

2.1 Funzionamento

Una volta indossata la smart insole l'utente, posizionatosi correttamente in piedi (la giusta postura si può osservare in figura 1), deve inizializzare i valori sia di peso che di posizione premendo il pulsante sulla scheda. Dopo questa fase inizia l'analisi vera e propria.

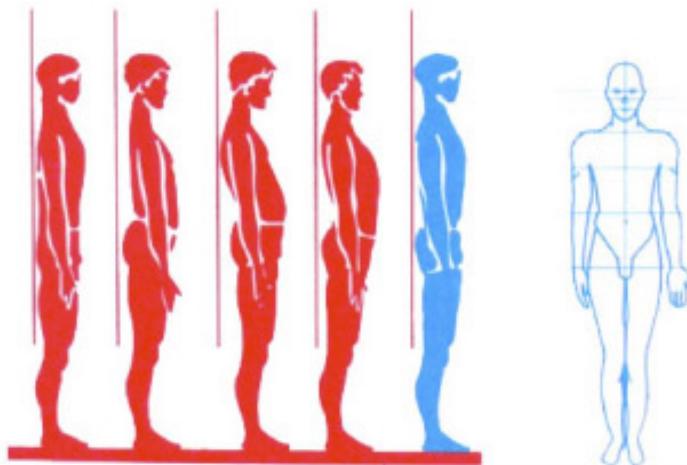


Figura 1: I piedi devono essere ad una distanza pari alla larghezza delle spalle.

L'analisi che si effettua è sia di tipo statico che dinamico e si basano su due aspetti diversi:

- nell'analisi statica si controlla se il peso sul calcagno è pari alla somma dei pesi sulle teste del primo e del quarto-quinto metatarso;
- nell'analisi dinamica si controlla il rispetto della giusta sequenza del passo e le rotazioni impresse alla caviglia.

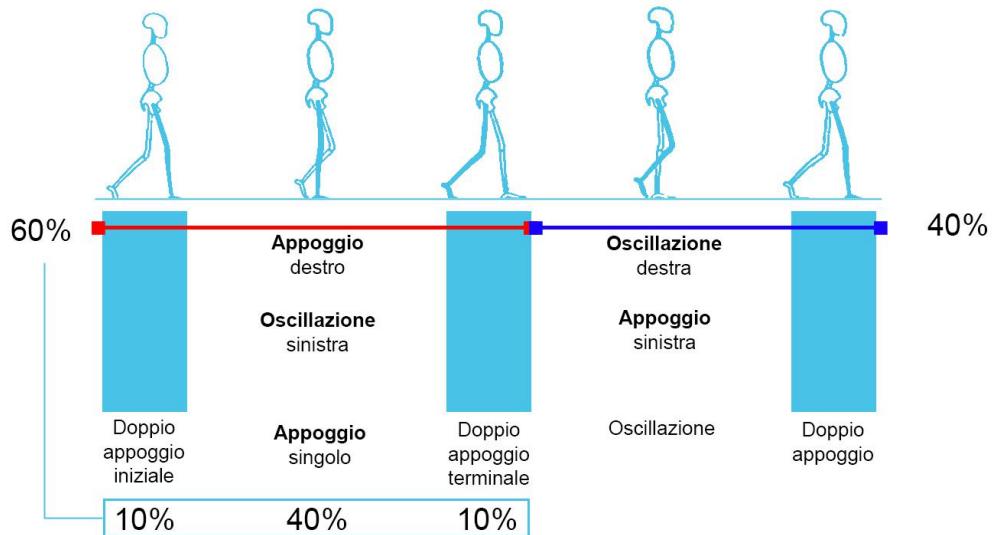


Figura 2: Uno schema dell' ciclo del passo.

Il passaggio da un tipo di analisi all'altra è automatico e avviene all'atto di iniziare un ciclo. Per segnalare la corretta esecuzione del ciclo si è dotato il sistema di un led RGB. In caso di luce verde il ciclo si è rispettato mentre in caso di passo sbagliato il sistema fa accendere la luce rossa. Per l'analisi statica invece i colori associati sono il blu e il giallo: il primo segnala che il peso è distribuito correttamente mentre il secondo segnala che il peso non è distribuito correttamente.

3 Struttura della Smart Insole

Per la realizzazione della smart insole sono stati utilizzati:

- quattro sensori di pressione flexi force A401;
- un accelerometro ADXL335;
- un led RGB;
- un motore vibrante.

I sensori di pressione sono stati collocati nei punti di maggiore distribuzione del peso. Tali punti sono:

- calcagno (C);
- testa del primo metatarso (A);
- testa del quarto-quinto metatarso (B).

La distribuzione delle forze su questi tre punti è facile da ricordare se si pensa che quando 6 kg sono applicati sull'astragalo, se ne hanno uno per l'appoggio antero-esterno (B) , DUE per l'appoggio antero-interno (A) e TRE per l'appoggio posteriore (C)[1].

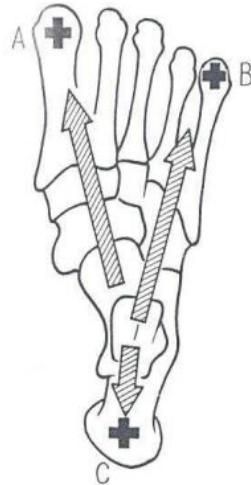


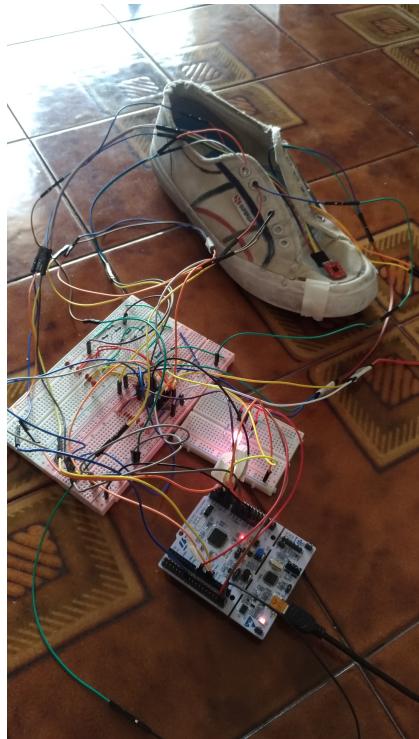
Figura 3: Distribuzione del peso sul piede.

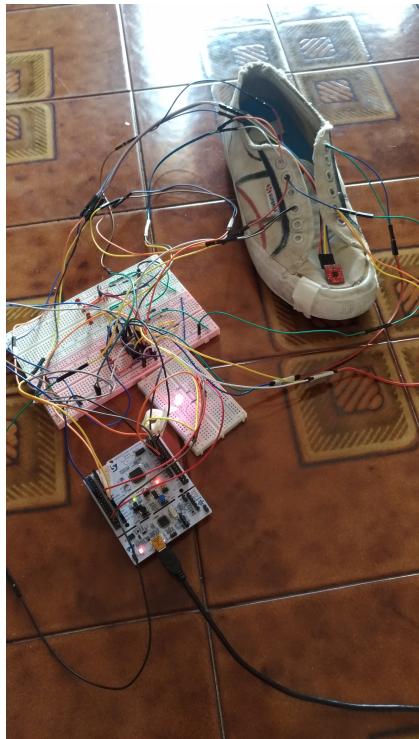
Un ulteriore sensore di pressione è stato collocato sotto l'alluce, così facendo è possibile monitorare il peso spostato sulla punta del dito che, se

eccessivo, può portare, a lungo andare, a diverse patologie tra cui la più famosa è l'alluce valgo.

L'accelerometro invece è collocato sul collo del piede in modo tale da poter rilevare la rotazione dovuta al movimento della caviglia.

Il motore è posto al centro della pianta del piede, in una posizione in cui la presenza di tale oggetto non reca fastidio all'utente ma contestualmente riesce a sollecitare una pronta risposta allo stimolo.





4 Architettura hardware

4.1 Descrizione della board utilizzata

Per la realizzazione del progetto è stato utilizzato il microcontrollore STM32F401RE della serie STM32F4 dell'azienda STMicroelectronics. Tale microcontrollore è dotato di un processore ARM della famiglia Cortex-M4, lavora ad una frequenza di 84 MHz, possiede una memoria flash di 512 KB e 96 KB di memoria SRAM.

La board presenta inoltre un ADC a 12 bit di risoluzione e dieci timer di cui sei general-purpose a 16 bit e due general-purpose a 32 bit.¹

¹Per maggiori informazioni a riguardo, si rimanda al sito dell'azienda.

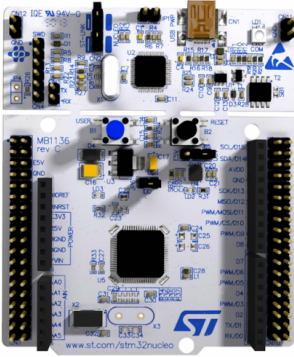


Figura 4: La board utilizzata.

4.2 Modulo Bluetooth

Per la trasmissione dei dati tra la smart insole e l'applicativo è stato utilizzato in modulo bluetooth HM-10 della keyestudio, rappresentato in figura 5. La connessione dei terminali avviene invertendo TX e RX: al TX del modulo è collegato RX della scheda e viceversa. Tale dispositivo ha una memoria di 256 kb e supporta il bluetooth low energy, ulteriori informazioni si possono consultare sul sito del costruttore[4].



Figura 5: Il modulo bluetooth usato.

4.3 Descrizione dei sensori utilizzati

4.3.1 Sensore di pressione

Per analizzare la pressione si è usato il sensore FlexiForce A401 della Tekscan, mostrato in figura 6. Tale dispositivo si basa sul principio fisico della

Actual size of sensor



Figura 6: Il sensore flexi force A401.

piezoresistenza ovvero la capacità di un materiale di cambiare la propria conducibilità elettrica in seguito alle deformazioni subite. Tra le caratteristiche di cui gode tale sensore vi è l'elevato range di misura (si può arrivare a misurare fino a 7000 libbre, circa 3500 Kg) e la semplicità di utilizzo.

Per la lettura della pressione si è usato il sensore insieme ad un amplificatore operazionale nella configurazione non invertente, come suggerito dal datasheet del costruttore[2] (in questo progetto è stato utilizzato, come amplificatore operazionale, il MCP6004 della Microchip Tecnology[5]) . Lo schema circuitale è riportato in figura 7.

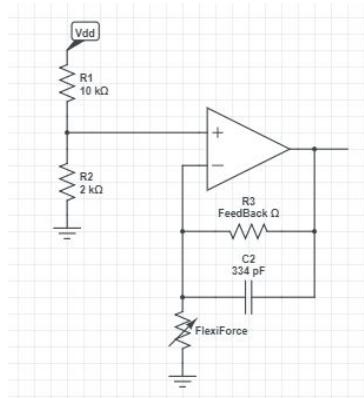


Figura 7: Schema circuitale del sensore.

Per l'uso che se ne è fatto si è deciso di arrivare ad un peso massimo di circa 17 Kg e in seguito ad alcune misure ottenute con pesi diversi si è ottenuta la seguente caratteristica 8

Lo schema di connessione del sensore alla board è riportato in figura 9.

Curva caratteristica peso-tensione del sensore

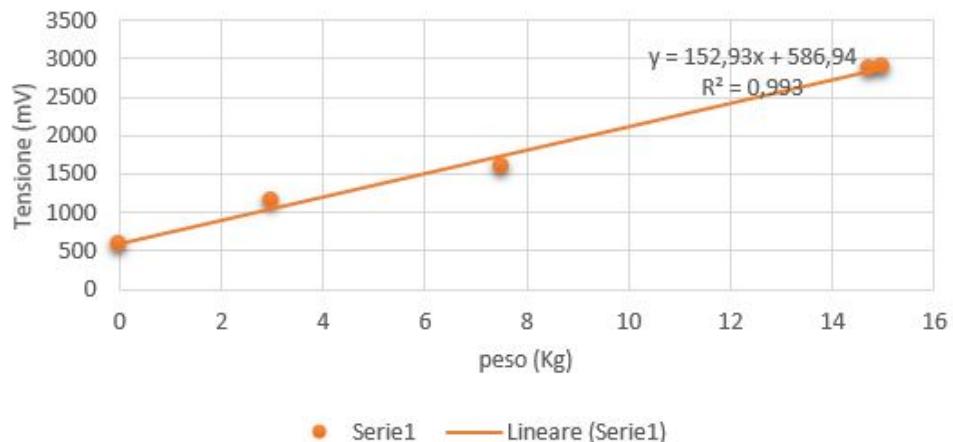


Figura 8: Curva caratteristica del sensore

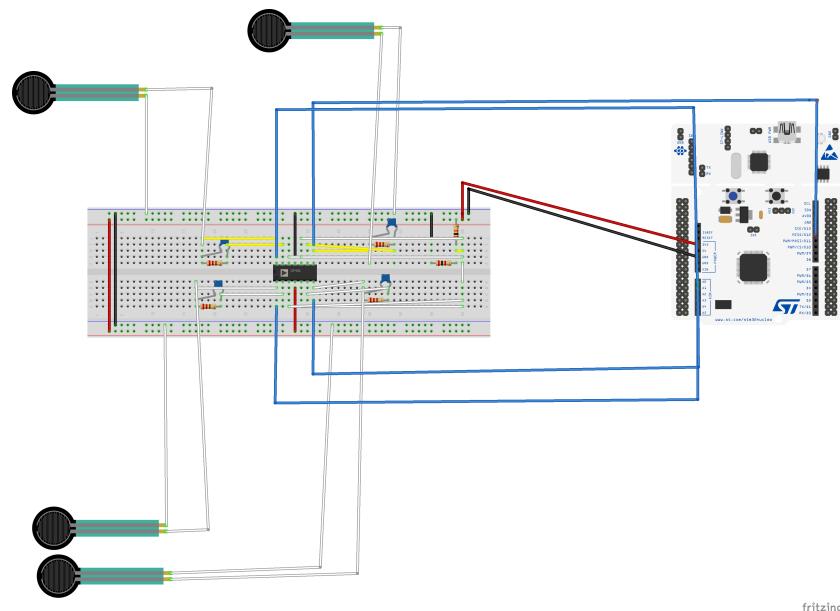


Figura 9: Schema di connessione dei quattro sensori alla board.

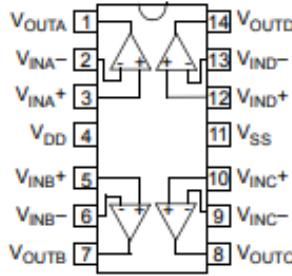


Figura 10: L'op-amp utilizzato

4.3.2 Accelerometro

Per la misura degli angoli durante la fase del passo si è utilizzato un accelerometro, in particolare l' ADXL335 della AnalogDevice, riportato in figura 11. Tale dispositivo è un sensore di tipo capacitivo in grado di misurare variazioni di $\pm 3g$ sui tre assi.

A differenza dei sensori di pressione non si è reso necessario l'uso di un amplificatore operazionale ma il dato è acquisito direttamente dal sensore. In figura 12 è mostrato come si è collegato l'accelerometro alla scheda. Per maggiori informazioni si rimanda al sito del costruttore[3].

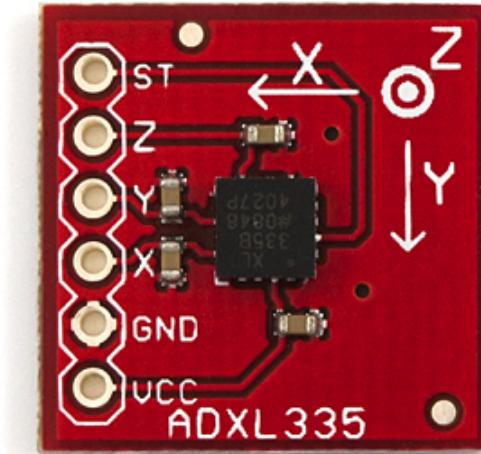


Figura 11: L'accelerometro utilizzato.

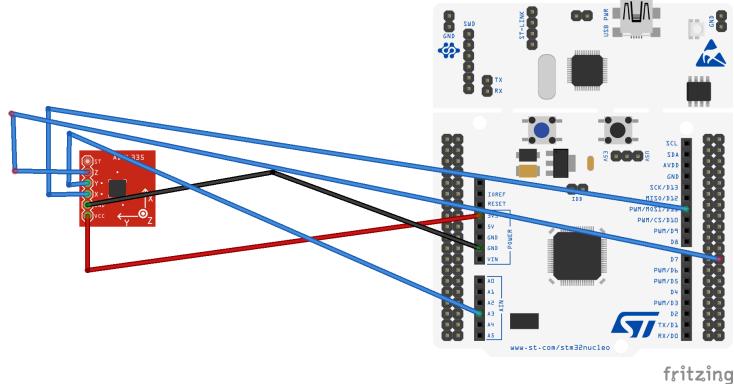


Figura 12: Connessione dell’accelerometro alla board.

4.4 Descrizione degli attuatori utilizzati

4.4.1 Led RGB

Un led RGB è un dispositivo capace di emettere luce nei colori Verde, rosso e blu. Tale dispositivo è dotato di quattro terminali, uno associato ad ogni colore e uno in comune ai tre. Il terminale in comune può essere sia l’anodo che il catodo, come mostra la figura 13. Il led utilizzato ha il catodo, come terminale in comune.

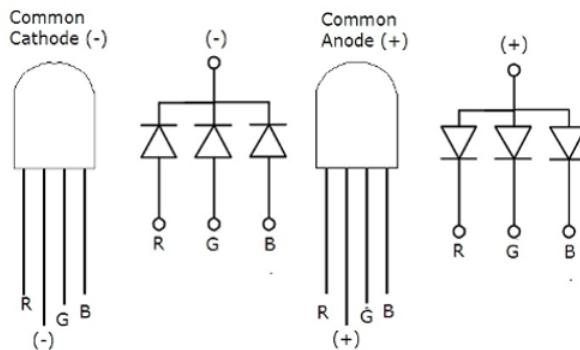


Figura 13: Esempi di Led RGB.

4.4.2 Motore Vibrante

È un semplice motore DC a cui è collegato un peso per permettere la vibrazione. È mostrato in figura 14.



Figura 14: Il motore utilizzato.

4.5 Schema elettrico

Lo schema elettrico del progetto completo si riporta in figura 15.

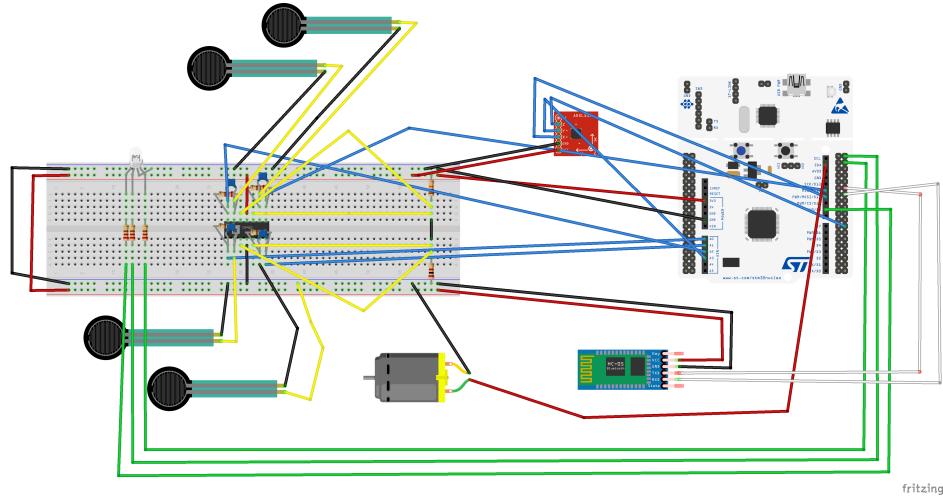


Figura 15: Il sistema completo.

Per maggiore chiarezza viene anche presentata una tabella riassuntiva con i pin utilizzati.

Pin	Descrizione
PA0	Lettura sensore pressione
PA1	Lettura sensore pressione
PA2	Tx UART2
PA3	Rx UART2
PA4	Lettura sensore pressione
PA5	Conferma inizializzazione
PA6	Lettura sensore pressione
PA7	Lettura accelerometro
PB0	Lettura accelerometro
PB1	Lettura accelerometro
PA11	Tx UART6
PA12	Rx UART6
PC6	PWM Led RGB
PC7	PWM Led RGB
PC8	PWM Led RGB
PC13	Inizializzazione

5 Architettura software

Il codice di controllo è stato scritto in C e di seguito verranno illustrate le principali funzioni. È stata prodotta una libreria, chiamata *Flexi* in cui sono state raccolte le funzioni per l’interfacciamento con i sensori.

5.1 Main

Il modello software scelto per il progetto è quello *interrupt driven* e pertanto il compito della funzione main è solo quello di inizializzare le variabili necessarie alla corretta esecuzione del software. Sono inizializzati l’ADC per la lettura degli input dai sensori, il DMA2 che trasferisce i dati dal registro di lettura dell’ADC alla memoria, il timer 2 usato come sorgente di trigger per il DMA, il timer 3 che genera su tre dei suoi canali le onde PWM per il led RGB e il timer 11 per generare l’onda PWM per azionare il motore.

Sono iniziate inoltre, all’atto di premere il pulsante sulla scheda, i valori di riferimento per i sensori di peso.

5.2 Conversion Complete Callback

La *callback* dell’ADC è il vero core del programma. Vengono letti i dati dai sensori mediante la funzione *ReadSensor* che prende in ingresso due vettori: uno che contiene i valori analogici di tensione letti dai sensori e uno che serve a contenere gli stessi discretizzati.

Si procede poi a richiamare le corrette funzioni per il controllo del passo o della distribuzione a seconda che l’utente sia fermo o in movimento. Infine, si trasmettono i dati mediante comunicazione seriale al modulo bluetooth.

5.3 ColorLed

Tale funzione produce come output i corretti valori da dare al PWM sia per il motore che per il led RGB in modo da segnalare all’utente la correttezza o meno della distribuzione o del passo, a seconda di quale modalità si stia usando. I valori da passare ai canali del PWM sono contenuti in un variabile globale. I colori assunti dal led sono:

- rosso, per segnalare la camminata scorretta;
- verde, per indicare la camminata corretta;
- giallo, per indicare la distribuzione scorretta;
- blu, per indicare la distribuzione corretta;

- bianco, all'accensione del sistema.

5.4 Unbouncing Button

Questa funzione è usata per evitare letture spurie del pulsante quando è premuto per permettere l'acquisizione dei valori di inizializzazione dei sensori.

5.5 ConvertAngleAcc

Tale funzione ha il compito di convertire le accelerazioni lette in angoli di inclinazione rispetto agli assi assunti e in uscita si ha la modifica del vettore usato per segnalare il colore del led RGB.

5.6 ConvertWeight

Questa funzione si occupa di invertire la caratteristica peso-tensione del sensore 6, mostrata in figura8.

5.7 CheckMovement

Tale funzione verifica se ci si sta muovendo sfruttando le informazioni lette dall'accelerometro.

5.8 CheckCorrectDistribution

Questa funzione analizza la distribuzione statica del peso e pertanto è eseguita solo in assenza di movimento. Permette di verificare se il peso del corpo è stato distribuito bene sui tre appoggi principali, come spiegato nel paragrafo 3.

5.9 CheckWalk

Questa funzione si occupa di verificare se l'utente sta camminando e monitora la sequenza del passo, dividendola nelle quattro fasi principali:

- tutto giù;
- punta giù;
- tutto su;
- tallone giù;

Per tenere traccia di tale sequenza si è reso necessario utilizzare due funzioni ausiliarie *updateTemp* e *checkTemp*.

Il monitoraggio della sequenza viene effettuato mediante la lettura dei sensori di pressione posti sulla suola.

5.9.1 UpdateTemp

Tale funzione tiene traccia dell'aggiornamento della sequenza del passo. Una voltaattraversate le quattro fasi viene richiamata la funzione *checkTemp*.

5.9.2 CheckTemp

Tale funzione confronta la sequenza registrata con la sequenza corretta del passo.

6 Consumi

Mediante l'ambiente CubeMX si è calcolato il consumo di energia della smart insole così sviluppata ed è risultato un consumo stimato 25.46 mA e nel caso si alimentasse la scheda con una batteria Li-Socl2 da 19000 mAh si avrebbe una durata della carica di un mese circa.

7 Sviluppi futuri

Un possibile sviluppo futuro del progetto realizzato può essere usare il dotare la smart insole non solo di ulteriori sensore di pressione per rilevare meglio la distribuzione del peso dell'utilizzatore in modo da discriminare la conformazione del piede e poter sviluppare terapie personalizzate di correzione della postura. Il sistema si potrebbe dotare di motori servo per suggerire all'utente i movimenti per correggere la postura.

Riferimenti bibliografici

- [1] Morton, J. Dudley (1935) *The human foot: Its evolution, physiology and functional disorders.*
- [2] <https://www.tekscan.com/flexiforce-integration-guides>
- [3] <http://www.analog.com/en/index.html>
- [4] <http://www.keyestudio.com/ks0174.html>
- [5] <https://www.microchip.com>