

**POLITECNICO DI MILANO**  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica



**Teo2: un robot mobile emozionale per bambini con disabilità intellettive**

Relatore: Prof. FRANCA GARZOTTO  
Correlatore: Ing. MIRKO GELSONINI

Tesi di laurea di:  
STEFANO TOLOMEO  
Matr. 823639

Anno Accademico 2015 - 2016



# Sommario

L'Autismo e più in generale i Disturbi dello Spetto Autistico (ASD) indicano una serie di patologie che colpiscono ciascuna persona in modo differente, variando da una lieve a una grave sintomatologia. I disturbi originano da una compromissione dello sviluppo che coinvolge le abilità di comunicazione e di socializzazione e sono in genere associati a comportamenti inusuali (ripetitivi o stereotipati), un'alterata capacità immaginativa e il tutto è spesso accompagnato da disabilità motorie. Un altro particolare deficit dei soggetti con autismo è la loro incapacità nel manifestare e percepire le emozioni, comprendere uno stato emotivo ed identificarlo con un nome in modo da riconoscerlo quando nuovamente esso si presenta.

Gli sviluppi tecnologici, tra cui le tecnologie robotiche e motion-based in primis, hanno permesso di andare incontro alle esigenze di soggetti con queste particolari disabilità, cercando di coprire i deficit relativi alla capacità immaginativa, alle disabilità motorie e alle abilità di comunicazione e socializzazione. In questo contesto, un campo finora poco esplorato è quello che punta a insegnare ad individuare le emozioni, associarle a un nome e riconoscerle in se stessi e negli altri.

Lo scopo della tesi è proprio questo: basandosi su uno studio esplorativo condotto direttamente sul campo con soggetti autistici, riuscire a capire in che modo è possibile trasmettere e far riconoscere un'emozione, analizzando e sfruttando tutti i canali trasmissivi possibili e, alla luce di quanto emerso, aggiungere degli opportuni sensori e attuatori su un robot in modo da implementare una serie di comportamenti che rendano l'interazione emotiva.



# Abstract

Autism and Autism Spectrum Disorders (ASD) refer to a range of diseases that affect each person in different ways, varying from a mild to severe symptoms. The disorders originate from an impairment of the development that involves communication skills and socialization and are typically associated with unusual behaviors (repetitive or stereotyped), impaired imaginative capacity and physical disabilities. Another particular deficit of individuals with autism is their inability to express and feel emotions, understand an emotional state and identify it with a name, in order to recognize it when it appears again. Technological developments, including robotic and motion-based technologies in the first place, have allowed us to meet the needs of these people, trying to cover the deficit relative to the imaginative capacity, the physical disabilities and communication and socialization skills. In this context, few studies aim to teach to identify emotions, associate them with a name and recognize them in themselves and in others.

The aim of the thesis is exactly this one: thanks to an exploratory study conducted with autistic people, understand the possibility to provide and recognize emotions, analyzing and exploiting all possible emotional channels and connect the most appropriate sensors and actuators on a robot in order to implement affective behaviors.



# *Ringraziamenti*

*Grazie ai miei genitori, per tutto quello che mi hanno dato e insegnato, per avermi cresciuto e sempre sostenuto nelle scelte, per la pazienza, la disponibilità e la comprensione. Non ve lo dico spesso ma vi sono riconoscente, grazie davvero.*

*Grazie a mio fratello, che fin da bambino è stato il mio esempio in tutto; probabilmente se non fosse stato per lui oggi non sarei nemmeno qui.*

*Grazie agli amici, quelli veri, quelli che ci sono sempre.*

*Grazie ai mister Caristo, Pirritano e grazie alla squadra: tutti voi mi avete aiutato a crescere e mi avete fatto diventare una persona migliore.*

*Grazie ai miei compagni, perché insieme abbiamo percorso questo lungo cammino, aiutandoci ed affrontando le difficoltà insieme.*

*Grazie a Mirko e Francesco per essere sempre stati disponibili, aver creduto in me, avermi sempre spronato e stimolato a fare il massimo.*

*Un grazie particolare a Fabio Verbari per l'aiuto, la pazienza, la disponibilità e la gentilezza sempre mostrata.*

*E, soprattutto, grazie a te mia dolce Irene.*



# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Contesto applicativo . . . . .	1
1.2	Obiettivi . . . . .	2
1.3	Processo di sviluppo e Gantt . . . . .	3
1.4	Struttura documento . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>5</b>
2.1	Autismo . . . . .	5
2.2	Tecnologia Motion-Based . . . . .	9
2.2.1	Benefici . . . . .	10
2.2.2	Kinect . . . . .	12
2.2.3	Bubble Game . . . . .	14
2.2.4	Shape Game . . . . .	15
2.3	Robotica . . . . .	16
2.3.1	Classificazione . . . . .	16
2.3.2	Polisocial: il progetto KROG . . . . .	21
2.3.3	Robotica ed emotività . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Requisiti</b>	<b>31</b>
3.1	Stakeholders . . . . .	31
3.2	Studio esplorativo e sperimentazione . . . . .	32
3.2.1	Risultati sperimentazione . . . . .	33
3.2.2	Osservazioni personali . . . . .	36
3.2.3	Osservazioni terapisti . . . . .	41
3.3	Obiettivi . . . . .	43
3.4	Analisi dei requisiti . . . . .	44
<b>4</b>	<b>Design</b>	<b>51</b>
4.1	Manuale Fare . . . . .	51
4.2	Attività . . . . .	53
4.2.1	Struttura del sistema . . . . .	53
4.2.2	Strumenti . . . . .	56
4.2.3	Lista attività . . . . .	59
4.3	Design . . . . .	64
4.3.1	Design robot . . . . .	64
4.3.2	Design emozioni . . . . .	66

<b>5</b>	<b>Implementazione</b>	<b>69</b>
5.1	Architettura Hardware . . . . .	69
5.1.1	Hardware Robot . . . . .	70
5.1.2	Hardware Telecomando . . . . .	80
5.1.3	Elettronica e PCB . . . . .	82
5.2	Architettura Software . . . . .	85
5.2.1	Software Robot . . . . .	85
5.2.2	Software Telecomando . . . . .	89
5.3	Problemi incontrati . . . . .	90
<b>6</b>	<b>Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>91</b>

# Elenco delle figure

1.1	Diagramma Gantt dell'intero progetto . . . . .	3
2.1	Triade del comportamento autistico . . . . .	6
2.2	Tabella deficit autismo . . . . .	8
2.3	Riconoscimento skeleton e giunture dalla Kinect . . . . .	13
2.4	Bubble Game . . . . .	14
2.5	Shape Game . . . . .	15
2.6	Robot per autismo (parte 1) . . . . .	17
2.7	Robot per autismo (parte 2) . . . . .	18
2.8	Robot per autismo (parte 3) . . . . .	19
2.9	Robot per autismo (parte 4) . . . . .	20
2.10	La versione attuale di Teo e un bambino durante l'interazione . .	22
2.11	Il processo di interazione previsto con Teo, dalla familiarizzazione al gioco in autonomia . . . . .	22
2.12	Elenco e dettaglio delle aree di prossimità . . . . .	24
2.13	Efficacia dei canali trasmissivi rispetto alla distanza . . . . .	29
3.1	Ripresa posteriore e frontale di una sessione con adulto: terapista aiuta verbalmente il soggetto nella scelta della risposta corretta .	33
3.2	Confronto tra 10 sessioni svolte con e senza Teo . . . . .	35
3.3	Robot Teo: facce intercambiabili disposte su base magnetica . .	37
3.4	Un esempio di cappello con pulsanti . . . . .	38
3.5	Un comune joystick xBox wireless . . . . .	39
3.6	I modelli dei possibili capelli alternativi: sulla sinistra il modello Pinocchio, sulla destra quello Calimero . . . . .	42
4.1	Esempio attività modello sapere . . . . .	52
4.2	Diagramma di interazione . . . . .	54
4.3	Esempi di riproduttori MP3: a sinistra un modulo DF Player e sulla destra un SerialMP3 Player . . . . .	55
4.4	Assi di rotazione rilevati dal sensore giroscopio . . . . .	66
5.1	Prospettive della base del robot e posizionamento delle ruote .	70
5.2	Ruote omnidirezionali . . . . .	71
5.3	Disposizione ruote e forze in gioco: la forza risultante permette il movimento in avanti . . . . .	71

5.4	Batterie ricaricabile accumulatore Litio-Polimero, detta LiPo: 3 celle, 11.1V, 2200mAh . . . . .	72
5.5	Arduino Mega 2560 . . . . .	72
5.6	Driver motore . . . . .	73
5.7	Sensore IR della Sharp . . . . .	73
5.8	Andamento del segnale emesso dal sensore in base alla distanza: si nota il comportamento anomalo per brevi distanze . . . . .	74
5.9	Vista frontale di un sensore sonar HC-SR04 . . . . .	74
5.10	Sound Sensor della Grove . . . . .	75
5.11	Sensori FSR: a sinistra una quadrato di lato 4cm e a destra una striscia di 60cm . . . . .	75
5.12	PIR motion sensor . . . . .	76
5.13	Striscia Led flessibile e matrice LED flessibile, entrambe prodotte da Adafruit . . . . .	77
5.14	Modulo Bluetooth HC06: si nota l'antenna radio nella parte superiore e, in quella inferiore, i pin di collegamento . . . . .	77
5.15	Sulla sinistra, uno zoom del sensore e sulla destra i tre assi di rotazioni e il relativo orientamento . . . . .	78
5.16	Cappello di Teo con i pulsanti colorati . . . . .	79
5.17	Shiedl EasyVR per il riconoscimento vocale . . . . .	79
5.18	Arduino Micro . . . . .	80
5.19	Display OLED monocromatico . . . . .	81
5.20	Modulo Joystick per Arduino, molto simile a quello del controller della famosa Playstation . . . . .	81
5.21	Comuni pulsanti per Arduino . . . . .	82
5.22	Pila 9V . . . . .	82
5.23	PCB del modulo arduino . . . . .	82
5.24	PCB del modulo componenti . . . . .	83
5.25	PCB del modulo superiore . . . . .	84
5.26	PCB del modulo motori . . . . .	84
5.27	Esempio di importazione librerie . . . . .	85
5.28	Onde sonore dirette e riflesse . . . . .	87
5.29	Pseudocodice del'algoritmo per il riconoscimento della direzione del suono . . . . .	87
5.30	Corpo main del robot eseguito in loop . . . . .	88
5.31	Corpo dello sketch del telecomando in pseudocodice . . . . .	89

# Capitolo 1

## Introduzione

Il Disturbo dello Spettro Autistico (dall’inglese Autism Spectrum Disorder, abbreviato ASD) è la disabilità più diffusa negli Stati Uniti e non solo. I dati stabiliscono che ogni giorni sono diagnosticati 67 bambini, un aumento di 10 volte rispetto a 40 anni fa. Anche in Italia l’autismo ha visto un recente incremento delle diagnosi; le persone autistiche sono:

- 60 milioni al mondo;
- 5 milioni in Europa;
- 500.000 in Italia (con un aumento del 70% negli ultimi 10 anni).

Questi numeri indicano che si tratta di una realtà concreta e che il fenomeno necessita particolari attenzioni. I principali disturbi di una persona con autismo si manifestano in tre sintomi: mancanza d’interazione e legami sociali, deficit nell’acquisizione, nell’espressione del linguaggio, pattern comportamentali ripetitivi, spesso accompagnati da disabilità motorie.

La base di partenza di questa ricerca sono le tecnologie interattive già sviluppate che sono usate con attività scolastiche e/o autonomamente da insegnanti o terapisti per stimolare, attraverso interazioni di gioco, i tre campi citati in precedenza e particolarmente assenti nei soggetti autistici. Il goal è quello di estendere queste tecnologie facendo leva su un concetto che in una persona con autismo è generalmente assente: il concetto di emozione.

### 1.1 Contesto applicativo

Contrariamente a quanto si possa pensare, l’autismo è una realtà concreta e diffusa per cui non esiste una cura diretta ma solo una serie di terapie mirate al miglioramento dei deficit dal singolo individuo. Tra i vari strumenti terapeutici, negli ultimi anni la tecnologia robotica e motion-based ha vissuto notevoli sviluppi ed è stata al centro di un numero sempre crescente di applicazioni. Esistono diversi studi che evidenziano un marcato interesse, da parte di soggetti autistici, nei confronti dei robot e i benefici ottenuti da un’interazione motion-based all’interno di un contesto di gioco.

Una particolarità dei soggetti con autismo è la difficoltà nell'esprimere e riconoscere le emozioni. Infatti, essi devono imparare a livello cognitivo ciò che non sviluppano spontaneamente e, pertanto, si rende necessario insegnare loro le emozioni, i sentimenti, la condivisione di gioie e dolori con altri e tutte le reazioni che generalmente sono innate nell'uomo. Inoltre, è fondamentale riconoscere le emozioni appena nascono nel soggetto perché questo aiuta a modellarne l'intensità ed a evitare situazioni in cui esse prendano il sopravvento sulle abilità di autoregolazione dell'individuo. E' molto importante riuscire a soffermarsi su ciò che il bambino sta provando in una precisa circostanza, in modo da aiutarlo ad analizzare le sue emozioni, dando un nome alle sensazioni che egli stesso percepisce. Il punto cardine è proprio quello di dare un nome a ciò che sta provando, perché solo così è possibile aiutarlo a conoscere le proprie emozioni e lo si mette nelle condizioni di riconoscerle in lui e negli altri.

## 1.2 Obiettivi

In questo contesto si inserisce il lavoro di tesi svolto.

La prima parte della tesi consiste in uno studio esplorativo condotto sul campo con Teo, un robot che interagisce con soggetti con disabilità intellettive, sviluppato nell'ambito del progetto KROG. L'idea è quella di monitorare e seguire in prima persona una sperimentazione della durata di 6 mesi, finalizzata all'analisi di pregi e difetti della tecnologia attuale e all'individuazione di nuovi requisiti per una seconda versione dello stesso robot. La seconda parte, invece, prevede la realizzazione della nuova versione del robot sulla base sui requisiti analizzati, raccolti, discussi e validati nella prima fase. In particolare, l'estensione deve focalizzarsi sul concetto di emotività e, dunque, bisognerà capire in che modo introdurre sensori ed attuatori per gestire comportamenti che soddisfino questo goal. Dunque, in base agli input ricevuti dall'esterno e ad una serie di altre variabili, Teo dovrà essere in grado di simulare un numero ben definito di emozioni e manifestarle tramite tutti i canali trasmissivi di cui è dotato.

Così facendo, l'interazione human-robot viene arricchita della componente emotiva che finora è stata quasi totalmente assente. Lo scopo è quello di raggiungere il bambino utilizzando più canali trasmissivi per riuscire a comunicare un concetto astratto, associato ad una particolare situazione emotiva e di per sé unico. Il goal finale sarà invece quello di insegnare al soggetto autistico a riconoscere una particolare emozione, dare ad essa un nome e capire quando essa si manifesta.

Dal punto di vista del terapista, invece, si vuole creare uno strumento chiaro ed efficace, che consenta una gestione diretta ed immediata del robot.

### 1.3 Processo di sviluppo e Gantt

Prima di cominciare l'intero lavoro di tesi è stata necessaria una pianificazione delle varie attività utilizzando un diagramma Gantt. Il risultato è riportato in figura 1.1.

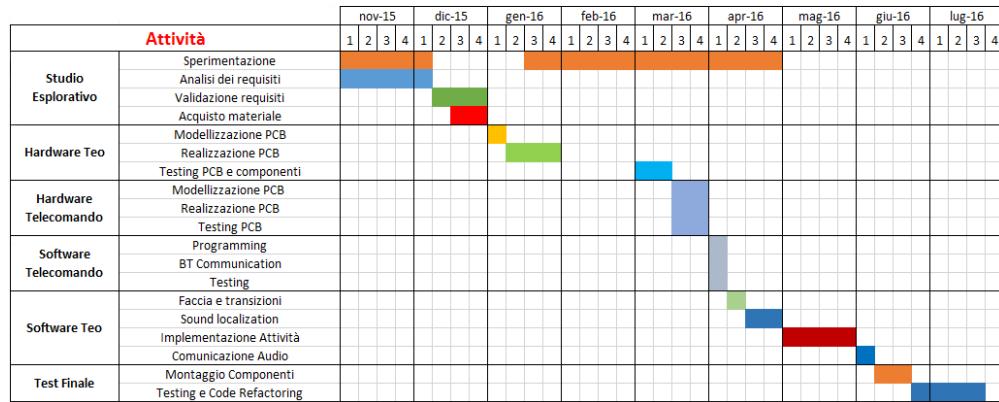


Figura 1.1: Diagramma Gantt dell'intero progetto

Il primo task consiste in uno studio esplorativo effettuato tramite la sperimentazione eseguita presso il C.D.D Sacro Cuore della Fondazione Istituto Sacra Famiglia ONLUS di Cesano Boscone, a Milano. Questo studio condotto sul campo ha avuto inizio nel mese di Novembre 2015 e si è concluso ad Aprile 2016, per una durata complessiva di 6 mesi. I primi mesi sono stati quelli chiave, in quanto mi hanno permesso di identificare e validare i requisiti essenziali, mentre il restante tempo della sperimentazione è servito principalmente al perfezionamento e alla conferma di quanto precedentemente individuato.

Una volta ben definiti i requisiti, si è proceduto all'acquisto dei materiali necessari. Successivamente dal mese di Gennaio 2016 sono iniziati i lavori relativi alla parte tecnica di Teo, durante la quale è stato necessario riprogettare l'hardware e ricostruire l'elettronica di base. Questa operazione prevede la realizzazione di diversi circuiti stampati, attività che complessivamente può essere divisa in:

- una prima fase di modellizzazione a computer degli schemi circuitali e delle connessioni tra essi;
- una fase di realizzazione del circuito stampato su basetta di rame presentabilizzata, usando la tecnica della fotoincisione;
- una fase di lavorazione manuale (foratura, ritaglio forma) delle basette;
- una fase di testing delle connessioni.

Una volta concluso questo lavoro, si è passato alla realizzazione dell'hardware del telecomando e le operazioni si sono susseguite nel medesimo ordine citato precedentemente. Nel mese di Marzo 2016 si è conclusa la realizzazione dell'hardware e da Aprile sono iniziati i lavori per lo sviluppo del software.

Per quanto riguarda il telecomando, c'è stata la parte di programmazione dell'interfaccia utente sul display, la gestione dei vari pulsanti, la programmazione e la comunicazione dei moduli Bluetooth master-slave e lo scambio dei dati. Come di consueto, al termine di tutto è stato svolto un lavoro di testing del telecomando per verificare la UX, il buon design e, soprattutto, il corretto invio di dati e la presenza di eventuali bug.

La successiva attività pianificata riguarda la realizzazione del software di Teo: per prima cosa ho sviluppato la faccia sulla matrice LED e le varie transizioni tra i diversi stati emotivi; successivamente mi sono adoperato per la scrittura dell'algoritmo di sound localization, a seguire tutte la realizzazione di tutte le attività ed infine è stata sviluppata la riproduzione audio tramite Bluetooth. La parte finale prevede l'assemblaggio di tutti i componenti sul robot e una fase continua di test e code refactoring che si è protratta per diverse settimane.

## 1.4 Struttura documento

La tesi è strutturata nel seguente modo:

**Capitolo 2:** In questo capitolo verrà discusso di quanto attualmente esiste in modo concreto in merito all'applicazione della tecnologia nella lotta contro l'autismo; si parte da un'analisi dettagliata sull'autismo e sui disturbi ad esso associati, per arrivare alle tecnologie motion-based ed ai robot attualmente realizzati, ed infine concludere analizzando le emozioni e la loro trasmissione.

**Capitolo 3:** In questo capitolo il tema centrale è l'analisi dei requisiti, con particolare dettaglio alla raccolta e alla loro validazione. Vengono inoltre illustrati gli stakeholders e viene discusso ampiamente lo studio esplorativo che ho condotto in prima persona e che mi ha permesso di identificare una serie di requisiti e di effettuare uno studio di fattibilità sugli stessi.

**Capitolo 4:** In questo capitolo verrà trattato il nuovo design del robot e della strumentazione di supporto, con particolare dettaglio alla UX e alle attività pianificate in questa nuova versione del robot.

**Capitolo 5:** In questo capitolo verrà illustrata l'architettura hardware e software del sistema, con l'analisi di dettaglio di tutti i componenti usati, dell'elettronica sviluppata e della logica di gioco.

**Capitolo 6:** In questo capitolo vengono tratte le conclusioni dal lavoro svolto e si prova a fornire degli spunti per il miglioramento del sistema.

# Capitolo 2

## Stato dell'arte

### 2.1 Autismo

L'autismo è una disabilità intellettuale che ha incidenza significativa, e crescente, nella popolazione: 60 milioni di persone al mondo, 5 milioni in Europa, 500.000 in Italia, con un incremento del 70% nei casi diagnosticati in USA negli ultimi 40 anni. Anche se l'autismo è di per sé inguaribile, si stanno esplorando possibili trattamenti per (ri-)educare le persone affette da questa sindrome ed aiutarli a raggiungere una migliore integrazione sociale e una maggiore autonomia nella vita quotidiana. In particolare, vi sono sempre maggiori evidenze empiriche che mostrano come strumenti digitali interattivi siano efficaci a questo scopo, in particolare se utilizzati fin dall'età infantile. I bambini affetti da sindrome autistica sono in particolar modo attratti da "oggetti" che possano reagire alle loro azioni, come robot o animazioni multimediali. Questi mezzi permettono loro di avere un ruolo attivo, altrimenti represso, e di sviluppare la comprensione dei meccanismi di causa-effetto attraverso interazioni che hanno molto meno sovraccarico emotivo delle relazioni tra esseri umani. Di conseguenza, la tecnologia digitale interattiva permette di realizzare processi terapeutici e formativi che facilitano la formazione di competenze nella sfera sociale e cognitiva non del tutto sviluppate.

Autismo e disordini dello spettro autistico sono entrambi termini generali che fanno riferimento ad un complesso insieme di disordini mentali. Essi sono caratterizzati da uno sviluppo deficitario o anomalo dell'interazione sociale, della comunicazione sociale e una limitatezza del repertorio delle attività e degli interessi. La US National Autistic Society definisce questi deficit come Triad of impairments cioè Triade del comportamento autistico (figura 2.1).

Nel dettaglio:

- **Interazione sociale:** i soggetti autistici presentano incapacità o gravi difficoltà nel comprendere gesti, le mimiche e gli stati d'animo delle altre persone e non ricercano spontaneamente la condivisione di emozioni ed interessi. I loro comportamenti risultano spesso inappropriati e fuori luogo, in quanto essi non riescono ad applicare correttamente le norme esplicite

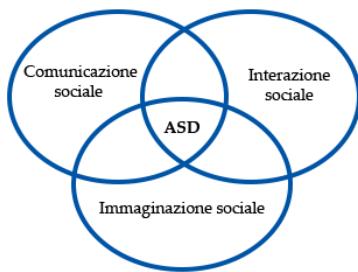


Figura 2.1: Triade del comportamento autistico

ed implicite dell’interazione sociale. Ad esempio può capitare che evitino lo sguardo diretto con il proprio interlocutore o che sbagliano l’argomento iniziale di una discussione. Tutto ciò è dovuto alla scarsa comprensione dei bisogni delle altre persone e alla difficoltà di adeguare ad essi il proprio modo di agire e comportarsi.

Quindi, la mancanza di coinvolgimento sociale, della capacità di capire stati mentali o emozioni manifestate da altri e le difficoltà con le relazioni sociali reciproche hanno come effetto un’interazione sociale inappropriata e l’incapacità di relazionarsi con altri soggetti in un modo corretto.

- **Comunicazione:** i soggetti con autismo mostrano una marcata compromissione ed alterazione delle capacità comunicative verbali e non verbali.

Per quanto concerne la *comunicazione verbale*, essi hanno una comprensione letterale del linguaggio e questo non permette loro di capire il sarcasmo, i giochi di parole, il tono di voce, i modi di dire. Lo sviluppo del linguaggio parlato è tardivo e spesso problematico, infatti può presentare anomalie nell’intonazione, nella velocità, nel ritmo e nell’uso delle strutture grammaticali. Non tutti, comunque, imparano a parlare nonostante molti di essi siano in grado di comprendere gran parte di ciò che gli viene chiesto. È molto comune infatti quando si comunica con i bambini autistici, utilizzare linguaggi simbolici ed iconici.

Per quanto riguarda invece la *comunicazione non-verbale*, faticano a comprendere ed utilizzare gesti ed espressioni facciali. Talvolta ne sono spaventati e reagiscono in modo anomalo.

- **Immaginazione:** le persone affette da autismo manifestano comportamenti e interessi limitati, ripetitivi e stereotipati. Essi infatti preferiscono avere una routine quotidiana ben definita, così da conoscere in anteprima e con precisione cosa accadrà nel corso della giornata. Un cambiamento seppur banale nell’ambiente circostante o nello svolgimento di un’attività conosciuta, viene difficilmente accettato e può tradursi in uno stato di

disagio e malessere.

Una persona autistica ha una gamma di interessi notevolmente ristretta e spesso è ossessionata da un singolo e ristretto interesse, come la memorizzazione delle date di nascita, dei numeri di telefono o dei nomi delle capitali. Può manifestare una eccessiva attrazione per parti di oggetti, come bottoni o rotelline, e per corpi in movimento, come le ruote che girano, l'apertura e la chiusura di una porta, la rotazione di un ventilatore elettrico e un intenso attaccamento ad alcuni oggetti inanimati, come ad esempio un elastico.

Per quanto riguarda la motricità, il comportamento del bambino autistico è caratterizzato dalla presenza di numerose stereotipie e gesti tipici che vengono ripetuti frequentemente e che appaiono privi di finalità. Tra le più comuni vi è il dondolio, il buttarsi a terra o il battere le mani. È stato affermato che una delle cause di queste disfunzioni potrebbe essere l'incapacità di elaborare gli stimoli ricevuti. Si pensa possa esistere una profonda anomalia nel meccanismo neurologico che controlla la capacità di spostare l'attenzione tra i vari stimoli, provocando distorsioni negli input sensoriali e nell'attrazione selettiva. Problemi di questo tipo sono stati riscontrati nell'80/90% dei bambini con ASD e si manifestano attraverso una mancanza di controllo motorio e ad esempio ad un'ipersensibilità al rumore e alle sensazioni fisiche. In relazione a ciò che viene incluso nel termine autismo, questo disturbo interessa da 2 a 5 bambini ogni 10 mila, provocando devastanti effetti a lungo termine.

Le persone autistiche presentano una grande varianza di sintomi, che svariano da un ritardo o una totale mancanza di linguaggio parlato a un importante deficit nell'uso di comportamenti non verbali che regolano l'interazione sociale, a un completo fallimento nello sviluppare relazioni appropriate per età, alla mancata percezione e riconoscimento di concetti astratti come le emozioni (figura 2.2).

I bambini con ASD mostrano anche un deficit nel campo dell'immaginazione, manifestato nella difficoltà a generalizzare tra vari ambienti, in un range limitato di attività immaginarie e nella difficoltà di pensare ad eventi futuri e idee astratte. Questo si riflette nella mancanza di giochi spontanei basati sull'immaginazione o di giochi sociali imitativi e alla tendenza a compiere pattern di attività ripetitive e stereotipate. Altri sintomi comportamentali includono iperattività, breve durata dell'attenzione, impulsività, aggressività, comportamenti auto dannosi e scatti d'ira.

Con la pubblicazione del manuale diagnostico DSM-5 nel maggio 2013, tutti i disordini dello spettro autistico sono stati inseriti in un unico enorme ombrello di diagnosi per ASD. Precedentemente essi erano riconosciuti come sottotipi distinti, inclusi disordini autistici, Disordini Disintegrativi dell'Infanzia, Pervasive Developmental Disorder-Not Otherwise Specified (PDD-NOS) e la sindrome di

Communication	Social interaction	Cognitive	Motor
Verbal communication	Human relationship and interaction	Repetitive behavior and mannerism	Posture balance
Initialization and substition of communication	Direct eye gaze	Restricted range of interests	Tactile peculiarity
Expression and reception of a language	Mimic expression (imitation and expressiveness)	Inability to generalize between environments (relatedness)	Gross and fine motor skills
Stereotypical and repetitive language	Postural and gestural understanding	Difficulty in figuring out future events (evolution of things)	Movement coordination
Eccentric speech and tone	Emotion and interest sharing	Fear of unpredictability and unfamiliarity	Cross midline gestures
Facial expression	Impaired capacity to understand other's feelings or mental states	Limited range of imaginative activities	
Non-verbal communication (pointing to an object)	Joint attention and turn taking	Abstract ideas	
		Short concentration and attention spans	
		Short engagement and motivation	
		Creativity	
		Awareness of body shape and schema	
		Imitative capability (mirror neurons)	
		Environment perception	
		Simultaneous sounds processed as noise	
		Exuberance and uncontrollable risk estimation	

Figura 2.2: Tabella deficit autismo

Asperger. L'autismo sembra avere le radici in precoci sviluppi cerebrali. Nonostante ciò, il più evidente segnale e sintomo dell'autismo emerge circa tra i 2 e i 3 anni. Diverse comunità continuano a sostenere ricerche sui metodi efficaci per una analisi precoce, come interventi immediati con terapie comportamentali testate che possono migliorare i risultati.

I dati dell'U.S Center of Disease Control and Prevention (CDC) dell'anno 2014 identificano circa 1 bambino americano su 68 come autistico, con un'aumento significativo rispetto agli ultimi 40 anni. Ricerche più accurate mostrano che questo aumento è solo parzialmente spiegato da un miglioramento dei metodi di analisi e dalla consapevolezza che il fenomeno è diventato estremamente comune. Studi mostrano anche che l'autismo è per 4/5 più diffuso nei maschi rispetto alle femmine; negli Stati Uniti è stato infatti stimato che si verifica a 1 ragazzo su 42 e 1 ragazza su 189. ASD colpisce 2 milioni di individui negli USA e 10 milioni nel mondo. Inoltre, le statistiche governative sull'autismo suggeriscono che il tasso di diffusione annuale è aumentato dal 10% al 17% negli ultimi anni. Non esiste tuttora una spiegazione per questo continuo aumento, sebbene le influenze ambientali sono spesso considerate valide.

La terapia per persone con autismo può avvenire in modalità diverse; per questo motivo è estremamente importante individuare i luoghi in cui la tecnologia può essere usata. Le modalità citate sono:

- **Scuole di formazione generale:** un luogo pubblico/privato per educare i bambini con autismo dentro le aule.

- **Scuole speciali:** un luogo appositamente dedicato per educare le persone con autismo. Potrebbe essere a tutti i livelli, dalla scuola materna fino all’istruzione post-secondaria. Mentre in Italia non esistono più scuole speciali per soggetti disabili (per legge), in molti paesi del mondo queste istruzioni rappresentano ancora uno delle modalità principali per l’educazione dei bambini autistici.
- **Cliniche/Centri terapeutici:** sono luoghi per la pratica professionale che non è inteso per l’istruzione, come ad esempio uno studio medico, l’ufficio del terapeuta, o di un fornitore.
- **Casa:** è lo spazio di vita personale di una persona con autismo. E’ importante facilitare l’uso degli strumenti tecnologici a casa, permettendo ai bambini di impegnarsi con continuità durante le attività terapeutiche-educazionali al di fuori dei centri terapeutici e dalle scuole. In questo luogo inoltre si consente ai genitori di essere direttamente coinvolti nel processo educazione dei loro bambini.
- **Comunità:** la tecnologia può anche essere adottata in spazi pubblici come oratori o qualunque centro per l’intrattenimento.

## 2.2 Tecnologia Motion-Based

Sono stati condotti diversi studi per verificare i benefici che la tecnologia digitale può portare in soggetti autistici. In particolare è stato verificato che gli strumenti usati da quest’ultima sono ben percepiti da bambini con ASD. Un ambiente digitale fornisce stimoli che sono maggiormente concentrati, più prevedibili e più replicabili rispetto ai tool convenzionali. Un contesto tecnologico riduce la confusione, le distrazioni multisensoriali tipiche del mondo che nei soggetti di nostro interesse possono creare ansia e causare l’innalzamento di barriere sociali nella comunicazione. Inoltre, gli strumenti digitali possono sfruttare i benefici degli interventi detti visually based adattati nelle pratiche terapeutiche già esistenti, come ad esempio il video modeling. Fornire contenuti educativi attraverso immagini digitali, animazioni o video sfrutta al meglio il fatto che persone ASD sono “visual learners” [16], ovvero che apprendono meglio attraverso il canale visivo. Molte delle tecnologie esistenti per bambini autistici combinano le potenzialità offerte della tecnologia con l’efficacia educativa dei giochi. Ricerche hanno dimostrato che il gioco è la sorgente per l’immaginazione umana nei bambini piccoli, e quindi per lo sviluppo del linguaggio e del ragionamento.

Attività basate sul gioco (game-based [8, 26, 10]) accelerano il processo di apprendimento creando uno stato motivazionale che promuove l’attenzione, aumenta la capacità di selezionare le informazioni rilevanti e aumenta la disponibilità per completare il task richiesto. Integrando il gioco digitale con opportune routine educative, si offre la possibilità di incoraggiare l’interazione sociale, sviluppare comunicazione e la fantasia di pensiero e si aumenta l’abilità dei

bambini nello svolgere un insieme di attività utili nella vita quotidiana. Ogni bambino autistico ha un insieme di competenze ed esigenze cognitive, abilità linguistiche, sociali o motorie molto diverse dagli altri; basti pensare che anche tra i soggetti diagnosticati con lo stesso livello di autismo ci sono forti differenze. Definiremo un target minimamente omogeneo ma per ora abbiamo preso in considerazione i requisiti e le esigenze a seconda del Manuale Diagnostico e Statistico dei Disrubi Mentali, Fifth Edition (DSM-5 del 2013 [2]).

Uno degli aspetti critici nell'intervento con questi bambini è la necessità di generalizzazione delle competenze linguistiche acquisite nella loro vita quotidiana. Ciò significa che i miglioramenti nelle abilità di comunicazione di ingresso e uscita, capacità di interazione sociale e di controllo del comportamento devono essere spesi in tutti i loro ambienti naturali e con diversi partner (pari, educatori, terapisti, familiari, badanti). E' sempre fondamentale trovare e utilizzare attività fortemente motivanti, che portano a facilitare l'acquisizione delle competenze cui sopra; da qui la necessità del divertimento come ingrediente fondamentale di tutte le attività proposte ai bambini.

### 2.2.1 Benefici

La potenzialità dell'interazione dei giochi motion-based digitali per l'apprendimento trova fondamento in approcci teorici che riconoscono la relazione tra l'attività fisica ed i processi cognitivi e una evidenza crescente dalla psicologia e dalla neurologia. Ad esempio, la teoria di Piaget afferma che l'apprendimento della conoscenza emerge dall'esperienza attiva nel mondo.

Le teorie "embodied cognition" [24] sottolineano il ruolo dell'embodiment per lo sviluppo dei diversi livelli di abilità cognitiva. Con embodiment si intende il modo in cui le capacità senso-motorie di un organismo permettono di interagire con successo con un ambiente fisico. I processi cognitivi legati alla padronanza delle contingenze sensomotorie originano da esperienze corporee, come anche alcune skill cognitive di alto livello come immaginazione mentale, l'uso della memoria, la memoria implicita, il ragionamento e il problem solving emergono da funzioni sensomotorie. Recenti studi empirici indicano che se un learner è forzato a compiere dei movimenti e cercare di coordinare il proprio corpo per eseguire un task, quei movimenti rivelano anche una conoscenza implicita e così facendo aumentano l'apprendimento. Le embodied cognition forniscono un sostegno teorico per il potenziale educativo dei giochi touchless motion-based. Questa ipotesi è supportata sia dai risultati di studi empirici che svolti su soggetti non autistici che da dibattiti basati sulle pratiche pedagogiche.

Alcuni studi [19, 15, 5] mostrano un insieme di giochi digitali collaborativi full-game pensati per comprendere quali cose i learner sviluppano ed imparano durante il movimento del corpo ed i gesti compiuti. Gli autori riportano che i bambini percepiscono i movimenti come un modo naturale per interagire e mutualmente comunicare, e connette direttamente le loro azioni corporee con dei concetti matematici incorporati nei giochi. Uno studio svolto sulla relazione

tra l'uso del corpo ed il divertimento nei giochi educativi motion-based mostra che un aumento dei movimenti corporei porta ad un aumento del livello del coinvolgimento del bambino e, in un contesto multiplayer, rafforza la natura sociale dell'esperienza di gioco. Diversi studi discutono il potenziale delle applicazioni Kinect nell'ambito dell'insegnamento e dell'apprendimento a scuola. Garzotto [14] analizza i 7 più popolari giochi Kinect rispetto ad alcuni principi teorici dell'apprendimento e forniscono una categorizzazione che può aiutare gli educatori a sfruttare questa tecnologia per l'insegnamento di abilità fisiche, cognitive, emozionali e sociali. Non mancano sostenitori del fatto che le attività educative motion-based possono facilitare pratiche cinestetiche pedagogiche per learner con una buona intelligenza corporea-cinestetica (cioè chi impara meglio quando si trova fisicamente coinvolto in ciò che sta imparando).

L'attuale stato dell'arte suggerisce che i giochi motion-based touchless portano vari benefici, tra cui un miglioramento delle abilità motorie, un rinforzo delle funzioni cognitive basilari come rappresentazione, consapevolezza di sé e aumento del coinvolgimento. Inoltre, la nostra conoscenza delle potenziali di questo paradigma per bambini autistici rimane limitata, per diversi motivi. Per prima cosa, molte valutazioni empiriche riguardano un piccolo numero di soggetti con specifiche caratteristiche. Considerando l'eterogeneità dei disordini nello spettro autistico, ulteriori studi sono necessari per confermare e generalizzare i risultati finora ottenuti. Come seconda cosa, i diversi metodi di ricerca sono usati in diversi studi, che diventano difficilmente comparabili. La ricerca corrente offre spiegazioni limitate su quali procedure di valutazione sono appropriate per quello specifico gruppo utente e per quale motivo, ed inoltre sono ancora da sviluppare delle linee guida metodologiche. Sulla base di quanto detto, risulta difficile stabilire se le tecnologie di gioco motion-based touchless possono essere efficaci per bambini autistici per ottenere benefici nel campo dell'apprendimento legati ad un più alto livello di funzioni cognitive, skills o competenze. Nei bambini esiste un'evoluzione della routine di gioco, che evolve da una iniziale fase esplorativa verso una più manipolativa, in cui i bambini sviluppano risposte sociali, consolidano le fondamenta della comunicazione, dell'interazione sociale ed esplorano e comprendono con successo il mondo. Nei bambini autistici questa evoluzione comportamentale non viene sempre e totalmente manifestata. Essi hanno forti deficit nel gioco spontaneo simbolico e preferiscono invece un approccio tangibile, ad esempio giocare con oggetti di interesse a un livello sensoriale e intuitivo, molto spesso in un modo ripetitivo e insistente, e senza un goal preciso. Questo comportamento contribuisce a spiegare gli effetti positivi delle soluzioni di gioco per bambini autistici basata su robot, giocattoli intelligenti, interfacce touch o tangibili, che coinvolge il corpo e la manipolazione fisica di qualcosa. I giochi motion-based touchless coinvolgono l'attività fisica ma l'interazione è intrinsecamente intangibile. Implicito in questo paradigma è il "sensory mismatch" tra il comportamento fisico e i suoi effetti: un'azione del corpo (movimento/gesto di colpire una palla) fa scattare un feedback audiovisivo ma questo effetto non determina tutti gli altri effetti sensoriali e percettivi che avvengono nel mondo reale (il bambino non tocca realmente la palla, ad esempio). Per bambini autistici, il sensory mismatch potrebbe ridurre i benefici

dell’embodiment. Questo può indebolire il legame tra percezione, cognizione e azione. Inoltre, l’interpretazione dell’interazione intangibile richiede alcune astrazioni basilari e capacità di generalizzazione. Per esempio, capire che hai colpito la palla anche se non hai sentito il colpo sul corpo come normalmente succede richiede l’abilità di riconoscere e processare le somiglianze tra diverse situazioni, cosa che è tipicamente debole se non assente nei bambini autistici. Con la pratica, i bambini autistici possono diventare capaci di eseguire correttamente movimenti e gesture necessari in un gioco motion-based touchless. Ma questo effetto può anche portare in questi soggetti la tendenza a favorire azioni ripetitive. Attualmente non è noto se, con il continuo allenamento, riescono a costruire connessioni ad un alto livello cognitivo e possono generalizzare a diversi ambienti o situazioni la relazione che hanno appreso attraverso i movimenti e i concetti di un gioco specifico.

Riassumendo, da teorie esistenti e ricerche empiriche su giochi touchless e motion-based, siamo in grado di conoscere come questo paradigma funziona su bambini autistici e quali forme di apprendimento esso promuove per questo target. Ogni altra ulteriore ipotesi è un tentativo a causa del basso numero di studi sul campo e del basso numero di soggetti implicati, dell’alta eterogeneità delle disabilità dei soggetti autistici, dei limiti della nostra tecnologia sulla cognizione dei bambini autistici e del loro modo di dare un senso al mondo. Lo studio discusso nella seguente sezione contribuisce ad arricchire la nostra conoscenza empirica in questo campo, sfruttando i benefici del touchless gestural gaming per bambini autistici in relazione alle skill di attenzione e dei vari comportamenti e fattori emozionali.

### 2.2.2 Kinect

Kinect [26] è un dispositivo di input motion sensing di Microsoft per la console di videogiochi Xbox 360 e PC Windows. Si tratta di un accessorio sensibile al movimento del corpo umano che, a differenza del Wiimote della Nintendo e al PlayStation Move della Sony, consente al giocatore il controllo del sistema senza la necessità di indossare o impugnare alcunché. Sebbene sia inizialmente uscita solo in versione Xbox 360, a partire dal 1° febbraio 2012 Microsoft ha reso disponibile una versione speciale della periferica per i PC dotati del sistema operativo Windows 7 e Windows 8. Kinect è dotato di telecamera RGB, doppio sensore di profondità a raggi infrarossi composto da uno scanner laser a infrarossi e da una telecamera sensibile alla stessa banda. La telecamera RGB ha una risoluzione di 640x480 pixel, mentre quella a infrarossi usa una matrice di 320x240 pixel. Kinect dispone anche di un array di microfoni utilizzato dal sistema per la calibrazione dell’ambiente in cui ci si trova, mediante l’analisi della riflessione del suono sulle pareti e sull’arredamento. In tal modo il rumore di fondo e i suoni del gioco vengono eliminati ed è possibile riconoscere correttamente i comandi vocali. La barra del Kinect è motorizzata lungo l’asse verticale e segue i movimenti dei giocatori, orientandosi nella posizione migliore per il riconoscimento dei movimenti. Di fatto, la periferica permette all’utente di interagire con la console senza l’uso di alcun controller da impugnare, ma

solo attraverso i movimenti del corpo, i comandi vocali o attraverso gli oggetti presenti nell'ambiente. Microsoft dichiara che Kinect può seguire i movimenti di al più 4 giocatori, sia in piedi che seduti.

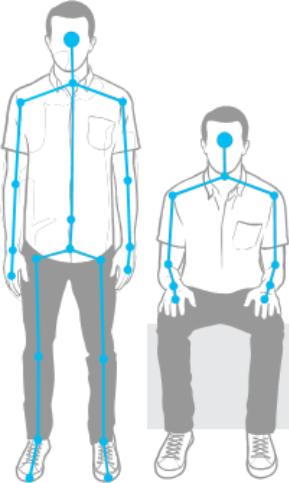


Figura 2.3: Riconoscimento skeleton e giunture dalla Kinect

La barra del Kinect è motorizzata lungo l'asse verticale e segue i movimenti dei giocatori, orientandosi nella posizione migliore per il riconoscimento dei movimenti. E' in grado di riconoscere e tracciare 48 punti del corpo di ogni giocatore, per un massimo di due, distinguendone le varie giunture (testa, collo, spalle, polsi, mani, anche, bacino, ginocchia, caviglie e piedi), come in figura 2.3

### 2.2.3 Bubble Game

Il Bubble game (figura 2.4) è un gioco in cui i bambini devono catturare il maggior numero possibile di bolle che gradualmente vengono mostrati a schermo. I bambini possono giocare fino alla scadenza del tempo e, una volta terminato, viene mostrato a schermo il punteggio che indica il numero di bolle raccolte. Esiste un reward che viene dato al bambino ogni volta che il punteggio supera una certa soglia prestabilita, calcolata sulla base di parametri come il numero totale di oggetti presenti e la loro velocità di movimento. L'avatar del bambino ha la forma umana e lo aiuta a riconoscere tutte le parti del corpo al fine di aiutarlo a riconoscere se stesso e i suoi movimenti nella figura mostrata a schermo. L'obiettivo che questo gioco si pone è quello di migliorare la precisione dei movimenti, la coordinazione motoria e la velocità di movimento delle parti motorie coinvolte (testa, braccia, mani, gambe e piedi). L'SDK al momento della stesura della tesi è il 2.0.

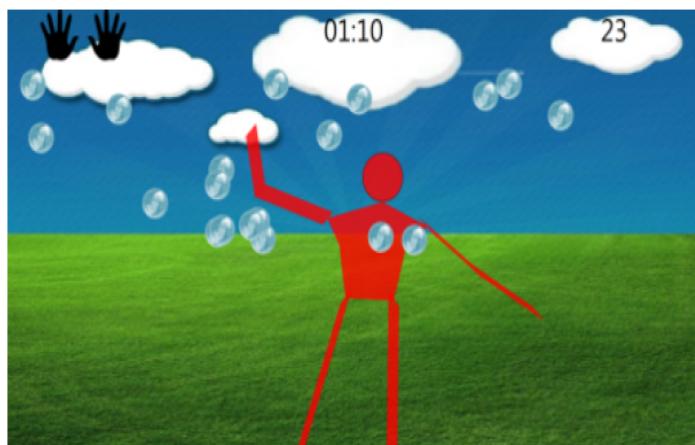


Figura 2.4: Bubble Game

### 2.2.4 Shape Game

Lo Shape Game prevede che i bambini replichino una certa forma mostrata sullo schermo. Come nel gioco precedente, la Kinect traccia lo scheletro del bambino e disegna la sua silhouette sullo schermo. Lo scopo del gioco è quello di far coincidere la propria sagoma con quella prevista da quel livello di gioco, ovvero di mettersi nella stessa posizione e di tenerla per alcuni secondi. Il gioco è disponibile anche nella versione multiplayer, in cui due bambini devono collaborare replicare la sagoma richiesta dal gioco. Se il tempo dovesse scadere prima di aver riprodotto la corretta posizione, il gioco termina e non viene fornito nessun rinforzo positivo; in caso contrario, viene invece mostrata una ricompensa multimediale che gratifica il bambino. L'idea che sta alla base di questo gioco è quella di fornire a schermo una rappresentazione di sé, in cui il bambino deve riconoscere e comprendere la dinamica dei movimenti della propria sagoma. In questo modo si vuole migliorare la consapevolezza del proprio corpo e del proprio schema corporeo. I terapisti possono creare delle forme personalizzate per ogni bambino in modo da rispondere alle diverse esigenze di ognuno e stimolarli a compiere uno specifico movimento corporeo. Concludendo, gli obiettivi che questo gioco si pone sono quelli di identificare la correlazione tra il corpo e l'immagine mostrata e migliorare la consapevolezza del proprio corpo e dei propri limiti, la coscienza del corpo nello spazio, la capacità di astazione, le capacità imitative, il controllo motorio e l'auto-regolazione.

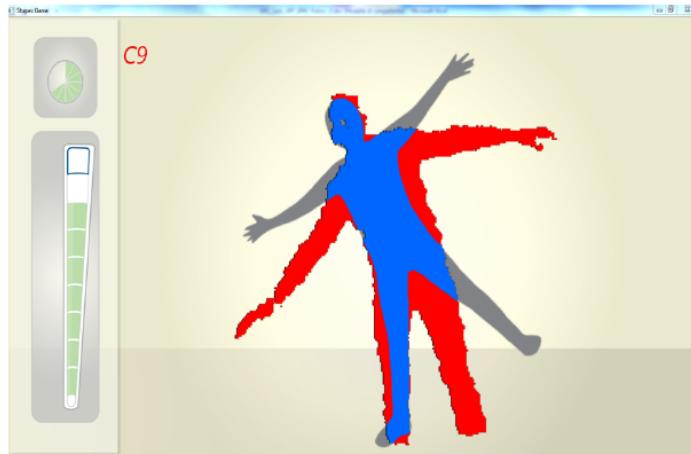


Figura 2.5: Shape Game

## 2.3 Robotica

Un numero sempre maggiore di studi hanno investigato in merito all'applicazione di tecnologie interattive avanzate come intervento contro l'autismo, tra cui in particolare ambienti di realtà virtuale e sistemi robotici. I miglioramenti nella tecnologia robotica hanno certamente dimostrato la capacità per robot intelligenti di soddisfare una varietà di funzione umano e neuro-riabilitative; purtroppo sono molto limitate le ricerche focalizzate sull'impatto della specifica applicazione clinica per individui con ASD.

La scoperta che possiamo considerare finora più promettente riguarda una preferenza documentata da alcuni individui con ASD all'interazione robot rispetto all'interazione umana. I dati provenienti da diversi gruppi di ricerca hanno dimostrato l'esistenza di una reale preferenza da parte di soggetti con ASD per le caratteristiche simili al robot rispetto a giocattoli non-robot o agli esseri umani [12, 22]. Inoltre, i dati mostrano anche che in alcune circostanze si ottiene una risposta più rapida quando il soggetto con autistico riceve stimoli dal movimento robotico piuttosto che da quello umano.

### 2.3.1 Classificazione

Nella terapia di bambini con autismo, i robot hanno un ruolo importante e portano svariati benefici. Essi sono pensati per svolgere diversi ruoli, anche all'interno della stessa sessione terapeutica. Attraverso giochi e attività coinvolgenti, i robot interagiscono con i bambini con lo scopo di allenare specifiche skills, suscitare particolari comportamenti, formarli con competenze, fornire incoraggiamento e feedback positivo al completamento di un compito.

Ruolo robot rispetto al proprio interlocutore:

- **Informativo:** fornisce informazioni come attore o in sostituzione di un terapista;
- **Interattivo:** agisce come un compagno di gioco ed interagisce con il bambino;
- **Affettivo:** agisce come un amico e fornisce sensazioni emotive;

Ruolo funzionale del robot:

- **Feedback:** agisce come un agente gratificante, reagisce ad un'azione eseguita dal bambino;
- **Facilitatore:** suggerisce cosa fare e quando farlo, con lo scopo di facilitare l'intero gioco;
- **Prompt:** agisce come un agente che stimola ad eseguire diversi comportamenti, cercando di valorizzare l'intero flusso di gioco;
- **Emulatore:** funge da emulatore (agisce come il bambino) oppure può essere emulato;

- **Restrittore:** limita le possibilità spaziali del bambino oppure offre una scelta (blue o rosso);
- **Mediatore:** agisce come mediatore del comportamento sociale tra il bambino e altri individui (terapista, bambini, ecc);

Canali di comunicazione:

- **Uditivo:** suoni e voci;
- **Visivo:** luci, espressioni facciali, colori;
- **Motorio:** movimenti o gesti;

Le seguenti immagini 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9) mostrano lo stato dell'arte dei robot sviluppati nella terapia per l'autismo nei bambini. Ogni riga illustra un robot ed include nome, figura, tipo, caratteristiche e ruolo.

ROBOT	FIGURE	TYPE	FEATURES	ROLE
Bobus		Non-anthropomorphic	Può rilevare la presenza del bambino. Riproduce musica Comple dei semplici gesti quando il bambino è vicino Ha dei LED attorno al collo E' robusto	Feedback
CHARLIE (Childcentred Adaptive Robot for Learning in an Interactive Environment)		Anthropomorphic	Robot con testa, due braccia e una telecamera Hardware semplice e low cost. Robusto Genera automaticamente il riepilogo dell'interazione	Emulator, Feedback
CPAC		Non-anthropomorphic	Ha una coda, braccia e occhi LED. Robusto e modulare, con parti rimovibili. Può ruotare su sé stesso, ballare quando premuto un tasto e sfrutta dei sensori di distanza.	Feedback
DISKCAT		Non-anthropomorphic	E' simile a un gatto e rivestito da un tessuto molto morbido al tatto. I baffi sono fatti di sensori resistivi pieghevoli Può giocare a "Simon dice" ed è in grado di ballare e muoversi. Ha dei LED al posto degli occhi e sul retro del corpo per un maggiore impatto visivo	Emulator Feedback

Figura 2.6: Robot per autismo (parte 1)

FACE(Facial Automation for Conveying Emotions)		Antropomorfo	Robot androide femmina. Faccia realizzata con una gomma similicone molto simile alla pelle umana. Sono presenti dei motori che muovono la pelle artificiale sulla faccia. E' in grado di manifestare diverse espressioni e 6 espressioni basi: felicità, tristezza, sorpresa, rabbia, disgusto, paura. Faccia e occhi sono tracciati attraverso una camera	Feedback
HOAP2		Antropomorfo	Struttura base in metallo, alto 50cm circa e con 25 gradi di libertà: può aprire/chiedere le mani, telecamera puntita sulla testa, Le telecamere sono usate per tracciare lo sguardo.	/
Infanoid		Antropomorfo	Corpo lungo, alto quanto un bambino di 4 anni. E' in grado di direzionare sguardo e faccia e gestire le espressioni facciali con movimento di labbra e sopracciglia. Movimento mani e corpo. Traccia il movimento con il video processing	Emulator Feedback
IROMECH(Interactive Robotic Social Mediators as Companions)		Antropomorfo (vertical mode) and Non-biomimetic (horizontal mode)	Piattoforma mobile Interfaccia per input/output: screen dinamici e tasti.	Feedback Prompt Restrictor
Jumbo		Non-antropomorfo	Robot dalla forma di elefante. Testa e corpo mobile. Ha 3 bottoni per selezionare i pittogrammi disposti sulla sua schiena. Illuminazione LED per assistere il bambino nella scelta. Modulare ed adattabile: pittogrammi facilmente sostituibili. Molto robusto	Restrictor
KASPAR		Antropomorfo	Robot dalle dimensioni di un bambino maschio. Movimenti di testa, braccia e mani Semplici espressioni facciali e gesture Corpo e gambe non mobili. Ha una faccia da bambino, su cui sono presenti delle palpebre.	Emulator Feedback Prompt
Keepon		Non-antropomorfo	Corpo a pupazzo di neve, colore giallo e fatto di materiale morbido simil-silicone. Movimenti lungo più assi: 4 gradi di libertà. Microfono incorporato dentro al naso e sensori di contatto. Telecamere dentro gli occhi per il video processing. Esprime emozioni con movimenti del corpo: paura (vibra), agitazione (su e giù), gioia (lato-lato)	Emulator?
Kismet		Antropomorfo	Espressioni facciali per espressioni emotive: rabbia, fatica, paura, disgusto, felicità, interesse, tristezza e sorpresa. Ha uno sistema di visione basata su telecamere disposte negli occhi	Feedback

Figura 2.7: Robot per autismo (parte 2)

Labo1		Non-biometric	Robot robusto e mobile Dimensioni: lunghezza 38cm, larghezza 30cm, altezza 21cm Peso 6.5kg Usa sensori IR e sensori di calore Struttura a forma di veicolo	
Lego Mindstorm NTX		Antropomorfo	Robot modulare, fatto dai pezzi lego Mobile e con sensori sonori e di contatto per l'attivazione. Adattabile e capace di cambiare le sue caratteristiche	/
Nao		Antropomorfo	Alto 50cm 25 gradi di libertà Dispone di telecamere, microfoni, speaker, sensori touch e LED. Capace di parlare, sentire il contatto e cambiare il colore degli occhi	Emulator Feedback Restrictor Prompt Facilitator
Paro		Non-antropomorfo	Robot foca rivestito da materiale bianco morbido al tatto. Sensori di contatto per determinare il tocco umano. Sensori di riconoscimento vocale e sound source direction. Collo mobile verticalmente ed orizzontalmente. Pinne e coda mobili. Palpebre per espressioni facciali	Feedback
Pekee		Non-biomimetic	Robot mobile Lunghezza:40cm; larghezza: 25; altezza_21cm Registra automaticamente i comportamenti del bambino Ha tre ruote per il movimento e raggiunge i 6km/h. E' in grado di evitare gli ostacoli mentre si muove.	/
Roball		Non-biomimetic	Robot sferico fatto da una struttura in plastica di 15cm di diametro. Peso di circa 1.8kg. Componenti situati in un luogo interno Capace di muoversi in tutte le direzioni senza rompersi Interazione tramite messaggi vocali e pattern di movimento	Feedback
Maestro		Antropomorfo	Ha una tastiera illuminata per l'interazione. E' in grado di muoversi, riprodurre musica, vibrare e ballare	Restrictor Feedback
Robota		Antropomorfo	Robot bambola alto 45cm, largo 14cm e pesante 1.5kg. Rotazione testa e movimento di braccia e gambe (su-giù) Movimento occhi coordinato ed individuale Usa video e speech processing per tracciare il movimento Prevede 2 modalità: come pupazzo e come giocattolo danzante	Feedback Emulator

Figura 2.8: Robot per autismo (parte 3)

TITO		Antropomorfo	<p>Robot alto 60cm tall e molto colorato (rosso, giallo, blu)</p> <p>Ha gambe e piedi ma usa delle ruote per muoversi</p> <p>Può muovere braccia, testa e bocca</p> <p>Può esprimere poche semplici emozioni.</p> <p>Usa telecamera e microfoni</p> <p>Produce messaggi vocali</p> <p>Diverse parti del corpo possono essere illuminate</p> <p>Ha un vocabolario di 25 parole</p>	Feedback
TREVOR(Triadic Relationship EVOKing Robot)		Antropomorfo	<p>Dimensione di un bambino</p> <p>Può raccogliere e spostare oggetti.</p> <p>Modulare: è fatto con pezzi LEGO</p>	Feedback Prompt
Troy		Antropomorfo	<p>Robot delle dimensioni di un bambino di 4 anni e composto solo dal busto</p> <p>Alto 64cm, braccia mobili con 4 gradi di libertà e lunghe 30cm</p> <p>Peso di 7kg, con struttura portante alla base.</p> <p>30 azioni preprogrammate.</p> <p>Faccia mobile realizzata con uno screen</p> <p>Può spostare oggetti, parlare e cantare</p>	Feedback

Figura 2.9: Robot per autismo (parte 4)

### 2.3.2 Polisocial: il progetto KROG

Il progetto KROG (mondi virtuali e robot mobili in un approccio ludico per bambini autistici), sviluppato nel contesto di POLISOCIAL, il programma di responsabilità e impegno sociale del Politecnico di Milano, esplora le potenzialità offerte dalla integrazione di robot mobili e mondi virtuali per supportare, attraverso il gioco, varie attività educativo-terapeutiche per i bambini con autismo e, più in generale, con disabilità intellettive e motorie. L'innovatività del progetto sta nel mix di interazione robotica e di interazione "full-body" (attraverso gesti e movimenti a distanza) con contenuti interattivi multimediali presentati su schermi medio-grandi.

Il progetto KROG integra due tecnologie che hanno, finora indipendentemente, fornito ottimi risultati nella direzione citata: i robot e le animazioni interattive (presentate su schermi di grosse dimensioni) controllate attraverso la rilevazione del movimento. Integrando questi elementi, il sistema KROG permette di coinvolgere i bambini autistici in attività di gioco e di apprendimento che sono uniche nel loro genere e che, sulla base delle sperimentazioni esplorative svolte, risultano particolarmente efficaci per questi soggetti.

#### Il sistema Krog

È stato sviluppato un robot (Teo [6, 7]) con caratteristiche innovative per il tipo di intervento previsto. Teo può muoversi senza vincoli sul pavimento, grazie a un sistema di ruote omnidirezionali. Le parti elettroniche e meccaniche sono integrate nella parte inferiore del corpo del robot, che include anche sensori di distanza usati per creare una relazione con il soggetto. La parte superiore, fino all'altezza di 60 cm è un corpo ovoidale, coperto di stoffa morbida, e riempito di polistirolo in pallini, con lo scopo di fornire un oggetto abbracciabile, accarezzabile, ma anche robusto rispetto a eventuali azioni violente. Sul fronte del corpo è presente una superficie magnetica a cui sui possono affiggere elementi di possibili facce ed espressioni, scelti dal soggetto. La parte superiore del corpo di Teo ha un cappello che integra un insieme di pulsanti attraverso i quali il bambino può esprimere le proprie scelte in risposta alle indicazioni espresse dai terapisti o dal gioco in corso. Il sistema di controllo di Teo è integrato con una sofisticata applicazione su PC che gestisce la presentazione di animazioni interattive su schermo medio-grande e la loro dinamica in risposta al comportamento di Teo e del bambino, e sulla base della "logica" del gioco in corso. Un sensore di movimento Microsoft Kinect è posto sotto lo schermo ed è in grado di rilevare sia Teo, sia i gesti e movimenti del soggetto.

#### Le attività di gioco

Le sessioni di gioco iniziano tipicamente con una fase di familiarizzazione con Teo e i contenuti del gioco. Il bambino è poi chiamato a partecipare al gioco e ad eseguire i comportamenti che esso richiede, in cui si sfruttano la fisicità, i movimenti, la manipolazione del robot, la possibilità di spostamento di Teo nello spazio e la forte attrattività data dal grande schermo. Le azioni richieste ai bimbi sono intese ad offrire stimoli sensoriali mirati, e a sviluppare una re-



Figura 2.10: La versione attuale di Teo e un bambino durante l'interazione

lazione sociale con Teo, insieme con capacità di attenzione, concentrazione, e comprensione di semplici task.

Uno dei giochi prevede l'uso del robot come “strumento emotivo” e partner di gioco, per stimolare le risposte dei bimbi a semplici domande poste sullo schermo, ad esempio il riconoscimento di colori o di oggetti. In un altro gioco, ispirato al diffuso “strega comanda colore”, un personaggio sullo schermo invita Teo e il bimbo a raggiungere un’area colorata sul pavimento. Teo può raggiungere il posto giusto, più o meno velocemente, oppure andare su un posto sbagliato e richiedere l’aiuto del soggetto per raggiungere la posizione corretta. Il terzo gioco previsto è lo shape game svolto dal bambino in collaborazione con Teo. La figura che deve essere riprodotta è composta dalla sagoma del bambino e di quella del robot, combinate in modo da generare una forma più complessa. L’idea è che, con il continuo allenamento, sia il bambino stesso a guadagnare la capacità astrattiva che gli consenta di capire come il robot deve essere posizionato rispetto alla posizione richiesta. In alternativa a questo, il terapista aiuta il bambino, comanda o eventualmente sposta manualmente il robot per raggiungere il goal finale.

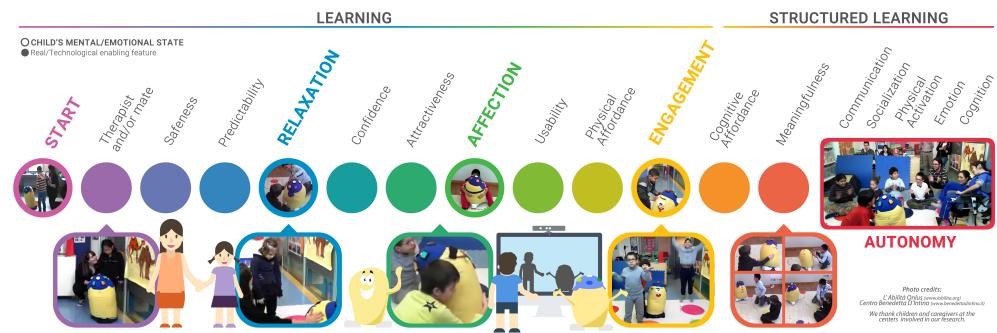


Figura 2.11: Il processo di interazione previsto con Teo, dalla familiarizzazione al gioco in autonomia

### Sperimentazione

Il sistema KROG è stato finora valutato con uno studio esplorativo presso un centro terapeutico coinvolgendo più di 20 bambini (età 5-13) con diversi gradi di disabilità e 10 terapisti/educatori. Sono stati riscontrati un alto grado di accettabilità dello strumento da parte degli operatori e dei bimbi, e un significativo potenziale educativo anche per un target più ampio (inclusi gli adulti con disabilità intellettuale), che verrà misurato in modo sistematico negli ulteriori studi empirici in corso. In alcuni casi sono stati osservati comportamenti sociali che non erano stati manifestati precedentemente. Ad esempio, un bimbo con fortissimi problemi di interazione sociale, ha trovato un modo personale di ottenere delle specifiche reazioni da Teo, costruendo un rapporto causa-effetto di cui il bimbo stesso era attore protagonista della situazione. Ancora più interessante, quando è stata svolta una sessione con Teo in gruppo, il bimbo ha mostrato agli altri la sua scoperta recuperando una relazione sociale mai apparsa prima. Oltre a questa è stata effettuata un'altra sperimentazione sistematica a lungo termine (6 mesi) presso una diversa struttura riabilitativa, coinvolgendo 10 soggetti autistici, 5 bimbi e 5 adulti. Quest'ultima è stata seguita in prima persona dal sottoscritto e verrà descritta in seguito.

#### 2.3.3 Robotica ed emotività

Le emozioni sono stati mentali e fisiologici associari a modificazioni psicofisiologiche, a stimoli interni o esterni, naturali o appresi. In termini darwiniani, è possibile affermare che la loro principale funzione consiste nel rendere più efficace la reazione dell'individuo a situazioni in cui si rende necessaria una risposta immediata ai fini della sopravvivenza, reazione che non utilizzi processi cognitivi ed elaborazione cosciente. Oltre a questo, le emozioni rivestono anche una funzione relazionale (comunicazione agli altri delle proprie reazioni psicofisiologiche) e una funzione autoregolativa (comprensione delle proprie modificazioni psicofisiologiche).

Al fine di comprendere il miglior modo per sviluppare comportamenti emotivi, è necessario analizzare i canali con cui essi possono venire trasmessi. A questo proposito, è stata effettuata un'analisi psicologica dei comportamenti e di tutti i segnali facciali e non facciali che sono considerati rilevanti per il fine di nostro interesse [4]. In particolare verranno valutate le distanze spaziali durante l'interazione, il movimento e l'orientamento del corpo, il movimento della testa, espressioni facciali, i suoni ed infine i colori.

#### Proximity Zone

Alcuni studi hanno dimostrato che le distanze spaziali tra umani hanno un impatto significativo sulla qualità e sul comfort dell'interazione [4, 23]. L'idea è quella di riuscire a identificare una serie di aree a cui un'interazione può avvenire e, per ognuna di queste, stabilire una serie di pattern comportamentali da seguire, in modo da garantire il massimo comfort da parte del proprio interlocutore. Nonostante ci siano state alcune differenze nella divisione delle distanze

sociali, il vasto consenso è quello di individuare 4 zone primarie: intimate, personal, social e public.

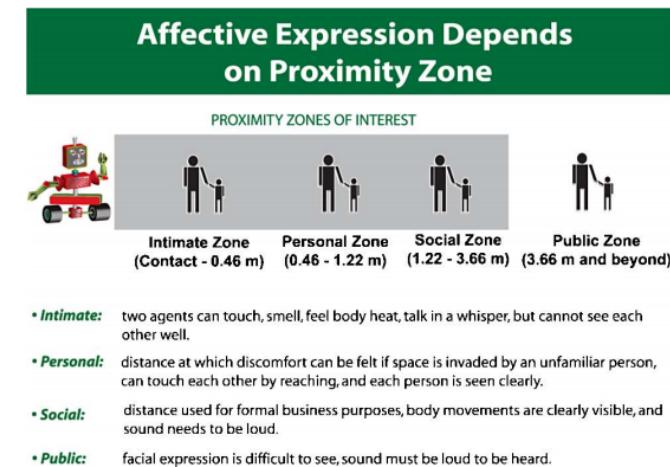


Figura 2.12: Elenco e dettaglio delle aree di prossimità

Ulteriori studi [22, 21] sono stati eseguiti al fine di individuare quale area garantisce una migliore interazione e hanno dimostrato che gli individui sono più a loro agio se l'interazione human-robot avviene nella social zone, anche se questa cosa dipende molto dalla velocità di movimento del robot. Intuitivamente, l'individuo gode di un maggiore comfort se il robot percorre le distanze spaziale con una certa lentezza. Inoltre, le ricerche evidenziano come non ci sia alcuna differenza in termini di comfort se l'individuo si trova in piedi o seduto. La cosa più importante è determinare il miglior metodo di espressione affettiva da usare in ogni zona per assicurare un buon livello di comfort dell'individuo durante un'interazione sociale con il robot. La distanza spaziale durante un'interazione rappresenta il punto di partenza di tutta l'analisi comportamentale ed espresiva, poiché da esse dipendono una serie di altri elementi, come il movimento del corpo, la postura, l'orientamento, i suoni e i colori. La distanza di interazione può essere vista come un vincolo sugli elementi appena citati, in quanto, ad esempio, tanto più essa si riduce minore sarà l'insieme dei movimenti concessi. Dunque la distanza tra due soggetti durante un'interazione rappresenta un elemento chiave affinché tutti siano a proprio agio e possano compiere le azioni concesse in totale naturalezza. Inoltre, essa fornisce il giusto comfort e una sensazione di sicurezza e protezione e per questo motivo è fondamentale garantirne il totale rispetto. Per gli scopi della nostra analisi, verranno prese in considerazione solamente le prime 3 aree, escludendo quindi l'interazione che avviene nella zona pubblica.

### Movimento del corpo, postura ed orientamento

Alcuni autori [18, 13, 9] ritengono che dai movimenti del corpo e dalla postura si possono rivelare molte informazioni sullo stato affettivo attuale di un individuo, rispetto a quanto possa fare un'espressione facciale o una comunicazione verbale. Le loro ricerche suggeriscono che i movimenti del corpo e la postura sono i metodi più primitivi e basilari per la trasmissione affettiva. Haering [17] discute dell'utilità di utilizzare il movimento del corpo, la postura e l'orientamento per capire e percepire delle risposte affettive da un individuo. [25, 13, 18] indicano che la postura e l'orientamento può indicare un apprezzamento, una sorta di interesse ed essere indice di un buon livello di comfort tra individui. Sulla base dei loro studi qualitativi e quantitativi, i principali parametri da valutare sono la vicinanza, i cenni della testa e l'orientamento diretto verso il proprio interlocutore. Inoltre si afferma dell'esistenza di uno stretto legame tra lo stato emozionale e la postura che una persona assume: diverse posture sono relative a diversi stati emozionali e, attraverso l'osservazione di un individuo, il loro stato emozionale può essere individuato dalla sua postura. Ad esempio, si afferma che i cambiamenti dell'orientamento di una persona possono essere percepiti come una sensazione di noia e, pertanto, che esiste il desiderio di una comunicazione ed una interazione discontinua.

Studi psicologici condotti da Argyle [1] hanno identificato 4 espressioni affettive che possono essere mostrate attraverso il movimento. Esse sono:

- Totale inibizione: allontanamento o movimenti inutili;
- Depressione: movimenti lenti ed esitati;
- Entusiasmo: fast, movimenti espansivi ed enfatizzati;
- Preoccupazione: continua agitazione o movimenti nascosti.

Nel mondo del computer science e della robotica, i movimenti, in particolare quelli del corpo, sono stati usati in molti robot da diversi autori, in quanto questi sono considerati elementi essenziali per una buona interazione e per la rappresentazione di espressioni affettive ad individui che stanno interagendo socialmente con un robot. Infatti, l'utilità di un corretto movimento, di postura ed orientamento è quella di creare un certo livello di fiducia e di non perdere l'attenzione dal proprio interlocutore. Inoltre, essi descrivono il fatto che gli individui sono più propensi a interagire con un robot mobile ed in movimento rispetto ad uno in una posizione fissa. Il giusto equilibrio tra movimenti, postura ed orientamento sono stati identificati come elemento che riescono a creare fiducia e comfort nell'interlocutore. A tal proposito gli studi che lo hanno dimostrato sono stati effettuati da diversi autori, tra cui in primis Dautenhahn [11]. Ogni movimento inteso come velocità e fluidità trasmette sensazioni; si pensi a movimenti rapidi rispetto ad altri lenti ed armoniosi. Discorso analogo per l'orientamento e la postura durante un'interazione human-robot: sono tanti i concetti che possono venire trasmessi semplicemente dando le spalle, girandosi in particolari momenti, fissando costantemente, alzando le spalle ed ingobbendo

la propria postura oppure allontanandosi dal proprio interlocutore. Tutti questi elementi sono fondamentali nel contesto dell'espressione emotiva.

### Colori

La manifestazione di concetti emotivi tramite colori rappresenta un fattore di importanza notevole che molto spesso è ignorato o sottovalutato. Si tratta di un canale sempre efficace e percepibile in ogni zona di prossimità, ad eccezione di qualche difficoltà quando la fonte del colore non si trova nel raggio visivo del destinatario. Nel mondo della psicologia, Argyle [1] ha trattato il tema dell'associazione dei colori alle emozioni, affermando che molto spesso i colori possono produrre una risposta affettiva. I colori hanno diversi significati emozionali e psicologici che di solito variano con le culture. La luce verso lo spettro rosso dei colori spesso si dice calda ed è associata con sensazioni emozionalmente positive. Invece, si dice fredda la luce dall'altro lato dello spettro (verso il blu) ed è associato ad una riduzione dell'intensità dell'emozione. Il sistema di rappresentazione dei colori si basa su tre coordinate HSB (Hue-Saturation-Brightness), che indicano rispettivamente la tonalità, la saturazione e la luminosità.

1. **Tonalità** La relazione colori – risposta affettiva condivisa all'interno della comunità psicologica è la seguente:
  - *Rosso*: rabbia, affetto, amore;
  - *Blu*: calma, tranquillità, sicurezza, tenerezza;
  - *Giallo*: allegria, goia, gioialità;
  - *Arancione*: disturbo, ostilità, sconvolgimento;
  - *Viola*: tristezza, depressione;
  - *Verde*: piacevolezza, autocontrollo;
  - *Nero*: tristezza, ansia, paura;
  - *Bianco*: gioia, leggerezza, neutralità.
2. **Luminosità** Le emozioni risentono della luce e in particolare le luci luminose intensificano le intensificano, rendendo il colore più caldo, indipendentemente dal tipo di emozione. Una bassa luminosità non rimuove l'emozione ma la conferma e la mantiene stabile e ferma. Per evidenziare come la luminosità influenza gli essere umani, si può pensare al fatto che si tende a prendere le decisioni più razionali in ambienti poco luminosi e, sempre in tali ambienti, è più facile andare d'accordo con altri in una negoziazione.
3. **Saturazione** Per saturazione si intende la purezza del colore e quindi il quantitativo di bianco-nero che viene aggiunto al colore stesso. Anche la saturazione ha un impatto importante sull'emozione che si trasmette, con colori più saturi che portano ad un ampliamento delle emozioni mentre colori più muti portano ad un attenuamento delle stesse. Questo

non significa che in assenza di saturazione non è possibile le trasmissioni di emozioni: si pensi, ad esempio, ad immagini monocromatiche che senz'altro evocano emozioni ma per motivi diversi, come i soggetti o semplicemente dal contrasto dentro l'immagine stessa.

Un'ultima considerazione riguarda il fatto l'interpretazione del colore e della sua percezione varia anche in base a fattori culturali. Quanto detto finora è valido per la cultura occidentale, mentre in altre potrebbe non essere così. Alla luce di ciò, è possibile creare diversi effetti che possono influire il modo di pensare, di percepire e di decidere della gente. Per aggiungere potenza a un display promozionale, basta aumentarne la luminosità, mentre per calmare qualcuno agitato, lo si può portare dentro una stanza poco illuminata, in modo da poter parlare tranquillamente con lui.

### Suoni

Il suono è il canale trasmissivo per eccellenza, quello su cui si basa la comunicazione verbale tra individui e quello che, se non disturbato da altri rumori, è percepibile in tutte le zone. Nella comunità psicologica, la ricerca relativa all'uso non verbale del suono è stata associata allo studio della comunicazione animale, poiché si tratta di un metodo primitivo per veicolare affetti tra animali. [1]. Basti pensare ai suoni emessi da animali, come forti stridii per indicare uno stato di sofferenza, o ringhi per indicare rabbia, oppure semplicemente versi per la comunicazione con altri simili [4]. Passando all'uomo, invece, gli studi condotti sui suoni non verbali relativi ad espressioni affettive riguardano i pattern vocali e il tono di voce. A tal proposito si afferma che questi ultimi possono essere usati per esprimere emozioni e che è possibile riconoscere l'espressione affettiva anche senza aver letteralmente compreso il messaggio. Si pensi banalmente a quando un animale domestico comprende il fine ultimo di un messaggio che gli rivolgiamo basandosi unicamente sul pattern vocale e sul tono adottato. Concludendo, i segnali vocali sono indicatori di alcune emozioni, esattamente come le espressioni facciali.

Nella comunità robotica il suono è usato come un metodo supplementare di espressioni affettive, ma ciò risulta molto difficile da implementare universalmente, in quanto anch'esso è strettamente legato alla cultura. Tuttavia alcuni parametri possono essere identificati:

- *Felicità*: tempo veloce, variazioni moderate nei tempi, volume da moderato ad alto, attacco di tono veloce, timbro brillante, leggera o nessuna vibrazione;
- *Tristezza*: tempo lento, basso livello sonoro, attacco di tono lento, lenta e profonda vibrazione, timbro morbido, intonazione piatta;
- *Rabbia*: tempo veloce, alto livello sonoro, attacchi di tono molto forti, timbro acuto, toni distorti;

- *Paura:* grandi variazioni di tempo, grandi deviazioni di tempo, livello sonoro molto basso, grande variazione dinamica, vibrazioni veloci ed irregolari, pause tra frasi e spettro morbido.

Balkwill et al. [3] hanno discusso e dimostrato tramite esperimenti quantitativi che esiste una forte associazione tra musica ed emozioni. I risultati dei loro esperimenti quantitativi indicano che è possibile riconoscere emozioni come felicità, rabbia e paura utilizzando degli opportuni segnali acustici tipici di quella specifica cultura.

Quindi, in un dialogo, talvolta, l'intonazione delle parole o del discorso è un elemento che può essere anche più importante delle stesse parole pronunciate. È fondamentale prestare molta attenzione a questa cosa. Inoltre, la musica è un ottimo modo per la trasmissione di emozioni e sensazioni.

### In conclusione

Il movimento del corpo può essere liberamente effettuato nelle zone personal e social, mentre va limitato se non azzerato nell'area intime a causa della troppa vicinanza che può portare ad una situazione di disagio per l'altro soggetto. L'orientamento del corpo e la postura sono due concetti percepibili ed efficaci in tutte le zone.

Stesso discorso vale per i colori: essi sono percepibili in tutte le zone in base e veicolano concetti diversi in base alla propria tonalità, luminosità e saturazione. A questo proposito l'unica accortezza è di evitare manifestazione troppo intense in zone ristrette perché possono trasformarsi in effetti di disturbo e far nascere situazioni di totale disagio.

Infine, per quanto riguarda il suono, si tratta del canale più appropriato nelle zone intime, personal e social. Nella zona social, in relazione al suono emesso, bisogna anche valutare il possibile rumore di sottofondo ed eventuali disturbi sonori provenienti dall'ambiente che possono alterare il messaggio, il contenuto o il particolare carattere espressivo che si intende trasmettere.

Per ulteriori dettagli si faccia riferimento alla seguente tabella 2.13 che riassume schematicamente l'efficacia dei canali trasmissivi in base alle distanze a cui avviene l'interazione.

Appropriateness of Non-Facial and Non-Verbal Affective Expressions by Proximity Zones			
Affective Expression Non-Facial and Non-Verbal	Proximity Zones		
	Intimate (contact - 0.46 m)	Personal (0.46 - 1.22 m)	Social (1.22 - 3.66 m)
Body Movement	Full body not visible at this distance	Small to medium movements	Large or exaggerated movements
Posture	Full body not visible at this distance	Postures visible at this distance	Exaggerated postures visible at this distance
Orientation	Orientation visible at this distance	Orientation visible at this distance	Orientation visible at this distance
Illuminated Color	Low intensity, dependent on small size to be visible	Medium to bright intensity	Bright intensity
Sound	Low to medium volume	Medium to loud volume, dependent on background environmental noise	Not audible, due to background environmental noise
Legend: <input type="checkbox"/> Appropriate at this distance, <input checked="" type="checkbox"/> May be appropriate at this distance, <input checked="" type="checkbox"/> Not appropriate at this distance			

Figura 2.13: Efficacia dei canali trasmissivi rispetto alla distanza



# Capitolo 3

## Requisiti

### 3.1 Stakeholders

Il termine stackeholder indica l'insieme delle persone che in modo diretto o indiretto sono interessate al sistema, in quanto con esso vi interagiscono o in qualche modo ne sono modo influenzati. Essi sono suddivisi in utilizzatori finali e parti interessate. I primi interagiscono direttamente con la tecnologia, mentre i secondi non la utilizzano direttamente, ma possono trarre dei benefici dalla stessa.

**Stakeholders primari** sono:

- *Bambini con autismo*: bambini autistici con diagnosi di funzionamento sia alta che bassa.
- *Terapisti/clinici*: professionisti che lavorano con bambini autisti; in questa categoria possono rientrare medici, terapisti occupazionali, fisioterapisti, logopedisti o altri professionisti del settore sanitario.
- *Educatori*: sono coloro che insegnano o sono coinvolti nella formazione degli studenti con autismo nelle scuole (pubbliche o private); si fa riferimento a insegnanti, amministratori, personale della scuola, etc.
- *Famiglia*: include chi non è un professionista ma si prende cura e sostiene una persona con autismo; può dunque includere genitori, fratelli, altri parenti, amici, volontari, etc.
- *Peers*: altri adulti o bambini non facenti parte delle precedenti categorie e che sono pari alle persone con autismo; può comprendere sia gli individui neurotipici, sia quelli con autismo o con altri disturbi cognitivi.

**Stakeholders secondari** sono:

- *Università/ricercatori*: chiunque intenda raccogliere dati e condurre studi in merito all'applicazione della tecnologia a scopo educativo su persone con autismo.
- *Ospedali/cliniche*: qualsiasi tipo di struttura che voglia prendere parte al progetto, provare il sistema con bambini autistici e raccogliere alcuni dati.

### 3.2 Studio esplorativo e sperimentazione

Nell’ambito del contesto Polisocial, il progetto KROG rappresenta una realtà concreta da diversi anni. Il robot sviluppato è già stato descritto nel precedente capitolo (sezione 2.3.2) e, da diverso tempo, è al centro di una sperimentazione con soggetti con ASD presso il C.D.D Sacro Cuore della Fondazione Istituto Sacra Famiglia ONLUS di Cesano Boscone, a Milano.

Il Centro Diurno per persone Disabili (CDD) è un’unità di offerta semiresidenziale appartenente al Sistema Socio Sanitario Regionale, deputata all’accoglienza di persone disabili gravi con un’età superiore ai 18 anni e, di norma, fino ai 65 anni.

Nel periodo che va da Novembre 2015 ad Aprile 2016 è stata svolta una sperimentazione della tecnologia con persone con disabilità (4 adulti e 3 bambini esterni al centro), strutturate nel seguente modo:

- Test preliminare
- Sperimentazione con schede di valutazione fatte dai terapisti, svolta per 2 volte a settimana, in sessioni da 20 minuti a persona, per un totale di 3 soggetti a sessione
- Test finale

Ho seguito in prima persona l’avanzamento della sperimentazione e questa esperienza mi ha permesso di osservare con spirito critico l’applicazione della tecnologia, al fine di individuare pregi e difetti e trasformarli in nuovi requisiti per la futura versione emotiva. La mia presenza al centro era di 1 sessione alla settimana per tutti i 6 mesi in cui essa si è svolta; il ruolo ricoperto consisteva nell’aiutare i terapisti a svolgere correttamente la sessione giornaliera e, soprattutto, osservare continuamente l’applicazione della tecnologia.

In particolare, i miei compiti erano:

- liberare la stanza e creare lo spazio per l’interazione di gioco;
- settare l’ambiente di gioco (accensione pc, robot, controller, testing corretto funzionamento) ;
- avviare la registrazione sulle due telecamere usate per riprendere la sessione, una frontale e una posteriore;
- monitorare le 3 sessioni giornaliere, gestire il controller xBox, aiutare i terapisti e soprattutto osservare l’intero sistema;
- conclusa la sessione, eseguire eventuali controlli di routine sul robot;
- compilare il report relativo alla sessione appena svolta, inserendo oltre ai dati relativi al giorno, agli utenti e ai terapisti presenti, un’abbondante descrizione delle sessioni conclusive, evidenziando eventuali particolarità degne di nota;

- scaricare i video dalle telecamere al computer;
- risistemare la stanza come era inizialmente.



Figura 3.1: Ripresa posteriore e frontale di una sessione con adulto: terapista aiuta verbalmente il soggetto nella scelta della risposta corretta

Durante ogni sessione, i terapisti erano in possesso di una scheda di valutazione su cui venivano segnate le risposte corrette e alcune osservazioni. Insieme alla valutazione preliminare e a quella conclusiva, tutti questi dati consentono di delineare il percorso e i miglioramenti fatti dal singolo soggetto ed avere un significativo contributo in merito ai benefici dell'applicazione della tecnologia su soggetti con disabilità intellettive. Un'altra importante fonte informativa è rappresentata dalle analisi e dalle considerazioni dei terapisti del centro, che conoscono più di chiunque altro le persone autistiche e riescono a percepire i maggiori limiti della tecnologia attualmente in uso. Infine, l'osservazione e la partecipazione diretta alle sessioni mi hanno consentito di sviluppare alcune personali considerazioni, che rappresentano anch'esse un'importante punto di partenza. La combinazione di tutti questi elementi (risultati sperimentazioni, osservazioni terapisti, osservazioni personali) rappresenta l'input del processo di identificazione e validazione dei requisiti, che verrà discusso nella sezione 3.3.4.

Veniamo ora alla descrizione dettagliata di quanto emerso con la sperimentazione, partendo dai risultati della sperimentazione

### 3.2.1 Risultati sperimentazione

Al termine della sperimentazione è stato chiesto ai terapisti di trarre le conclusioni, fornire delle loro personali valutazioni ed opinioni in merito all'intera sperimentazione e ai benefici che, secondo loro, hanno ottenuti i singoli pazienti. Le seguenti considerazioni sono state scritte in prima persona dai terapisti.

#### Risultati adulti

“La situazione emersa con gli adulti è stata in particolar modo una sorpresa. L'utilizzo di Teo con loro funziona. È risultato essere più motivante se comparato al programma Fare o alle attività svolte ‘a tavolino’.

Ad esempio Sergio, è apparso motivato ed ha raggiunto grossi risultati di miglioramento, nonostante la sua sia stata una situazione un po' particolare dato che nel periodo della sperimentazione ha dovuto affrontare numerosi cambiamenti

dovuti a fattori esterni che hanno influito negativamente nelle sue abitudini quotidiane. Anche con Enrico si hanno avuto ottimi risultati, essendo un adolescente è quello che più di tutti ha apprezzato Teo volendo capirne anche il funzionamento. L'altra motivazione ha portato ad un aumento dell'attenzione. Basti pensare che inizialmente durante l'attività voleva uscire dirigendosi verso la porta. Situazione questa che è andata a migliorare di sessione in sessione. Il gioco di shape è risultato essere un'attività forte sia dal punto di vista della coordinazione oculo-motoria, sia per la relazione e il contatto con gli altri. Inoltre la permanenza di Teo al centro diurno è risultato essere un motivatore ed un rinforzo anche per i pazienti del centro non facenti parte della sperimentazione ma comunque incuriositi e attratti da esso. Altro fattore importante: si sono divertiti durante le attività con Teo.”

### Risultati bambini

“I grossi miglioramenti sono emersi anche con i bambini. Tuttavia i bambini della sperimentazione sono comunque piccoli (3-4 anni) e le attività hanno richiesto un intervento maggiore da parte del terapista, da sottolineare però che l'intervento in questo era per lo più di prompt ad interagire, di inizio a relazionarsi con Teo. Questo può essere dovuto anche all'altezza di Teo essendo esso alto più o meno come loro.

Un risultato particolarmente ottimo si è avuto con Alessandra: si è affezionata a Teo, lo voleva e le piaceva. A testimonianza di questo il fatto che chiedesse di Teo anche a casa in ambito familiare. Lo stare con Teo e le attività con esso svolte hanno portato ad una diminuzione delle stereotipie che la bambina ha con le mani. In generale con i bambini sembrano esserci stati risultati più incisivi rispetto che con gli adulti, ma bisogna tenere presente che i bambini, in quanto tali, hanno una capacità di apprendimento più “elastica” quindi è più facile con loro fare attività volte ad apprendere concetti nuovi.”

### Risultati oggettivi

Dopo aver mostrato i commenti dei terapisti al termine della sperimentazione, si presentano di seguito alcuni risultati oggettivi.

I grafici in figura 3.2 si riferiscono alle attività ”Accoppia colori” e ”Associa quantità-numero” per 3 pazienti adulti. Si evidenzia come l'utilizzo della tecnologia Teo abbia portato dei benefici ed abbia aiutato i soggetti della sperimentazione a fornire risposte esatte, rispetto alla stessa attività svolta senza strumenti tecnologici. Pertanto, viene mostrato l'andamento delle risposte corrette fornite in 11 sessioni con e senza Teo. Si spiega ora brevemente in cosa consistono i due giochi e come sono svolti con il robot e senza di esso. ”Accoppia colori” prevede che al paziente venga mostrato un oggetto colore (cartoncino, ad esempio) e gli si chiede di identificare ”quello come questo” tra un insieme di oggetti della stessa natura ma di colori differenti. Svolto senza Teo, il gioco avviene nel modo appena descritto, principalmente sfruttando oggetti cartacei e semplici. Se svolto con Teo, a schermo viene mostrato un cerchio colorato e, con la stessa consegna, il paziente dovrà premere il tasto del colore corrispondente sul cappello del robot. Il gioco ”Associa quantità-numero” si svolge mostrando al paziente un numero di oggetti (in genere inferiore a 5) e chiedendogli di

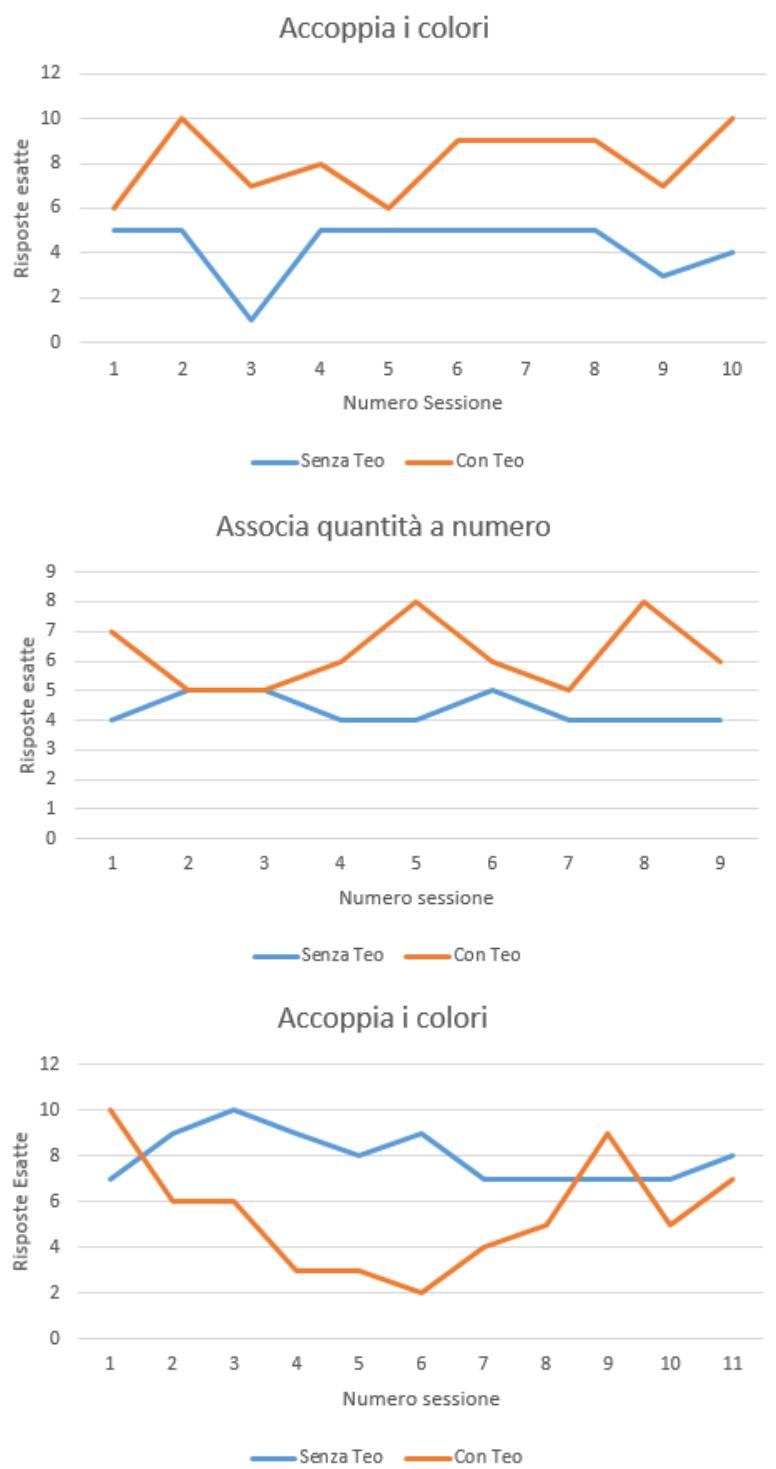


Figura 3.2: Confronto tra 10 sessioni svolte con e senza Teo

identificare la quantità ("Quanti sono?"). Senza Teo, il gioco viene svolto con oggetti fisici, mentre con il robot viene mostrato a schermo una figura con degli oggetti ben definiti e il paziente dovrà contare e rispondere, premendo il tasto sul cappello di Teo riportante il numero esatto.

Il problema che paleamente si evidenzia riguarda il numero ridotto di casi di studio. E' inevitabile che questi risultati non consentono alcun tipo di generalizzazione ma aiutano solo i ricercatori ad avere dei feedback importanti sul loro operato.

### 3.2.2 Osservazioni personali

Fin da subito ho maturato l'idea di mantenere il più possibile le attuali funzioni e il suo design del robot, e a questo integrare le nuove attività che sfruttano il concetto di emotività. Questa scelta è dettata dal fatto che ormai tutti i ragazzi del centro conoscono Teo e hanno già iniziato, ognuno in modo diverso dall'altro, un processo di familiarizzazione con esso. Cambiare il design e riproporre un altro robot può essere rappresentare un passo indietro per alcuni soggetti, oltre a essere una soluzione eccessivamente costosa in termini di tempo. Inoltre, i giochi attualmente presenti sul robot sono stati molto apprezzati dai terapisti, i quali li ritengono terapeuticamente utili per rieducare soggetti con autismo. Pertanto l'idea è quella di mantenere la fisionomia e i giochi attuali del robot, estendendo le sue funzionalità con l'introduzione di sensori/attuatori che permettano di gestire comportamenti emotivi.

Si passa ora all'analisi dei vari elementi e, per ciascuno, vengono discusse le mie personali osservazioni.

#### Faccia

Nel contesto dell'emotività, la possibilità di manifestare espressioni facciali differenti in funzione del contesto è certamente la caratteristica più importante in assoluto. La versione attuale del robot non tiene conto di questa cosa, ma usa delle facce magnetiche statiche (fig 3.3), intercambiabili solo manualmente. Dunque, è possibile modificare le espressioni e rappresentare diversi stati emotivi, ma questa cosa non è gestita autonomamente dalla tecnologia, bensì è il bambino stesso ad apporre e rimuovere le facce magnetiche a proprio piacere.

Quindi, si dovrà pensare ad un modo per gestire la modifica autonoma dell'espressione in base al contesto. Allo stesso tempo, però, dalla sperimentazione con i bambini è emerso che questa possibilità di gioco con le facce li aiuta molto a familiarizzare. Pertanto vorrei evitare di rimuovere totalmente la base magnetica attuale per le facce e piuttosto vorrei ottenere un giusto compromesso. Ad esempio, una possibilità consiste nell'utilizzare un metodo a strappo per permettere la facile rimozione della nuova faccia, qualora il terapista decida di far giocare il bambino nel modo descritto in precedenza.



Figura 3.3: Robot Teo: facce intercambiabili disposte su base magnetica

### Aspetto Fisico

Riguardo la fisionomia, risulta ottimo il fatto che Teo abbia una forma non antropomorfa e che sia un pupazzo. In questo modo riesce ad assumere un aspetto decisamente innocuo e allo stesso tempo buffo, semplificando notevolmente la fase di familiarizzazione. Ne è la prova il fatto che i bambini dello studio hanno avuto difficoltà nell'avvicinarsi ad esso solo nella prima sessione, mentre già dalla seconda hanno mostrato una maggiore tranquillità, superando le precedenti difficoltà. Idealmente, per ottenere un importante contributo sotto il piano dell'espressività, sarebbe opportuno riuscire a gestire movimenti della testa, a partire da semplici cenni a delle più complesse rotazioni. Purtroppo questa modifica ha una notevole complessità e non è implementabile in questa versione, sia in termini di costi economici che di tempi.

Un comportamento che, se opportunamente implementato e gestito, consente di ottenere importanti contributi dal punto di vista dell'espressione emotiva, è quello della respirazione. Ho pensato che potrebbe essere possibile sviluppare un meccanismo che simuli questo effetto tramite l'utilizzo di una sacca d'aria sulla pancia che, in base allo stato emotivo da simulare, sia in grado di gonfiarsi e sgonfiarsi con ritmi ed intensità diverse. Dopo diverse valutazioni e considerazioni, sono giunto alla conclusione che questa cosa è estremamente complessa da implementare, oltre a richiedere diverse modifiche alla struttura fisica di Teo.

Per quanto riguarda la presenza dei tasti sul cappello (fig 3.4): essi sono fondamentali per interagire con Teo, in particolare per quei soggetti che presentano difficoltà verbali. Pertanto, ritengo il cappello con i tasti uno strumento essenziale anche per la versione emotiva e la mia volontà è quella di mantenere questa struttura. Ho notato poca espressività per quanto riguarda i tasti sul cappello. Essi sono semplicemente dei tasti trasparenti con dentro un pezzo di carta colorato. Proporrei invece di usare dei tasti con una illuminazione LED, che ovviamente dovrà essere opportunamente gestita di intensità.



Figura 3.4: Un esempio di cappello con pulsanti

### Strumenti di controllo

Un elemento estremamente utile e che dovrà certamente essere implementato nella futura versione di Teo, possibilmente superando i vistosi limiti applicativi attualmente emersi, è il telecomando. Si tratta di uno strumento fondamentale per gestire situazioni di gioco in cui serve un'ottima reattività del sistema oppure quando si verifica qualche errore ed è necessario avanzare alla fase successiva del gioco senza perdere molto tempo. La versione attuale prevede due strumenti di controllo sul sistema: uno è una penna laser con un tasto utile per terminare l'attività in corso e fornire un reward, mentre l'altro è un joystick xBox (fig 3.5) con il quale è possibile muovere Teo.

Questa ridondanza di strumentazione presenta dei vistosi limiti:

- Il joystick xBox richiede necessariamente due mani per essere impugnato e, per tutta la durata della sessione, il terapista impugna la penna laser; dunque, egli non è in grado di gestire entrambi gli strumenti contemporaneamente e serve sempre il supporto di un terzo individuo, impegnato unicamente a muovere Teo tramite il joystick xBox.
- Rimanendo sul tema controller xBox, esso possiede due levette analogiche, 4 tasti frontali, una pulsantiera di frecce e 4 tasti disposti in posizione posteriore. Esiste una concreta ridondanza di elementi in quanto l'unico realmente utilizzato è una levetta analogica.
- Esiste una inutile ridondanza di strumenti: un controller xBox con un numero elevati di tasti (circa 16, di cui 1 realmente funzionante) ed una penna laser.
- Gli strumenti citati devono essere utilizzati da persone differenti, che non conoscendo i reali scopi dell'altro, attuano comportamenti differenti. In altre parole, la presenza di più persone che usano la stessa tecnologia si traduce nella possibilità di errori comportamentali e di sincronizzazione. Ad esempio, è capitato svariate volte che l'utilizzatore del joystick, non conoscendo le reali intenzione del terapista, muovesse Teo in una determinata direzione andando contro le reali volontà del terapista.



Figura 3.5: Un comune joystick xBox wireless

Da qui nasce la necessità di incorporare il tutto in un'unica tecnologia, usata unicamente al terapista, e di introdurre nuovi tasti e funzionalità di comando.

### **Audio**

Le considerazioni rispetto all'audio sono state immediate ed anche abbastanza intuitive. Fin da subito è emerso che la sorgente sonora deve essere Teo stesso e non il computer, né tantomeno lo schermo. L'attuale architettura di rete è centrata sul computer e il flusso di comunicazione è il seguente: Teo riceve il segnale di pressione di un tasto, notifica questo evento al pc, il quale riproduce un messaggio audio-visivo. Per fare in modo che il suono provenga dal robot è necessario riprogettare l'architettura di rete ed instaurare una comunicazione tra il computer e una cassa Bluetooth, alloggiata ad esempio sotto il cappello di Teo. Così facendo è possibile far capire al bambino la corretta sorgente sonora con lo scopo di consolidare con il robot il legame emotivo. Considero questo fatto un punto fondamentale che va assolutamente sviluppato nel modo corretto nella nuova versione emotiva.

Nel corso della sperimentazione ho osservato che durante il movimento di Teo viene prodotto un rumore che deriva dal suono generato dai motori, dall'attrito delle ruote e dagli encoder. Si tratta di un brusio che in soggetti con disabilità intellettive potrebbe causare un disturbo ed essere un fattore di distrazione dall'attività in corso di svolgimento. Per questo motivo bisognerebbe trovare il modo di eliminarlo e, nel caso in cui ciò non fosse possibile, ritengo importante ignorarlo totalmente invece di sfruttarlo come elemento sonoro aggiuntivo per la rappresentazione di stati emotivi. Ad esempio, un'idea poteva essere quella di tenere Teo fermo e far andare i motori, ottenendo un suono generato da vibrazioni che potesse essere associato ad una manifestazione di rabbia. Personalmente ho escluso questa scelta motivato dal fatto che ritengo l'interpretazione di questi suoni un concetto cognitivamente difficile da interpretare per persone che presentano disabilità intellettive.

### Striscia LED

Ulteriori considerazioni positive sono quelle relative all'utilizzo della striscia led che, durante il question game, si illumina con colori e intensità differenti, nel momento in cui viene premuto il tasto corretto. Anche la versione emotiva di Teo utilizzerà questo importante componente visivo e i parametri di colore, intensità e frequenza di lampeggio dipenderanno dallo stato emotivo di Teo in quel determinato momento. Inoltre, essi si baseranno sullo studio psicologico in merito all'associazione colore-emozione fatto nel precedente capitolo.

Durante diverse sessioni è emerso un aspetto negativo relativo all'utilizzo di una sola striscia LED. Il problema che si presenta è dovuto al posizionamento eccessivamente basso della striscia che viene resa totalmente inutile quando il soggetto è vicino al robot. Infatti si crea una situazione in cui la persona è a stretto contatto con Teo ed è totalmente concentrata o sul cappello o sul display; in questo modo, l'illuminazione della striscia ha un effetto totalmente vano e non viene percepita.

Per superare questa limitazione, la versione emotiva di Teo dispone di una seconda striscia LED disposta sotto il cappello. Bisogna però prestare attenzione all'utilizzo di effetti luminosi e della loro intensità a brevi distanze, poiché essi possono rappresentare un importante disturbo per la persona.

### Batterie LIPO

Le batterie utilizzate per alimentare Teo sono due e si tratta di accumulatori litio-polimero, meglio note come batterie Lipo. Vengono utilizzate una da 12V per alimentare i driver dei motori e una da 7V per l'alimentazione di tutti gli altri componenti. Essendo il polimero solido non infiammabile, le batterie Lipo sono considerate meno pericolose se vengono danneggiate e tendenzialmente hanno un peso inferiore e una carica energetica maggiore rispetto alle altre batterie. Questi sono i principali motivi che hanno portato al loro utilizzo su Teo. Nonostante i grandi vantaggi che esse portano, ci sono dei limiti che purtroppo emergono a seguito del loro continuo utilizzo. Generalizzando, si può affermare che sono più complesse da gestire e che tendono a degradarsi più facilmente. Queste sono esattamente le principali problematiche emerse durante durante la sperimentazione: le difficoltà nell'istruire i terapisti sui meccanismi e sulle tempistiche di ricarica, la tendenza a degradarsi se caricate male o se lasciate scaricare troppo, le difficoltà nella rimozione e inserimento sul robot a causa del modo in cui esse sono agganciate alla base. Per fare questo, si usa una fascetta di plastica a scatti, che avvolge la batteria, entra nella base metallica tramite dei piccoli fori e tiene i due elementi uniti. Questa struttura risulta vincolante e limita la rimozione della batteria. A quest'ultimo proposito, ho sostituito la fascetta con del velcro adesivo a tenuta forte, in modo da agevolarne la gestione.

L'idea è quella di trovare un nuovo tipo di batterie che possano essere usate per alimentare Teo senza incorrere in questi rischi e in tutti i problemi che possono derivarne. Un'altro lavoro possibile può essere quello di implementare un controllo software dello stato di carica delle batterie; ciò non è stato eseguito dal sottoscritto a causa dei tempi ridotti, ed essendo extra rispetto allo scopo della tesi, non gli è stata assegnata una priorità alta. Per quanto concerne

le sostitute delle Lipo, non sono riuscito a identificare il corretto modello che adempia a questo scopo soddisfacendo i requisiti di peso e carica energetica e, per tale motivo, ho utilizzato batterie Lipo anche nella nuova versione di Teo.

### 3.2.3 Osservazioni terapisti

Di fondamentale importanza sono soprattutto le osservazioni dei terapisti del centro che, più di tutti, conoscono questa realtà e ogni giorno sono a stretto contatto con persone con disabilità.

Lo scopo è capire l'opinione dei terapisti rispetto alla versione attuale di Teo e capire se essi hanno fatto le mie stesse considerazioni (in questo caso vengono avvalorate), se le ritengono errate (le mie valutazioni perdono di valore) e se ne fanno altre aggiuntive (da prendere in considerazione).

Le loro osservazioni su Teo sono di seguito riportate.

- L'idea che Teo non sia antropomorfo è risultata essere vincente. La forma "umana" del robot sarebbe stato motivo di confusione sia nei bambini che negli adulti, influendo quindi sulla capacità di avvicinarsi e relazionarsi con esso [20].
- Ottima l'adattabilità del software utilizzato. Ha permesso di avere una maggiore flessibilità nelle sessioni dal punto di vista delle attività da svolgere, personalizzandole in base alle esigenze e soprattutto al paziente.
- "Interattivo senza parole": Giocando sull'accoppiamento delle immagini, esiste la possibilità di avere un aiuto non solo verbale, ma soprattutto visivo (a schermo). Considerando le difficoltà di comunicazione della maggior parte dei pazienti (sia adulti che bambini), funzionano meglio le immagini rispetto alle parole in quanto più definite (in particolare con i pazienti autistici). [16]
- Le possibilità di personalizzazione, sia di quanto visualizzato a video sia del robot (nello specifico i pulsanti) ha permesso di creare situazioni che possano favorire il processo di generalizzazione. Uno degli obiettivi primari è proprio quello di lavorare sulla capacità di generalizzare i concetti appresi in altri ambienti e in altre situazioni. Da qui nasce l'importanza di un'attività continua e diversificata.
- Sia per gli adulti che per i bambini è emerso un miglioramento generale dovuto all'utilizzo di Teo e del sistema. In generale, per le attività al centro, l'obiettivo si considera raggiunto se il paziente arriva al 70% di risposte corrette; questo numero è giustificato dal fatto che si deve tenere conto dello stato emotivo del paziente al momento della sessione, il quale può dipendere da diversi fattori soprattutto esterni alle attività al centro. In genere, sono molto influenzanti i fattori familiari e ogni avvenimento legato ad un cambio di abitudini nella loro vita quotidiana.
- Per quanto riguarda i pulsanti, si apprezza che essi non siano digitali in quanto la personalizzazione con cartoncini è funzionali per le terapiste.

Bisognerebbe però aumentare le loro dimensioni, magari usando un cappello più grande che obblighi il paziente a svolgere un'azione di ricerca prima di rispondere. Il riferimento è a una sorta di calotta piramidale o guscio, come ad esempio i modelli Pinocchio o Calimero (fig 3.6).



Figura 3.6: I modelli dei possibili capelli alternativi: sulla sinistra il modello Pinocchio, sulla destra quello Calimero

- A proposito delle emozioni, il gioco delle facce è molto funzionale e sarebbe opportuno estenderlo e migliorarlo. Esso consiste nella possibilità da parte dei pazienti di creare su Teo un'espressione/emozione, sotto espresa richiesta dei terapisti o in base alle proprie preferenze. Inoltre sarebbe interessante se Teo stesso potesse mostrare emozioni ed espressioni diverse a seconda dell'utilizzo. Ad esempio, se il paziente dovesse colpirlo, Teo potrebbe diventare triste e allontanarsi, distogliendo l'attenzione da lui, mentre dovrebbe tornare indietro verso di lui, mostrando un rinforzo sociale, una volta che il paziente si sia calmato. Questa tattica è già adottata in maniera simile dai terapisti stessi con i pazienti. Infine, Teo potrebbe anche fare da modello di emozione per il paziente, in modo che quest'ultimo possa associare correttamente l'emozione ad un contesto.
- Un ultima considerazione va fatta in merito a Teo e al manuale fare: sarebbe opportuno svolgere un lavoro di integrazione delle attività con Teo rispetto a quelle presenti nel Fare. Una prima parte di integrazione è già stato fatto dalle terapiste e sarebbe ideale approfondire questa integrazione. In particolare, rispetto al manuale Fare, invece di replicare per intero le singole attività presenti in esso, sarebbe più opportuno selezionare una serie di pattern da utilizzare per creare le attività con Teo.

### 3.3 Obiettivi

Il fatto di aver seguito in prima persona la sperimentazione di Teo mi ha permesso di osservare la diretta applicazione della tecnologia attuale, potendo così analizzarne pregi, studiarne i difetti ed infine capire come apportare i miglioramenti.

L'obiettivo primario della tesi è quello di introdurre su Teo il concetto di emotività, ovvero inserire in modo opportuno sensori ed attuatori che gli consentano di implementare dei nuovi comportamenti che lo rendano emotivo. Parallelamente a questo, la mia esperienza con la sperimentazione mi ha permesso di maturare l'idea che lo strumento attuale presenta dei limiti; essi riguardano principalmente la gestione della tecnologia da parte dell'operatore (terapista), valutata troppo macchinosa ed impegnativa e soprattutto l'insieme molto limitato di attività che è possibile svolgere con Teo.

Per questi motivi, sin dalle prime sperimentazioni seguite, ho gradualmente sviluppato l'idea di realizzare uno strumento di controllo (telecomando) utilizzabile dal terapista in modo chiaro, facile ed immediato che garantisca un controllo totale della tecnologia, bypassando gli eventuali tempi morti che inevitabilmente si creano. Inoltre, le funzionalità presenti su Teo sono state ripensate grazie alla collaborazione delle terapiste del centro e mappate sulla base del "Manuale Fare" (sezione 4.1), inserendo nuove attività legate al concetto di emotività. Inoltre, l'idea è sempre stata quella di realizzare un sistema scalabile, riutilizzabile e riprogrammabile, in modo da favorire la massima flessibilità per lavori futuri.

Dunque, gli obiettivi che mi sono posto sin dall'inizio sono i seguenti:

- Maggiore accuratezza nella gestione della tecnologia, fornendo al terapista uno strumento di controllo diretto, chiaro, facile ed immediato;
- Estendere il limitato set di attività previste dalla precedente versione con delle nuove attività basate sul Manuale Fare, attivabili tramite il telecomando ed eseguibili continuamente;
- Introduzione del concetto di emotività ed implementazione di comportamenti emotivi durante le attività, finalizzati alla trasmissione delle emozioni;
- Riprogettare il sistema in modo che sia scalabile, soprattutto per quanto riguarda l'hardware su Teo.

### 3.4 Analisi dei requisiti

Si può ora stilare la lista dei requisiti, ovvero tutte le specifiche relative alle funzionalità, ai servizi, alle modalità operative e di gestione del sistema realizzato. I requisiti raccolti sono stati divisi in tre categorie: comportamentali, tecnici e di design.

#### Requisiti Comportamentali

- Deve disporre di un insieme finito di emozioni, essere in grado di manifestarle e poter passare da una all'altra in base a ciò che percepisce dai suoi sensori e ai comandi che riceve dal terapista.
- Le emozioni che deve manifestare sono gioia, tristezza, rabbia e paura.
- Per poter manifestare comportamenti emotivi, Teo dovrà obbligatoriamente disporre di:
  - **Faccia:** deve possedere una faccia variabile in base all'emozione che intende simulare. Inoltre, deve poter rappresentare un insieme ben definito di espressioni, ciascuno corrispondenti ad una ed una sola emozione.
  - **Movimento:** deve essere capace di muoversi e ruotare, in modo autonomo o, alternativamente, comandato.
  - **Sensibilità al contatto:** deve essere sensibile al contatto e alla sua intensità in zone significative, cioè pancia, faccia e schiena. L'interazione tramite contatto è particolarmente importante per chi ha difficoltà verbali.
  - **Voce ed udito:** deve essere in grado di parlare e di ascoltare ciò che gli viene detto. Questa si traduce nella capacità di riprodurre suoni, di riconoscere dei messaggi vocali ed eventualmente di simulare un dialogo. Inoltre, deve anche capire da che direzione proviene la voce del suo interlocutore.
  - **Vista:** essere in grado di “vedere”, sapersi orientare nello spazio, conoscere la posizione del suo interlocutore, valutare le distanze sociali e muoversi (corpo e occhi) di conseguenza.
- Deve mantenere i giochi già presenti su Teo1 ed in più integrare le attività legate all'emotività
- Il meccanismo di reward deve essere chiaro e ben definito; il reward deve essere manifestato con uno stato emotivo tra felice, triste o arrabbiato
- Teo deve subito capire se è stato picchiato, spinto o ribaltato.
- I rumori provenienti da motori e ruote vanno eliminati; se ciò non dovesse essere possibile, allora dovranno essere ignorati

### Requisiti d'interazione

- Con il telecomando il terapista può comandare Teo, muoverlo usando il joystick presente sul telecomando, navigare nel menu, iniziare un'attività a scelta tra quelle impostate, visualizzare sul display l'attività attualmente in corso e scegliere delle facce tra quelle disponibili. Il terapista può anche decidere di terminare l'attività anzitempo cliccando l'apposito tasto presente sul telecomando
- L'audio deve provenire da Teo stesso e non da casse dislocate altrove nella stanza, nè tanto meno dallo schermo. Quindi Teo deve disporre di una cassa Bluetooth al suo interno
- Devono esserci diverse attività con Teo, basate sullo sfruttamento dei sensori disponibili e mappate sul manuale fare (si veda sezione 4.1).
- Le emozioni devono anche essere rappresentate tramite l'associazione con i colori emessi dalle strisce LED.
- Il telecomando deve permettere il controllo immediato di Teo
- L'interazione deve avvenire in uno spazio completamente libero e grande almeno 3m x 3m

### Requisiti di design

- Il design del telecomando deve essere ergonomico e consentirne l'utilizzo con una sola mano.
- Teo deve essere non antropomorfo, deve avere un aspetto innocuo e deve permettere una facile familiarizzazione.
- Deve avere un cappello con una serie di tasti fisici (non touch e neanche led) contenenti dei cartocini intercambiabili che il terapista può facilmente personalizzare in base a ciò che ritiene più opportuno.
- Le dimensioni Teo devono rimanere inalterate: è alto 60cm, ha una circonferenza alla base di 40cm circa.
- E' necessario cucire internamente delle tasche per poter contenere i sensori di contatti.
- La faccia magnetica attuale non deve essere rimossa, bensì solamente coperta con la una matrice LED, in un modo che ne consenta la facile rimozione.
- Una volta applicata la matrice LED, essa dovrà poi essere ricoperta da un tessuto bianco che sappia produrre un effetto dispersivo della luce. Dunque, non si vuole avere un volto puntiforme bensì omogenea.

- Sulla schiena devono essere presenti 2 tasche per altrettante strisce sensitive FSR, le quali vanno distanziate l'una dall'altra di circa 15 cm.
- Sulla pancia devono essere cucite 3 tasche che consentano l'inserimento dei 3 sensori sensitivi FSR quadrati.
- Sul bordo del cappello va fissata una seconda striscia LED, in aggiunta a quella già presente sulla base.
- I tre sound sensor devono essere disposti sul cappello ai vertici di un triangolo equilatero ed orientati con il sensore indirizzato verso l'esterno.

### **Requisiti Tecnici**

I requisiti tecnici sono stati divisi in Telecomando, Teo e Ulteriori Requisiti. Per i primi due è stata fatta una divisione in 3 categorie, ovvero Hardware, Software e Altro.

#### 1. TELECOMANDO

##### **Hardware:**

- Microcontrollore: Arduino Micro (Atmega32U4)
- Display OLED SSD1306 128x64 , comunicazione I2C
- Bluetooth HC-05
- Modulo Joystick per Arduino
- Un numero N di tasti per arduino dipendenti dalle scelte di design effettuate (sezione 4.2)
- Interruttore ON/OFF
- Pila 9V

##### **Software:**

- Arduino IDE 1.6.1 (requisito minimo)
- Librerie necessarie: U8glib, SoftwareSerial, SerialCommand.

##### **Altro:**

- Il telecomando deve essere scalabile e facilmente programmabile, quindi deve essere possibile estendere le funzionalità e aggiungere nuove attività.
- Il telecomando comunica tramite Bluetooth con Teo, il quale interpreta i comandi e agisce di conseguenza.

## 2. TEO

### **Hardware:**

- Hardware di Teo deve essere modulare: in particolare, devono avere 4 circuiti stampati (detti PCB) indipendenti collegate tra loro con appositi connettori. Ogni PCB rappresenta un modulo e nel complesso sono: *Modulo Arduino*, *Modulo Componenti*, *Modulo Motori*, *Modulo Superiore*. I moduli devono essere estendersi sfruttando tutto lo spazio disponibile sotto la calotta che protegge la base. Nel caso in cui lo spazio non fosse sufficiente, si dovrà procedere alla loro stratificazione. Nel dettaglio, tre di essi sono sullo stesso piano (*Modulo Arduino*, *Modulo Componenti*, *Modulo Motori*) mentre il quarto è disposto a un livello superiore (*Modulo Superiore*).
- L'hardware deve essere realizzato su basette di rame e non con semplici saldature a stagno che con l'utilizzo possono rompersi.
- L'hardware deve essere scalabile: ogni componente può essere rimosso con facilità ed eventuali nuovi possono essere inseriti con facilità collegandosi ai pin arduino e di alimentazione riportati sul modulo alto.
- Microcontrollore: Arduino Mega 2560 (Atmega2560)
- #3 Driver Motore: MC33926 Motor Driver Carrier
- #3 Motore con Encoder: Metal Gearmotor 25Dx52L mm LP 6v with 48 CPR Encoder
- #3 Ruote omnidirezionali
- #1 Led Flexible Matrix 16x16 (WS2812B)
- #2 RGB led strip
- #4 FSR square, #3 FSR strip
- #3 Grove PIR Motion Sensor
- #3 Microfoni Grove Sound Sensor
- #1 Easy VR Shield
- #1 Accelerometro/Giroscopio MPU-6050 (GY-521)
- #1 Cassa Bluetooth
- #1 Modulo Bluetooth HC-06
- #1 Lipo 7V 2 celle, minimo 2000mAh
- #1 Lipo 11,1V 3 celle, minimo 2500mAh
- #1 Lipo Charger
- #2 Interruttori di accensione

### **Software:**

- Arduino IDE 1.6.1 (almeno).

- Librerie necessarie: SoftwareSerial, SerialCommand, Adafruit\_GFX, Adafruit\_NeoMatrix, Adafruit\_Neopixel, Statistic, Wire, MPU6050.

**Altro:**

- La cassa interna a teo deve essere una cassa bluetooth.
- La logica deve essere totalmente implementata on-board.
- Per riprodurre i messaggi vocali, Teo comunica al PC il proprio stato emotivo e il computer manda in riproduzione tramite Bluetooth la giusta traccia

### 3. ULTERIORI REQUISITI

Oltre ai requisiti appena specificati, ne esistono altri che riguardano l'affidabilità e i tempi di risposta del sistema. L'obiettivo è che la nuova architettura sia in grado di gestire la comunicazione in tempi estremamente brevi, in modo da garantire nel complesso una buona reattività e mantenere alti i livelli di concentrazione del terapista e soprattutto del bambino. Dunque, ciò che si vuole è che non venga manifestato alcun tipo di ritardo all'interno della comunicazione.

A proposito di disponibilità ed affidabilità, essi devono avere dei valori decisamente alti. L'idea è che lo strumento fornito debba dare la possibilità al terapista di concentrarsi unicamente sul bambino e non essere impegnato in operazioni di riavvio dell'attività corrente, nell'individuazione dei guasti o nel compiere eventuali controlli su strumenti del sistema per identificare il problema. Infatti, il verificarsi di uno solo di questi tre può compromettere notevolmente l'intera attività, a discapito del bambino e delle terapie fino a quel momento svolte.

Le analisi effettuate finora hanno fatto emergere una serie di requisiti che soddisfano bene il goal dell'emotività, ma che per diversi motivi sono considerati difficilmente realizzabili. Il motivo che spinge a questa conclusione è il costo eccessivo che, in termini economici o di tempi, queste soluzioni comportano.

In particolare si tratta di:

- Migliorare la qualità del movimento per garantire una maggiore espressività: si fa riferimento alla possibilità di gestire dei movimenti autonomi della testa come rotazioni o cenni e la possibilità di oscillare durante il movimento grazie all'utilizzo di particolari molle.
- Modificare il tipo di batterie usate, passando dalle attuali Lipo ad altri modelli che consentano una maggiore stabilità ed affidabilità.
- Sviluppare un controllo software sullo stato di carica delle batterie, in modo da limitare i problemi e le difficoltà nella loro gestione.

- Ripensare alla struttura e al design del cappello, ai tasti e alla loro disposizione sulla base dei consigli dati dai terapisti.
- Introdurre eventualmente delle mani o braccia non controllate.
- Gestire il meccanismo della respirazione per manifestare in modo più evidente lo stato d'animo corrente.
- Migliorare la qualità delle espressioni facciali usando due matrici LED, una per la bocca (8x32 pixels) e una per occhi e sopracciglia (16x16 o 16x32 pixels).
- Individuare altre zone significative ed introdurre ulteriori sensori di contatto FSR sul corpo, in modo da estendere la sensibilità al tatto di Teo e renderlo in grado di gestire interazioni più ampie.

Come già detto in precedenza, le soluzioni appena descritte non sono state implementate sia perché alcune necessitano di radicali modifiche a Teo e che pertanto risulterebbero eccessivamente costose in termini di tempo, sia per i costi economici esagerati di altre. Tuttavia, le considerazioni fatte finora possono tradursi in interessanti spunti per lavori futuri su una nuova versione di Teo.



# **Capitolo 4**

## **Design**

### **4.1 Manuale Fare**

Il Modello Superability (detto anche Manuale Sapere o Manuale Fare) è un documento che rappresenta un modello per le strategie di intervento sull'autismo. Il Modello Superability è definito come:

- Una tecnica abilitativa;
- Uno strumento di valutazione;
- Un complesso di strumenti di progettazione educativa/abilitativa;
- Un sistema per l'organizzazione di attività psicoeductive strutturate;
- Una modalità per l'organizzazione e lo sviluppo di risorse umane;
- La strutturazione di un ambiente fisico che faciliti i processi di apprendimento e di abilitazione;
- Una serie di procedure e protocolli finalizzati alla presa in carico di persone con disabilità mentale e delle loro famiglie;

Si tratta quindi dell'insieme di tutto ciò e si inserisce in un contesto flessibile ed adattabile ai bisogni individuali dei soggetti con disabilità. Punto forte del modello è la sua adattabilità: può infatti essere applicato e utilizzato in situazioni diverse (scuola, centri diurni, comunità alloggio, ecc) con differenti tipologie di autismo e con diverse fasce di età, senza perdere il suo livello di efficacia. Superability trae origine e congloba le strategie e metodologie del metodo cognitivocomportamentale.

L'idea che sta alla base del modello è la strutturazione di attività abilitative secondo un metodo scientifico che si fonda su parametri di efficienza ed efficacia. La procedura prevede che per ogni utente venga definito un programma di intervento tarato sulle sue specifiche caratteristiche ed attitudini, potenzialità e problematicità; dopo avere effettuata un'accurata diagnosi funzionale, le abilità mancanti o carenti diventeranno gli obiettivi abilitativi da perseguire

nei diversi contesti esistenziali, mentre le abilità presenti saranno la base su cui fondare l'intero trattamento. Come già stato detto nei precedenti capitoli, le nuove attività emotive implementate da Teo dovranno essere pensate e mappate su questo modello. In questo modo si è certi di introdurre comportamenti terapeuticamente utili, in quanto si seguono dei patterns individuati e definiti da esperti.

Nel dettaglio, il modello contiene raccoglie una serie di attività divise per aree (socializzazione, comunicazione, abilità verbali, comprensione verbale, produzione verbale e/o gesturale, abilità motorie, autoaccudimento, abilità cognitive, abilità logico-deduttive, abilità logico-matematiche, abilità di lettura e scrittura ecc) e se necessario anche per sub-area (requisiti cognitivi, ecc). Un esempio è mostrato in figura 4.1

<b>SOCIALIZZAZIONE</b>								
test	area	sub-area	fascia	abilità	sostegno verbale	criterio	supporto materiale	sostegno procedurale
5	2	2A	1	Mantiene lo sguardo fisso su una persona in movimento all'interno del suo campo visivo.		Mantiene lo sguardo su una persona in movimento, seguendola con gli occhi e girando la testa.	Genitori, parenti, educatori, amici, ecc...	Far camminare una persona all'interno del campo visivo del soggetto e osservare.
6	2	2A	1	Mantiene il contatto oculare con una persona che parla.		Guarda negli occhi la persona che parla per almeno tre secondi consecutivi.	Genitori, parenti, educatori, amici, ecc...	Parlare al soggetto guardandolo negli occhi e osservare. Osservare il soggetto nelle situazioni naturali.

Figura 4.1: Esempio attività modello sapere

Le aree del modello e le rispettive attività che interessano tutte le versioni della tecnologia Teo sono:

#### **Area: Socializzazione:**

- Mantiene lo sguardo fisso su una persona in movimento nel suo campo visivo;
- Mantiene il contatto oculare con una persona che parla;
- Ha espressioni che manifestano stati emotivi diversi in base al contesto;
- Saluta verbalmente e gestualmente su richiesta;
- Risponde verbalmente e gestualmente al saluto;
- Saluta in modo adeguato al tempo e alla situazione;
- Su richiesta esprime gestualmente il proprio affetto verso un'altra persona;
- Svolge attività di gioco collaborando con un pari;
- Collabora su semplici richieste;
- Risponde a domande di tipo sociale;

- Su richiesta cambia l'attività in corso.

**Area: Abilità Motorie:**

- Riconosce sugli altri (o se stesso) la faccia, gli occhi, il naso, la bocca, le orecchie;
- Riconosce sugli altri (o se stesso) la pancia e la schiena;
- Chiama correttamente le parti del corpo su se stesso, sugli altri e su una figura.

**Area: Abilità cognitive:**

- accoppia colori, le forme e grandezze;
- discrimina colori, le forme, il grande dal piccolo, il lungo dal corto, l'uguale dal diverso, il sopra dal sotto, il dentro dal fuori, il davanti dal dietro, la sinistra dalla destra, tanti oggetti da pochi oggetti;
- chiama i colori e le forme.

## 4.2 Attività

Le attività implementate nella nuova versione di Teo sono state pensate in collaborazione con le terapiste e mappate direttamente col manuale fare. Ciò significa che per ognuna di esse esiste un reale goal che esperti hanno valutato terapeuticamente utili per persone per disabilità intellettive.

### 4.2.1 Struttura del sistema

Prima di introdurre singolarmente le varie attività, è necessario mostrare come i vari soggetti interagiscono tra di loro all'interno del sistema (figura 4.2).

Come si può osservare dallo schema 4.2, l'interazione terapista-bambino avviene principalmente tramite i canali uditivi, visivi ed eventualmente tattile nel caso in cui si renda necessario un intervento fisico da parte del terapista.

Quest'ultimo è dotato di uno speciale telecomando bluetooth che funziona da strumento di controllo e consente di gestire il robot e le attività possibili. Il robot fornisce al bambino la possibilità di un'interazione uditiva, visiva, tattile e motoria; per poter riprodurre i messaggi vocali, il robot ha bisogno di comunicare tramite bluetooth con un computer, il quale processa i valori ricevuti dal robot e risponde mandando in riproduzione sulla cassa bluetooth presente su Teo, una particolare traccia scelta ad hoc dal terapista. In questo modo si vuole:

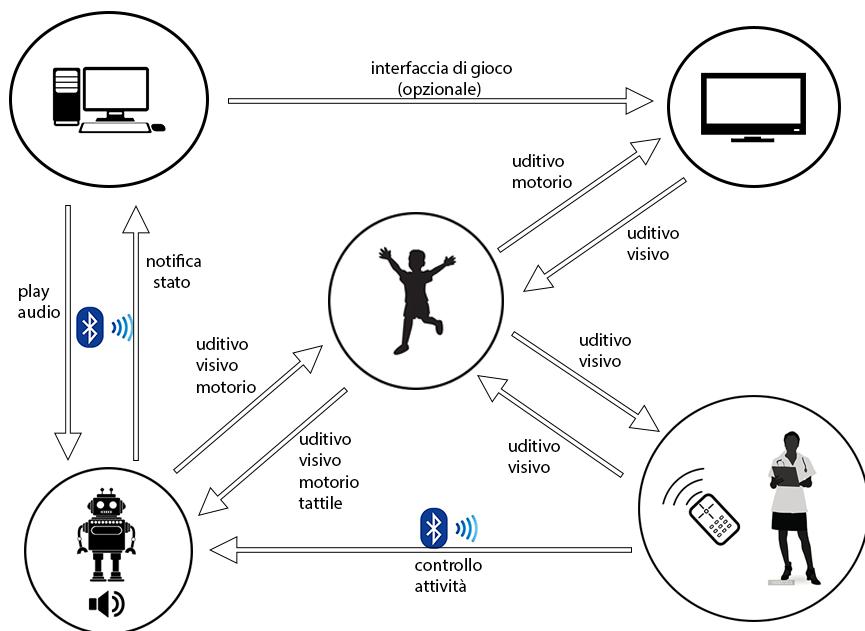


Figura 4.2: Diagramma di interazione

- fornire al terapista la possibilità di personalizzare le tracce da riprodurre, in base al soggetto coinvolto
- non limitarsi ad un set di messaggi vocali predefiniti

Infine, se si volessero eseguire i giochi previsti nella precedente versione del robot, è possibile che il robot interagisca con lo schermo.

### Considerazioni sul sistema

Rispetto alla precedente versione, l'architettura di rete è stata rivista e modificata; in particolare, si è deciso di omogeneizzare la natura della comunicazione, passando ad una basata totalmente sulla tecnologia Bluetooth. Dunque, non si sfrutterà più il modello eterogeneo della prima versione di Teo, che combina il modulo xBee con quello Bluetooth. Questa modifica architettonica ha il vantaggio di non portare cambiamenti a livello applicativo, poiché l'interfaccia dell'applicazione è rimasta la stessa. Ciò ha permesso di mantenere tutti i giochi sviluppati in precedenza e di decidere se utilizzare il robot in versione emotiva oppure nella versione di gioco precedente.

In merito all'architettura di rete vera e propria, si è scelto di non centrare la logica sul computer bensì sul robot. Questo perché ora è necessario gestire una quantità significativa di dati provenienti dai diversi sensori dislocati su Teo. Nel caso in cui avessimo mantenuto la struttura pc-centered, avremmo dovuto gestire il trasferimento di informazioni dal robot verso il computer, affinché essi

vengano processati, e, successivamente a questo, il seguente responso indicante la corretta attuazione. Come si evince da quanto detto, questa scelta risulta particolarmente dispendiosa e in un certo senso anche inutile; pertanto è stata scartata, a favore di una struttura robot-centered.

Nella soluzione adottata tutto si concentra sul robot: egli riceve direttamente i dati dai propri sensori, li processa, ne elabora un output e attua dei comportamenti in base alla logica di gioco.

Se però la cosa finisse qui, avremmo dei limiti sui messaggi vocali riprodotti, poiché sarebbero solamente quelli salvati sulla scheda di memoria del componente addetto alla riproduzione degli audio (MP3 player, fig 4.3). Saremmo limitati ad una serie di file audio in formato mp3, dunque tracce audio prestabilite, non personalizzabili ad hoc in base al bambino e alla situazione e modificabili solo tramite la rimozione fisica della scheda di memoria e l'aggiornamento della stessa.



Figura 4.3: Esempi di riproduttori MP3: a sinistra un modulo DF Player e sulla destra un SerialMP3 Player

Per ovviare a questa cosa e per fornire ai terapisti uno strumento totalmente personalizzabile e facile da gestire, si è scelto di sfruttare la tecnologia Bluetooth ed, in particolare, di usare una cassa Bluetooth invece del riproduttore mp3 altrimenti presente. Così facendo, è possibile l'esecuzione di tracce audio direttamente da pc, sfruttando per l'appunto una comunicazione Bluetooth tra il PC e il robot.

Ricapitolando, il flusso di comunicazione è il seguente: il robot analizza i dati che riceve dai propri sensori, li processa internamente e, oltre all'attuazione reale che andrà ad eseguire, elabora un output sotto forma di carattere o stringa. Questo output viene trasmesso al PC, il quale lo analizza e, in base a una logica prestabilita, riproduce la frase da pronunciare. Tale traccia è presente sul computer sotto forma di file audio o come frase da far pronunciare ad un sintetizzatore vocale. In questo modo si ha il vantaggio che la frase che Teo deve pronunciare in ogni situazione può essere scelta dal terapista prima di iniziare la sessione, sviluppando un sistema di dialogo ad hoc per ogni bambino.

### 4.2.2 Strumenti

Gli strumenti in gioco durante l'interazione sono:

- Telecomando
- Computer
- Kinect
- Monitor

Il PC, il kinect e il monitor sono strumenti presenti nella precedente versione di Teo e vengono preservati, in quanto si vuole introdurre nuove funzionalità senza privarsi di quelle già presenti. Dunque tutte le precedenti attività previste dal progetto KROG (question game, shape game, witch says color) rimangono invariate e non verranno nuovamente discusse in questa sezione.

Lo strumento ripensato e ridisegnato da zero è il telecomando, introdotto con queste particolari caratteristiche nel sistema per via delle motivazioni già ampiamente discusse nel capitolo precedente. In questa sezione l'attenzione poggia sul design fisico e sulla UX dello stesso.

#### Design del Telecomando

Il design del telecomando prevede che esso abbia un'impugnatura ergonomica che ne consenta il facile utilizzo. Il rivestimento esterno è realizzato con una stampa 3D di plastica di colore nero. Internamente è presente un circuito stampato di dimensioni ridotte e due regioni in cui risiedono l'arduino micro e il modulo Bluetooth. La pila da 9V è allocata in una apposita zona che ne consenta facilmente la rimozione e l'eventuale sostituzione.

Esteriormente, dovrà disporre di un piccolo display 128x64 pixel, di un joystick analogico e di una serie di pulsanti.

Il modo in cui questi elementi devono essere disposti e il tipo di interazione che si vuole fornire al terapista è stato oggetto di discussione per diverso tempo.

Per completezza, si mostrano prima gli obiettivi del telecomando e successivamente si elencano le diverse alternative di design, indicando solo alla fine quella adottata.

L'idea è quella di fornire al terapista uno strumento di controllo diretto ed immediato, che deve soddisfare due obiettivi:

- *scalabilità*: si vuole evitare una riprogettazione dell'hardware nel caso di estensioni future del robot e dell'introduzione di nuove attività. A questo proposito, il telecomando non deve essere basato e vincolato ad un numero fisso di tasti; si pensi ad uno strumento con 6 tasti, ciascuno corrispondente ad una attività e si pensi alle difficoltà nel momento in cui un giorno si decida di introdurne una settima. Questa cosa comporterebbe una ricostruzione dell'hardware, una riprogettazione del design e una serie di effort inutili.
- *una buona UX*: in particolare deve essere impugnabile in una mano, facile da gestire e non richiedere al terapista di distogliere eccessivamente lo

sguardo dal bambino durante l'uso. Ciò che si vuole ottenere è un uso dello strumento che sia il più possibile “a memoria”, o il più intuivo e veloce possibile per un terapista.

Chiaramente questi due gol sono in forte contrasto tra loro e non è possibile raggiungerli entrambi completamente. Le soluzioni di design proposte e oggetto di discussione nel corso del lavoro sono le seguenti.

### 1. Display con attività e menù a scorrimento:

Si sviluppa un menu a scorrimento verticale che contiene tutte le attività eseguibili con Teo. Sono necessari solo due tasti per lo scorrimento verso l'alto e il basso, un tasto per la conferma dell'attività scelta ed un ultimo tasto che consente di terminare l'attività in corso.

Il design previsto in questo caso vede il display in posizione alta centrale, affiancato dal tasto di conferma e da quello di conclusione attività; subito sotto si trova il joystick analogico per muovere il robot e I due tasti per la navigazione del menu sono disposti lateralmente, in modo da essere utilizzati con indice e medio durante l'impugnatura del telecomando.

Dal momento che si sviluppa l'interfaccia utente unicamente tramite il display, questa soluzione garantisce la massima scalabilità. Infatti, è possibile programmare un numero potenzialmente illimitato di attività e tutte possono essere raggiunte dopo uno scorrimento più o meno veloce del menu. Lo svantaggio di questo approccio è che inevitabilmente si compromette la UX del terapista, essendo quest'ultimo obbligato a distogliere spesso lo sguardo dal bambino per concentrarsi sul telecomando e ricercarcare l'attività desiderata.

### 2. N attività, N tasti:

Al contrario della precedente soluzione, questa prevede che il display serva unicamente come feedback e che le attività possano essere scelte tramite un numero definito di tasti. La struttura del telecomando sarà la seguente: display in posizione alta centrale, joystick analogico in posizione inferiore (come in precedenza) e un numero n di tasti, che rispecchiano le rispettive attività, disposti nel modo più comodo possibile.

Questa soluzione ha come punto di forza il fatto che il telecomando, se opportunamente costruito, garantisce un'ottima usabilità al terapista. Si riesce a raggiungere pienamente il goal relativo all'UX e l'operatore potenzialmente riesce ad usarlo senza distrarsi eccessivamente e concentrandosi principalmente sul bambino. Dal punto di vista della scalabilità, però, il goal non è affatto raggiunto perché, una volta realizzato l'hardware del telecomando, non è possibile aggiungere altre attività perché il numero di queste è strettamente legato al numero di tasti presenti sullo stesso. L'introduzione di una nuova attività significherebbe o una ricostruzione dello stesso. L'unica cosa possibile sarebbe la sostituzione di attività presenti con la nuova che si desidera introdurre.

### 3. Menù a navigazione con 4 attività:

Questa può essere definita una soluzione intermedia che cerca di ottenere

un giusto compromesso tra i due obiettivi, vista l'impossibilità di soddisfarli entrambi pienamente.

Il telecomando si presenta con il display nella solita posizione alta centrale, 4 tasti posizionati alle quattro estremità del display (lato sinistro alto, lato sinistro basso, lato destro alto, lato destro basso), il joystick analogico nella solita posizione inferiore e gestibile con il pollice e 2 tasti in posizione laterale-posteriore gestibili tramite indice e medio quando lo strumento viene impugnato.

Lo schermo del display è diviso in 4 regioni, ciascuna corrispondente ad una attività, ed è possibile attivare una specifica attività premendo il tasto associato a quella regione. L'uso dei 2 pulsanti laterali consente la navigazione alla prossima schermata, in cui verranno mostrate altre quattro attività, mentre il terzo pulsante serve per concludere l'attività in corso. Con questa soluzione, da un lato il sistema è totalmente scalabile e dall'altro l'interazione è certamente più immediata in quanto si riduce il numero di click rispetto al menu a scorrimento verticale. Infatti, all'accensione del telecomando sono mostrate 4 attività, ciascuna attivabile con il relativo tasto fisico disposto a fianco; navigando con le frecce si passa alla prossima schermata del menu che mostra altre 4 attività. Il caso peggiore è quello in cui l'attività scelta sia tra le ultime quattro della lista e, se n indica il numero delle totale di attività, servirebbero  $n/4$  click per arrivare alla schermata con l'attività desiderata e 1 click per attivarla, totale  $n/4+1$  click.

Nell'ultima soluzione si ha un controllo più immediato rispetto a un menu a scorrimento verticale e allo stesso tempo il sistema è scalabile. Per questo motivo è quella adottata.

In tutte le possibili versioni di design del telecomando, bisogna prevedere la presenza di un interruttore ON/OFF e di un pulsante che consenta di passare dalla versione emotiva a quella precedente con tutti i giochi sviluppati nel corso del progetto KROG. Per maggiori informazioni a questo proposito, si veda il paragrafo 4.2.3.

### **Modulo Joystick**

Dopo diverse analisi è emersa la necessità di introdurre uno strumento che consenta al terapista di attivare e disattivare il modulo joystick del telecomando, il quale consente il controllo manuale di Teo. La decisione deriva dal fatto che si vogliono evitare situazioni in cui inavvertitamente il modulo joystick venga toccato, causando un movimento non voluto del robot. In determinate circostanze, un simile effetto può portare effetti indesiderati, come l'alterazione del livello di comfort del bambino .

Si pensi ad un'interazione robot-bambino che sta avvenendo nella distanza personal (si veda capitolo 2): un tocco involontario del joystick può portare il robot ad avvicinarsi eccessivamente al bambino, invadendo il suo spazio personale e producendo effetti totalmente negativi nell'interazione.

Pertanto, la soluzione migliore è quella di abilitare il modulo solo quando il

terapista desidera comandare manualmente Teo. Per fare ciò, è necessario premere il joystick stesso e da allora esso risponderà ai movimenti fatti; concluso il tutto, basterà premere nuovamente e il modulo verrà disabilitato.

#### 4.2.3 Lista attività

Nonostante le modifiche all'architettura di rete, il livello applicativo non ha visto nessun cambiamento e questa cosa ha permesso di introdurre nuove attività e comportamenti emotivi, mantenendo i giochi delle precedenti versioni. In questo modo si sta migliorando un sistema, mantenendo ciò che effettivamente il robot è già in grado di fare ed introducendo una serie di nuovi comportamenti ed attività basate sul concetto di emozione.

Si rende opportuno discriminare tra questi due macrostati di Teo:

- *Game*: quando in questo stato, il robot viene usato esattamente come prima; sono disponibili i giochi del “Question Game”, dello “Shape Game” e lo “Strega comanda colore”.
- *Interaction*: questo è lo stato di interazione che sfrutta l'emotività ed I nuovi comportamenti emotivi introdotti su Teo.

Si ricorda che, tra le tante funzionalità, il telecomando permette di cambiare il macrostato.

Nel prosieguo dello studio si prenderà in considerazione solo il macrostato “*Interaction*”, in quanto il primo è esattamente la versione attuale di Teo e permette di eseguire tutti i giochi che sono stati già implementati nell'ambito del progetto KROG e discussi nel capitolo 2.

Di seguito sono elencate tutte le attività attualmente programmate ed eseguibili con il robot. Per tutte ad eccezione di quella Idle, sono indicati l'input di attivazione, lo stato iniziale, il goal, il flusso di gioco, la conclusione dell'attività, lo stato finale e il mapping con il manuale fare.

##### 1. Idle

Si tratta dello stato del gioco in cui Teo ha tutti i sensori attivi, reagisce agli stimoli esterni e il suo stato emotivo varia in base a ciò che senta.

In particolare, in questo stato sono attivi i sensori FSR, i sensori di distanza, i microfoni, la matrice e le strisce LED che consentono la manifestazione dello stato emotivo. Ad esempio, Teo è in grado di riconoscere la sorgente del suono e può ruotarsi in direzione della chiamata, ruotare semplicemente gli occhi o anche muoversi verso la sorgente sonora. Inoltre, basandosi sul contatto rilevato sui propri sensori, il robot modifica il proprio stato emotivo e i cambiamenti si manifestano con l'espressione facciale e le matrici LED, con dei pattern vocali e con dei movimenti appropriati a ciò che si intende simulare

##### 2. Riconosci emozione

- Canali trasmissivi: visivo

- Input: dal telecomando il terapista seleziona l'espressione desiderata
- Stato Iniziale: Teo assume l'espressione scelta
- Goal: capire e riconoscere l'emozione di Teo
- Game Flow: il terapista domanda al bambino com'è Teo e lo aiuta ad associare quella particolare espressione con un nome
- Conclusione: avviene unicamente da parte del terapista, il quale preme l'apposito tasto (NEXT) sul telecomando per comunicare al robot il corretto svolgimento della stessa
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Socializzazione
  - Riconoscere le espressioni emotive principali (felicità, tristezza, rabbia, paura)
  - Riconoscere l'emozione associata a diverse situazioni

### 3. Sveglia Teo

- Canali trasmissivi: visivo, uditivo, tattile, motorio
- Input: dal telecomando il terapista seleziona la voce “Sveglia Teo”
- Stato Iniziale: Teo inizia a dormire, manifestandolo con l'espressione facciale e con appositi effetti sonori
- Goal: Svegliare in modo socialmente corretto Teo, toccandolo con cura o chiamandolo
- Game Flow: una volta che Teo inizia a dormire, il terapista stimola il bambino ad avvicinarsi al robot per svegliarlo. Questa cosa può avvenire tramite interazione vocale, tattile o entrambe. Le zone sensibili sono quelle in corrispondenza dei sensori di contatto disposti su Teo. Il terapista può comportarsi da modello per il bambino e simulare il corretto comportamento che il bambino dovrà replicare. Durante tutta l'attività, l'espressione di Teo evolve in alcuni stati intermedi che servono da feedback temporaneo per il bambino. Oltre ad evolvere, l'espressione di Teo può anche regredire e tornare a dormire nel caso in cui il tipo di interazione risulti errata. Teo si sveglia quando percepisce una successione di contatti valuti corretti.
- Conclusione: l'attività termina quando il robot rileva un sufficiente numero di stimoli tattili/vocali oppure quando il terapista, ritenendo che il bambino abbia agito correttamente, decide di interrompere l'attività in anticipo rispetto a quanto avrebbe fatto il robot. L'interruzione dell'attività avviene sempre con il tasto “NEXT”
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE

- Mapping Manuale Fare:

Non esiste un mapping diretto con nessuna attività, ma appena è stata proposta, i terapisti hanno confermato espressamente che questa attività possa portare diversi benefici ed essere terapeuticamente utile.

#### 4. Mal di pancia

- Canali trasmissivi: visivo, uditivo, tattile, motorio
- Input: dal telecomando il terapista seleziona la voce “Mal di pancia”.
- Stato Iniziale: Teo simula un dolore alla pancia, pronuncia delle frasi scelte dal terapista per manifestare questo malessere ed invita il bambino ad accarezzargliela. Teo inizia l’attività con un’espressione triste
- Goal: Massaggiare con delicatezza la pancia di Teo, in particolare toccandolo sui sensori
- Game Flow: terapista invita il bambino a massaggiare Teo sulla pancia ed eventualmente modella il compito. Anche in questo caso l’espressione facciale di Teo evolve e regredisce in alcuni step intermedi, che servono come feedback temporaneo per il bambino
- Conclusione: avviene come descritto al punto precedente Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell’attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Abilità Motorie; SubArea: Requisiti Cognitivi
  - Riconoscere sugli altri la pancia e la schiena
  - Saper distinguere sugli altri la pancia dalla schiena
  - Mantenere il contatto oculare con una persona che parla (robot)
  - Avere espressioni che manifestano stati emotivi diversi in base al contesto

#### 5. Mal di schiena

- Canali trasmissivi: visivo, uditivo, tattile, motorio
- Input: dal telecomando il terapista seleziona la voce “Mal di schiena”.
- Stato Iniziale: Teo simula un dolore alla schiena, pronuncia delle frasi scelte dal terapista per manifestare questo malessere ed invita il bambino ad accarezzargliela. Teo inizia l’attività con un’espressione triste
- Goal: Massaggiare con delicatezza la schiena di Teo, in particolare toccandolo sui sensori
- Game Flow: terapista invita il bambino a massaggiare la schiena di Teo ed eventualmente modella il compito. Anche in questo caso l’espressione facciale di Teo evolve e regredisce in alcuni step intermedi, che servono come feedback temporaneo per il bambino

- Conclusione: avviene come descritto al punto precedente
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Abilità Motorie; SubArea: Requisiti Cognitivi
  - Riconoscere sugli altri la pancia e la schiena
  - Saper distinguere sugli altri la pancia dalla schiena
  - Mantenere il contatto oculare con una persona che parla
  - Avere espressioni che manifestano stati emotivi diversi in base al contesto

## 6. Teo affettuoso

- Canali trasmissivi: visivo, uditivo, tattile, motorio
- Input: dal telecomando il terapista seleziona la voce “Teo Affettuoso”.
- Stato Iniziale: Teo è affettuoso e vuole essere abbracciato
- Goal: Abbracciare Teo
- Game Flow: terapista invita il bambino ad abbracciare Teo ed eventualmente modella il compito. Anche in questo caso l'espressione facciale di Teo evolve e regredisce in alcuni step intermedi, che servono come feedback temporaneo per il bambino. Il robot può percepire un contatto eccessivamente forte e in tal caso manifestera il proprio disagio sia verbalmente che espressivamente tramite la faccia.
- Conclusione: avviene come descritto al punto precedente
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Socializzazione
  - Su richiesta, esprimere gestualmente il proprio affetto verso altri
  - Mantenere il contatto oculare con una persona che parla
  - Avere espressioni che manifestano stati emotivi diversi in base al contesto

## 7. Accarezza zona

- Canali trasmissivi: visivo, uditivo, tattile, motorio
- Input: dal telecomando il terapista seleziona la voce “Accarezza X”, dove X rappresenta una zona tra pancia centro, pancia sinistra, pancia destra, schiena.
- Stato Iniziale: Teo chiede al bambino di accarezzarlo in una zona, pronunciando delle frasi scelte dal terapista. Teo inizia l'attività con un'espressione triste

- Goal: Accarezzare con la zona richiesta, in particolare toccando Teo sui sensori
- Game Flow: terapista invita il bambino ad accarezzare la zona desiderata ed eventualmente modella il compito. Anche in questo caso l'espressione facciale di Teo evolve e regredisce in alcuni step intermedi, che servono come feedback temporaneo per il bambino.
- Conclusione: avviene come descritto al punto precedente
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Abilità Motorie; SubArea: Requisiti Cognitivi
  - Riconoscere sugli altri la pancia e la schiena
  - Saper distinguere sugli altri la pancia dalla schiena

## 8. Muovi Teo

- Canali trasmissivi: visivo, motorio
- Input: dal telecomando il terapista preme il modulo joystick ed attiva così il controllo manuale di Teo
- Stato Iniziale: Teo è felice ed è mosso dal terapista tramite il modulo joystick del telecomando
- Goal: cercare di concentrare l'attenzione del bambino su Teo, in modo costante e continuo
- Game Flow: terapista invita il bambino a seguire con lo sguardo i movimenti di Teo, in modo che egli riesca a mantenere costante la propria concentrazione, senza distrarsi. Sia il terapista che Teo forniscono costanti supporti verbali per favore il processo; il terapista può anche indicare il robot
- Conclusione: avviene quando il terapista preme nuovamente il modulo joystick, bloccando il controllo manuale del robot.
- Stato Finale: Teo è felice per il corretto svolgimento dell'attività e torna nello stato IDLE
- Mapping Manuale Fare:  
Area: Socializzazione
  - Mantenere lo sguardo fisso su una persona in movimento all'interno del proprio campo visivo
  - Mantiene il contatto oculare con una persona che parla

## 4.3 Design

Nel capitolo 3 si è discusso dei limiti di Teo in merito alla sua attuale applicazione e ad una versione emotiva dello stesso, individuando una serie di sensori ed attuatori che andrebbero introdotti per gestire comportamenti emotivi. In questa sezione si valuterà il design del robot, andando a soddisfare i requisiti di design del capitolo 3, ed in seguito il design delle emozioni.

### 4.3.1 Design robot

Si parte ricapitolando brevemente la lista di elementi che dovranno essere introdotti nel sistema. Per la descrizione dettagliata si rimanda alla sezione 5.1.

#### **LISTA SENSORI**

- sensore di contatto: #4 FSR square, #3 FSR strip
- sensore per riconoscimento vocale: #1 Easy VR Shield
- sensore per riconoscimento provenienza suoni: #3 Microfoni Grove Sound Sensor
- sensore di movimento: #3 Grove PIR Motion Sensor
- sensore per riconoscimento colpi violenti: #1 Accelerometro/Giroscopio MPU-6050 (GY-521)

#### **LISTA ATTUATORI**

- attuatore per movimento e rotazione: #3 Motori, #3 Driver, #3 Encoder, #3 Ruote
- attuatore per manifestazione colori: #2 RGB led strip
- attuatore vocale: #1 Cassa Bluetooth
- attuatore per espressioni facciali: #1 Led Flexible Matrix 16x16 (WS2812B)
- Moduli Bluetooth: #2 HC-06

**FACCIA** La faccia presente sulla versione precedente di Teo deve essere sostituita con la matrice LED flessibile, che consente di gestire le espressioni facciali. Il modo in cui deve avvenire tale sostituzione deve essere quello che porti meno modifiche possibili all'attuale struttura di Teo. Infatti, si vuole dare la possibilità di rimuovere momentaneamente la faccia e regredire alla vecchia versione, dando così la possibilità ai bambini di giocare ad attaccare e rimuovere le facce magnetiche su Teo.

**PANCIA** Sulla pancia sono inseriti 4 sensori FSR square con una disposizione a rombo. In particolare è importanti che essi identifichino determinate zone corporee poichè esistono attività in cui viene chiesto al bambino di accarezzare una particolare parte di Teo, ad esempio il lato destro. Quindi le posizioni dei sensori sono: fianco sinistro, fianco destro, pancia alta, pancia bassa. I sensori devono essere disposti all'interno di vere e proprie sacche realizzate facendo un taglio sul rivestimento esterno e cucendo internamente un tessuto della dimensione del sensore, che svolga un ruolo di contenimento per il sensore.

**SCHIENA** La schiena prevede l'inserimento di 2 strisce FSR, disposte in successione orizzontale in modo da coprire gran parte della schiena. Si ricorda che metà schiena del robot è già occupata da una tasca, utile nella precedente versione per conservare le facce magnetiche che potevano essere attaccate sul volto. La realizzazione delle nuove tasche per contenere i due sensori FSR avviene sulla base di quanto già detto in precedenza per gli FSR square.

**CAPPELLO** Oltre ad avere i tasti, il cappello è pensato per contenere una striscia led, i tre microfoni e la cassa bluetooth. La cassa bluetooth è inserita all'interno del cappello ed è agganciata tramite l'utilizzo di colla a caldo. Per favore un maggiore effetto sonoro, si può pensare di effettuare dei piccoli fori sul cappello. La striscia led deve essere posizionata in modo da garantirne la visibilità e, un modo ideale per inserirla, può essere quello di sfruttare una striscia velcro adesiva disposta lungo la superficie del cappello. Per quanto riguarda i microfoni, considerando una vista dall'alto del cappello, essi devono essere disposti ai vertici di un immaginario triangolo equilatero. Questa accurata disposizione è il primo punto di partenza per un buono sviluppo della funzionalità di sound localization che il robot dovrà implementare. Più nel dettaglio, il cappello è formato da una scocca di plastica a cui si sovrappone un tessuto colorato che rende più realistico il cappello. In questo contesto, il singolo microfono dovrà essere posizionato in un foro effettuato sulla sola scocca di plastica del cappello e dovrà essere ricoperto dal tessuto colorato in modo che non sia visibile. Il tessuto blu funge da rivestimento esterno per il microfono ed inoltre riduce significativamente i rumori di disturbo percepiti dallo stesso. Il cappello è pensato per contenere anche il modulo accelerometro/giroscopio, utile per riconoscere importanti colpi subiti da Teo, spinte o eventuali ribaltamenti. Il sensore è in grado di valutare le rotazioni effettuate lungo gli assi roll e pitch (vedi figura 4.4) e di conseguenza è in grado di capire se il robot è in piedi, ribaltato, o se ha subito una variazione significativa rispetto alla normale posizione di partenza.

Di fondamentale importanza è il fatto che si trovi in alto perchè così è lontano dal baricentro e può riconoscere i colpi con maggiore precisione.

Infine, il cappello deve anche disporre di un foro per il microfono del modulo EasyVR, cioè la shield addetta al riconoscimento vocale.

**CUPOLA PROTETTIVA** Tutto l'hardware risiede all'interno della cupola protettiva interna che riveste la base. Si tratta di una struttura di plastica dura che ha la funzione di proteggere i circuiti stampati, i componenti e i connettori

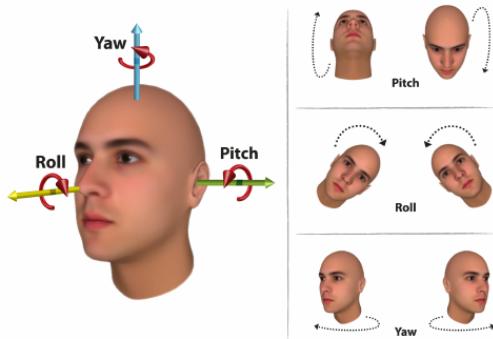


Figura 4.4: Assi di rotazione rilevati dal sensore giroscopio

da eventuali colpi ricevuti. Questa struttura è molto funzionali e, grazie ad appositi fori, tutti i connettori possono giungere ai rispettivi componenti dislocati lungo il robot. Si pensi ad esempio agli elementi disposti sotto il cappello: esiste un cavo protettivo che contiene tutti i fili e che li conduce dagli strip sugli stampati fino a sotto il cappello, dove sono effettivamente disposti i componenti. Sotto la cupola dovranno essere disposti, oltre all'hardware vero e proprio, i due moduli bluetooth HC-06 e il modulo EasyVR Shield.

**BASE** Rispetto alla precedente versione di Teo, quella emotiva conserva l'uso e il posizionamento di alcuni elementi. In particolare, il riferimento è alla striscia led disposta appena sopra ed attorno la base, a motori, encoder e ruote, al sensore IR e al sonar. Questi ultimi due sono allocati in dei fori sulla scocca alla base in posizione frontale. La base dovrà inoltre disporre di opportuni fori che consentano il posizionamento dei 3 sensori PIR. A questo proposito, una buona scelta può essere quella di fare in modo che due sensori siano rivolti su ciascun lato e il terzo fornisca informazioni in merito alla parte posteriore del robot.

#### 4.3.2 Design emozioni

Sulla base degli studi effettuati in merito ai canali trasmissivi e alle considerazioni in merito alla loro efficacia rispetto alla distanza di interazione, è possibile identificare dei pattern comportamentali a cui Teo dovrà attenersi nel momento in cui si rende necessario manifestare una certa emozione.

Gli stati emotivi richiesti dai terapisti e gestiti in questa nuova versione sono quattro: felicità, tristezza, rabbia, paura. Per ognuno di essi si mostra la faccia del robot, il colore delle strisce LED, alcune considerazioni in merito alla saturazione, luminosità e lampeggio delle stesse e il movimento che deve essere eseguito. Sono anche indicati, per ogni canale utilizzato, gli elementi maggiormente espressivi e veicolanti l'informazione affettiva.

I canali con cui Teo riesce a raggiungere il bambino per trasmettere emozioni e gli elementi che caratterizzano ciascun canale sono elencati di seguito:

- Canale Visivo: Espressione facciale, Colore, saturazione e luminosità della matrice e strisce LED, Movimento
- Canale Uditivo: Traccia audio, tono voce
- Canale Motorio: Movimento e rotazioni

Sono ora descritti gli stati emotivi principali che Teo è in grado di gestire e, per ciascuno di essi, è mostrato come si è deciso di far trasmettere lo stato emotivo agli elementi descritti in precedenza.

### FELICITA'

- Colore faccia: giallo
- Traccia audio: parole esatte scelte dal terapista, il tono deve essere vivace e squillante
- strisce LED:
  - Colore: giallo
  - Saturazione: alta, colore puro
  - Luminosità: alta
  - Lampeggio: doppio
- Movimento: rotazione di +15 e -15 gradi

### TRISTEZZA

- Colore faccia: viola
- Traccia audio: parole esatte scelte dal terapista, il tono deve essere basso e cupo
- strisce LED:
  - Colore: viola
  - Saturazione: bassa, colore non puro
  - Luminosità: molto bassa, quasi ad indicare una sorta di spegnimento
  - Lampeggio: assente
- Movimento: nessuno oppure piccolo allontanamento

## RABBIA

- Colore faccia: rosso
- Traccia audio: parole esatte scelte dal terapista, il tono deve essere alto e deciso
- strisce LED:
  - Colore: rosso intenso
  - Saturazione: alta, colore puro
  - Luminosità: molto alta, lo scopo è farsi notare e mostrare il proprio disappunto
  - Lampeggio: presente e ripetuto costantemente, con la stessa frequenza
- Movimento: nessuno perché è sbagliato allontanarsi ma non si deve neanche andare incontro al bambino e rischiare di causare disagio

## PAURA

- Colore faccia: nero o colore molto scuro
- Traccia audio: parole esatte scelte dal terapista, il tono deve essere basso e tremolante
- strisce LED:
  - Colore: nero
  - Saturazione: alta, colore puro
  - Luminosità: media
  - Lampeggio: presente e ripetuto costantemente, con la stessa frequenza
- Movimento: nessuno perché è sbagliato allontanarsi ma non si deve neanche andare incontro al bambino e rischiare di causare disagio

# Capitolo 5

## Implementazione

### 5.1 Architettura Hardware

La fisionomia e gli elementi presenti nella versione precedente di Teo sono rimasti inalterati nella versione emotiva. Ciò che ha subito un radicale cambiamento è la struttura dell'elettronica, che è stata totalmente ripensata e ricostruita sulla base dei principi di scalabilità e modularità. L'idea è quella di sviluppare un sistema che in futuro possa essere riutilizzato e dare la possibilità di evitare una inutile ricostruzione dell'elettronica. Pertanto, una buona soluzione è quella di vedere l'hardware come una serie di moduli indipendenti connessi tra loro grazie a dei connettori, che conferiscono all'intero sistema una struttura modulare. Altra cosa fondamentale ai fini della scalabilità è quella di riportare in una zona facilmente accessibile i pin arduino attualmente non usati, le alimentazioni (12V, 5V, 3.3V) e la massa.

Basandosi su tutto questo, è stato possibile costruire l'elettronica che rappresenta le fondamenta per le funzionalità implementate dal robot.

Per soddisfare i principi elencati in precedenza, l'hardware è stato pensato diviso in 4 moduli indipendenti, che sono:

- Modulo Arduino
- Modulo Componenti
- Modulo Motori
- Modulo Superiore

Ogni modulo è un circuito stampato (o PCB), ovvero un supporto utilizzato per interconnettere tra di loro vari componenti elettronici di un circuito tramite piste conduttrive incise su un materiale non conduttivo. In genere, il materiale usato come supporto è la vetronite ramata, una particolare piastra di fibra di vetro ricoperta da un sottile strato metallico che in seguito verrà intagliato con tecnica della fotoincisione. Tale intaglio serve a creare le sopraccitate piste che interconnetteranno tra loro i vari componenti del circuito progettato.

Quindi, le fasi che hanno portato alla realizzazione dei singoli moduli sono:

- Divisione logica e funzionale di sensori ed attuatori da usare, individuando il modo ottimale per concentrare il tutto nello spazio disponibile;
- Modellizzazione schema circuito: il circuito è realizzato tramite appositi programmi per pc (PCAD, Fritzing, ecc);
- Sviluppo: il circuito è realizzato su basette di rame presensibilizzate, tramite fotoincisione con bromografo e successiva rimozione del rame in eccesso;
- Ritaglio PCB in base alla forma desiderata;
- Realizzazione di connettori per collegare tra loro i moduli e riportare correttamente tutti i pin.

Per quanto riguarda gli elementi presenti, il robot possiede una serie di sensori ed attuatori che di seguito vengono dettagliatamente descritti.

### 5.1.1 Hardware Robot

**MECCANICA: Motori, ruote ed encoder** Il robot possiede una base esagonale in alluminio e 3 motori provvisti di encoder a 2 canali che forniscono una risoluzione di 64 conteggi per giro dell'albero motore, corrispondenti a 1216 conteggi dell'albero di uscita del riduttore (vedi datasheet appendice).

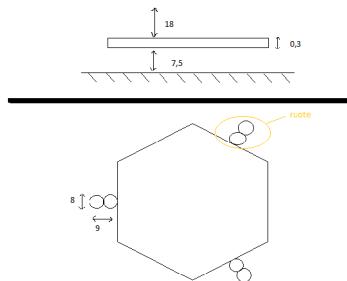


Figura 5.1: Prospettive della base del robot e posizionamento delle ruote

Grazie agli encoder è possibile sapere quanti giri ha effettuato la ruota e quindi calcolare la distanza percorsa da ognuna e, in generale, dal robot. Essi sono alimentati dalla batteria 11.1V e restituiscono i conteggi tramite un sistema di interrupt di Arduino.

Ad ogni motore viene agganciata una coppia di ruote omnidirezionali (figura 5.2) che permettono al robot di muoversi in qualsiasi direzione sfruttando lo scivolamento delle ruote sul terreno. Infatti, le ruote sono posizionate a 60 gradi l'una dall'altra, sfruttando la forma esagonale della base in modo tale che le ruote non siano parallele tra loro, ma abbiano una pendenza. Per muoversi in avanti, ad esempio, le due coppie si muovono in direzioni opposte (una in senso

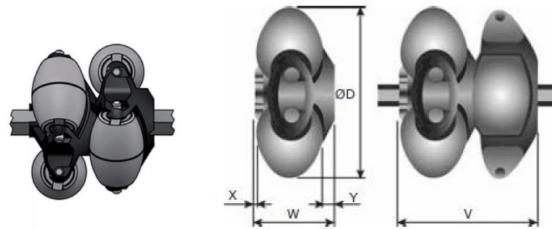


Figura 5.2: Ruote omnidirezionali

orario e l'altra antiorario) creando così una risultante dritta, mentre la coppia che si trova perpendicolare alla risultante delle altre 2 verrà trainata scivolando sulle rotelline (figura 5.3).

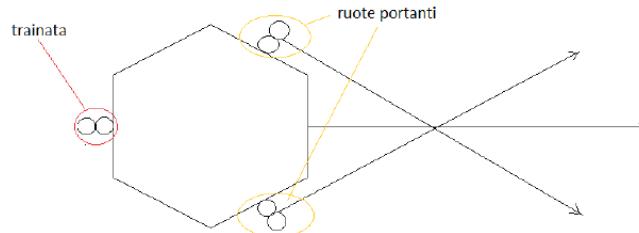


Figura 5.3: Disposizione ruote e forze in gioco: la forza risultante permette il movimento in avanti

**BATTERIE LIPO** La batteria ricaricabile nota come accumulatore Litio Polimero (LiPo, fig 5.4) è lo sviluppo tecnologico del più vecchio accumulatore Litio-Ione. Essendo il polimero solido non infiammabile, le batterie Lipo sono considerate meno pericolose se vengono danneggiate e tendenzialmente hanno un peso inferiore e una carica energetica maggiore rispetto alle altre batterie. Questi sono i principali punti di forza che hanno portato al loro utilizzo. Nonostante i grandi vantaggi che esse portano, ci sono dei limiti che purtroppo emergono a seguito del loro continuo utilizzo. Generalizzando, si può affermare che sono più complesse da gestire e mantenere e che tendono a degradarsi più facilmente, portando nei casi di danneggiamento totale, anche alla loro esplosione. Una nota particolarmente importante è la loro ricarica, che deve essere sempre monitorata e deve avvenire con uno speciale caricatore per celle LiPo. Le LiPo sono formate da celle in serie (lettera S), in parallelo (lettera P) oppure in una combinazione delle due. Ogni cella ha una carica nominale standard di 3.7V. In base al numero di celle disposte in serie si ottengono tensioni maggiori. Ad esempio, la dicitura 3S 2P indica la presenza di 2 pacchi di 3 celle in serie ( $3.7V \times 3 = 11.1V$ ), collegati in parallelo. Una LiPo è anche caratterizzata dalla capacità della batteria, misurata in mAh (milliAmpere/Ora). Una cella carica può arrivare fino a 4V mentre una cella scarica deve scendere a massimo

3V. Si può affermare che sotto i 3V, la carica e l'utilizzo della batteria può essere pericolo perché può portare la batteria a degradarsi. Le batterie LiPo usate sono 2 e di tipo diverso: una 3 celle da 11.1V per alimentare i motori e i loro driver, ed una 2 celle da 7.4V per l'alimentazione dell'Arduino e di tutti i componenti presenti.



Figura 5.4: Batterie ricaricabile accumulatore Litio-Polimero, detta LiPo: 3 celle, 11.1V, 2200mAh

**ARDUINO MEGA** Arduino (fig 5.5) è una scheda elettronica di piccole dimensioni con un microcontrollore ATmega, utile per creare rapidamente prototipi e per scopi hobbistici, didattici e professionali. Con una scheda Arduino è possibile realizzare in maniera relativamente rapida e semplice piccoli dispositivi come controllori di luci, sensori di luce, temperatura, umidità e molti altri progetti che sfruttano sensori, attuatori e comunicazione con altri dispositivi. E' fornito di un semplice ambiente di sviluppo integrato per la programmazione, tutto il software è libero e anche gli schemi circuitali sono distribuiti come hardware libero.



Figura 5.5: Arduino Mega 2560

Tra le varie schede Arduino disponibili sul mercato, la scelta di utilizzo è ricaduta sulla scheda “Arduino Mega 2560”, in quanto mette a disposizione un

numero maggiore di pin rispetto alle altre e, soprattutto, garantisce prestazioni migliori rispetto alle più comuni schede. L'appendice riporta il datasheet della scheda. Come già detto, Arduino ha il proprio IDE che, tramite una sintassi intuitiva, permette di creare applicazioni in modo relativamente semplice.

**DRIVER MOTORI** La gestione dei motori avviene attraverso un componente chiamato driver (fig 5.6), ognuno dei quali alimenta e gestisce un solo motore. Come mostrato in figura, il driver riceve alimentazione e massa dalle parte Vin



Figura 5.6: Driver motore

e Gnd sulla destra ed alimenta i motori tramite le porte OUT1 e OUT2. L'alimentazione può variare da 5-28V ma noi alimenteremo questi driver a 11.1V.

**SENSORI IR** Il sensore infrarossi (IR, fig 5.7) è un componente che invia un segnale in relazione alla distanza di un oggetto posto nel raggio d'azione del sensore; se un oggetto si avvicina, il segnale aumenta di intensità, mentre se l'oggetto si allontana il segnale diminuisce. I sensori IR necessitano di pin



Figura 5.7: Sensore IR della Sharp

analogici perché il segnale inviato è per l'appunto analogico.

I sensori IR hanno un grosso limite che si verifica quando l'oggetto si trova ad una distanza troppo ravvicinata. Il problema è dovuto al fatto che la precisione dei sensori ha un degrado al di sotto di una certa soglia, oltre la quale il valore restituito dai sensori diminuisce con la vicinanza dell'oggetto, invece di aumentare. Il grafico seguente illustra la curva caratteristica dei sensori, in cui si nota la fase iniziale in salita fino al valore soglia (fig 5.8).

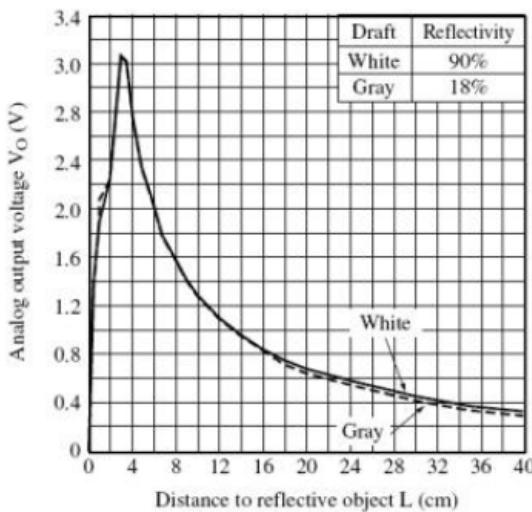


Figura 5.8: Andamento del segnale emesso dal sensore in base alla distanza: si nota il comportamento anomalo per brevi distanze

**SONAR** Il sensore HC-SR04 (fig 5.9) è un sensore a ultrasuoni che consente di conoscere la distanza di un oggetto nel raggio d’azione del sensore. La particolarità nel funzionamento di questi sensori è che essi non forniscono direttamente la misura della distanza dell’oggetto, bensì il tempo impiegato dalle onde sonore a raggiungere l’oggetto e tornare indietro fino al sensore, per effetto della riflessione. Il fascio di onde sonore emesso ha una forma conica e lo stesso vale per le onde riflesse da un ostacolo; per questo motivo, il sensore riceve molte riflessioni da diversi oggetti e ciò rende il sensore, da solo, incapace di distinguere un oggetto da un altro o aperture negli oggetti troppo piccole. Il principio è lo stesso usato dai pipistrelli che grazie all’ascolto dell’eco del segnale riescono a costruire un’immagine “sonora” di ciò che li circonda. Il sensore HC-SR04 dispone di 4 pin: Vcc (+5V), Trigger, Echo e GND. Si veda il datasheet per informazioni più dettagliate.



Figura 5.9: Vista frontale di un sensore sonar HC-SR04

**SOUND SENSOR** Il Grove Sound Sensor (fig 5.10) è un modulo che consente di rilevare la potenza di un suono in un ambiente. Il componente principale del modulo è un semplice microfono, basato sull'amplificatore LM358 e su un microfono a elettretre (un particolare tipo di microfono a condensatore, basato su un elettretre).

Il modulo fornisce come output un segnale analogico che eventualmente può essere aggiustato con un potenziometro. I 4 pin per la connessione del sound sensor sono: GND, VCC (+5V), NC e SIG (analog).

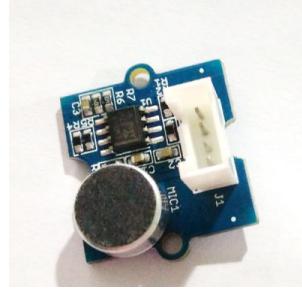


Figura 5.10: Sound Sensor della Grove

**FORCE SENSITIVE RESISTOR** I sensori Force Sensitive Resistor (abbreviati FSR, fig 5.11) sono dei sensori sensitivi resistivi poichè sono in grado di variare la sua resistenza in base a quanta pressione viene applicata lungo l'area sensibile. Maggiore è la forza, minore è la resistenza. Quando non viene esercitata alcuna pressione lungo il sensore, la resistenza vale fino a 1Mohm. Sono presenti diversi modelli, come strisce lunghe 60cm (FSR Strip), piccoli quadrati di lato 4cm (FSR Square) ed anche cerchi di diametro 5cm. Il progetto prevede l'utilizzo di 4 FSR square e di 3 FSR Strip.

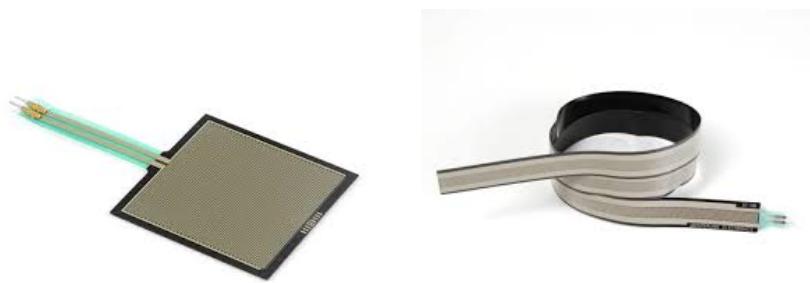


Figura 5.11: Sensori FSR: a sinistra una quadrato di lato 4cm e a destra una striscia di 60cm

**PIR MOTION SENSOR** Un sensore a infrarossi passivo (Passive InfraRed, detto PIR, fig 5.12) è un sensore elettronico che misura i raggi infrarossi irradiati dagli oggetti nel suo campo visivo. In altre parole, permette di rilevare ogni movimento all'interno del suo raggio d'azione.

Il principio di funzionamento si basa sul fatto che tutti gli oggetti con temperatura superiore allo zero assoluto emettono energia sotto forma di radiazioni luminose. La maggior parte delle volte queste radiazioni sono invisibili all'occhio umano, poiché a frequenza inferiore rispetto a quella della luce dello spettro visibile; tuttavia, esse possono essere rilevate tramite specifici dispositivi elettronici progettati a tale scopo, come per l'appunto i sensori PIR. Dunque, essi non rilevano autonomamente un movimento, bensì le brusche variazioni di temperature che modificano lo stato che il PIR aveva memorizzato in precedenza. Il termine passivo si riferisce al fatto che i PIR non emettono energia in nessuna forma ma lavorano rilevando quella sprigionata dagli oggetti.

Il sensore possiede 4 pin: GND, VCC (+5V), NC e SIG (digital). Quando viene rilevata una brusca variazione di temperatura e dunque un movimento, il pin di output (SIG) assume il valore alto (HIGH).



Figura 5.12: PIR motion sensor

**STRISCIA LED** La striscia led flessibile (fig 5.13) è composta da 60 led WS2812 al metro e può essere tagliata in base alla lunghezza desiderata. Ogni singolo led è un led RGB il cui colore e luminosità possono essere controllati individualmente grazie a specifiche librerie, tra cui in particolari quelle delle casa produttrice Adafruit, dando così la possibilità di creare i più svariati effetti.

**MATRICE LED FLESSIBILE** La matrice led flessibile (fig 5.13) è una matrice 16x16 che raccoglie un totale di 256 LED e usando un unico microcontrollore consente la gestione totale dei led. E' dunque possibile accendere un qualsiasi led si desideri, del colore che si desidera ed è inoltre possibile disegnare piccole immagini o scrivere messaggi a scorrimento. Il PCB su cui è sviluppata la matrice è molto leggero e sottile, e questa cosa fornisce alla matrice la possibilità di incurvarsi e piegarsi in ogni modo.

Esistono delle limitazioni sull'uso indiscriminato e l'accensione contemporanea di tutti I led: in particolare, se non si vuole rischiare di danneggiare la matrice il consiglio è di non superare i 15A di corrente erogata, perchè la PCB flessibile potrebbe non riuscire a gestire un così alto carico di corrente. Questa situazione si potrebbe verificare quando vengono accesi tutti i led del colore bianco, ad

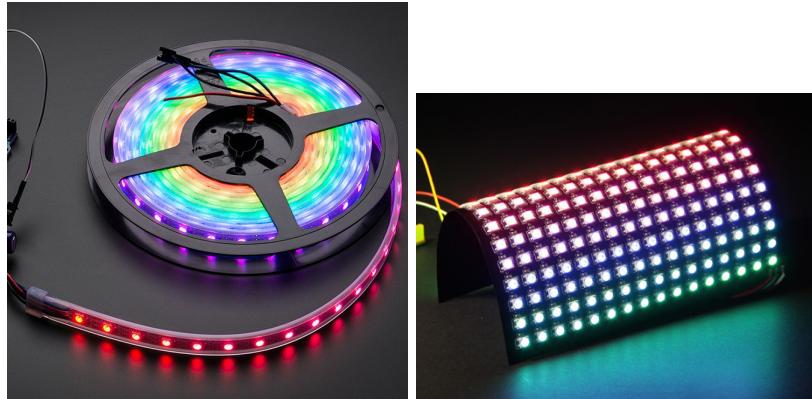


Figura 5.13: Striscia Led flessibile e matrice LED flessibile, entrambe prodotte da Adafruit

esempio. Un'altra raccomandazione che viene fatta direttamente dai produttori è quella di non piegare continuamente la matrice. Essa non è sviluppata per essere piegata continuamente, bensì per supportare eventuali deformazioni che non si protraggono nel tempo.

Per connettere la matrice servono tre pin: VCC (+5V), DIG (PWM) e GND.

**MODULO BLUETOOTH** Il modulo bluetooth (fig 5.14) usato si chiama HC-06 ed è uno dei tanti moduli bluetooth slave disponibili sul mercato. HC-06 agisce come porta seriale attraverso cui è possibile inviare e ricevere dati. Così, usando un terminale seriale su computer o qualunque altro device, è possibile comunicare con il monitor seriale dell'arduino.

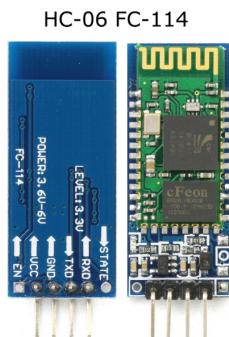


Figura 5.14: Modulo Bluetooth HC06: si nota l'antenna radio nella parte superiore e, in quella inferiore, i pin di collegamento

Sono previsti 4 pin per l'utilizzo: VCC (+3.3V), GND, TX(RX arduino), RX(TX arduino).

Il modulo è abbastanza semplice da usare per una comunicazione diretta con PC e device che usano terminali Bluetooth, mentre l'utilizzo risulta un pò più complesso se si vuole instaurare una comunicazione con un altro modulo Bluetooth. A questo proposito bisogna gestire il modulo in AT MODE per avere i permessi di modificare le impostazioni di fabbrica del device, settare i giusti parametri e impostare la connessione con il modulo Bluetooth desiderato.

**SENSORE ACCELEROMETRO/GIROSCOPIO** Il sensore MPU-6050 GY-521 (fig 5.15) è un modulo che combina in un singolo chip integrato sia un accelerometro MEMS che un giroscopio MEMS.

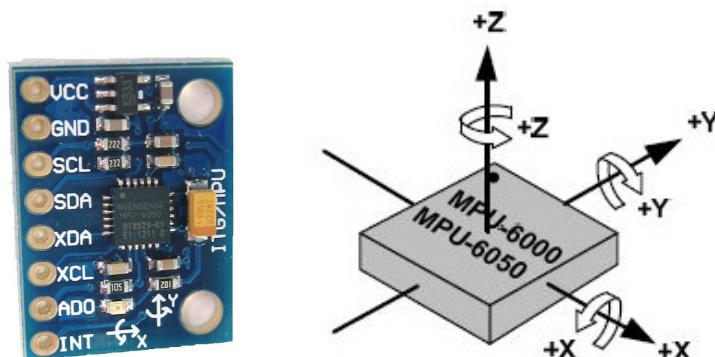


Figura 5.15: Sulla sinistra, uno zoom del sensore e sulla destra i tre assi di rotazioni e il relativo orientamento

Si tratta di un sensore molto accurato, in quanto per ogni canale contiene ben 16 bits dedicati alla conversione analogica-digitale. Dunque, è in grado di catturare i canali x,y e z allo stesso tempo. Il sensore usa l'interfaccia bus I2C per la comunicazione con l'Arduino.

I2C è un sistema di comunicazione seriale che avviene tramite il buffer I2C, il cui classico è quello di avere almeno un master ed uno slave. La situazione più frequente vede un singolo master e più slave, anche se nulla nega strutture multimaster e multislave. La particolarità dell'I2C è di impegnare solo due linee e quindi solo due pin dei dispositivi che lo usano, in quanto si tratta di un protocollo seriale. Un suo limite è invece la velocità di comunicazione ma per l'uso che ne faremo, queste limitazioni non emergeranno.

Tornando al sensore MPU, giroscopio e accelerometro consentono di misurare rispettivamente l'accelerazione angolare e l'accelerazione di un corpo rispetto ai suoi 3 assi (x,y,z detti roll, pitch e yaw).

**PULSANTI** I pulsanti sono dei semplici interruttori, ovvero dei componenti elettrici che chiudono il circuito fintanto che vengono premuti. Questi componenti esistono di diverso tipo e dimensione; I pulsanti usati per il cappello sono piuttosto grandi, colorati e pensati in modo da fornire una particolare UX.



Figura 5.16: Cappello di Teo con i pulsanti colorati

**CASSA BLUETOOTH** La cassa bluetooth è utile per la riproduzione tramite di tracce audio. Il tasto di accensione viene cortocircuitato, in questo modo non è necessario accenderla e spegnerla ogni volta, ma il suo funzionamento sarà strettamente legato all'accensione del robot.

**EASYVR SHIELD** La EasyVR Shield 3.0 per Arduino (fig 5.17) è una shield di supporto per il Modulo di riconoscimento vocale EasyVR 3. La shield dispone di tutti i componenti necessari per semplificare la connessione del modulo stesso ad una scheda Arduino o direttamente ad un PC. Questa shield è basata sul Modulo EasyVR 3, un modulo di riconoscimento vocale realizzato per poter aggiungere funzioni di riconoscimento vocale ad un gran numero di applicazioni.

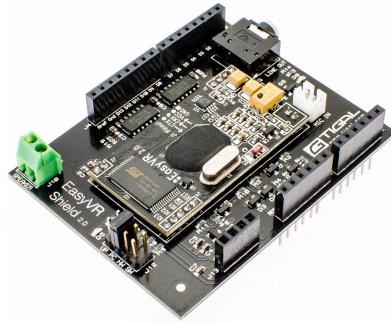


Figura 5.17: Shiedl EasyVR per il riconoscimento vocale

### 5.1.2 Hardware Telecomando

**ARDUINO MICRO** L’arduino micro (fig 5.18) è il microcontrollore di dimensioni più piccole tra quelli della famiglia arduino. Si basa sul processore ATmega328 e ha 14 pin digitali (di cui 6 gestibili come PWM) e 8 pin analogici. La particolarità di questa scheda è l’assenza di un ingresso USB per alimentarlo e programmarlo. Infatti, per svolgere queste operazioni è necessario un adattore USB da saldare su determinati pin della scheda oppure alimentarlo e programmarlo tramite un altro modulo arduino. La scelta adottata è l’ultima. Essendo così piccolo, rispetto agli altri microcontrollori ha delle prestazioni inferiori. In particolare, ha una memoria flash da 32KB (di cui 2KB usati dal bootloader), una SRAM da 2KB, una EEPROM da 1KB e una frequenza di clock di 16MHz. A beneficiarne, come già detto, sono le dimensioni: infatti la scheda è lunga 30mm e larga 18mm.

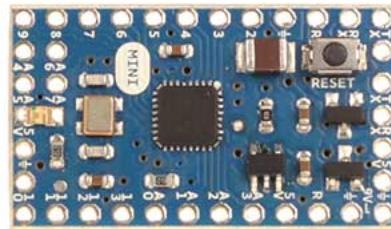


Figura 5.18: Arduino Micro

**DISPLAY OLED** Il modulo OLED SSD 1306 (fig 5.19) è un display monocromatico di dimensioni 128x64 pixels che possono essere gestiti per la rappresentazione di scritte, scritte scorrevoli, disegni e quant’altro. Il display è basato sulla tecnologia led e pertanto non necessita di retroilluminazione. Il driver interno è un SSD 1306 ed è possibile gestire la comunicazione con i protocolli SPI o I2C. Per controllare il display è necessario fornire un’alimentazione di ingresso di 5V ed è necessario che il microcontrollore abbia almeno 1K di RAM. La libreria di supporto che possono essere usate sono quelle di Adafruit oppure in alternativa la u8glib.

**MODULO BLUETOOTH HC-05** Il modulo Bluetooth del telecomando è un HC-05 master-slave programmato come master. Le funzionalità e la descrizione è identica al modulo precedente, con la sola differenza che questo modulo può essere programmato come master o slave. E’ anche molto simile al modulo HC-06, a tal punto che può essere difficile distinguerli. I pin che questo modulo usa sono: VCC (+5V), GND, TX (RX Arduino), RX ( TX Arduino).



Figura 5.19: Display OLED monocromatico

**JOYSTICK ARDUINO** Il modulo joystick per Arduino (fig 5.20) è un componente molto simile al controller analogico di alcune console di gioco, come ad esempio la Playstation. Il modulo si presenta con 5 pin: VCC (+5V), GND, X, Y, KEY. I pin X e Y restituiscono valori analogi indicanti la posizione del controller in un range di 1024 valori, da 0 a 1023, mentre il pin Key restituisce un valore digitale che vale HIGH nel momento in cui il joystick viene premuto.



Figura 5.20: Modulo Joystick per Arduino, molto simile a quello del controller della famosa Playstation

**INTERRUTTORE ON/OFF** Si tratta di un dispositivo elettrico che consente di chiudere un circuito elettrico. Quando l'interruttore è configurato per consentire il passaggio di corrente, si dice chiuso, altrimenti si dice aperto.

**PULSANTI TELECOMANDO** I pulsanti usati per il telecomando (fig 5.21) sono dei comuni pulsanti per Arduino. Si tratta di interruttori, cioè degli elementi che chiudono un circuito fintanto che vengono premuti.

**PILA** La pila di alimentazione del telecomando (fig 5.22) è una comunissima pila da 9V reperibile in qualunque supermercato.



Figura 5.21: Comuni pulsanti per Arduino



Figura 5.22: Pila 9V

### 5.1.3 Elettronica e PCB

La realizzazione dell'elettronica è stata la parte di lavoro che certamente ha portato via più tempo. Gli schemi sono stati prima modellizzati a computer usando un apposito programma per schemi circuitali e poi successivamente realizzati tramite fotoincisione con l'utilizzo del bromografo. I moduli sono 4 e sono disposti lungo tutto lo spazio disponibile. In particolare, il modulo Arduino, il modulo Componenti e quello dei Motori sono tutti sullo stesso livello e presentano interconnessioni dirette tra loro, mentre il quarto modulo, quello superiore, è disposto a un livello rialzato rispetto agli altri. Quest'ultimo modulo dispone solo dei pin extra avanzati e di alcuni strip per l'alimentazione dei 5V, dei 3.3V, del GND e del pin reset dell'arduino.

**Modulo Arduino** Strip per Arduino Mega, Strip per connessione Motori, Strip per connessione Componenti, Strip Avanzati dall'arduino diretti al Modulo Superiore

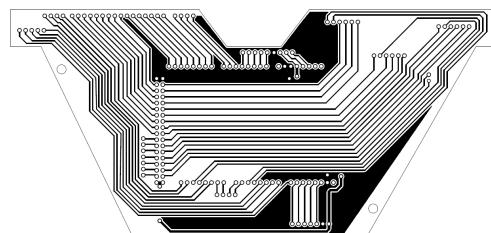


Figura 5.23: PCB del modulo arduino

Il modulo Arduino è il più grande e probabilmente anche il più importante. Dallo schema PCB riportato sopra, è possibile distinguere centralmente gli strip su cui andrà ad inserirsi la scheda Arduino Mega e, per ciascuno di questi strip, è presente una pista che conduce ad una determinata zona del modulo, in base al modulo destinatario di quello strip. In particolare, I tre blocchi di strip da 6 disposti orizzontalmente in alto a destra sono quelli che andranno al modulo dei motori e ai rispettivi driver; tutti gli strip disposti orizzontalmente in alto a sinistra (tot 29) sono quelli dedicati al modulo dei componenti; infine, i restanti strip dislocati per il modulo rappresentano quei pin Arduino non utilizzati e che pertanto andranno al modulo superiore.

**Modulo Componenti** Questo modulo contiene: strip per 3 PIR, per 3 MIC, per 6 Pulsanti, per 2 strisce e 1 matrice led, per 7 FSR, per 1 sonar e 1 IR, per 1 Bluetooth e 1 sensore accelerometro/giroscopio. Sono inoltre presenti degli strip orizzontali (1 da 7 pin, 1 da 6 pin, 2 da 4 pin, 1 da 3 pin) e uno verticale da 3 pin, tutti provenienti dal modulo arduino.

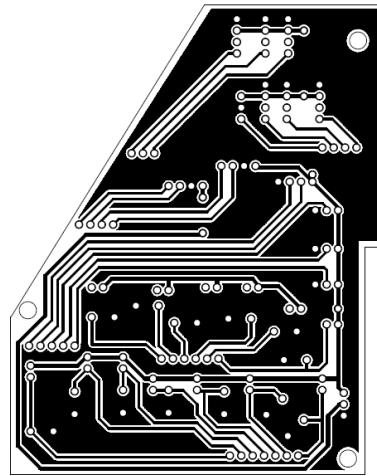


Figura 5.24: PCB del modulo componenti

Sono presenti tutti gli strip per i componenti che sono stati previsti (e precedentemente discussi) in questa versione di Teo.

**Modulo Superiore** Questo modulo contiene: Strip per EasyVR, Strip liberi dal modulo Arduino, Strip liberi riportati all'estremità superiore del modulo per agevolarne le connessioni future, Strip di alimentazione (3.3V, 5V), massa e reset.

In questo modulo si distinguono in posizione centrale gli strip della shield EasyVR. Nella parte inferiore, gli strip orizzontali da 4 e da 7 ricevono i pin dal

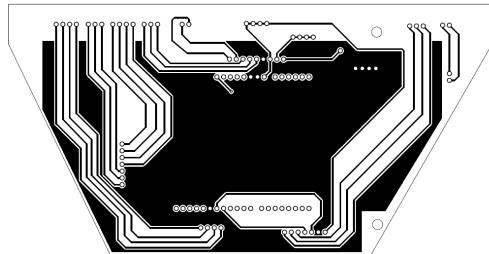


Figura 5.25: PCB del modulo superiore

modulo Arduino; stesso discorso vale per quelli da 9 orizzontali in alto, quelli da 7 verticali sulla parte sinistra e per quelli da 2 verticali a destra. I restanti, ovvero tutti quelli verticali posizionati nella parte superiore del modulo, sono strip liberi ed utilizzabili per future connessione.

**Modulo Motori** Questo modulo contiene: strip da 2 per alimentazione 12 volt (alto sx), strip da 2 per alimentazione 5V, strip per i driver dei motori (disposti orizzontalmente, uno strip da 12 seguito da una da 4), 3 strip da 6 per gli encoder (disposti vicino l'arco di circonferenza). Sono inoltre presenti gli strip orizzontali da 6 che provengono dal modulo Arduino

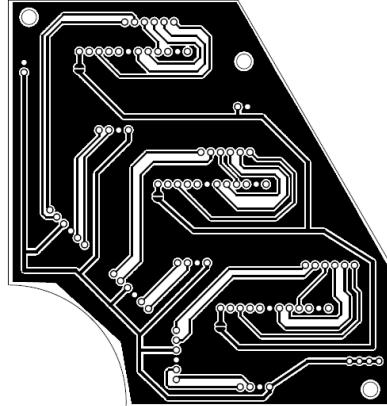


Figura 5.26: PCB del modulo motori

## 5.2 Architettura Software

L’ambiente di sviluppo integrato (IDE) di Arduino è un’applicazione multi-piattaforma scritta in Java, ed è derivata dall’IDE creato per il linguaggio di programmazione Processing e per il progetto Wiring. E’ concepita per aiutare coloro che si avvicinano per la prima volta al mondo dello sviluppo software. Per permettere la scrittura del codice, l’IDE include un editor di testo dotato inoltre di alcune particolarità, come il controllo delle parentesi, l’indentazione automatica e il syntax highlighting. L’editor consente inoltre di compilare e lanciare il programma con un solo click.

Insieme all’IDE sono presenti diversi programmi esempi che hanno lo scopo di aiutare l’utente nell’uso di una particolare libreria. Oltre alle varie librerie già incorporate, l’utente può aggiungerne di nuove con uno strumento di importazione compreso nell’IDE. Infine, per vedere i risultati di un programma è possibile attivare dall’IDE una finestra seriale di monitoring, sulla quale è possibile far scrivere tramite apposite funzioni. Un programma Arduino prende il nome di Sketch ed è composto da una o più schede. Il codice arduino è un linguaggio simil-C e lo sketch si compone di due funzioni che devono essere sempre presenti ed univoche per garantire il funzionamento del programma: **Setup** e **Loop**.

La funzione Setup viene eseguita una sola volta all’inizio del programma, mentre il programma vero e proprio è una continua riesecuzione della funzione Loop. Come si può intuire, la prima serve a impostare i parametri iniziali, mentre la seconda contiene tutta la logica del programma.

### 5.2.1 Software Robot

I programmi Arduino sono generalmente sviluppati basandosi su un modello di macchina a stati finiti, ovvero un modello deterministico in grado di evolvere da uno stato all’altro, usando un insieme finito di simboli. Lo sketch di Teo è stato realizzato con questo modello e pertanto il programma risulta molto lungo, nonostante in realtà la logica applicativa sia relativamente semplice. Lo sketch si compone di una parte iniziale in cui sono importate tutte le librerie necessarie (fig 5.27), dichiarati i pin dei vari componenti e le variabili globali.

```

1 #include <SoftwareSerial.h>
2 #include <SerialCommand.h>
3 #include <Adafruit_GFX.h>
4 #include <Adafruit_NeoMatrix.h>
5 #include <Adafruit_NeoPixel.h>
6 #include "Statistic.h"
7 #include <Wire.h>
8 #include <MPU6050.h>
9 #include "matrix_vars.h"
```

Figura 5.27: Esempio di importazione librerie

Il codice prevede la creazione di diversi oggetti che verranno di seguito utilizzati. Si tratta di quegli oggetti istanziabili grazie all'importazione delle librerie:

- due oggetti per gestire la comunicazione bluetooth tramite seriale software (softwareSerialPc e softwareSerialCtrl);
- un oggetto per interpretare i comandi ricevuti tramite seriale software dal telecomando (serialCommand);
- un oggetto per la matrice led (ledMatrix);
- due oggetti per le strisce led (ledStrip1 e ledStrip2);
- un oggetto per la gestione del sensore accelerometro/giroscopio (mpu);
- un oggetto serialCommand;
- un oggetto sonar;
- un oggetto IR.

Brevemente, alcune considerazioni su queste librerie.

La libreria *SoftwareSerial* consente, tramite software, la creazione di una comunicazione seriale su pin che altrimenti non avrebbero questa funzionalità. L'enorme vantaggio che si ottiene è quello di poter realizzare molte comunicazioni seriali software e, tramite queste, è possibile comunicare con più dispositivi contemporaneamente, in quanto ogni comunicazione è gestita da pin diversi e quindi ciascuna indipendente dalle altre. Si ricorda che gli unici pin che hanno una comunicazione seriale hardware (gestita da chip disposto sul controllore) sono i pin 0 e 1. Le comunicazioni seriali software fatte con Teo sono due ed entrambe sono di tipo bluetooth: la prima è quella che lega il telecomando al robot (softwareSerialCtrl) e la seconda è quella che avviene tra il robot e il pc per la riproduzione dei messaggi audio (softwareSerialPc).

La libreria *SerialCommand* semplifica la lettura e l'interpretazione dei caratteri ricevuti da seriale.

Le librerie *Adafruit\_GFX*, *Adafruit\_NeoMatrix* e *Adafruit\_NeoPixel* permettono la gestione della matrice e delle strisce LED, fornendo funzioni ad hoc.

Le librerie *MPU6050*, *IRRemote* e *NewPing* permettono invece di gestire rispettivamente il modulo accelerometro/giroscopio, il sensore IR e il sonar.

### Gestione Facce

Le facce vengono gestite dalla matrice LED e dalla libreria Adafruit di nome "*Adafruit\_NeoMatrix*". Questa libreria consente di settare il valore di luminosità e gestire singolarmente i led, impostando anche il loro colore. Quindi, la realizzazione della faccia avviene coordinando l'accensione di tutti i led necessari a rappresentare quella determinata espressione. Poiché Teo dovrà assumere diversi stati d'animo a seconda del contesto ed essere in grado di passare da uno all'altro, sono anche state realizzate delle animazioni per gestire queste transizioni. Concretamente, un'animazione consiste nell'accensione sequenziale di led

adiacenti per un arco di tempo inferiore al secondo. Ovviamente l'accuratezza dell'animazione dipende dal numero di step intermedi che si vogliono realizzare. Nel caso di Teo emotivo, sono 4 gli quelli creati. Infine occorre appuntare che la gestione delle facce avviene con un array[n][2] per ogni espressione facciale, contenente i valori riga-colonna dei pixel da accendere nella matrice.

### Algoritmo Sound Localization

Durante l'analisi dei requisiti si è affermato che Teo deve essere in grado di riconoscere la direzione del suono, per capire da che lato è stato chiamato e ruotarsi di conseguenza. Sfruttando tre sound sensor disposti ai vertici di un triangolo equilatero, si può riconoscere la provenienza del suono. Le difficoltà principali originano dalla presenza di rumori dell'ambiente, effetti di riflessione sonora e altri effetti di disturbo. Un altro fattore da considerare riguarda il tipo e la qualità dei microfoni utilizzati: è fondamentale che essi siano tutti dello stesso modello e che la qualità sia buona.

Alcuni di questi problemi possono essere eliminati o quantomeno gestiti, mentre per altri le difficoltà rimangono notevoli. In particolare, l'unica cosa non completamente eliminabile è il problema della riflessione del suono (fig 5.28).



Figura 5.28: Onde sonore dirette e riflesse

Questo problema si verifica nel momento in cui lo spazio attorno al robot non è sufficientemente ampio e libero ed esistono degli oggetti che fungono da riflettori sonori, deviando delle onde e conducendole in direzione dei microfoni. L'algoritmo filtra continuamente i diversi valori ricevuti dai sensori, cercando di identificare ed eliminare quei valori ritenuti di disturbo. Nonostante ciò, affinché questa funzionalità venga eseguita correttamente, è necessario che lo spazio intorno al robot sia il più ampio e libero possibile.

In pseudocodice, l'algorirmo è mostrato in figura 5.29.

```

59 dataProcessing();
60 pushData();
61 giveMicWeight()
62 checkMicChanges();
63 giveMicImportance();
64 detectPosition();

```

Figura 5.29: Pseudocodice dell'algoritmo per il riconoscimento della direzione del suono

Il dataProcessing cerca di eliminare tutti i suoni di disturbo: per fare questo il campionamento avviene a 50ms, frequenza minima udibile dall'orecchio umano. Di questi valori vengono calcolati il massimo e il minimo, si calcola la differenza e la si converte in volt. A questo punto si procede con l'inserimento del valore in un array e successivamente vengono assegnati dei pesi, basandosi su valori sperimentali. Sulla base dei pesi assegnati e del confronto tra i pesi assegnati ai vari microfoni, è stato possibile identificare la direzione della sorgente sonora.

**Implementazione Attività** Si è già accennato in precedenza al funzionamento generale dello sketch. Brevemente, esso consiste nella lettura della seriale software con il telecomando, nel controllo del valore ricevuto, il settaggio di variabili globali, nell'eventuale avvio dell'attività e nella riproduzione della faccia relativa allo stato emotionale desiderato.

Ora si analizzerà il dettaglio di questo algoritmo. I comandi inviati tramite seriale dal telecomando fanno parte di un insieme di stringhe predefinite, utilizzate come codici (ad esempio, F1 indica la faccia felice).

Il corpo del main è indicato in pseudocodice in figura 5.30

```

13 if(something_from_controller)
14   then activity=activityReceived;
15   else idleStateFunction();
16 if(activity != empty)
17   then playActivityFunction();
18 drawFaceFunction();
19 drawEyeFunction();

```

Figura 5.30: Corpo main del robot eseguito in loop

La funzione *playActivityFunction()* setta dei parametri globali che serviranno in seguito a disegnare la faccia del robot ed attivare eventuali sensori/attuatori. La funzione *idleStateFunction()* viene eseguita se il robot non riceve alcun valore dal telecomando e automaticamente entra nella modalità idle. In questa funzione si manifesta la vera essenza dell'emotività, in quanto Teo è in ascolto su tutti i sensori, legge tutti i valori che riceve e attua di conseguenza. In particolare vengono chiamate le funzioni di lettura su FSR, viene eseguito l'algoritmo di sound localization, modificati i parametri per le espressioni facciali e chiamate le funzioni relative ai sensori di distanza. I dati vengono continuamente letti e quando essi diventano significativi, il robot si interpreta e procede all'attuazione. Le funzioni *drawFaceFunction()* e *drawEyeFunction()* si basano sulle variabili globali precedentemente modificate per disegnare la corretta espressione facciale.

### 5.2.2 Software Telecomando

Lo sketch del telecomando si basa anch'esso su un modello di macchina a stati. Le librerie utilizzate sono u8glib per la gestione del display OLED e SoftwareSerial.

Il corpo main è il loop del seguente in pseudocodice:

```
21 readButtonPressure();
22 if(activity_button_pressed)
23   then sendActivityID();
24 else if(arrow_pressed)
25   then updateDisplay();
26 else if(joystick_changes())
27   sendJoystickValue();
```

Figura 5.31: Corpo dello sketch del telecomando in pseudocodice

Come si può notare, lo pseudocodice del telecomando in figura 5.31 risulta estremamente intuitivo e ogni ulteriore approfondimento risulta superfluo.

### 5.3 Problemi incontrati

I principali problemi emersi nel corso dello sviluppo riguardano principalmente errore durante la modellizzazione dei circuiti stampati. Nel corso di questa fase sono stati commessi alcuni errori che però è stato possibile correggere manualmente grazie a opportune saldature a stagno.

- **MODULO BLUETOOTH**

I pin TX e RX, che dal modulo arduino sono stati riportati su quello dei componenti per connettersi rispettivamente con RX e TX del Bluetooth HC-06, sono in realtà sbagliati. Infatti sono stati riportati i pin 16-17 dell'arduino mega, che però non possono essere usati come seriale software poichè sono già dei pin per la comunicazione seriale. Il problema è stato tranquillamente risolto usando due pin di quelli liberi e riportati sul modulo superiore. Si ricorda che i pin 16-17 rimangono comunque liberi ma dislocati sul modulo componenti rispetti agli altri.

- **PIANO DI MASSA COMUNE**

Un errore in fase di sviluppo della PCB del modulo superiore ha portato alla mancanza di un piano di massa comune. Pertanto si è dovuto procedere manualmente, saldando con filo e stagno per soppiare a questa mancanza.

- **STRIP INVERTITI**

Un altro errore è avvenuto sempre in fase di sviluppo e riguarda uno strip del modulo superiore che, durante la fase di modellizzazione, è stato invertito. Questa cosa ha portato alla necessità di effettuare opportune saldature a stagno per ripristinare il corretto ordine degli strip.

## Capitolo 6

# Conclusioni e sviluppi futuri

Nel complesso il lavoro è stato diviso in due fasi: una prima in cui ho analizzato, raccolto ed identificato i requisiti della nuova versione emotiva del robot e una seconda in cui ho sviluppato un prototipo della nuova versione sulla base di quanto ottenuto in precedenza.

Grazie a questa tesi ho avuto la possibilità di seguire sul campo la sperimentazione con soggetti autistici, di incontrare terapisti ed esperti nel campo della psicologia, di confrontarmi con loro e capire la loro opinione in merito alla tecnologia come strumento terapeutico per l'autismo.

L'idea è che il sistema sviluppato rappresenti, da un lato, un miglioramento ed un'estensione della precedente versione, e dall'altro un prototipo che simboleggi un punto di partenza per eventuali sviluppi futuri e ulteriori miglioramenti. A questo proposito va ricordato che tutte le scelte, soprattutto quelle hardware, sono state fatte nell'ottica di semplificare il lavoro a chi avrà la fortuna di continuare i lavori sul prototipo da me realizzato.

Come già detto nel precedente capitolo, non è stata svolta una fase di testing in quanto la mole di lavoro svolto è stata ritenuta sufficiente e non è stata espressamente un'attività di questo tipo dal docente; inoltre la sperimentazione si è conclusa nel mese di Aprile 2016.

A questo proposito, è necessario proporre alcune evoluzioni future possibili su questo progetto:

- Testing sul campo della tecnologia per avere un feedback significativo
- Migliorare faccia e gestirla con 2 matrici led, 8x32 per bocca e 16x16/32x32 per occhi
- Migliorare alcuni aspetti di design
- Pensare a eventuale inserimento di braccia/mani
- Capire come dare più fluidità al movimento
- Implementare il riconoscimento vocale con la Shield EasyVR

- Ideare ed implementare altri comportamenti emotivi o attività, possibilmente sempre trovando una corrispondenza con il manuale Fare o ricevendo un feedback dai terapisti
- Aumentare l'emotività implementando il meccanismo della respirazione
- Ripensare alla struttura del cappello sulla base delle considerazioni fatte dai terapisti
- Modificare il tipo di batterie usate e sviluppare un controllo software sulla carica delle stesse
- Sfruttare la tecnologia BLE per creare una rete bluetooth con master il robot, invece che singole comunicazioni point to point. Così facendo si ridurrebbe a uno il numero di moduli bluetooth su Teo.
- Studiare il modo di posizionare ulteriori sensori FSR per gestire il contatto su più zone, quindi estendere le zone sensibili di Teo.

In conclusione, questo lavoro di tesi mi è stato certamente utile dal punto di vista umano e personale, in quanto mi ha permesso di entrare in contatto con nuove realtà che altrimenti non avrei conosciuto così dettagliatamente. In particolare, le sessioni della sperimentazione seguite ed il continuo confronto con i terapisti rappresentano un valore aggiunto che porterò con me.

Il nuovo sistema sviluppato introduce il concetto di emotività all'interno di un robot che ora è in grado di modificare il proprio stato in base a ciò che percepisce dall'esterno e ad attuare dei comportamenti che, sulla base di quanto studiato, veicolano informazioni affettive. Il robot Teo potrà certamente essere usato per nuove sessioni di sperimentazione ed essere esteso e migliorato in futuro, grazie alla struttura estremamente scalabile di cui è dotato.

# Bibliografia

- [1] M. Argyle. *Bodily communication*. Routledge, 2013.
- [2] A. P. Association et al. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub, 2013.
- [3] L.-L. Balkwill and W. F. Thompson. A cross-cultural investigation of the perception of emotion in music: Psychophysical and cultural cues. *Music perception: an interdisciplinary journal*, 17(1):43–64, 1999.
- [4] C. L. Bethel and R. R. Murphy. Affective expression in appearance constrained robots. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART Conference on Human-robot Interaction*, HRI ’06, pages 327–328, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [5] A. Bhattacharya, M. Gelsomini, P. Pérez-Fuster, G. D. Abowd, and A. Rogza. Designing motion-based activities to engage students with autism in classroom settings. In *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children*, pages 69–78. ACM, 2015.
- [6] A. Bonarini, F. Garzotto, M. Gelsomini, M. Romero, F. Clasadonte, and A. N. Çelebi Yilmaz. A huggable, mobile robot for developmental disorder interventions in a multi-modal interaction space. In *Proceedings of the 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2016)*, page In press, New York, NY, USA, 2016. IEEE Computer Press.
- [7] A. Bonarini, F. Garzotto, M. Gelsomini, and M. Valoriani. Integrating human-robot and motion-based touchless interaction for children with intellectual disability. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 341–342. ACM, 2014.
- [8] E. Boutsika. Kinect in education: A proposal for children with autism. *Procedia Computer Science*, 27:123–129, 2014.
- [9] D. Cañamero. *Emotional and Intelligent II: The Tangled Knot of Social Cognition: Papers from the 2001 AAAI Fall Symposium, November 2-4, North Falmouth, Massachusetts*. AAAI Press, Menlo Park, CA, 2001.
- [10] K.-J. Chao, H.-W. Huang, W.-C. Fang, and N.-S. Chen. Embodied play to learn: Exploring kinect-facilitated memory performance. *British Journal of Educational Technology*, 44(5):E151–E155, 2013.

- [11] K. Dautenhahn. Socially intelligent robots: dimensions of human–robot interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1480):679–704, 2007.
- [12] K. Dautenhahn, I. Werry, T. Salter, and R. T. Boekhorst. Towards adaptive autonomous robots in autism therapy: Varieties of interactions. In *Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2003. Proceedings. 2003 IEEE International Symposium on*, volume 2, pages 577–582. IEEE, 2003.
- [13] S. Embgen, M. Luber, C. Becker-Asano, M. Ragni, V. Evers, and K. O. Arras. Robot-specific social cues in emotional body language. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'12)*, pages 1019–1025, USA, September 2012. IEEE Computer Society.
- [14] F. Garzotto, M. Gelsomini, L. Oliveto, and M. Valoriani. Motion-based touchless interaction for asd children: a case study. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 117–120. ACM, 2014.
- [15] F. Garzotto, M. Valoriani, and L. Bartoli. Touchless motion-based interaction for therapy of autistic children. In *Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare 1*, pages 471–494. Springer, 2014.
- [16] T. Grandin. *Thinking in pictures*. Bloomsbury Publishing, 2009.
- [17] M. Häring, N. Bee, and E. André. Creation and evaluation of emotion expression with body movement, sound and eye color for humanoid robots. In *IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man)*, 2011.
- [18] A. Kleinsmith and N. Bianchi-Berthouze. Affective body expression perception and recognition: A survey. *Affective Computing, IEEE Transactions on*, 4(1):15–33, 2013.
- [19] C. Laborde, C. Kynigos, K. Hollebrands, and R. Strässer. Teaching and learning geometry with technology. *Handbook of research on the psychology of mathematics education: Past, present and future*, pages 275–304, 2006.
- [20] M. Mori. Uncanny valley. *Energy*, 7(4):33–35, 1970.
- [21] D. J. Ricks and M. B. Colton. Trends and considerations in robot-assisted autism therapy. In *Robotics and Automation (ICRA), 2010 IEEE International Conference on*, pages 4354–4359. IEEE, 2010.
- [22] B. Robins, K. Dautenhahn, R. Te Boekhorst, and A. Billard. Robotic assistants in therapy and education of children with autism: can a small humanoid robot help encourage social interaction skills? *Universal Access in the Information Society*, 4(2):105–120, 2005.

- [23] B. Scassellati, H. Admoni, and M. Mataric. Robots for use in autism research. *Annual review of biomedical engineering*, 14:275–294, 2012.
- [24] M. Wilson. Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(4):625–636, 2002.
- [25] R. Zalapa and M. Tentori. Movement-based and tangible interactions to offer body awareness to children with autism. In *UCAmI*, pages 127–134. Springer, 2013.
- [26] Z. Zhang. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE multimedia*, 19(2):4–10, 2012.