

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

**Robot umanoidi e tecniche di  
interazione naturale per servizi di  
accoglienza ed informazioni**



**Relatori**

Prof. Fabrizio Lamberti  
Ing. Federica Bazzano

**Candidato**

Simon Dario Mezzomo

DICEMBRE 2017

Quest'opera è stata rilasciata con licenza Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> o spedisce una lettera a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

# Ringraziamenti

Grazie a tutti quelli che mi sono stati vicino durante questo lungo percorso che mi ha portato al tanto atteso traguardo della laurea. A tutta la famiglia che mi ha sempre sostenuto anche nei momenti più difficili. Agli amici di casa e di università Andrea, Hervé, Jacopo, Maurizio, Didier, Marco, Matteo, Luca, Thomas, Nicola, Simone che hanno condiviso numerose esperienze. A tutti i colleghi di lavoro Edoardo, Francesco, Emanuele, Gianluca, Gabriele, Nicolas, Rebecca, Chiara, Allegra. E a tutti quelli di cui mi sarò sicuramente scordato.

# Sommario

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di esplorare l'uso di robot umanoidi nell'ambito della robotica di servizio per applicazioni che possono essere utili all'uomo e di analizzarne l'effettiva utilità. In particolare, è stata analizzata l'interazione con un robot umanoide (generalmente chiamato receptionist) che accoglie gli utenti e fornisce loro, su richiesta, delle indicazioni per raggiungere il luogo in cui questi si vogliono recare.

L'innovazione rispetto allo stato dell'arte in materia consiste nell'integrare le indicazioni vocali fornite all'utente con delle indicazioni che mostrano il percorso da seguire su una mappa posta di fronte al robot. Durante una serie di esperimenti sono state confrontate tre versioni diverse di un robot receptionist. Innanzitutto, è stato effettuato un primo confronto tra robot virtuale e robot reale quando questo interagisce con l'utente utilizzando solo indicazioni gestuali e vocali. Successivamente, si è introdotta anche l'interazione con la mappa per il robot reale; in questo modo l'utente può vedere direttamente il percorso da seguire per raggiungere il luogo. Al termine degli esperimenti, si è verificata la presenza di eventuali differenze a livello di facilità d'uso e di correttezza della comprensione del percorso a seconda della modalità d'interazione utilizzata. È stato somministrato un questionario agli utenti in cui si chiede di valutare il grado di soddisfazione nell'utilizzo del sistema e le impressioni che gli stessi hanno avuto nei confronti del robot.

Il lavoro è stato suddiviso in due fasi principali. La prima fase, più pratica, ha previsto la costruzione di una parte del robot umanoide InMoov (<http://www.inmoov.fr>), un progetto nato nel gennaio del 2012 per mano del designer francese Gaël Langevin. Si tratta del primo progetto open source di un robot umanoide a dimensione reale e stampabile in 3D. Tutte le componenti necessarie per costruirlo, che comprendono servomotori, elettronica e viteria varia, sono facilmente reperibili con costi abbastanza contenuti rendendo il progetto molto accessibile e, per questo, è molto apprezzato sia nell'ambiente universitario che dalla comunità dei maker.

Inizialmente, sono stati messi in stampa tutti le componenti necessarie e durante questa fase si è proceduto in parallelo, a seconda della disponibilità dei pezzi, con la costruzione del robot. L'assemblaggio è partito dalla mano destra per poi proseguire lungo il braccio fino a raggiungere la spalla. Successivamente, è stata assemblata la testa ed infine, le due parti sono state combinate con il torso. Tutti i pezzi in plastica

sono stati ottenuti con la tecnica della modellazione a deposizione fusa (oppure FDM, dall'inglese Fused Deposition Modeling) tramite l'uso di una stampante 3D, utilizzando come materiale per il filamento in plastica l'ABS (acrilonitrile-butadiene-stirene) che è uno dei materiali più diffusi ed economici per la stampa.

Nella seconda fase, una volta completato l'assemblaggio, sono stati configurati e sviluppati i servizi utili per implementare la funzionalità sul robot. Innanzitutto, sono state verificate le funzionalità già rese disponibili dal software MyRobotLab, un framework Java open source basato su servizi per robotica, che è la piattaforma software che generalmente viene adoperata dalla comunità di InMoov per controllare il robot. Successivamente, sono state modificate e integrate le funzionalità necessarie per fornire il servizio all'utente. In particolare, è stata aggiunta una nuova funzionalità che permette al robot di capire dove è situato il luogo che l'utente vuole raggiungere e di calcolare un percorso che sarà poi indicato dal robot stesso sulla mappa.

La conversazione con il robot deve essere immediata e facile da utilizzare anche da parte di chi lo vede per la prima volta, soprattutto considerato che si suppone che venga impiegato in uno spazio pubblico, come può ad esempio l'ingresso di una università. L'utente che vuole ricevere delle indicazioni dal robot può farne richiesta attraverso comandi vocali e riceve successivamente una risposta alla sua richiesta con la spiegazione del percorso da seguire tramite indicazioni vocali e gesti effettuati con la mano del robot, utilizzando eventualmente la mappa quando questa è disponibile.

Dall'analisi dei questionari forniti agli utenti durante l'esperimento sono emersi alcuni risultati significativi. La mappa ha avuto un ruolo fondamentale nella comprensione del percorso descritto dal robot e ha influenzato sia la correttezza che la velocità dell'individuazione dei luoghi sulla mappa. Inoltre, gli utenti tendono a comprendere più facilmente le indicazioni fornite dal robot reale, oltre ad essere più coinvolti nell'interazione con il robot grazie al fatto che il robot si trovi fisicamente nello stesso spazio. Il problema principale emerso durante l'applicazione del robot nel ruolo di receptionist è stata la difficoltà a comprendere correttamente le richieste dell'utente tramite il riconoscimento vocale. Questo fatto, in generale, limita molto le possibilità di utilizzo della robotica di servizio nei ruoli in cui l'attività principale richiede l'interazione con le persone.

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
1.1	Scopo della tesi . . . . .	1
1.2	Organizzazione del lavoro . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Stato dell'arte</b>	<b>3</b>
2.1	Robotica di servizio . . . . .	3
2.1.1	Statistiche di mercato . . . . .	4
2.1.2	Panoramica storica . . . . .	5
2.1.3	Caratteristiche e campi di utilizzo . . . . .	6
2.2	Robot umanoidi . . . . .	7
2.2.1	NAO . . . . .	8
2.2.2	InMoov e uso nella ricerca . . . . .	9
2.3	Competizioni robotiche: RoboCup . . . . .	11
2.3.1	RoboCup@Home . . . . .	12
2.3.2	RoboCup Rescue . . . . .	12
2.4	Interazione Uomo-Robot . . . . .	12
2.5	Robot guida e di accoglienza . . . . .	15
2.5.1	Robot guida per musei . . . . .	15
2.5.2	Robot guida aeroportuali . . . . .	17
2.5.3	Robot per l'accoglienza . . . . .	18
2.5.4	Shopping robot . . . . .	20
2.5.5	Directions Robot . . . . .	21
2.5.6	Interazione con robot tramite mappa . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Tecnologie</b>	<b>24</b>
3.1	Piattaforma robotica: InMoov . . . . .	24
3.2	Panoramica delle componenti hardware . . . . .	25
3.2.1	Servomotori . . . . .	25
3.2.2	Alimentazione . . . . .	26
3.2.3	Scheda di controllo . . . . .	27
3.2.4	Visione . . . . .	28
3.2.5	Audio . . . . .	28

3.2.6	Collegamento dei servomotori . . . . .	28
3.3	Braccio robotico . . . . .	28
3.4	Stampa 3D delle componenti . . . . .	30
3.4.1	Materiali di stampa . . . . .	30
3.4.2	Modelli 3D . . . . .	31
3.4.3	Parametri di stampa . . . . .	31
3.5	Componenti software del sistema . . . . .	32
3.5.1	Piattaforma di sviluppo . . . . .	32
3.5.2	Visione artificiale . . . . .	33
3.5.3	Interazione vocale . . . . .	33
3.5.4	Servizio di navigazione su mappa . . . . .	33
3.5.5	Controllo del robot . . . . .	33
3.5.6	Robot virtuale . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Realizzazione</b> . . . . .	<b>36</b>
4.1	Moduli . . . . .	36
4.2	Funzionamento generale . . . . .	37
4.3	Tracciamento facciale . . . . .	38
4.3.1	Eventi . . . . .	39
4.4	Chatbot . . . . .	40
4.4.1	AIML . . . . .	40
4.4.2	Schema della conversazione . . . . .	42
4.5	Interazione vocale . . . . .	43
4.5.1	Riconoscimento vocale . . . . .	43
4.5.2	Sintesi vocale . . . . .	44
4.6	Servizio di navigazione . . . . .	44
4.6.1	Cinematica inversa . . . . .	44
4.6.2	Registrazione dei punti di passaggio . . . . .	45
4.6.3	<i>Scripting</i> delle indicazioni . . . . .	45
4.6.4	Interfaccia . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Risultati sperimentali</b> . . . . .	<b>47</b>
5.1	Configurazione . . . . .	47
5.1.1	Questionario . . . . .	50
5.2	Risultati . . . . .	51
5.2.1	Individuazione del luogo . . . . .	51
5.2.2	Tempi . . . . .	52
5.2.3	Questionario . . . . .	52
5.3	Discussione . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b> . . . . .	<b>60</b>

Bibliografia	61
A Questionario	64

# Capitolo 1

## Introduzione

I robot stanno assumendo un ruolo sempre più importante nelle nostre vite e stanno iniziando a diventare dei possibili sostituti dell'uomo nelle attività quotidiane. La robotica di servizio è, infatti, un settore in continua crescita ed espansione e che contribuisce a sviluppare numerose soluzioni robotiche innovative che vanno dalle semplici faccende domestiche fino a raggiungere anche alcune delle mansioni in cui è richiesta una maggiore abilità nell'interazione sociale, come può essere un receptionist di un albergo o una guida di un museo. Il robot receptionist è una figura che dipende molto dall'abilità di comunicare con l'utente, nella quale entrano in gioco numerosi fattori come, ad esempio, la qualità della voce e del riconoscimento vocale, la capacità di interagire con più persone, ecc. In questo lavoro di tesi è stato sviluppato un robot receptionist in grado di fornire delle indicazioni, eventualmente anche con l'ausilio di una mappa, agli utenti che ne facciano richiesta.

### 1.1 Scopo della tesi

Lo scopo principale di questo lavoro di tesi è quello di approfondire l'utilizzo di robot umanoidi nell'ambito della robotica di servizio e, in particolare, nei servizi che richiedono al robot di accogliere dei visitatori oppure di fornire loro delle informazioni. In questo caso è stato preso come punto di partenza l'attività del receptionist, che è uno dei possibili impieghi che possono essere eventualmente svolti dai robot umanoidi. Basandosi sui lavori di Trovato et al. [1][2][3] è stato effettuato un confronto tra tre diverse versioni di un robot receptionist, utilizzando come piattaforma robotica InMoov, un robot umanoide creato da Gaël Langevin<sup>1</sup>. Più precisamente, si vuole verificare e dimostrare che l'utilizzo di una mappa durante la spiegazione di indicazioni può migliorare l'esperienza dell'utente rispetto ad una versione del robot

---

<sup>1</sup>Sito web del progetto: <http://www.inmoov.fr>

di cui ne è sprovvista. Inoltre, sono state verificate anche quali siano le differenze durante l'interazione con receptionist virtuale rispetto a quella con un robot reale.

## 1.2 Organizzazione del lavoro

Le parti successive della tesi sono organizzate come segue.

Il secondo capitolo presenta lo stato dell'arte riguardante la robotica di servizio e i robot umanoidi. Viene presentata una rapida panoramica di cosa tratti la robotica di servizio, seguita poi da alcune statistiche di mercato su questo settore della robotica. Infine, sono mostrati alcuni lavori di ricerca focalizzandosi in particolare sui robot guida e per l'accoglienza.

Nel capitolo successivo sono illustrate le principali componenti sia hardware che software e le tecnologie utilizzate per la realizzazione del robot receptionist. Nel capitolo successivo è descritta la parte che riguarda la realizzazione del sistema.

Infine, nel capitolo che segue viene presentato l'esperimento realizzato con le tre versioni del robot e sono poi raccolti e presentati i risultati ottenuti.

# Capitolo 2

## Stato dell'arte

In questo capitolo viene presentata una panoramica generale sulla robotica, soffermandosi in particolare sui robot umanoidi e sulla robotica di servizio. Un ruolo importante è assunto anche dall'interazione tra uomo e robot e delle sue conseguenze sulla percezione delle persone nei confronti dei robot. Sono riportate successivamente alcune applicazioni nate grazie a questo settore della robotica ed eventuali sviluppi in questo campo.

### 2.1 Robotica di servizio

La robotica di servizio, detta anche *service robotics*, è un innovativo campo della robotica che si occupa di applicare le conoscenze e le tecniche della robotica con lo scopo di fornire un servizio all'uomo oppure sostituirlo nello svolgimento di alcuni compiti per soddisfare alcune sue necessità. Comunemente si adoperano in faccende domestiche ritenute laboriose e ripetitive e che si possono facilmente automatizzare.

Più formalmente i robot di servizio sono definiti dall'organizzazione ISO come "*Robot that performs useful tasks for humans or equipment excluding industrial automation applications*" [4], cioè *robot che eseguono attività utili agli umani o ad apparecchiature, escludendo le applicazioni dell'automazione industriale*. Quindi, si escludono tutte quelle applicazioni robotiche più tradizionali che servono esclusivamente ad automatizzare un processo produttivo, ma si considerano invece quei robot che possono collaborare o svolgere un servizio per l'uomo. Sono compresi nella definizione anche quei robot che hanno un'autonomia parziale, ad esempio quelli che operano in remoto, oppure sono completamente autonomi, ovvero non richiedono un'attiva interazione umana.

### 2.1.1 Statistiche di mercato

La IFR (International Federation of Robotics) ha pubblicato delle statistiche sulla crescita dei robot di servizio, raccogliendo i dati in due categorie principali:

- robot domestici;
- robot per l'intrattenimento.

Secondo le statistiche della IFR, “il numero totale di robot di servizio per uso personale e domestico venduto nel 2016 è aumentato del 24%, raggiungendo le 6,7 milioni di unità rispetto all'anno precedente” [5]. Dal 2015 al 2017 la produzione è aumentata leggermente, ma in futuro, ci si aspetta che il numero di unità vendute aumenterà significativamente sia per i robot domestici che per quelli d'intrattenimento, in particolare le vendite di robot domestici saliranno “da 6 100 unità nel 2017 alle 32 400 unità nel periodo 2018-2020” [5]. In futuro è prevista una sostanziale impennata delle vendite di robot per l'assistenza di anziani o persone con disabilità dalle 5 305 unità del 2016 alle 32 900 unità nel periodo 2018-2020 [5].

I robot per uso professionale hanno avuto lo stesso andamento di mercato dei robot personali: il numero totale venduto nel 2016 “è cresciuto significativamente del 24% fino a 59 706 unità dalle 48,018 del 2015” [5].

I campi di utilizzo di questa tipologia di robot sono vari, i settori principali sono:

- sistemi logistici;
- robot per la difesa;
- robot agricoli;
- robot per le pubbliche relazioni;
- esoscheletri attivi per l'uomo;
- robot ospedalieri.

In particolare, i robot per le pubbliche relazioni saranno interessati da un notevole aumento delle vendite raggiungendo fino al 37% di unità vendute in più nel 2017, mentre altre previsioni per il periodo 2018-2020 suggeriscono una crescita delle unità fino a cinque volte quella del 2017. La continua crescita in questo settore dimostra quanto sia importante e strategico sviluppare la ricerca esplorando scenari di utilizzo o interazioni sempre più innovativi.

## 2.1.2 Panoramica storica

Contrariamente a quanto si possa pensare solitamente, le prime forme primitive di robot sono molto antiche e si possono fare risalire agli automi meccanici. Ne è un esempio, la Colomba di Archita che risale al IV secolo AC, oppure c'è una testimonianza dell'antica Cina in cui si descrive che fu mostrato all'imperatore un pupazzo meccanico con la forma e le dimensioni di un umano.

Nell'anno 332 AC, Aristotele afferma nel suo testo *Politica* che un giorno gli automi faranno scomparire la schiavitù. Si può quindi ritrovare un concetto primordiale di robotica di servizio, anche se in forma molto meno evoluta, già in epoche passate. Un altro dei precursori della robotica, nella forma degli automi, è Erone di Alessandria che ha contribuito in maniera significativa allo sviluppo degli automi.

Più avanti nel tempo, nel XII secolo DC, Al-Jazari, inventore e ingegnere meccanico arabo, ha progettato e creato alcune macchine automatiche, tra cui anche degli utensili da cucina ed il primo automa musicale programmabile. Quest'ultimo era costituito da un semplice meccanismo con una ruota programmabile che può attivare, tramite dei denti, le leve collegate che, a loro volta, producono dei suoni o dei movimenti di alcune statuette animate.

Successivamente, un importante contributo è stato apportato anche da Leonardo da Vinci, che ha creato attorno al 1495 uno dei primi progetti di automa umanoide: l'*automa cavaliere* (figura 2.1). La sua creazione consiste di un'armatura meccanica in grado di muovere le braccia, la testa e la mascella e di alzarsi in piedi.



Figura 2.1. Automa cavaliere di Leonardo da Vinci.

Il termine *robot* ha origine moderne e deriva dalla parola *robot* della lingua ceca, che significa "lavoro pesante". Lo scrittore ceco Karel Čapek lo utilizzò per la prima volta nella sua opera *R.U.R.* del 1920. Uno dei primi robot umanoidi creati è Eric, un robot di alluminio dotato di un alimentatore a 12V in grado di

muovere testa e mani. Qualche anno più tardi, nel 1938, è stato costruito Elektro, un robot della Westinghouse Electric Corporation capace di pronunciare oltre 700 parole, camminare, muovere le braccia e di distinguere il verde dal rosso. Nel 1962 in Russia è stato progettato Sepulka, un robot guida per un museo che è stato usato fino al 2010 ed è in grado di fornire indicazioni ai visitatori. Dopo qualche anno, in centro di ricerca di Stanford ha progettato Shakey, il primo robot polivalente in grado di ragionare sulle proprie azioni. Wabot-1, il primo robot moderno, è stato progettato all'università di Waseda (Tokyo) ed è in grado di comunicare, misurare distanze e manipolare oggetti grazie ai sensori tattili. La seconda versione del robot, Wabot-2, è stata costruita nel 1984 ed è nato come robot musicista in grado di leggere e suonare musica. Un paio di anni dopo, nel 1986, Honda ha creato alcuni robot sperimentali, la serie E, seguiti dai modelli P1 e P3. L'evoluzione di questi modelli ha dato poi origine al robot più famoso di Honda: ASIMO.

### 2.1.3 Caratteristiche e campi di utilizzo

I robot di servizio trovano applicazione in numerosi ambienti, dalle case agli ospedali, dall'agricoltura ai musei e altri luoghi ancora. Si tratta di un campo in continua crescita e forte espansione nel quale si cerca di fornire robot sempre più evoluti ed efficienti per ogni necessità dell'uomo.

Le caratteristiche principali che si possono individuare nella robotica di servizio sono:

- usabilità e semplicità d'interazione;
- funzionalità ed effettiva utilità del lavoro svolto;
- robustezza e affidabilità durante l'utilizzo.

Sul primo punto si è sviluppata la ricerca sull'interazione uomo-macchina (HRI) e sulla progettazione basata sull'esperienza umana (Human-Centered Design). Sul secondo, invece, con l'evoluzione delle capacità dei robot è possibile trovare nuovi utilizzi e applicare i robot in ambiti e compiti sempre più numerosi e complessi. Un esempio di applicazione che oggi si cerca di migliorare è il soccorso in ambienti ostili, che richiede che il robot sia in grado di muoversi anche su terreni accidentati.

Inoltre, è fondamentale che il comportamento del robot sia sempre prevedibile e corretto e che non possa essere fonte di pericolo per l'uomo o altri robot. Infatti, questo punto importante era già stato formalizzato da Asimov nelle sue tre leggi della robotica.

Le due grandi categorie di utilizzo si suddividono in: robot per uso personale o domestico e robot per uso professionale. Nella prima categoria i robot sono prevalentemente usati per:

- lavori domestici, ad esempio, pulizia di vetri, aspirapolvere, tosaerba e robot di compagnia;
- l'intrattenimento, di cui fanno parte i robot giocattolo, per la telepresenza e quelli educativi;
- assistenza degli anziani o persone affette da disabilità, come le carrozzelle motorizzate oppure altri dispositivi di assistenza personale.

In ambito professionale i settori di utilizzo principali sono:

- robotica di campo, in particolare robot agricoli e quelli spaziali;
- pulizia professionale, come i robot la pulizia della fusoliera di aeromobili, di cisterne e condotte o di finestre e muri;
- per la costruzione o demolizione, ad esempio, di centrali nucleari o di edifici civili;
- robotica per la sanità, per la diagnostica, per la riabilitazione e per l'assistenza della chirurgia e della terapia;
- sicurezza e salvataggio, la sorveglianza e per la lotta agli incendi;
- militare, vedi robot per sminare oppure droni aerei, terrestri e subacquei;
- vari tipi di esoscheletro, robot per hotel e ristoranti, robot per servizi di accoglienza ed informazioni, marketing ed altri ancora.

## 2.2 Robot umanoidi

I robot umanoidi, definiti come robot che presentano delle sembianze umane, sono in continua ed inarrestabile evoluzione. Ad oggi, ne esistono di numerose tipologie e di svariate dimensioni a seconda del contesto o del campo applicativo per cui sono stati creati. Alcuni esempi di questa tipologia di robot più conosciuti e utilizzati sono: ASIMO della Honda, QRIO della Sony, Robovie della VStone [6], NAO della SoftBank Robotics, iCub open source, HRP-4C della AIST (Advanced Industrial Science and Technology in Giappone), Atlas della Boston Dynamics, InMoov open source [7] e, infine, Sophia della Hanson Robotics.

I robot sono caratterizzati generalmente da parti del corpo abbastanza simili a quelle che costituiscono anche gli esseri umani, cioè una testa, due braccia, il torso ed infine due gambe. In alcuni casi, i robot hanno alcune sezioni che sono state semplificate oppure sono addirittura mancanti. Ad esempio, la testa può essere fusa ed integrata nel torso, oppure essere rappresentata solamente tramite da uno

schermo, che può essere eventualmente usato dall'utente per fornire comandi al robot. Le gambe possono essere sostituite, invece, da una base mobile dotata di ruote per evitare l'uso della deambulazione bipede. Infatti, uno dei settori di ricerca sui robot umanoidi riguarda proprio la loro locomozione tramite l'uso delle gambe [8]. Infine, la mano, invece di essere completa di tutte le dita, può essere anche realizzata a forma di pinza oppure con un numero ridotto di dita o di gradi di libertà. La manipolazione robotica è anch'essa un campo attivo di ricerca vista l'elevata difficoltà nel riprodurre le numerose caratteristiche e complessità della mano umana, che è in grado di compiere una grande varietà di gesti: dai più precisi e lenti fino a quelli più veloci e con elevate forze in gioco.

I robot umanoidi si stanno avvicinando sempre più al pubblico e sono sempre più accettati nel mondo quotidiano, espandendosi in settori sempre più numerosi apportando alcuni benefici. Ad esempio i robot possono occuparsi delle persone con disabilità, difficoltà motorie oppure persone anziane, infatti è stato dimostrato che la presenza di un robot può ridurre lo stress e migliorare la qualità di vita [9]. Altri studi, invece, stanno cercando di migliorare le capacità del robot di svolgere determinati lavori o compiti tramite un miglioramento della funzionalità meccaniche, che poi sono sfruttate anche al di fuori della robotica nelle applicazioni protesiche, ma anche da un'evoluzione degli algoritmi e dei sistemi di controllo.

Saranno presentati ora alcuni dettagli dei robot umanoidi più famosi.

### 2.2.1 NAO

NAO è un robot programmabile prodotto dalla SoftBank Robotics (già Aldebran Robotics) nel 2006, che ha soppiantato il ruolo di AIBO nelle competizioni RoboCup a partire dal 2007. È riuscito a diffondersi notevolmente nel mondo accademico e della ricerca, infatti numerosi ricercatori l'hanno utilizzato per compiere le loro ricerche, ad esempio in [10] e [8]. Le sue caratteristiche principali sono:

- 25 gradi di libertà (GDL), oppure 21 nella versione RoboCup);
- IMU con accelerometro, giroscopio e 4 sensori ad ultrasuoni;
- 8 sensori di forza;
- sistema evoluto di sintesi vocale.

Il software di controllo *Choregraphe* è stato creato appositamente per NAO e permette un controllo e monitoraggio del robot tramite un'interfaccia che permette di programmare il robot con comportamenti abbastanza complessi senza la necessità di scrivere linee di codice.

### 2.2.2 InMoov e uso nella ricerca

InMoov è un robot umanoide progettato da Gaël Langevin [7] ed è il primo robot open source da stampare in 3D a grandezza umana. Il progetto, nato agli inizi del 2012, ha lo scopo di rendere più accessibile l'accesso di robot umanoidi grazie anche ai progressi fatti nel campo della stampa 3D. Tutte le componenti del robot sono facilmente reperibili a costi contenuti e i modelli per la stampa sono utilizzabili su praticamente qualsiasi stampante 3D disponibile. Queste caratteristiche lo rendono molto facile da realizzare e hanno permesso alla comunità di costruttori di espandersi costantemente, coinvolgendo in qualche caso anche alcune università.

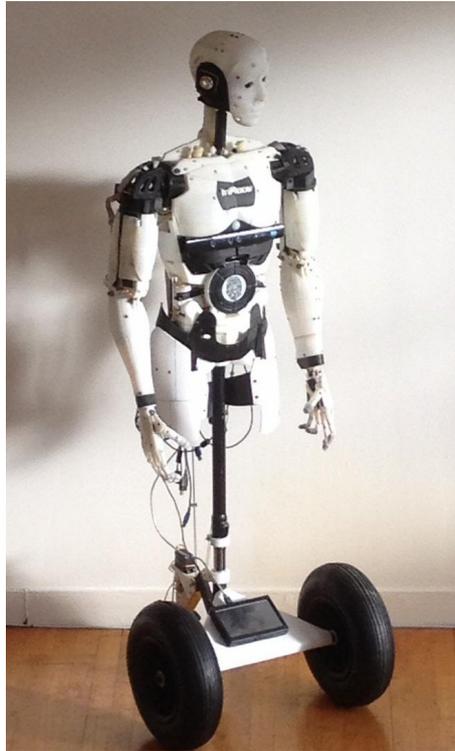


Figura 2.2. Robot umanoide InMoov. Immagine di Gaël Langevin.

L'elenco di tutte le componenti con le istruzioni per il montaggio e i modelli STL da stampare sono disponibili sul sito del progetto<sup>1</sup> e sono costantemente aggiornate, quando necessario, per apportare eventuali migliorie oppure estendere le parti realizzabili. Infatti, recentemente sono state pubblicate da poco sul sito del progetto le istruzioni per assemblare le gambe non motorizzate, mentre è ancora in corso, invece, la progettazione ed il design di quelle motorizzate. Di conseguenza,

---

<sup>1</sup>Sito web: <http://www.inmoov.fr/>

è previsto che in futuro InMoov sia in grado di camminare e possa così muoversi liberamente sulle sue gambe.

Questa novità nella robotica open source ha rivoluzionato l'accessibilità ai robot umanoidi anche nel settore della ricerca, che finora ha prevalentemente utilizzato robot commerciali abbastanza costosi o progettati appositamente per l'esperimento, come ad esempio NAO. Il progetto InMoov è già stato utilizzato in alcune ricerche e alcune di queste sono riportate successivamente.

Per esempio, in una ricerca in Ecuador per insegnare il linguaggio dei segni ai bambini tramite un'interfaccia robotica interattiva [11], è stata utilizzata la parte superiore di un robot umanoide avente 22 gradi di libertà (GDL) che è stata costruita basandosi sul design originale di InMoov. In questo esperimento, è stato confrontato il metodo di insegnamento tradizionale con quello tramite assistente robotico e i risultati sono stati incoraggianti. Infatti, i tempi di apprendimento si sono ridotti significativamente del 25%. Inoltre, i ricercatori hanno studiato la meccanica e la dinamica del robot e hanno misurato quali sono le forze che agiscono sulle varie parti e, infine, hanno verificato il grado di accuratezza nel riprodurre i movimenti richiesti.

In un altro caso, in Perù, è stato utilizzato solamente un avambraccio del progetto InMoov come esempio di protesi al fine di condurre una ricerca sulla lettura di segnali EEG per il controllo della protesi [12], dimostrando come sia possibile quasi per chiunque costruire una protesi che funzioni adeguatamente con un basso costo con le tecnologie di oggi.

La testa, invece, è stata utilizzata in una ricerca che riguarda il tracciamento del movimento degli oggetti in cui, inizialmente, sono stati confrontati due algoritmi comunemente utilizzati, cioè Lucas Kanade e Farneback, mentre successivamente è stato validato con un esperimento l'algoritmo che è stato sviluppato per il controllo della testa di InMoov, tenendo in considerazione anche i suoi limiti di visione e movimento [13].

Infine, alcuni ricercatori hanno creato il progetto ImNEU, in cui si è cercato di completare il progetto InMoov aggiungendo un computer MiniPC ed una base mobile a ruota doppia per permettere al robot di spostarsi ottenendo un totale di 47 GDL. Inoltre, si è cercato di semplificare l'elettronica e l'hanno modificata con una soluzione basata su sei moduli di controllo embedded che sono stati integrati direttamente nelle parti meccaniche. I vari moduli sono poi coordinati da un unico Arduino Mega e sono controllati tramite un bus RS-485.

Si può concludere che la robotica open source, grazie anche agli enormi progressi fatti nella stampa 3D, ha facilitato moltissimo l'accesso ai robot umanoidi, anche a coloro non possono sostenere gli elevati costi necessari per l'acquisto delle soluzioni commerciali come NAO. Oltre a ciò, non è da sottovalutare la possibilità di personalizzazione, adattando così il robot iniziale al proprio scopo, e la libertà di poter modificare a proprio piacimento i progetti originali, cosa che non è possibile fare con

le soluzioni fornite già assemblate.

## 2.3 Competizioni robotiche: RoboCup

RoboCup (contrazione di Robot Soccer World Cup) è una competizione robotica a livello internazionale che si è tenuta per la prima volta nel 1997, con l'idea di creare una squadra di robot umanoidi in grado di battere entro il 2050 i campioni del mondo di calcio in una partita. La competizione non è fine a se stessa, ma ha lo scopo di incentivare i ricercatori e di accelerare i progressi tecnologici. Si tratta di un obiettivo molto complesso da raggiungere, infatti, per giocare a calcio sarebbero necessari robot con caratteristiche di velocità, resistenza, agilità e forza ancora difficili da ottenere oggi.

Con la tecnologia di oggi siamo ancora lontani dal raggiungere l'obiettivo. Ad esempio, i robot odierni non sono ancora in grado di mantenere un'autonomia elevata che sia in grado di resistere per tutta la durata di una partita da 90 minuti. Probabilmente, quando la sfida sarà completa, i robot avranno già raggiunto un livello di tecnologia sufficiente a svolgere buona parte delle attività che gli umani svolgono.

Dall'idea originale della RoboCup sono nate successivamente altre varianti, tra cui RoboCup@Home e RoboCup Rescue.



Figura 2.3. NAO durante una competizione RoboCup.

### 2.3.1 RoboCup@Home

RoboCup@Home è una competizione nata nel 2006 che non ha l'obiettivo di creare una squadra di calciatori robot, ma quello di far sfidare i robot domestici in sfide che includono anche l'interazione uomo-robot e che devono avere un ruolo sociale e devono riguardare un'attività specifica.

La sfida si compone di due fasi nelle quali alcune abilità del robot sono messe alla prova. Nella prima fase solo le funzionalità di base sono verificate e testate, mentre nella seconda fase, invece, le abilità sono sottoposte a prove più avanzate facendo compiere al robot dei compiti specifici, ad esempio, prendere un'ordinazione oppure servire il cibo alla persona. Le abilità principali valutate nella competizione sono: rilevamento e riconoscimento di persone, riconoscimento vocale e di gesti, capacità di prendere decisioni, navigazione e mappatura e, infine, riconoscimento e manipolazione di oggetti.

### 2.3.2 RoboCup Rescue

Rispetto alle altre due competizioni, la RoboCup Rescue si concentra sull'utilizzo di robot per la salvaguardia delle vite umane in scenari post catastrofe. La competizione è nata nel 2001 dalla volontà di sviluppare nuove tecnologie per il salvataggio delle persone basandosi sull'analisi successiva del terremoto avvenuto in Giappone a Kobe nel 1995.

Anche in questa variante la sfida si suddivide in due parti. Nella prima fase di qualificazione, i robot devono dimostrare alcune abilità e superare delle prove in un ambiente statico. Invece nella seconda fase, i robot si sfidano in un'arena in una missione di ricerca e recupero della durata di 20 minuti. L'arena riproduce uno scenario di catastrofe o disastro naturale o incendio, perciò è importante che il robot abbia buone capacità di movimento, in grado di superare ostacoli o terreni sconnessi senza bloccarsi.

Si può concludere che è anche grazie a queste competizioni che la robotica di servizio sta facendo enormi progressi ed è in grado di portare a termine compiti sempre più complessi.

## 2.4 Interazione Uomo-Robot

Uno dei campi di ricerca più importanti è la cosiddetta Interazione Uomo-Robot, detta anche HRI, dall'inglese Human-Robot Interaction. Una recente indagine di Leite et al. [9] ha analizzato lo stato dell'arte in alcuni settori in cui si sta studiando l'interazione con i robot, in particolare nella terapia e la cura delle persone, nell'educazione, negli ambienti di lavoro, negli spazi pubblici e, infine, nell'ambiente domestico.

Per esempio, il robot umanoide Robovie è stato introdotto in un centro per anziani ed è stato accettato positivamente grazie alla sua abilità di salutare e di intrattenere conversazioni [9]. Un altro studio è stato condotto con un compagno robot AIBO a forma di animale per vedere i suoi effetti terapeutici su bambini autistici ed è emerso che i soggetti hanno mostrato un interesse crescente nei confronti del robot con occasionali manifestazioni di affetto [9]. In un altro caso, l'interazione con un robot, che è in grado di stabilire un contatto visivo e di tenere semplici conversazioni, ha notevolmente migliorato la volontà e l'effettivo utilizzo del sistema con il robot per tenere traccia dei progressi durante una dieta rispetto all'annotazione su di un computer oppure su di un semplice registro cartaceo [9].

Nell'ambito sociale, invece, è stato condotto uno studio sulla presenza robotica in eventi importanti. In questo caso, sono stati analizzati gli effetti dell'utilizzo di un robot nel contesto di un vero matrimonio e se lo stesso può essere socialmente accettato [14]. Il robot utilizzato è ancora una volta NAO, che viene adoperato nella funzione di custode delle fedi nuziali e per la consegna degli anelli agli sposi. L'esperimento consta di tre parti:

- la prima verifica le reazioni degli ospiti presenti al matrimonio;
- la seconda confronta le opinioni tra chi ha visto o meno il robot consegnare le fedi;
- la terza raccoglie le opinioni prima e dopo la visione del filmato della consegna fatta dal robot.

I risultati hanno evidenziato una reazione positiva delle persone presenti al matrimonio, mentre il confronto tra chi ha visto o meno il robot, ha mostrato una differenza significativa nella reazione dei due tipi di soggetto. Lo studio conclude che la visione del robot che consegna le fedi influenza positivamente la percezione che le persone hanno riguardo la presenza di robot in contesti sociali importanti, mostrando che in futuro i robot possono essere accettati nella vita quotidiana.

Infine, è interessante notare come le idee proposte dai partecipanti siano temi ricorrenti della ricerca della robotica di servizio. Infatti, molti utenti hanno manifestato l'interesse di poter interagire con i robot per chiedere loro informazioni utili: è questo lo scopo dei robot di accoglienza che verranno presentati nella sezione successiva.

Nel campo educativo, invece, si è notato che non è facile mantenere alto l'interesse dei bambini nei confronti del robot una volta che è passato l'effetto novità a causa dell'effetto di *abituazione*. Infatti, gli studi hanno evidenziato che l'introduzione progressiva di nuovi comportamenti ha un effetto notevole sulla capacità di mantenere gli utenti coinvolti. Inoltre, nel caso di robot umanoidi, è importante non sottovalutare il suo aspetto, perché si è osservato che più questo assomiglia ad un umano, più aumentano le aspettative che l'utente ha nei suoi confronti e questo

potrebbe influenzare la sua interazione negativamente. Proprio per questo motivo i robot che devono interagire con bambini hanno solitamente un aspetto più caricaturale. Perciò, per mantenere un rapporto durante un lungo periodo, è fondamentale lo sviluppo e l'implementazione di comportamenti e interazioni sempre più complessi e dinamici in modo da rendere il robot sempre coinvolgente.

Per quanto riguarda gli spazi pubblici e gli ambienti lavorativi, risulta di particolare importanza che il robot fornisca delle indicazioni a chi gli sta intorno su come interagire con lui per rendere l'esperienza il più immediata possibile, ad esempio come è stato fatto con NAO in [10]. Anche in questo ambiente, come quello educativo, è fondamentale che il robot sia in grado di gestire buona parte delle interazioni, soprattutto quelle di accoglimento e di congedo al fine di mantenere un elevato grado di coinvolgimento.

Inoltre, nell'esperimento di Valerie, la "*roboceptionist*" [15], sono stati studiati gli effetti di eventuali cambiamenti di umore del robot nelle interazioni ed è emerso che l'approccio al robot è influenzato sia dal suo umore, che dalla familiarità che si ha con lo stesso e che la sua capacità di mostrare emozioni può avere effetti positivi per rendere più empatiche le interazioni. Inoltre, anche la memoria di conversazioni precedenti aiuta il robot ad adattarsi e a evolvere le conversazioni in base al tipo di utente, ottenendo così una interazione più naturale ed immediata.

Anche i robot utilizzati nell'ambiente domestico hanno capacità limitate di interazione e devono essere compiuti ulteriori progressi per penetrare maggiormente nelle case delle persone. Uno degli aspetti chiave per far sì che migliori l'interesse verso il robot è legato alle funzionalità che lo stesso offre. Un altro aspetto da considerare è la difficoltà nel raccogliere dati affidabili a lungo termine mantenendo inalterata la privacy degli utenti nelle loro case. Devono essere, quindi, messe a punto delle pratiche e metodologie che consentano di ottenere dati utilizzabili nelle ricerche in ambito domestico.

Infine, l'indagine mette in evidenza le quattro principali caratteristiche da tenere in considerazione nelle interazioni uomo-robot che si dividono in:

- aspetto;
- continuità e coerenza del comportamento e con novità progressive;
- interazione affettiva ed empatia;
- memoria e adattamento.

Riassumendo, è importante che l'aspetto del robot non sia troppo umano per non creare false aspettative nell'uomo; talvolta questo può essere controproducente come dimostra una teoria di Mori della valle perturbante [16] (si veda la figura 2.4 la teoria del *uncanny valley*). L'aspetto umanoide, quindi, deve essere opportunamente bilanciato in base a quanto è avanzato il suo comportamento.

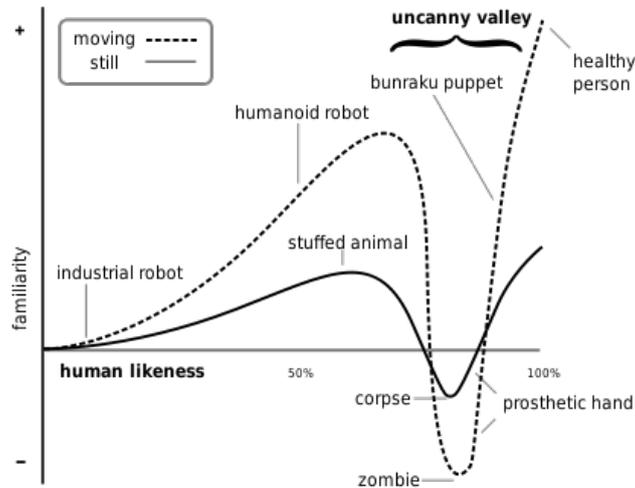


Figura 2.4. Il fenomeno *uncanny valley* secondo Mori (fonte Wikipedia)

In seguito, il comportamento di base deve essere anche in grado di introdurre progressivamente nuove dinamiche d'interazione. Inoltre, non solo è bene che il robot riesca a far percepire all'utente le sue emozioni, ma è anche necessario approfondire e sviluppare la capacità del robot di comprendere le emozioni e di avere empatia verso l'utente, in modo da influenzare positivamente l'utente. Infine, il robot dovrebbe essere in grado di modificare il proprio comportamento a seconda del contesto e delle abitudini di chi interagisce con lui.

## 2.5 Robot guida e di accoglienza

Sono state realizzate numerose ricerche e applicazioni riguardanti l'impiego della robotica per fornire indicazioni e informazioni sul luogo in cui ci si trova ad eventuali visitatori. Le prime soluzioni erano per lo più semplici e prevedevano soltanto un'interazione tramite dialogo molto semplificata, mentre recentemente si è in grado di gestire situazioni sempre più complesse tra cui, interazione avanzata con persone multiple e l'analisi del loro stato di attenzione [10, 17] oppure la navigazione autonoma all'interno degli spazi anche più ristretti. Di seguito sono proposti alcuni esempi di questa tipologia di robot.

### 2.5.1 Robot guida per musei

Esistono alcuni esempi di studio e di utilizzo di robot che hanno il compito di accompagnare, coinvolgere e guidare i visitatori di un museo. Sono stati analizzati e

studiati quali siano i principali meccanismi che influenzano l'efficacia dell'interazione e la capacità di mantenere l'attenzione del visitatore.

Una prima analisi riguarda il come avvenga l'instaurazione di una nuova interazione. In particolare, Yousuf et al. [17] hanno messo a punto un modello sulle modalità per iniziare un'interazione. In questo caso, l'esperimento è stato realizzato in laboratorio con l'ausilio di un robot umanoide Robovie-R e tramite l'uso di alcuni sensori, tra cui delle videocamere, un microfono e due sensori laser e l'impiego di tre moduli software per il tracciamento della posizione e dell'orientamento del robot, il riconoscimento facciale e l'unità di controllo del robot. Usando questi mezzi, il robot è in grado di gestire autonomamente la sua posizione rispetto agli altri visitatori presenti a seconda del loro comportamento e al contesto in cui si trovano. In altri studi questa fase dell'interazione è molto spesso sottovalutata, ma questo non vuol dire che sia meno importante. Anzi, i risultati dell'esperimento sono stati positivi, dimostrando un significativo miglioramento nella capacità di cominciare un'interazione e ottenendo di conseguenza un'esperienza più gradevole per il visitatore.

Un altro esempio di robot guida italiano è Virgil (figura 2.5), che è utilizzato nel Castello di Racconigi e permette ai visitatori di poter esplorare per mezzo del robot le stanze del castello, incluse quelle non accessibili [18]. Il sistema è composto da una piattaforma robotica che trasporta una videocamera ed è controllato remotamente tramite un tablet dotato di interfaccia grafica. La maggior parte dei visitatori (85%) ha confermato che l'utilizzo di Virgil rende l'esperienza più coinvolgente e interessante e ritiene che in generale l'utilizzo della robotica nei musei è utile o molto utile.



Figura 2.5. Virgil: il robot guida al castello di Racconigi

Recentemente, è stato valutato l'uso del sensore Kinect è anche nei musei sul robot guida Eddie [19] ottenendo alcuni risultati interessanti. Il Kinect fornisce al robot la capacità di riconoscere facilmente i gesti e i comandi vocali a lui impartiti, oltre ad effettuare il riconoscimento facciale. Questo permette al visitatore di

comandare al robot di fermarsi, di parlare oppure di seguirlo da vicino e guidarlo passo a passo fornendogli informazioni utili lungo il suo percorso. Ogni volta che il robot incontra un'etichetta RFID, riconosce che si trova nei pressi di un oggetto d'interesse e permette al visitatore di scegliere se farsi raccontare le informazioni al riguardo contenute nell'audio registrato, oppure se semplicemente continuare la visita guidata. Inoltre, le etichette RFID permettono di mappare la posizione del robot e rendere disponibili le informazioni sul suo stato tramite una risorsa Web. Eventualmente il sistema supporta l'uso di più robot grazie al riconoscimento dei colori. Infatti, è sufficiente far indossare al visitatore una maglietta di un colore specifico per distinguerlo dagli altri.

Si può concludere che la soluzione è molto semplice da configurare e richiede poco hardware, ma d'altra parte potrebbe presentare dei problemi e creare confusione al robot se l'ambiente circostante si trova in condizioni critiche o molto affollate, soprattutto nel caso in cui siano presenti altre persone che indossano una maglietta con colori molto simili a quella rilevata dal robot. Inoltre, l'interazione con il robot è limitata solamente alla riproduzione di audio precedentemente memorizzati e al riconoscimento di predeterminati comandi vocali, di conseguenza non ha la possibilità di coinvolgere l'utente, per esempio con espressioni facciali o gesti [10] per rendere la visita guidata più interessante.

## 2.5.2 Robot guida aeroportuali

Un altro studio è stato condotto nel corso di più anni all'aeroporto di Amsterdam-Schiphol, uno degli aeroporti più trafficati del mondo [20], un ambiente affollato e realistico che mette a dura prova tutte le funzionalità del robot che deve essere in grado di sapere navigare lungo il percorso e orientarsi in uno spazio chiuso molto vasto e riconoscere le persone per poi interagire con loro. In questo caso, il robot utilizzato è SPENCER, un robot socialmente consapevole per l'accompagnamento e l'aiuto di passeggeri in aeroporti affollati [21].

Il robot è in grado di leggere la carta d'imbarco del passeggero tramite un lettore ottico per conoscere qual sia la destinazione all'interno dell'aeroporto al fine di accompagnare poi il passeggero. Durante le esperienze, sono emersi alcuni problemi di calibrazione della velocità di marcia del robot: in alcuni casi il robot era troppo lento, mentre in altri era troppo rapido. Un altro problema riguardava la sensibilità del sistema anti-collisione che interveniva troppo facilmente in situazioni troppo affollate causando il blocco del robot mentre accompagnava i passeggeri.

È evidente che è ancora necessario migliorare il comportamento del robot in situazioni particolari in modo da rendere l'esperienza del passeggero meno problematica. Sarebbe da considerare la possibilità di estendere il funzionamento del robot con funzionalità simili al robot per centro commerciale che sarà presentato in una

sezione successiva [22], in questo modo gli utenti potrebbero approfittare anche dei vari servizi e dei negozi presenti nell'aeroporto lungo il percorso.

### 2.5.3 Robot per l'accoglienza

Un'altra applicazione per la robotica di servizio è nel settore dell'accoglienza, o *reception*. In quest'ambito, si sta valutando l'uso di robot per accogliere visitatori, ospiti e turisti all'interno di alberghi, ospedali, conferenze, musei, negozi o uffici.

Alcuni ricercatori cinesi hanno messo a punto un robot umanoide di questa tipologia, composto da nove moduli, tra cui riconoscimento e registrazione facciale, riconoscimento e sintesi vocale, elaboratore delle informazioni, controllo meccanico e delle espressioni e un modulo per la sicurezza che vengono coordinati durante l'interazione con l'utente [23], aprendo la strada alla creazione futura di robot più completi. L'ultimo modello di robot umanoide commerciale della SoftBank Robotics, Pepper (figura 2.6), si sta diffondendo in Giappone ed è già stato utilizzato con successo in numerosi negozi, catene e alberghi giapponesi. Di recente è stato introdotto nella reception di due ospedali in Belgio.



Figura 2.6. Pepper della SoftBank Robotics

Le ricerche in questo settore si concentrano maggiormente sull'aspetto antropomorfo e dell'interazione uomo-robot. Nei lavori di Trovato et al. [1][2][3] sono stati condotti alcuni esperimenti per verificare quali fattori influenzino la percezione che l'uomo ha nei confronti di robot per l'accoglienza. In particolare, sono stati studiati gli effetti di voci diverse e dell'aspetto. Durante l'esperimento sono stati utilizzati

due tipologie di assistente, uno virtuale, Aná (figura 2.7, realizzato tramite computer grafica, l'altro reale, un robot umanoide chiamato KOBIANA (figura 2.8).



Figura 2.7. L'assistente virtuale Aná.

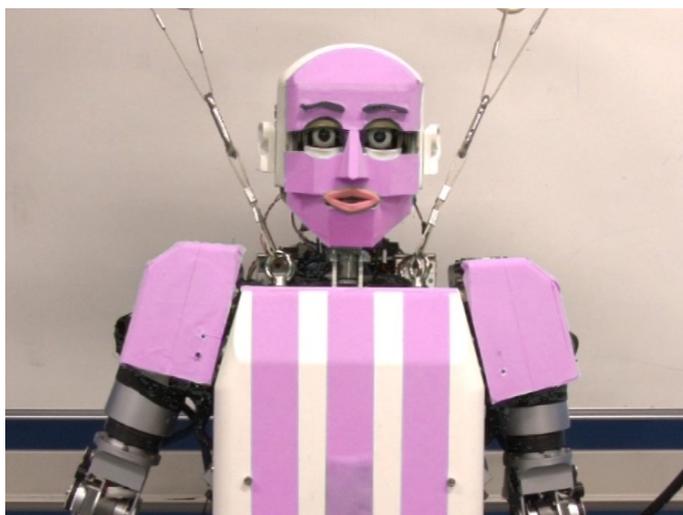


Figura 2.8. Il robot KOBIANA

Durante questo esperimento, è stato chiesto al volontario di interagire con Aná che forniva le indicazioni per raggiungere la stanza dov'era presente KOBIANA. Una volta raggiunta la stanza è stato compilato il questionario con le impressioni sull'agente virtuale, successivamente il volontario doveva interagire con il robot in teleconferenza che forniva altre indicazioni per raggiungere la stanza finale, in cui veniva compilato il questionario finale su KOBIANA e veniva chiesto quale

delle due versioni era stata preferita. Al fine di non introdurre ulteriori variabili nello studio, è stata simulata una videoconferenza con entrambi gli assistenti per rendere il confronto più congruo e isolare meglio gli effetti dei cambiamenti di voce o aspetto. Infatti, è stato dimostrato che la presenza fisica del robot può cambiare la percezione dell'uomo nei suoi confronti ed un confronto precedente ha rivelato che la presenza fisica è preferibile a quella virtuale. In questo caso si è concluso, invece, che è stato preferito maggiormente l'assistente virtuale (con aspetto più umano) rispetto al robot e questo conferma che le persone sono più predisposte a fidarsi ed essere persuasi da robot che sono più simili all'uomo.

Il confronto è stato realizzato utilizzando dei questionari composti da domande scritte basate su scale differenziali semantiche basate sulle scale Godspeed di Bartneck [24], che consistono in domande suddivise in varie categorie. Sono state usate quelle su Antropomorfismo, Animazione, Simpatia, Intelligenza percepita, Sicurezza percepita e ne è stato aggiunto uno sulla Familiarità, basandosi sul lavoro presente in [3], composto da cinque coppie di aggettivi: raccapricciante/grazioso, spaventoso/innocuo, misterioso/familiare, strano/normale e losco/rassicurante. Sono state aggiunte altre tre domande in cui si chiede di valutare la preferenza esplicita con una scala che va da Aná (1) a KOBIANA (5), su "Capacità nel ruolo di receptionist", "Utilità delle informazioni fornite", "Qualità della voce", "Voce appropriata all'aspetto".

#### 2.5.4 Shopping robot

In un altro studio all'interno di un centro commerciale, è stato usato Robovie per fornire informazioni sugli acquisti, indicazioni sui percorsi e per socializzare con i visitatori [22]. Grazie ad un tag RFID, il robot è in grado di riconoscere e di ricordarsi del visitatore che ha interagito con il robot e di interagire con lui in modo diretto, chiamandolo ad esempio per nome. Questa funzionalità è molto utile, perché permette di stabilire un rapporto di continuità con la persona, una delle caratteristiche importanti per l'interazione nel lungo periodo, come evidenziato da Leite [9].

Per rendere l'interazione più coinvolgente attraverso lo sguardo del robot, i ricercatori hanno associato all'etichetta RFID l'altezza del visitatore in modo che il robot sappia dove rivolgere lo sguardo. La necessità di impostare questo dato rende il robot meno indipendente nelle interazioni e potrebbe essere sostituito invece da un sistema di riconoscimento facciale che sia in grado di individuare la direzione verso cui rivolgere lo sguardo. Inoltre, come è stato notato dai ricercatori, il robot non è ancora in grado di agire in completa autonomia e ha la necessità di essere operato remotamente per superare le difficoltà riscontrate dal riconoscimento vocale in ambienti rumorosi.

Infine, è da notare che molto probabilmente l'utilizzo di etichette RFID possa influenzare negativamente l'esperienza dell'utente con il robot, perché il suo utilizzo sottintende che l'utente è obbligato ad utilizzarlo ogni volta che deve farsi riconoscere e l'interazione diventerebbe nel caso venisse smarrita l'etichetta RFID, perché in tal caso l'utente non può più essere riconosciuto (sarebbe come se il robot avesse perso la memoria).

I risultati di questo studio sono molto incoraggianti perché dimostrano ancora una volta che la presenza robotica è vista positivamente dalla gente, come più volte confermato in altri studi [9] [17].

Ricapitolando, uno degli ostacoli incontrati dai robot di servizio che devono operare con il pubblico in ambienti potenzialmente rumorosi, è l'accuratezza del riconoscimento vocale. Infatti, le esperienze di [10] e [9] hanno dimostrato che è necessario trovare delle soluzioni migliori di riconoscimento vocale che sia in grado di funzionare anche in presenza di molte persone o di rumori esterni.

### 2.5.5 Directions Robot

La soluzione di Microsoft, Directions Robot [10], è un robot umanoide che fornisce indicazioni all'interno degli edifici. Utilizza il robot NAO della SoftBank Robotics per interfacciarsi con gli utenti ed integra alcuni sensori al sistema, tra cui una videocamera Flea3 PointGrey per la visione ed invece la batteria di microfoni di un sensore Kinect per analizzare i suoni (figura 2.9).

Il flusso video viene elaborato da un algoritmo di riconoscimento facciale capace di rilevare i volti ed il loro orientamento frontale o laterale, abbinato ad un modello di confidenza che valuta la correttezza del tracciamento facciale. Inoltre per rendere il sistema più robusto, è in grado di gestire eventuali ostruzioni della vista. Il compito del riconoscimento vocale è svolto dal kit di sviluppo per Windows del Kinect su cui è abilitato un particolare sottoinsieme di regole a seconda del contesto. I dati dei sensori vengono poi analizzati ed elaborati da un modulo di analisi della scena su un computer desktop per elaborare un modello dello stato di coinvolgimento delle persone circostanti che permette al robot di instaurare e tracciare l'interazione con più interlocutori fino ad un massimo di tre contemporaneamente.

L'interazione con il robot è limitata al contesto per cui è stato progettato, quindi essenzialmente a richieste di indicazioni per raggiungere un locale, un ufficio oppure un'aula dell'edificio. In caso di domande particolari, che non sono riconosciute perché non sono pertinenti oppure a causa di eventi esterni che non permettono il corretto riconoscimento, il sistema cerca di risolvere il conflitto chiedendo di ripetere l'ultima richiesta, altrimenti informa l'interlocutore che non è in grado di trovare una risposta. La presenza di un robot umanoide rende l'esperienza più coinvolgente, ma si ottiene anche un'interazione più efficace perché questo può utilizzare dei gesti



Figura 2.9. *Directions Robot* della Microsoft (fonte Microsoft Research)

aggiuntivi per indicare la direzione iniziale da seguire e facilitare la comprensione delle indicazioni date.

Per quanto riguarda la gestione della mappatura del luogo ed il calcolo del percorso, il sistema utilizza un software per la gestione della mappa, la quale integra alla mappa altri metadati con le informazioni su cammini percorribili, corridoi e i punti d'interesse presenti. Il percorso richiesto è successivamente calcolato con una ricerca basata sull'algoritmo A\* usando come metrica la sua distanza Euclidea. Il risultato viene poi semplificato e opportunamente filtrato ed infine convertito in indicazioni di alto livello che poi verranno interpretate da un modulo di controllo che le converte in gesti del robot e uscite vocali.

Sono emerse delle criticità per alcuni aspetti. Ad esempio, il riconoscimento vocale non sempre è in grado di comprendere correttamente la richiesta dell'utente. Unito al fatto che le interazioni vocali che non riguardano il dominio specifico non sono capite, ciò rende l'interazione più difficoltosa. Si potrebbe, quindi, migliorare sia l'accuratezza del riconoscimento vocale che il comportamento del sistema, in modo da rendere l'interazione del robot più simile ad un umano, ad esempio, permettendo al robot di intrattenere delle conversazioni che possano riguardare anche argomenti estranei al proprio compito specifico. Invece, per quanto riguarda le indicazioni su percorsi più lunghi, queste risultano qualche volta complicate e difficili da ricordare per l'utente. In questo caso una soluzione sarebbe quella di integrare le indicazioni aggiungendo ulteriori nuovi gesti o indizi che facilitino la comprensione del percorso.

Una delle evoluzioni, ad esempio, potrebbe prevedere l'aggiunta di una mappa fisica presente nei pressi del robot. Infine, si può notare come questo sistema non sia in grado di spostarsi e il suo utilizzo è limitato solamente al luogo in cui si trova. In futuro si potrebbe considerare l'abbinamento al sistema di un robot mobile in grado di accompagnare l'utente lungo il percorso trovato su richiesta, come è già stato fatto in alcuni musei o aeroporti [20] [18].

### 2.5.6 Interazione con robot tramite mappa

Holtaus e Wachsmuth [25] hanno proposto un robot addetto alla reception che comunica con l'utente tramite la voce ed i gesti per dare delle indicazioni. Il robot si trova dietro un tavolo ed è in grado di rispondere ai visitatori e guidarli con gesti che si possono riferire direttamente ai luoghi presenti nella realtà oppure guidarli utilizzando la mappa che si trova di fronte a sé. Inoltre, il robot è in grado di percepire l'eventuale presenza di una persona e di instaurare, di conseguenza, un dialogo con la stessa. Infatti è dotato di consapevolezza spaziale e può adattare la durata dei suoi gesti e l'uso dello sguardo oppure di stabilire quali movimenti gestuali compiere sulla base di un modello che il robot mantiene sullo stato di presenza umana nei dintorni. Questo robot può essere utilizzato, ad esempio, nei campus universitari, alle conferenze, all'ingresso di alberghi e in generale in tutti quei luoghi pubblici dove un visitatore ha la necessità di trovare il luogo particolare in cui si deve recare. L'autore non ha descritto, per ora, nessun esperimento o ulteriore studio in merito, ma ha solamente presentato in modo generale le caratteristiche del robot.

Il lavoro di questa tesi parte, quindi, dal lavoro svolto da Trovato et al. in [1][2][3] e cerca di adattarlo al caso di studio di un robot receptionist dotato di mappa basandoci sull'idea presentata nell'articolo di Holtaus e Wachsmuth [25]. L'obiettivo principale è quello di confrontare, in modo analogo a quanto già fatto, due versioni di robot receptionist, uno virtuale e uno reale, per poi effettuare un confronto ulteriore con una terza versione con un robot reale a cui viene aggiunto l'utilizzo di una mappa nell'interazione.

# Capitolo 3

## Tecnologie

In questo capitolo sono illustrate le principali tecnologie utilizzate per la realizzazione del robot InMoov e le successive sperimentazioni.

### 3.1 Piattaforma robotica: InMoov

La piattaforma usata si basa sul robot umanoide open source InMoov [7], di cui sono già state presentate alcune informazioni generali nella sezione 2.2.2. Il progetto originale cerca di creare, mettere insieme ed infine condividere una serie di istruzioni assieme ai modelli per l'assemblaggio fai da te del robot utilizzando solo strumenti e materiali facilmente reperibili e l'uso di una stampante 3D. Tutti i pezzi in plastica si possono comodamente stampare in qualunque stampante che abbia un volume di stampa di almeno  $12 \times 12 \times 12$  cm e dotata di un'adeguata qualità di stampa.

Le sembianze e le caratteristiche di InMoov state create a grandezza naturale e sono basate sull'anatomia umana, inoltre questo è l'unico robot umanoide open source con queste dimensioni. In questo caso, per l'esperimento è stata realizzata solamente una parte di InMoov. In particolare, sono stati soltanto il braccio destro, la testa e la parte superiore del torso, ottenendo così un umanoide avente 5 GDL per la testa, altri 5 per il braccio e altri 5 ancora per le dita della mano, per un totale complessivo di 15 GDL. Oltre all'altro braccio, sul sito web del progetto sono disponibili anche le altre parti del torso e di poco tempo anche le gambe non motorizzate.

Il fatto che il progetto sia open source lo rende molto interessante, perché agevola l'attività di contribuzione da parte della comunità di utenti di InMoov che possono creare e condividere così tutte le migliorie con chi utilizza il robot. Inoltre, ciò facilita molto la personalizzazione del robot e, nel caso fosse necessario, si possono apportare delle modifiche per adattarlo ad un compito specifico, come ad esempio, l'aggiunta di un grado di libertà alla mano per ottenere una destrezza migliore. In

alcuni casi, qualcuno ha realizzato soltanto il braccio di InMoov e l'ha utilizzato come base di partenza per produrre protesi accessibili e a basso costo.

## 3.2 Panoramica delle componenti hardware

Il robot è costituito da parti in plastica che sono da realizzare tramite stampa 3D e altre componenti hardware facilmente reperibili nei negozi. Si elencano alcune delle parti principali utilizzate per il robot, che saranno approfondite successivamente nelle sezioni successive: due videocamere, due altoparlanti, un microfono esterno, una scheda Arduino MEGA, una scheda amplificatore, la scheda di alimentazione Nervo Board, quindici servomotori, varie viti e bulloni, cavi di collegamento vari. Oltre al robot è necessario una fonte di alimentazione esterna e un sistema PC per il controllo del robot. La figura 3.1 mostra le parti principali utilizzate.

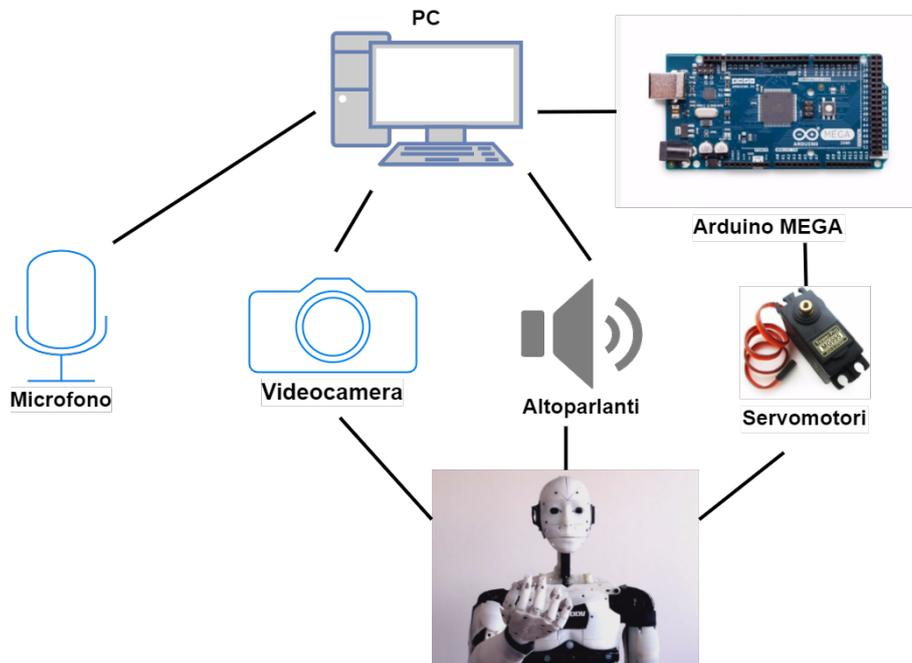


Figura 3.1. Componenti hardware principali.

### 3.2.1 Servomotori

Per muovere le articolazioni robotiche del robot sono stati utilizzati complessivamente quindici servomotori di diversa grandezza e coppia massima. Tutti i servomotori sono in grado di ruotare di 180 gradi, tranne il modello HK15298B usato per le dita

e la mandibola che può ruotare solo di 90 gradi. I vari servomotori sono descritti in tabella 3.1.

Giunto/Asse	Quantità	Modello
Dita mano	5	HK15298B
Rotazione Polso	1	MG996R
Gomito	1	HS-805BB+
Spalla	3	HS-805BB+
Testa orizzontale e verticale	2	HS-805BB+
Occhi orizzontale e verticale	2	DS928HV
Mandibola	1	HK15298B
<b>Totale</b>	<b>15</b>	

Modello	Quantità	Coppia massima [Kg cm]
HS-805BB+	6	24,7
MG996R+	1	10
HK15298B	6	20
DS928HV	2	1,7

Tabella 3.1. Servomotori utilizzati

Su tre dei servomotori modello HS-805BB+ è stato necessario seguire una procedura per estrarre il potenziometro contenuto all'interno e renderlo accessibile dall'esterno e, in qualche caso, invertirne eventualmente anche il verso. Questa operazione è stata necessaria per permettere al servomotore di usare direttamente la posizione angolare dell'asse di movimento associato al giunto come segnale di riferimento per il controllo della retroazione. Inoltre, dopo la modifica il motore è in grado di compiere rotazioni illimitate così da poter essere usato per attuare dei meccanismi di movimento a vite che avrebbe un movimento molto limitato con la sola rotazione originale di 180 gradi.

### 3.2.2 Alimentazione

L'energia per il robot è fornita principalmente da un alimentatore da 6 V con una potenza massima di 300 W, che può essere eventualmente sostituito da un sistema a batteria per rendere il robot indipendente dal punto di vista energetico quando in futuro potrà muoversi. Una parte delle componenti è alimentata in parte dalla scheda Arduino che è collegata alle porte USB da 5 V del computer che controlla il robot.

L'alimentazione a 6 V permette ai servomotori di applicare una coppia più alta rispetto ad una alimentazione più bassa a soli 5 V. L'energia viene distribuita dall'alimentatore fino ai vari servomotori grazie alla scheda *Nervo Board* (figura 3.2) che

collega la scheda principale ai moduli periferici di testa, braccia e mano tramite dei cavi piatti. La scheda da assemblare e saldare è fornita direttamente dal creatore di InMoov ed è acquistabile sul sito del progetto; così facendo è possibile finanziare lo sviluppo del progetto InMoov e permettere al creatore di migliorare ulteriormente l'umanoide.

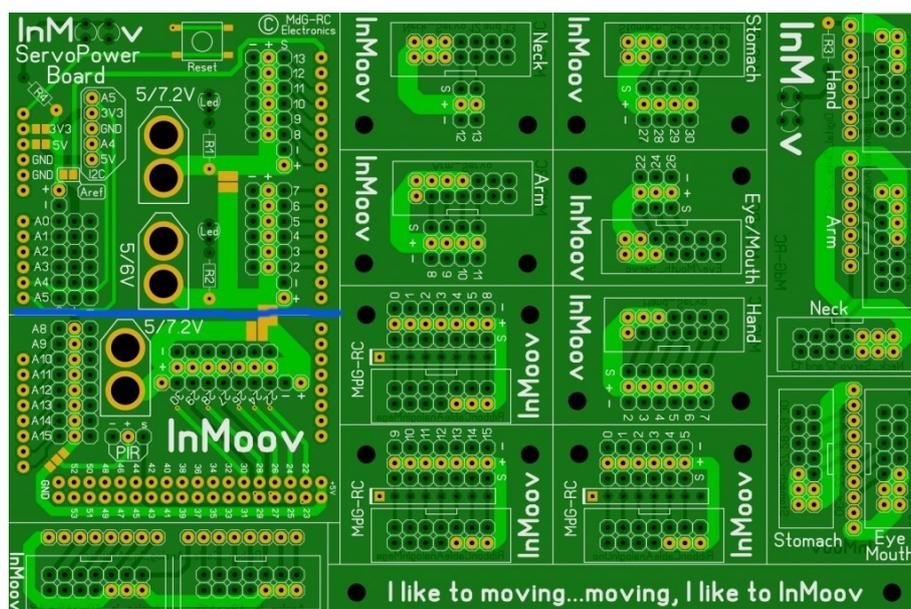


Figura 3.2. Insieme di schede della Nervo Board per InMoov (fonte <http://inmoov.fr>)

### 3.2.3 Scheda di controllo

Per il controllo del robot è stata utilizzata una scheda microcontrollore Arduino Mega ADK che si occupa di ricevere i comandi forniti da un computer esterno su cui è installato il software di controllo MyRobotLabe di convertirli in segnali elettrici per i motori.

La scheda Arduino si occupa di coordinare i movimenti dei vari servomotori che costituiscono i vari giunti e assi del robot e può gestire eventuali input o output aggiuntivi, analogici o digitali manipolati tramite il software esterno. Ad esempio, il sistema è già predisposto per il supporto di un sensore di presenza a infrarossi (PIR) e del dispositivo *NeoPixel*, che è un anello costituito da LED colorati che possono fornire ulteriori indicazioni visive all'utente.

### 3.2.4 Visione

La visione è fornita da due videocamere Microsoft LifeCam HD 3000, di cui sono state estratte dall'alloggiamento le schede con il relativo sensore per posizionarle direttamente dietro agli occhi senza l'ingombro del supporto.

Le caratteristiche della videocamera sono:

- sensore con tecnologia CMOS;
- risoluzione video  $1280 \times 720$  pixel;
- video con 30 frame al secondo;
- profondità colori a 24bit.

### 3.2.5 Audio

La sintesi vocale, invece, utilizza come uscita audio, tramite un scheda di amplificazione audio stereo, due altoparlanti da 4  $\Omega$  e 5 W situati nelle orecchie del robot che riproducono l'audio prodotto dal software sul PC.

Per quanto riguarda il riconoscimento vocale, è stato considerato l'utilizzo di microfoni nelle orecchie, ma sfortunatamente la qualità del riconoscimento è molto degradata a causa dell'elevato rumore di fondo creato dai servomotori quando entrano in funzione, perciò si è scelto come soluzione alternativa di usare un microfono esterno collegato al PC che permette di ottenere una buona qualità nel riconoscimento vocale.

### 3.2.6 Collegamento dei servomotori

Ogni servomotore è connesso tramite la Nervo Board all'alimentazione principale e alla relativa uscita presente sulla scheda di controllo. La tabella 3.2 elenca tutte le uscite utilizzate sulla scheda Arduino Mega per comandare tutti i motori presenti nel braccio destro e nella testa.

I comandi generati dalla scheda sono dei segnali PWM, (*Pulse Width Modulation*) che in base alla modulazione della larghezza dell'impulso impostano l'angolo di uscita sul servomotore: il segnale può variare all'incirca tra i 600  $\mu\text{s}$  e i 1300  $\mu\text{s}$  che corrispondono rispettivamente ad un angolo di  $0^\circ$  e di  $180^\circ$ .

## 3.3 Braccio robotico

Il braccio robotico destro utilizzato su InMoov è formato da cinque giunti rotoidali le cui caratteristiche possono essere descritte dai parametri di Denavit-Hartenberg in tabella 3.3 (le variabili giunto  $q_i$  in alcuni casi sono stati corretti con un offset iniziale

Giunto/Asse	Pin
pollice	2
indice	3
medio	4
anulare	5
mignolo	6
polso	7
bicipite	8
rotazione braccio	9
spalla	10
scapola	11
collo su/giù	12
collo sinistra/destra	13
occhi sinistra/destra	22
occhi su/giù	24
mandibola	26

Tabella 3.2. Pinout dei servomotori sull'Arduino

per far coincidere le variabili giunto con gli angoli sui servomotori). I parametri sono stati utilizzati anche per la soluzione della cinematica diretta e inversa del braccio. Questo ha permesso di poter manipolare facilmente l'arto facendo muovere il polso e la mano lungo una direzione nota che corrisponde ad uno degli assi del sistema di riferimento fisso solidale con il torso del robot. Invece, una rappresentazione grafica del braccio creata con il software RoboAnalyzer è disponibile in figura 3.3.

$i$	$d_i$	$\theta_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	0	$q_1 + 90$	39.5	-90
2	78.2	$q_2 - 90$	0	90
3	281.8	$q_3$	29.6	90
4	-8.2	$q_4$	-13.7	90
5	-289.1	$q_5$	0	-90

Tabella 3.3. Parametri di Denavit-Hartenberg del braccio (angoli espressi in gradi e lunghezze in mm)

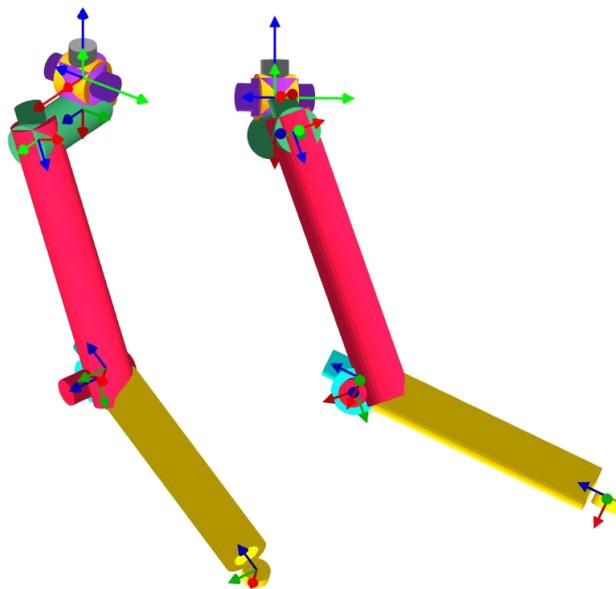


Figura 3.3. Rappresentazione grafica ottenuta da RoboAnalyzer del braccio robotico utilizzando i parametri di Denavit-Hartenberg.

## 3.4 Stampa 3D delle componenti

Il processo di stampa è stata la fase della realizzazione del robot più dispendiosa in termini di tempo. Tutti i pezzi del robot sono stati stampati usando come materiale per il filamento la plastica ABS e utilizzando una stampante MakerBot Replicator2X (in figura 3.4).

### 3.4.1 Materiali di stampa

L'ABS è uno dei materiali più utilizzati nei processi di stampa 3D basati sulla tecnica FDM, grazie al suo basso costo e alla sua elevata robustezza e resistenza al calore, ha però il difetto di contrarsi durante il raffreddamento dei pezzi causandone la deformazione, che in certi casi rende il componente inutilizzabile. Generalmente, questo effetto diventa più evidente con l'aumentare del volume totale del pezzo.

Una possibile alternativa all'ABS sarebbe l'uso del filamento in PLA (acido polilattico) un materiale biodegradabile che ha costi paragonabili, ma ha il vantaggio di non essere soggetto all'effetto di contrazione, agevolando notevolmente il processo di stampa. Questo materiale ha però lo svantaggio di essere meno stabile termicamente ed è meno flessibile rispetto all'ABS.

Un altro materiale ancora è lo HIPS (High Impact PolyStirene) che ha proprietà meccaniche a metà tra l'ABS e il PLA. Si tratta di un materiale più facile da stampare con una resistenza elevata agli impatti e una migliore resistenza alla trazione



Figura 3.4. Stampante 3D di tipo FDM: Makerbot Replicator 2X

senza avere gli stessi effetti di contrazione dell'ABS. Lo svantaggio è che il costo di questo materiale è in genere più alto rispetto agli altri due materiali nominati.

### 3.4.2 Modelli 3D

Tutti i modelli 3D dei pezzi scaricabili dal sito del progetto InMoov sono in formato STL e sono facilmente e liberamente modificabili nel caso fossero necessarie delle personalizzazioni. Per rendere un modello STL comprensibile e manipolabile da parte della stampante, è necessario convertire il modello in una sequenza di comandi di estrusione e di traslazione della testina di stampa. Questo processo è detto *slicing*, ovvero affettamento, e produce un file pronto per la stampa in codice-G, oppure G-code (nota: la stampante MakerBot utilizzata in realtà usa un altro formato proprietario) che contiene la traccia di tutto il percorso che la testina di stampa deve compiere per realizzare il pezzo.

### 3.4.3 Parametri di stampa

In generale, sono state utilizzate le impostazioni di stampa consigliate dal creatore di InMoov, i parametri sono specificati più in dettaglio nella tabella 3.4.

Per il riempimento è stato usato il tipo *rectilinear* o rettangolare, mentre la temperatura di estrusione è stata impostata a 230° C.

Categoria	Risol. [mm]	Shell	Riempimento [%]
Parti estetiche minori	0,2	2	30
Parti strutturali interne	0,2	3	30
Parti esterne di rivestimento	0,15	3	30
Parti meccaniche e ingranaggi	0,2	3	30
Parti critiche della spalla	0,2	3	100

Tabella 3.4. Principali parametri di stampa utilizzati. La risoluzione indica l'altezza di ogni singolo strato di stampa, *shell* è il numero di linee di contorno usate lungo il perimetro e, infine, il riempimento è la percentuale di volume interno riempito nel modello.

L'accuratezza dimensionale durante la stampa è stata generalmente buona e nell'ordine dei decimi di millimetro. In qualche caso, però, è stato necessario modificare le parti originali con l'utilizzo di lime e carta abrasiva a causa di piccoli problemi a fare combaciare i pezzi dovuti alla contrazione della plastica ABS utilizzata.

## 3.5 Componenti software del sistema

Sono elencate qui di seguito tutte le componenti software utilizzate per controllare il robot.

### 3.5.1 Piattaforma di sviluppo

Per il controllo del robot InMoov è stato utilizzato il software MyRobotLab che è un framework open source e modulare per la robotica sviluppato in Java e basato su vari servizi intercambiabili ed estensibili, che include alcuni moduli creati appositamente per InMoov a cui si interfacciano anche degli script in Python che ne estendono le funzionalità e permettono, ad esempio, di creare nuove *gesture* o altri comandi vocali. La piattaforma cerca di integrare i vari moduli e si basa su un sistema a messaggi di tipo *publisher-subscriber*, ovvero produttore-consumatore, per farli interoperare. Inoltre, i vari servizi espongono dei *topic* che rappresentano i punti d'ingresso e uscita dei messaggi di questo protocollo di comunicazione. La versione del software utilizzata sia per MyRobotLab che per gli script di InMoov è una delle versioni disponibili online su GitHub<sup>1</sup> a ottobre 2017 sul ramo di sviluppo *develop* che ha alcune funzionalità aggiuntive rispetto all'ultimo rilascio ufficiale disponibile del 2016.

<sup>1</sup><http://www.github.com/MyRobotLab>

Una valida alternativa a MyRobotLab è il Robot Operating System (ROS) che è una distribuzione di software per il controllo robotico molto utilizzato nel campo industriale e accademico, ma ha l'inconveniente di avere pochissimi moduli già implementati per il controllo del robot InMoov.

### 3.5.2 Visione artificiale

Il modulo di visione è basato sulla libreria OpenCV, che permette di usare alcuni filtri come, ad esempio il riconoscimento facciale, o il tracciamento di forme o colori. Questo permette di riconoscere l'eventuale presenza di persone nel campo visivo del robot e comportarsi di conseguenza, rendendo l'interazione con loro più intuitiva ed efficace.

### 3.5.3 Interazione vocale

Tutta l'interazione vocale è predisposta per la lingua italiana sia per i comandi dati al robot, che per le risposte fornite dallo stesso. Il microfono esterno può ricevere i comandi dall'utente che vengono convertiti in testo dal modulo di riconoscimento vocale su *WebKit* e tramite la chatbot basata su A.L.I.C.E. è in grado di reagire e rispondere a vari comandi oppure tenere delle semplici conversazioni. Infine, le risposte del robot sono elaborate dal servizio di sintesi vocale MaryTTS [26] per cui è stata utilizzata una voce femminile visto che gli utenti generalmente preferiscono avere una figura femminile come ruolo di receptionist.

### 3.5.4 Servizio di navigazione su mappa

Il servizio creato può registrare i punti d'interesse presenti sulla mappa ed è in grado di salvare il percorso necessario per raggiungere il luogo a partire da dove si trova il robot per la reception per poi riprodurre tramite gesti e indicazioni vocali la sequenza di istruzioni per arrivare al punto richiesto. Ulteriori dettagli sono forniti nel capitolo successivo.

### 3.5.5 Controllo del robot

Le interfacce per il controllo manuale del movimento del robot disponibili in MyRobotLab sono, in certi casi, molto basilari e sono basate prevalentemente sul controllo separato di ogni singolo servomotore. Per esempio, le *gesture* che il robot è il grado di eseguire, non sono altro che sequenze registrate di output dei singoli servomotori che il robot può riprodurre. Invece, altri sistemi e algoritmi di controllo più avanzati, come il sistema anticollisione, sono ancora in fase di sviluppo, perciò il loro utilizzo non sempre è immediato e può manifestare qualche problema ed instabilità.

Nel nostro caso, è stato modificato ed eventualmente completato il codice relativo al servizio che si occupa di risolvere la cinematica inversa del braccio robotico per permettere un uso più immediato del l'arto per raggiungere gli obiettivi di questo lavoro.

### 3.5.6 Robot virtuale

Viene utilizzato anche un visualizzatore, basato su jMonkeyEngine versione 3, che permette al software MyRobotLab di controllare una versione virtuale completa del robot InMoov. jMonkeyEngine è un motore grafico open source multipiattaforma scritto in Java.

Il visualizzatore è in grado di mostrare una versione virtuale del robot controllato da MyRobotLab e può funzionare sia in modalità autonoma (senza essere connesso al robot reale), che in modalità di replica della controparte robotica fisicamente connessa. Nella figura 3.5 si può vedere un esempio di come è rappresentato il robot virtuale.

Il modulo originale è stato leggermente modificato aggiungendo il supporto per il controllo della velocità di movimento dei giunti, in modo da ottenere un'animazione del robot verosimile anche quando MyRobotLab non è collegato fisicamente ad alcun robot. Inoltre, il braccio sinistro è stato disattivato nel visualizzatore per ottenere una versione virtuale che sia il più possibile simile visivamente a quella reale.

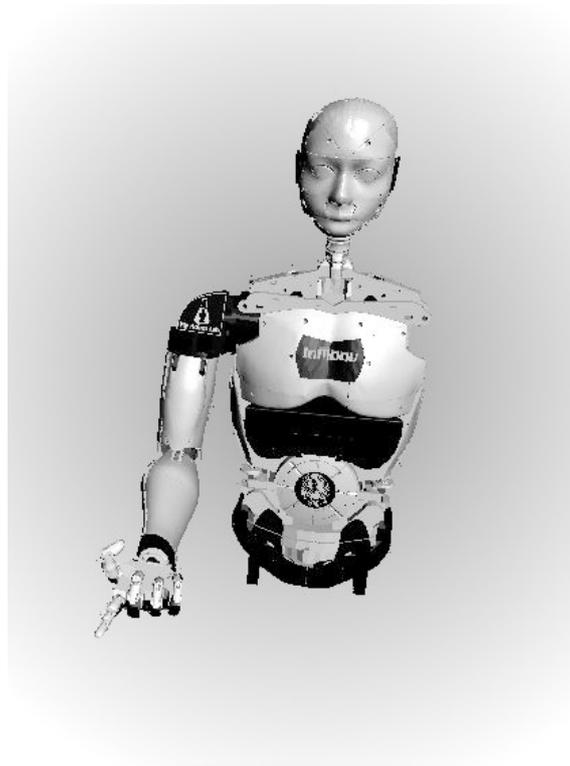


Figura 3.5. Rappresentazione grafica virtuale del robot.

# Capitolo 4

## Realizzazione

In questo capitolo vengono presentati più in dettaglio i moduli introdotti nel capitolo precedente, in particolare sono descritti i principali algoritmi e le strutture dati utilizzati con il relativo schema di funzionamento.

### 4.1 Moduli

In figura 4.1 si possono vedere i principali moduli utilizzati per controllare il robot durante la sua funzione di fornire le indicazioni agli utenti.

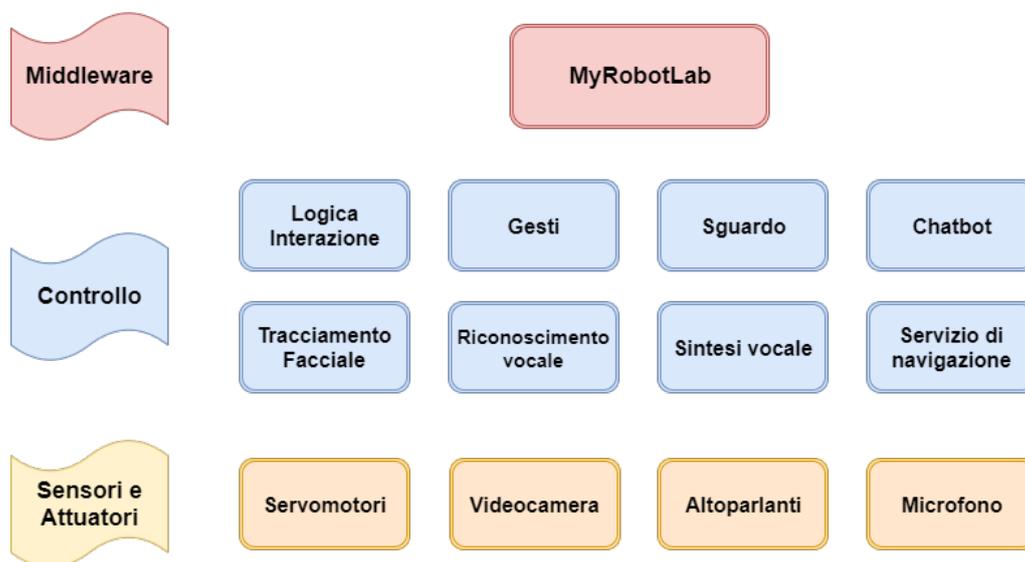


Figura 4.1. Moduli per il controllo del robot.

Il software MyRobotLab si occupa di coordinare e far comunicare i vari moduli tramite dei messaggi al fine di ottenere un robot in grado di rispondere agli utenti

in modo interattivo e naturale. La logica per l'interazione si occupa di attivare o disattivare alcuni moduli a seconda del contesto in cui ci si trova durante l'interazione o in base alla presenza di utenti nelle vicinanze.

Il modulo per i gesti si occupa di registrare e riprodurre i gesti del braccio e della testa del robot per comunicare attraverso i suoi movimenti con gli utenti. Quello per lo sguardo si occupa di controllare il movimento della testa e degli occhi e ha il compito di catturare l'attenzione dell'utente e aiutare il suo coinvolgimento mentre InMoov fornisce delle indicazioni e si basa sulle informazioni fornite dal modulo di tracciamento facciale.

Il tracciamento facciale elabora il flusso video proveniente dalle telecamere e applica alcuni filtri per determinare l'eventuale presenza di volti e la loro posizione nell'immagine e invia i dati al modulo per lo sguardo. Il modulo di riconoscimento vocale riceve i comandi vocali dal microfono e li converte in testo che viene poi inviato alla chatbot.

La chatbot, invece, riceve il testo e lo elabora per comprendere quale azione è stata richiesta dall'utente in base al contesto e allo stato in cui si trova. Nel caso in cui il robot debba comunicare qualcosa all'utente, la chatbot può fornire delle risposte che sono poi inviate al modulo di sintesi vocale, che genera un flusso audio che viene poi riprodotto dagli altoparlanti sul sistema.

Infine, il modulo per la navigazione fornisce al robot la sequenza di indicazioni che deve riprodurre tramite i gesti e la voce per informare l'utente.

## 4.2 Funzionamento generale

Il robot utilizza l'insieme di sensori e moduli già descritti allo scopo di interagire con gli utenti per fornire loro delle indicazioni. Dopo l'accensione, il robot si porta in una configurazione di partenza e, una volta completato l'avvio, attiva il riconoscimento vocale e il tracciamento facciale per poi rimanere in attesa di uno stimolo esterno.

Il robot inizia l'interazione non appena sente un comando vocale oppure, in alternativa, se una persona entra nel suo campo visivo. Dopo aver instaurato il primo contatto, InMoov cerca di rispondere in modo pertinente alle richieste dell'utente.

Nel momento in cui riconosce correttamente la richiesta di un utente per un luogo di cui conosce la strada, il robot inizia a spiegare tramite indicazioni vocali e gestuali il percorso richiesto. Quando non utilizza la mappa, il robot si limita ad indicare la direzione da prendere con il braccio mentre spiega il tracciato. Quando, invece, viene usata anche la mappa, il robot traccia direttamente su di essa il corrispondente percorso con la mano.

Nel caso in cui il robot non riceva interazioni per un certo intervallo di tempo prefissato, il sistema si riporta allo stato di partenza in modo da essere pronto per una nuova interazione non appena un nuovo visitatore avrà bisogno di altre indicazioni dal robot.

Nella figura 4.2 sono stati rappresentati i principali messaggi scambiati e le interazioni tra i vari moduli del sistema.

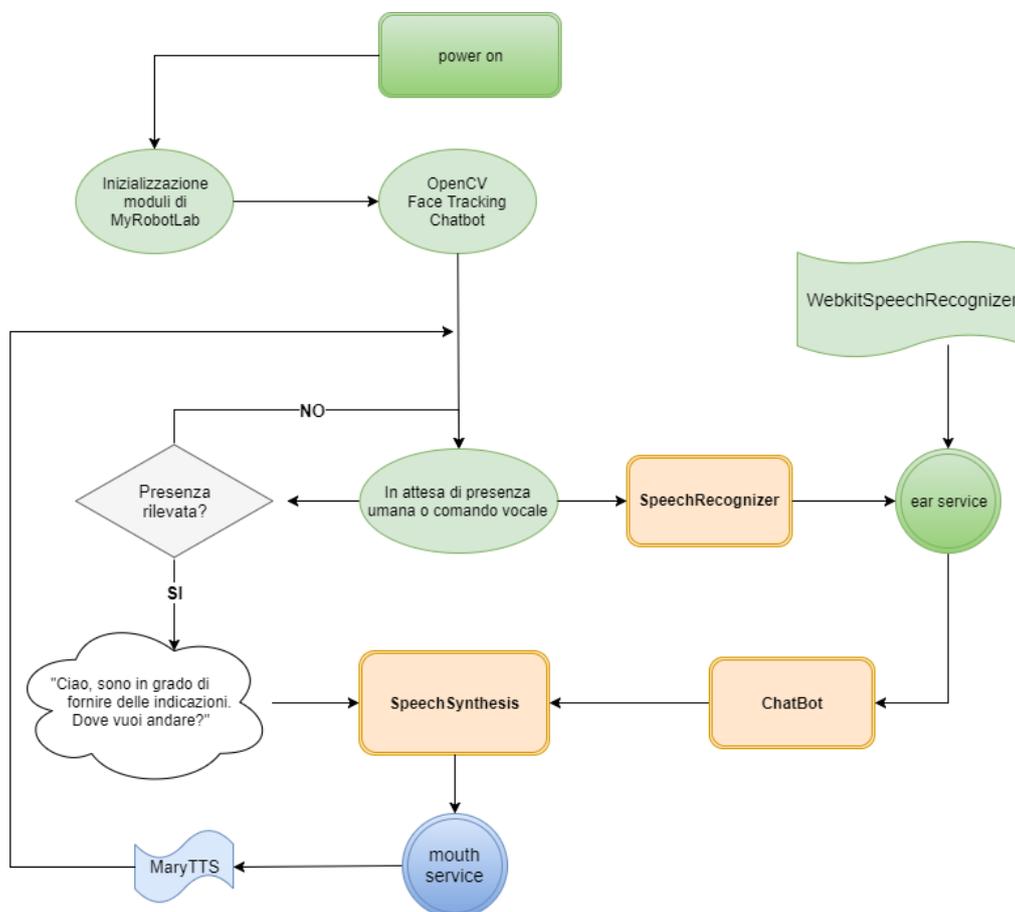


Figura 4.2. Schema generale di funzionamento del receptionist.

### 4.3 Tracciamento facciale

Il modulo di tracciamento facciale è basato sul modulo *Tracking* già presente in MyRobotLab che a sua volta utilizza OpenCV, una libreria per la manipolazione e l'elaborazione di computer grafica.

Il servizio funziona grazie ad alcuni filtri è in grado di determinare l'eventuale presenza di volti umani e della sua posizione all'interno del campo di vista analizzando ogni fotogramma del flusso video proveniente dalla videocamera del robot. Prima di essere analizzati, i fotogrammi sono pre-filtrati e sono poi analizzati alla ricerca di volti. La sequenza di filtri OpenCV applicati è la seguente:

1. conversione dell'immagine in scala di grigi
2. downsampling a piramide gaussiana per ridurre la complessità dell'immagine
3. riconoscimento facciale

Una volta nota la posizione della faccia, il robot può reagire mantenendo al centro della sua visione il volto individuato muovendo appropriatamente la testa nella direzione corretta. L'effetto finale che si ottiene è un inseguimento dell'utente tramite lo sguardo del robot, migliorando così il grado di coinvolgimento dell'interazione.

L'algoritmo di tracciamento è leggermente diverso a seconda che la versione del robot sia virtuale o reale, perché nel primo caso la webcam è fissata sopra lo schermo e non si può muovere, mentre nel secondo caso la videocamera è fissata all'interno della testa del robot e di conseguenza non appena il robot muove il capo per guardare l'utente anche la webcam si muove con esso. Il risultato finale ottenuto in ogni caso non è distinguibile tra le due versioni.

La gestione degli eventi del modulo è stata modificata in modo da rendere il sistema più robusto in caso di mancato rilevamento del volto. Inoltre, è stato implementato il funzionamento per il sistema virtuale, mentre è stato semplicemente riutilizzato il sistema già disponibile per quello reale.

Nella versione virtuale il robot si limita a muovere la testa lateralmente e verticalmente rispetto alla posizione frontale con una rotazione proporzionale alla distanza del volto dal centro del fotogramma. In altre parole, viene fatta una mappatura della posizione del volto nel fotogramma relativa alle dimensioni dell'immagine (con valori variabili tra 0 e 1) ad una corrispondente rotazione angolare della testa, dove il volto perfettamente al centro del fotogramma corrisponde alla posizione della testa centrata sull'asse sagittale, mentre un volto rilevato al bordo produce uno spostamento della testa rispetto all'asse sagittale che varia tra  $-25^\circ$  e  $+25^\circ$  sia in orizzontale che in verticale.

Invece, nella versione fisica il modulo calcola sempre la distanza del volto dal centro del fotogramma, ma utilizza le due coordinate della distanza come ingresso per due controllori PID che pilotano direttamente in uscita i due assi di rotazione della testa (alto/basso e destra/sinistra). In questo modo il robot cerca di orientare la videocamera (e quindi anche la sua testa) per minimizzare tale distanza.

### 4.3.1 Eventi

Per avere un sistema più robusto, sono stati impostate delle soglie sul numero di frame consecutivi per considerare valido un evento di faccia trovata *foundFace*, oppure di tracciamento facciale perso *lostFace*. Nel primo caso è stata impostata una soglia di 4 fotogrammi consecutivi per attivare l'evento *foundFace*. Invece, nel secondo caso, se non sono stati rilevati volti per 10 fotogrammi consecutivi, si attiva lo stato di tracciamento perso e una volta in questo stato viene attivato l'evento *lostFace*

una volta che il conteggio totale di fotogrammi senza volto supera la soglia delle 300 occorrenze. Lo schema generale è riportato in figura 4.3.

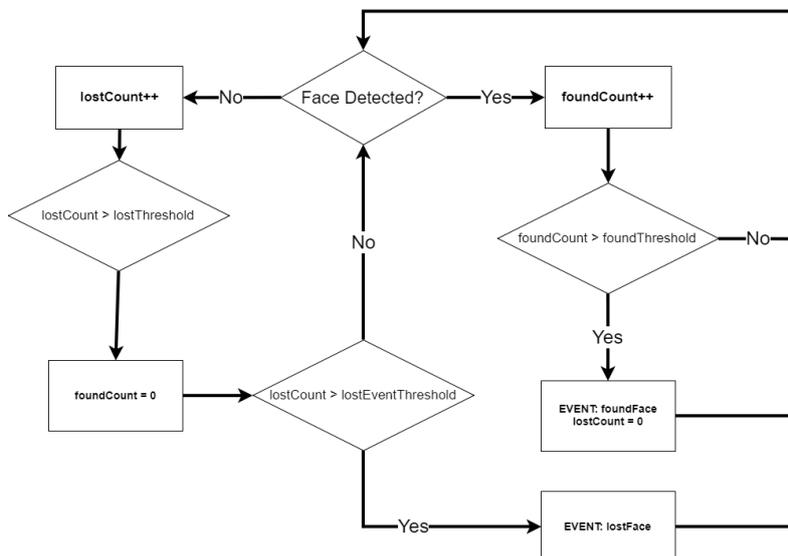


Figura 4.3. Schema per la generazione di eventi di riconoscimento facciale.

## 4.4 Chatbot

La chatbot rappresenta il cervello del sistema e può generare delle risposte in base agli stimoli ricevuti. Il sistema per l'interazione tramite comandi testuali è basata sulla chatbot A.L.I.C.E.<sup>1</sup> che è un software open source che utilizza un insieme di file AIML per permettere la personalizzazione della chatbot e la modellazione della memoria e delle conoscenze.

### 4.4.1 AIML

AIML (Artificial Intelligence Markup Language) è un linguaggio derivato da XML che permette la creazione e la personalizzazione di bot in maniera facile e rapida tramite l'utilizzo di alcuni file AIML.

I principali tipi di tag utilizzati sono: `aiml`, `template`, `pattern`, `that`, `oob` e `srai`.

`<aiml>` delimita il contenuto del documento AIML

<sup>1</sup><http://www.alicebot.org>

`<template>` contiene la risposta ad un determinato input dell'utente ed è racchiuso in una categoria `<category>`

`<pattern>` è utilizzato per riconoscere nel testo ricevuto la presenza di una particolare sequenza di parole chiave o frasi particolari. All'interno del pattern si possono utilizzare alcuni caratteri speciali (`*` `^` `_` `#`) che hanno un significato particolare e che possono sostituire simbolicamente una o più parole presente in quella posizione del pattern (figura 4.4). Un esempio di pattern per il riconoscimento del saluto iniziale "Ciao" è illustrato nel listato 4.1.

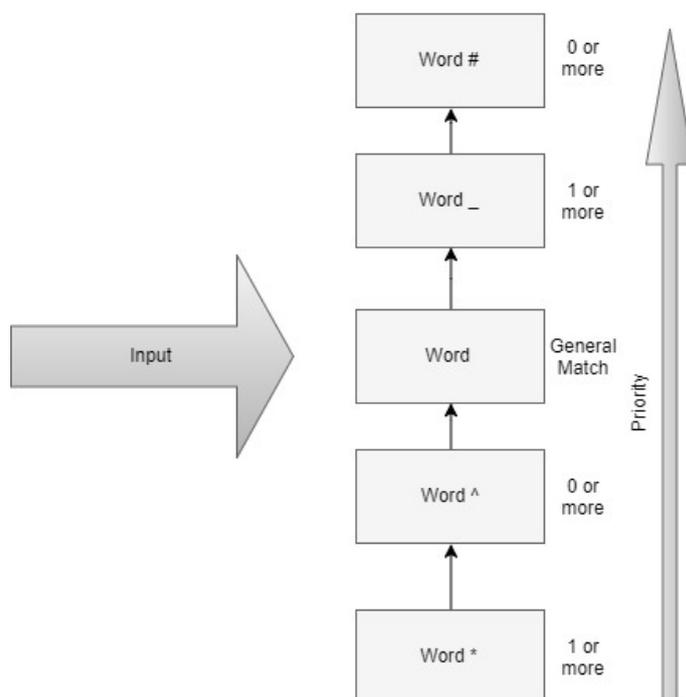


Figura 4.4. Priorità e significato dei caratteri speciali nei pattern.

```

1 <category>
2 <pattern>CIAO</pattern>
3 <template>Ciao, sono in grado di fornire delle indicazioni. dove vuoi andare?
4 </template>
5 </category>

```

Listato 4.1. Esempio che permette di riconoscere l'input corrispondente a "Ciao"

`<that>` può essere usato per contestualizzare un pattern in base all'ultima risposta ricevuta. Il caso in cui viene utilizzato più spesso è per distinguere i vari casi in si debba rispondere sì o no.

`<oob>` descrive un messaggio che deve essere gestito da un'applicazione esterna alla chatbot (out of band) (listato 4.2).

```
1 <oob><mrl>  
2   <service>python</service><method>exec</method><param>room3()</param>  
3 </mrl></oob>
```

Listato 4.2. Esempio in cui la chatbot richiede l'esecuzione di un metodo esterno definito nel servizio Python

`<srai>` definisce l'equivalenza del filtro ad un altro `pattern` tramite il metodo della riduzione simbolica per cercare di normalizzare l'input per essere riconosciuto più facilmente da un `pattern`. Può essere utilizzato, ad esempio, per definire le varie interazioni associate all'azione "Ciao".

`<set>` viene utilizzato per impostare il valore di una variabile che può essere utilizzata all'interno di altri `pattern`.

## 4.4.2 Schema della conversazione

In figura 4.5 è possibile osservare lo schema che rappresenta come il robot gestisce le conversazioni con l'utente.

Una persona può iniziare una conversazione con il robot salutandolo con un "Ciao", oppure richiedendo direttamente il luogo cercato. Il simbolo  $\hat{\quad}$  viene utilizzato per indicare la presenza di una o più parole che possono essere riconosciute in quella posizione, come spiegato nella sezione precedente. Il sistema è in grado di fornire le indicazioni solamente per i seguenti tre luoghi: la biblioteca, la segreteria e l'aula 3. Nel caso in cui il robot non sia in grado di riconoscere con successo uno dei tre luoghi nominati, lo stesso prova a chiedere nuovamente all'utente di ripeterlo con la domanda "Dove vuoi andare?". In caso contrario, invece, viene dato un feedback all'utente sul corretto riconoscimento dell'aula cercata chiedendogli di confermare la scelta fatta. Infine, in caso di risposta positiva alla conferma, il robot inizia a fornire le indicazioni per il luogo desiderato oppure, nel caso di una risposta negativa, chiede all'utente di ripetere nuovamente qual è la destinazione cercata. Una volta terminata la spiegazione del percorso, è possibile ringraziare il robot per aver fornito le informazioni richieste.

Talvolta, il riconoscimento vocale non funziona in maniera consistente a causa di possibili rumori oppure della differente dizione della stessa parola tra i vari utenti. Al fine di migliorare la funzionalità della conversazione sono stati aggiunti anche dei sinonimi per le parole più utilizzate durante l'interazione. Ad esempio, l'azione corrispondente alla parola "sì" può essere ottenuta anche con altre parole dello stesso significato come "confermo", "va bene", ecc. Altri sinonimi, invece, sono stati aggiunti

solamente per evitare che vengano confuse le parole simili tra loro come, per esempio “aula” e “Laura”.

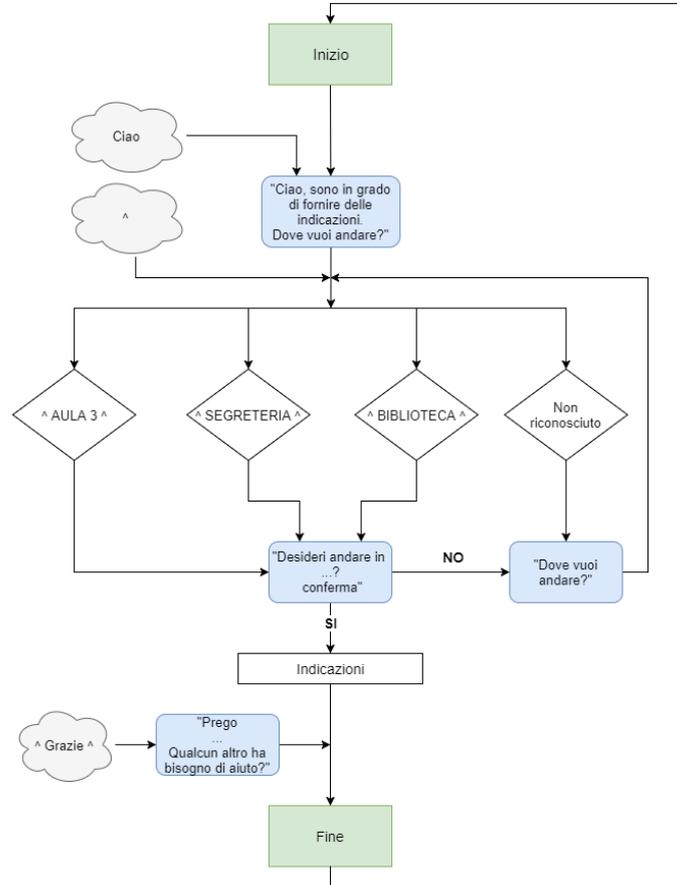


Figura 4.5. Schema che mostra le interazioni possibili con il robot.

## 4.5 Interazione vocale

L’interazione con il sistema avviene principalmente attraverso la voce, dunque è importante che il robot sia in grado di capire correttamente e parlare in maniera chiara durante l’interazione con l’utente al fine di rendere questa esperienza il più possibile simile a quella che si avrebbe con un essere umano.

### 4.5.1 Riconoscimento vocale

Il modulo di riconoscimento vocale *WebkitSpeechRecognition* è il componente più critico per il buon funzionamento di un robot umanoide, visto che quasi tutto il

resto del sistema dipende da esso. L'implementazione è basata sul servizio di riconoscimento vocale WebKit disponibile attraverso alcune API direttamente su Google Chrome. Questo sistema utilizza anche il servizio cloud per il riconoscimento vocale che è in grado di comprendere le richieste dell'utente e convertirle in testo. Una volta ottenuto il risultato dal servizio Google, il sistema invia la stringa al modulo chatBot tramite il sistema di messaggi su MyRobotLab, pubblicandola sul topic *publishText*.

### 4.5.2 Sintesi vocale

Una volta ottenuta, tramite la chatbot, una risposta testuale da restituire all'utente questa viene convertita in un audio ascoltabile tramite gli altoparlanti grazie al motore di sintesi vocale MaryTTS [26] che è configurato con una voce femminile che parla italiano.

Il servizio di sintesi è collegato anche ad un modulo in grado di animare la mandibola del robot basandosi sull'audio prodotto dal servizio stesso, in modo da simulare sul robot il movimento labiale associato alla voce che l'uomo generalmente effettua parlando.

## 4.6 Servizio di navigazione

Il sistema è dotato del modulo *MapService* scritto in Java ed è un servizio di MyRobotLab che permette al robot di salvare alcune posizioni del braccio e di riprodurle quando è necessario fornire agli utenti delle indicazioni sul percorso per raggiungere il luogo richiesto.

### 4.6.1 Cinematica inversa

Per facilitare il processo di calibrazione di registrazione dei punti sulla mappa, è stato riadattato il modulo di cinematica inversa *InverseKinematics3D* già disponibile in MyRobotLab. In questo modo è possibile spostare la mano collegata all'arto del robot lungo gli assi di un sistema di riferimento fisso solidale con il torso del robot.

L'algoritmo già utilizzato dal modulo per la risoluzione della cinematica inversa si basa sul metodo di discesa del gradiente (figura 4.6), che utilizza la matrice Jacobiana pseudo-inversa per calcolare quale spostamento sui giunti applicare al braccio per avvicinare la sua estremità ad un punto dello spazio cartesiano, minimizzando la distanza tra loro. Il difetto di questo algoritmo è che il suo funzionamento non è molto robusto quando l'estremità dell'arto si trova in prossimità dei limiti di raggiungibilità nello spazio di lavoro, oppure quando il braccio raggiunge una configurazione di singolarità, bloccando e rendendo inutilizzabile il modulo di cinematica. Per questo motivo è stato deciso di registrare prima dell'esperimento la

configurazione del braccio corrispondente ad ogni punto di passaggio sulla mappa, in modo da garantire un funzionamento preciso e più affidabile del robot.

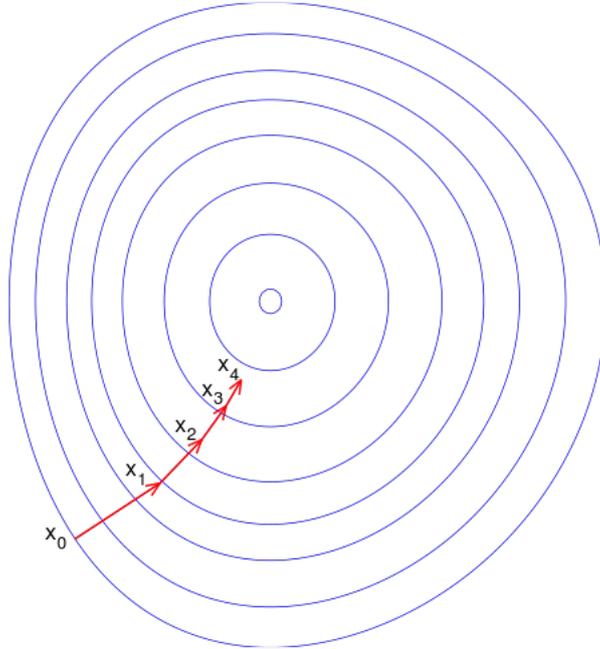


Figura 4.6. Metodo di discesa del gradiente. Il centro rappresenta un minimo locale.

### 4.6.2 Registrazione dei punti di passaggio

Per configurare sul robot i movimenti che lo stesso deve effettuare durante la spiegazione delle indicazioni, è necessario posizionare manualmente il braccio, con l'aiuto del modulo di cinematica inversa. Quando la mano indica correttamente un punto di passaggio sulla mappa, ad esempio un'aula, un ingresso o un'intersezione del corridoio, si registra la posizione corrente dei giunti del braccio e si assegna un nome al punto. Successivamente, si può ripetere la procedura con il punto seguente finché non sono stati registrati tutti. Una volta salvata la posizione che si vuole fare indicare al robot, è sufficiente riapplicare la stessa configurazione ai giunti salvata in precedenza per ogni punto.

### 4.6.3 *Scripting* delle indicazioni

Quando l'utente effettua la richiesta al receptionist di fornirgli le indicazioni per un luogo, il robot carica dallo script in Python la sequenza di punti e di spiegazioni

vocali da riprodurre e fornire all'utente. A seconda della disponibilità o meno della mappa, la forma delle indicazioni date è diversa. Nel primo caso, il robot traccia con il dito il percorso richiesto, mentre nel secondo caso, indica con il braccio la direzione che l'utente deve seguire lungo il cammino. Ad esempio, se ad un certo punto bisogna girare a sinistra, il robot indica con il braccio alla sua sinistra per aiutare l'utente nella comprensione del percorso.

#### 4.6.4 Interfaccia

Il modulo *MapService* utilizza il modulo di cinematica inversa, a cui si registra, per leggere e modificare la configurazione del braccio durante la registrazione dei punti. Il servizio riceve dal topic *publishTcpPosition* e *publishJointAngles* le informazioni sulla posizione dell'estremità del braccio e sugli angoli di rotazioni in cui i giunti sono posizionati.

I metodi principali utilizzati per interagire con il servizio sono:

- *addLocation(name)* si occupa di assegnare un nome alla posizione con la configurazione dei giunti corrente
- *moveToLocation(name)* carica la posizione con la configurazione dei giunti assegnata al nome dato
- *loadLocations(data)* permette di caricare sul servizio tramite script Python l'elenco di tutte le posizioni salvate in precedenza

# Capitolo 5

## Risultati sperimentali

### 5.1 Configurazione

Una serie di misure sperimentali sono state realizzate in una sala colloqui del Politecnico di Torino su un campione di 17 persone di nazionalità italiana, composti da studenti e dottorandi dell'università di età compresa tra 19 e 28 anni.

Ogni esperimento è stato suddiviso in tre parti, in cui il partecipante interagisce nello stesso ordine con tre versioni differenti del robot receptionist. La prima interazione avviene con una versione virtuale del robot, che è mostrata su uno schermo verticale della dimensione di 24" (figura 5.1). Nella seconda versione, invece, il vo-



Figura 5.1. Prima versione virtuale del robot receptionist.

lontario utilizza la versione reale del robot che si comporta nello stesso modo della versione virtuale. Infine, nella terza versione (figura 5.2) viene sempre utilizzato lo

stesso robot, ma questa volta il robot utilizza la mappa che ha di fronte durante la spiegazione del percorso mostrata in figura 5.4. In figura 5.3 sono mostrati alcuni dei gesti effettuati dalle due versioni del robot senza mappa durante la spiegazione del percorso.



Figura 5.2. Terza versione reale del robot receptionist dotato di mappa.

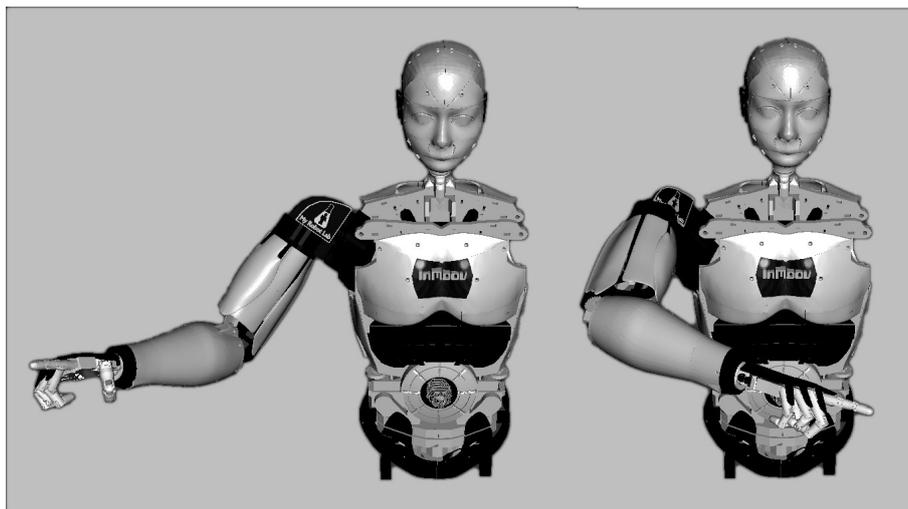


Figura 5.3. Indicazioni date dal robot tramite gesti per andare rispettivamente a destra e a sinistra.

Per ogni versione, dopo che il robot ha terminato di spiegare il percorso, è stato chiesto al partecipante di individuare la destinazione sulla stessa mappa e sono stati cronometrati i tempi e la correttezza dell'individuazione del luogo.

Per tutte e tre le versioni, è stato chiesto agli utenti di utilizzare un microfono esterno per parlare al robot in modo da evitare possibili problemi con il riconoscimento vocale. Ai partecipanti è stato chiesto di chiedere al robot le indicazioni per tre diversi luoghi, uno per ciascuna versione, che sono: la segreteria, la biblioteca e l'aula 3. L'ordine con cui questi luoghi sono stati richiesti è stato scelto casualmente in modo da non far dare ad una specifica versione del robot sempre le stesse indicazioni a tutti gli utenti.

La mappa con i percorsi utilizzata dal robot è mostrata in figura 5.5 in cui si nota la posizione di partenza da cui lo stesso inizia a dare le indicazioni, seguendo poi il percorso tracciato per guidare l'utente al luogo desiderato.

Infine, dopo aver chiesto ai partecipanti di trovare il luogo sulla mappa, è stato chiesto loro di compilare un questionario rispondendo ad alcune domande riguardanti le tre versioni del robot appena utilizzato.

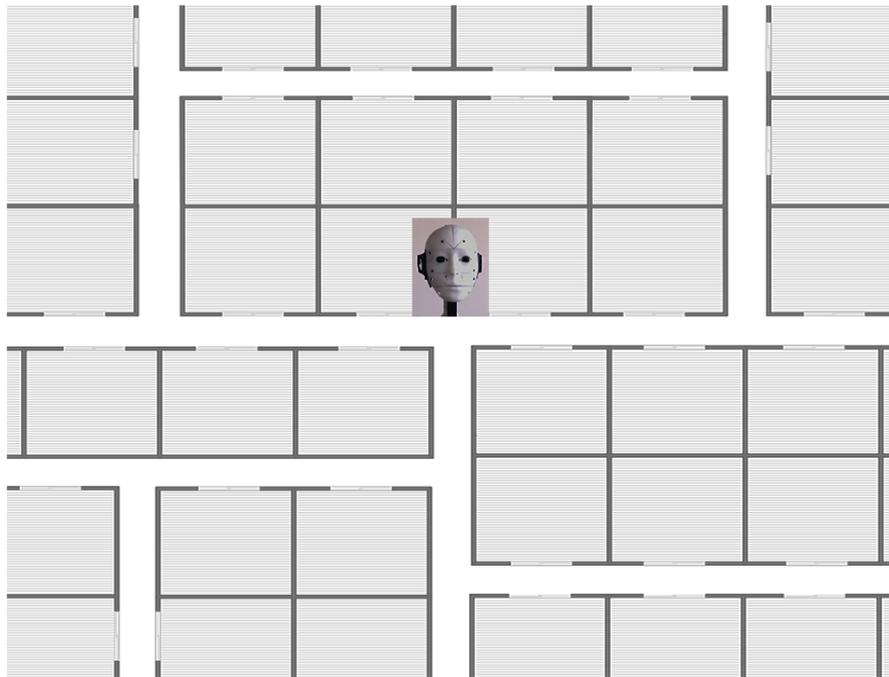


Figura 5.4. Mappa utilizzata dal robot durante gli esperimenti.



Basandosi sui questionari usati da Trovato et al. [3], sono state aggiunte alcune domande riguardanti il ruolo di receptionist del robot, tra cui "Capacità nel ruolo di receptionist", "Utilità delle informazioni fornite", "Qualità della voce", "Voce appropriata all'aspetto".

La seconda parte del questionario si basa sul questionario Godspeed [24] e utilizza sempre una scala che varia da 1 a 5, dove però il significato delle scale cambia per ogni domanda. Le scale infatti utilizzano la tecnica di valutazione differenziale semantica che utilizza una coppia di aggettivi con significato contrapposto. Le domande sono basate sui seguenti argomenti:

- antropomorfismo;
- animazione;
- piacevolezza;
- intelligenza percepita;
- sicurezza percepita;
- familiarità.

L'ultimo argomento riguardante la familiarità, è basato sul lavoro di Trovato et al. [3] in cui era stato adattato il questionario Godspeed originale.

Il questionario integrale in lingua inglese è disponibile nell'appendice.

## 5.2 Risultati

Sono stati analizzati tutti i questionari, la correttezza del luogo trovato e i tempi impiegati dagli utenti al fine di evidenziare le differenze tra le varie versioni del robot.

### 5.2.1 Individuazione del luogo

Durante l'esperimento, solamente 7 volontari (41%) sono stati in grado di individuare correttamente il luogo descritto con le indicazioni date dalla versione virtuale, mentre 14 partecipanti (82%) sono stati in grado di trovarlo con quelle date dalla versione reale, un numero significativamente più alto rispetto al primo caso. Invece, con l'ultima versione del robot reale dotato di mappa tutti i 17 utenti sono stati in grado di individuare correttamente l'aula cercata (figura 5.6). Per tutti i partecipanti è stato annotato quanto tempo è stato impiegato, senza dare alcun limite massimo, per individuare il luogo corretto.

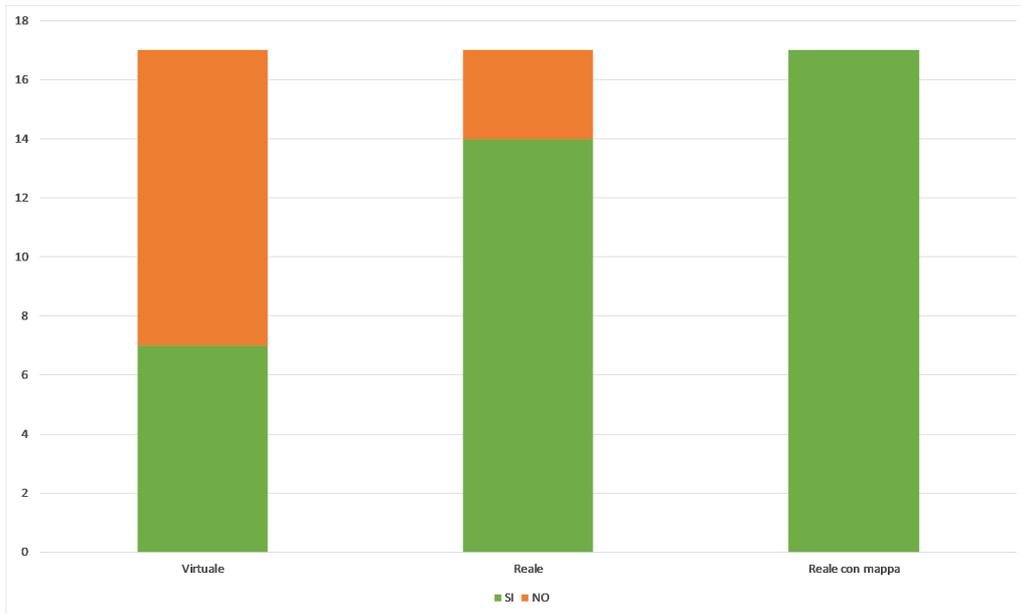


Figura 5.6. Numero di partecipanti in grado di individuare il luogo corretto.

### 5.2.2 Tempi

Per quanto riguarda i tempi, come si può notare in figura 5.7 si è notato un generale miglioramento della velocità nell'individuazione del luogo. La differenza tra le varie versioni è significativa (ANOVA:  $p < 0,0001$ ). In particolare, tra versione virtuale e versione fisica la variazione è abbastanza significativa ( $p = 0,013$ ), dove in questo caso, i tempi medi sono passati da 20,08 s a 11,59 s. Nella versione con mappa invece, la media è stata di 1,34 s e anche in questo caso la riduzione dei tempi rispetto alla seconda versione è stata molto significativa ( $p < 0,0001$ ).

Virtuale	Reale	Reale con mappa
20,08 (273,06)	11,59 (78,92)	1,34 (0,96)

Tabella 5.1. Dati in secondi con varianza tra parentesi dei tempi medi impiegati dai partecipanti per trovare l'aula.

### 5.2.3 Questionario

I dati soggettivi dei questionari sono stati analizzati utilizzando ANOVA e poi utilizzando il t-test di Student applicato alle tre diverse coppie di variabili (virtuale - reale, reale - reale con mappa, virtuale - reale con mappa) per stabilire quale delle

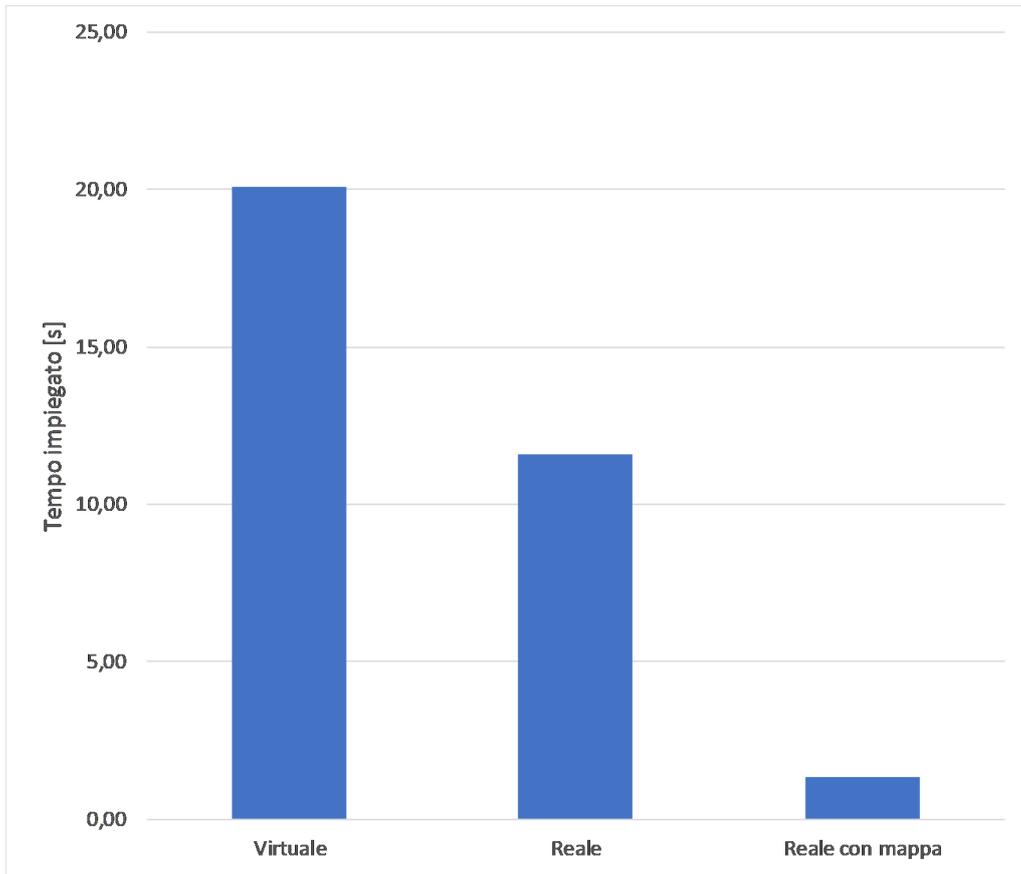


Figura 5.7. Confronto tra i tempi medi per trovare l’aula dopo le indicazioni date dal robot.

versioni ha influenzato l’esperienza. Per ogni partecipante è stata calcolata la media tra le domande di una stessa categoria. Per la categoria receptionist oltre alla media tra tutte le domande è stata anche calcolata la media delle singole risposte all’interno della stessa categoria, in modo da poter confrontare i risultati con quelli ottenuti da Trovato et al. [3] (figura 5.3). Infine, sono state calcolate le medie complessive tra tutti i partecipanti. Nella tabella 5.2 sono stati riportati per ogni versione il valore medio e la sua varianza, mentre in tabella 5.4 sono riportati i valori di significatività dei dati secondo il t-test.

Per quanto riguarda la prima parte del questionario, l’analisi ha evidenziato una significativa differenza per tutte le categorie: Utilità - *Usefulness* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ), Interazione con l’utente - *User Interaction* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ), Interazione con l’utente - *User interaction* (ANOVA:  $p = 0,0005$ ) e Naturalness - *Naturalness* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ) (figura 5.8). La media delle risposte della categoria Receptionist mostra una differenza significativa tra le diverse versioni (ANOVA  $p <$

	<b>Robot virtuale</b>	<b>Robot reale</b>	<b>Robot reale con mappa</b>
Utilità*	3,44 (1,06)	4,10 (0,34)	4,72 (0,19)
Interazione con l'utente*	4,03 (0,44)	4,32 (0,22)	4,68 (0,16)
Comportamento del sistema*	3,88 (0,30)	4,03 (0,45)	4,28 (0,51)
Naturalezza*	3,18 (0,58)	3,57 (0,72)	3,82 (0,78)
Receptionist*	3,57 (0,33)	3,72 (0,43)	4,19 (0,44)
Antropomorfismo*	2,31 (0,38)	2,92 (0,61)	3,25 (0,95)
Animazione*	2,70 (0,36)	3,29 (0,40)	3,67 (0,47)
Piacevolezza*	3,45 (0,65)	4,07 (0,59)	4,25 (0,55)
Intelligenza percepita*	3,84 (0,72)	3,96 (0,68)	4,31 (0,44)
Sicurezza percepita	3,59 (0,67)	3,70 (0,46)	3,86 (0,72)
Familiarità	3,74 (0,49)	3,84 (0,59)	4,00 (0,59)

Tabella 5.2. Dati del questionario con suddivisione per categorie. Sono riportati i valori medi di ogni versione con la varianza specificata tra parentesi. Le categorie significative sono evidenziate con un asterisco.

	<b>Robot virtuale</b>	<b>Robot reale</b>	<b>Robot reale con mappa</b>
Capacità nel ruolo di receptionist*	3,12 (1,24)	3,59 (1,13)	4,53 (0,64)
Fornisce indicazioni utili*	3,47 (0,76)	3,76 (0,69)	4,71 (0,22)
Ha una buona voce	3,59 (1,01)	3,41 (1,51)	3,41 (1,51)
Voce appropriata all'aspetto	4,11 (1,24)	4,11 (0,99)	4,11 (0,99)

Tabella 5.3. Dati delle singole risposte appartenenti alla categoria receptionist. Sono riportati i valori medi di ogni versione con la varianza specificata tra parentesi. Le domande significative sono evidenziate con un asterisco.

0,0001), mentre la parte con le domande specifiche sul ruolo di receptionist ha evidenziato delle differenze significative solo sulla capacità a ricoprire il ruolo (ANOVA  $p < 0,0001$ ) e sulla utilità delle indicazioni fornite (ANOVA  $p < 0,0001$ ).

L'ultima parte del questionario ha mostrato delle variazioni significative tra le diverse versioni soltanto per le categorie che riguardano Antropomorfismo - *Anthropomorphism* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ), Animazione - *Animacy* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ), Piacevolezza - *Likeability* (ANOVA:  $p < 0,0001$ ) e Intelligenza percepita - *Perceived intelligence* (ANOVA:  $p = 0,0001$ ) (figure 5.10 e 5.11). Invece, per le altre categorie su Sicurezza percepita - *Perceived safety* e Familiarità - *Familiarity* sono state ulteriormente analizzate le singole risposte per trovare quali siano i dati

	Virtuale - Reale	Reale - Reale con mappa	Virtuale - Reale con mappa
Utilità	0,0055	< 0,0001	0,0001
Interazione con l'utente	0,0423	< 0,0001	0,0003
Comportamento del sistema	0,1554	0,0005	0,0020
Naturalezza	0,0024	0,0040	0,0007
Receptionist	0,1062	< 0,0001	< 0,0001
Antropomorfismo	0,0013	0,0120	0,0005
Animazione	0,0021	0,0016	0,0004
Piacevolezza	0,0058	0,0169	0,0005
Intelligenza percepita	0,1503	0,0009	0,0014

Tabella 5.4. Valore p ottenuto dall'analisi delle categorie risultate significative tramite t-test di Student tra le varie coppie di versioni.

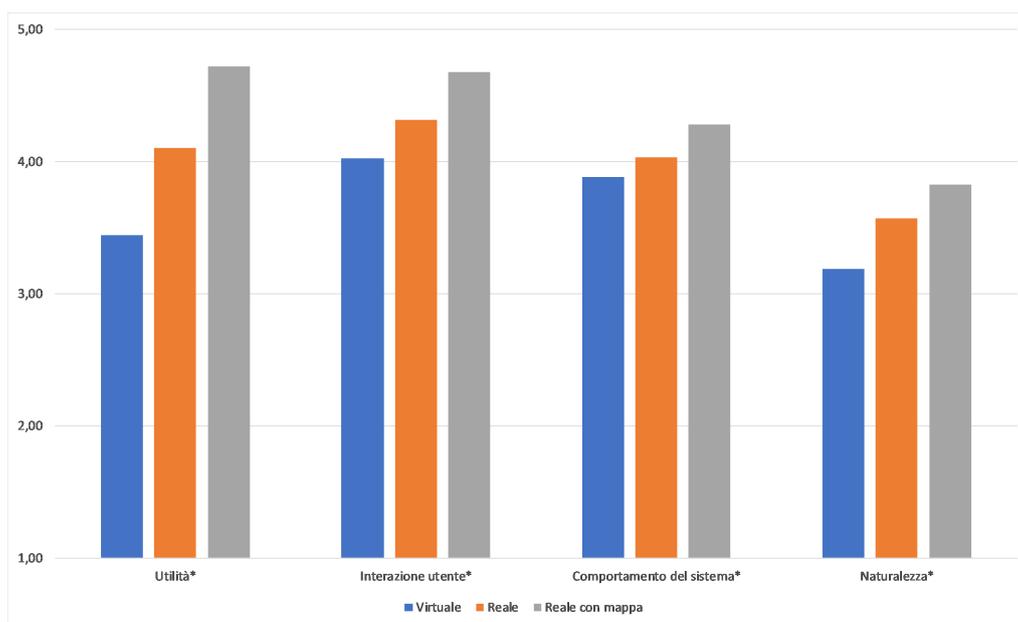


Figura 5.8. Risultati suddivisi per categorie della prima parte del questionario. Le categorie significative sono evidenziate con un asterisco.

significativi e sono stati individuati solamente due coppie di aggettivi che hanno differenze significative: Quietto/Sorpreso - *Quiescent/Surprised* (ANOVA:  $p = 0,0448$ ) e Losco/Rassicurante - *Sinister-Reassuring* (ANOVA:  $p = 0,0026$ ).

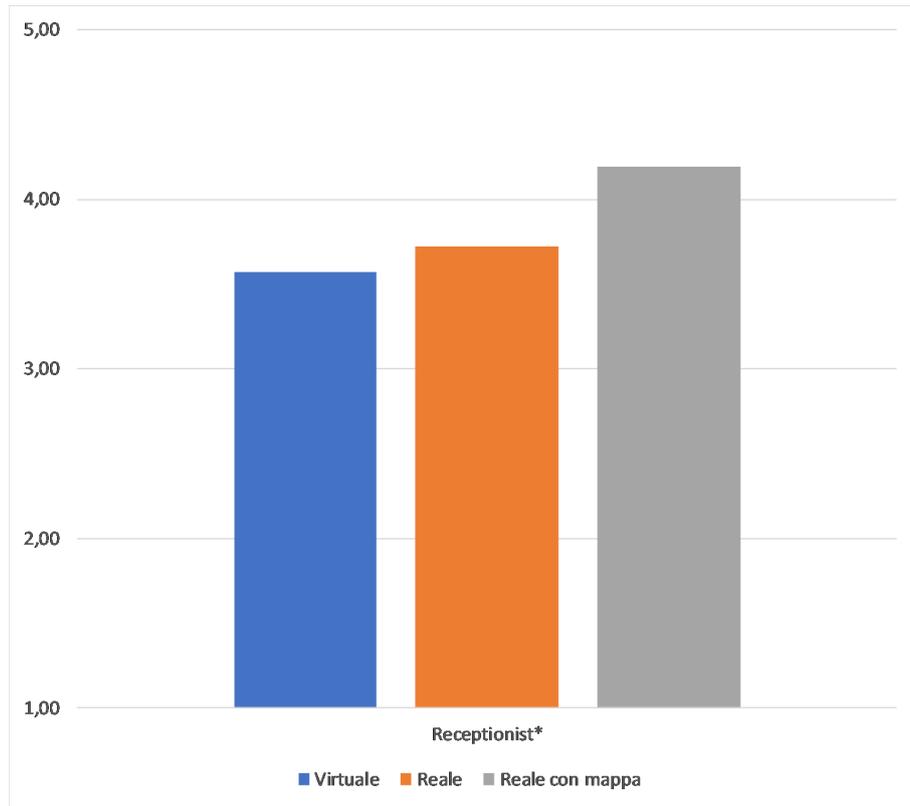


Figura 5.9. Risultati sul ruolo generale di receptionist del robot. Le categorie significative sono evidenziate con un asterisco.

### 5.3 Discussione

Confrontando i risultati per le tre versioni del robot, si può concludere che in generale la maggior parte dei partecipanti ha preferito interagire con il robot fisico dotato di mappa rispetto alla versione senza mappa o alla versione virtuale. In particolare, il numero di utenti che è stato in grado di trovare correttamente il luogo quando le indicazioni sono fornite dal robot reale è il doppio (14) rispetto a quando sono date da quello virtuale (7). Questo dimostra che la presenza di un robot reale può influire positivamente il coinvolgimento dell'utente nell'interazione, facilitando in modo significativo la comprensione delle indicazioni, confermando i risultati ottenuti da altri studi in merito [27]. Con l'introduzione della mappa, invece, tutti gli utenti sono stati in grado di comprendere e trovare la destinazione descritta dal robot. Questo risultato sottolinea l'importanza che la mappa ha avuto durante la spiegazione del percorso.

Inoltre, anche la velocità degli utenti nel trovare il luogo dimostra che è più

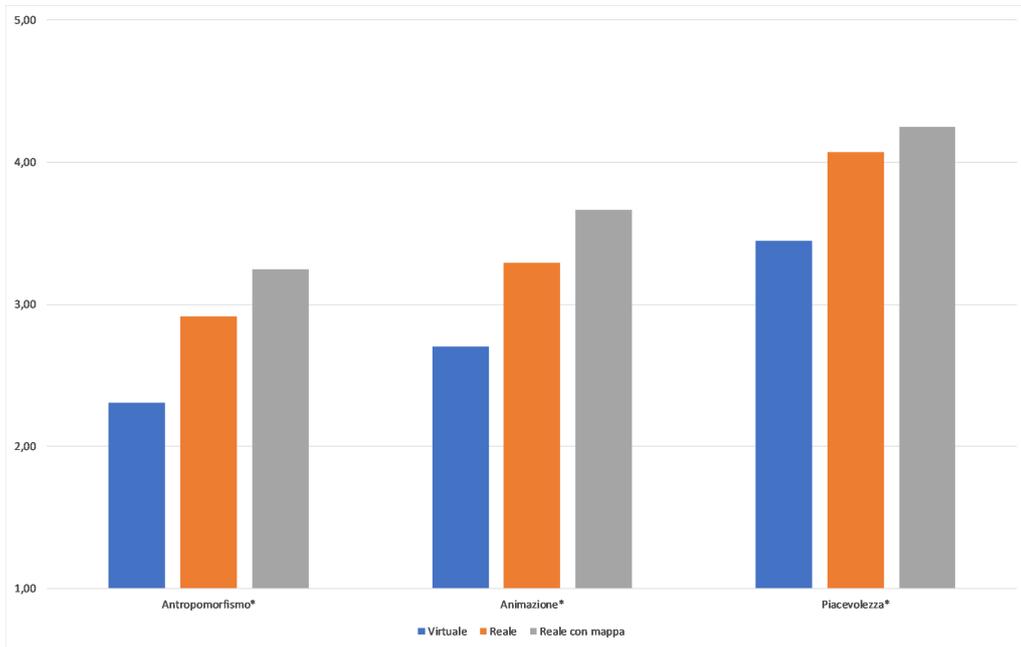


Figura 5.10. Risultati per le prime tre categorie del questionario Godspeed. Le categorie significative sono evidenziate con un asterisco.

facile utilizzare la versione con la mappa, questo fattore è probabilmente correlato positivamente alla percezione che l’utente ha della capacità del robot come receptionist.

La differenza vista dall’utente tra le tre versioni emerge anche dall’analisi dei questionari. In particolare, nella prima parte del questionario tutte le categorie (Utilità, Interazione con l’utente, Comportamento del sistema e Naturalzza) hanno evidenziato dei risultati significativi e mostrano che, in questo caso, i partecipanti hanno preferito soprattutto la versione reale dotata di mappa, seguita dalla versione reale e, infine, hanno ritenuto la versione virtuale meno utile rispetto alle altre.

Per quanto riguarda le domande relative alla competenza del robot nel ruolo di receptionist, solo le prime due su “Capacità nel ruolo di receptionist” e “Utilità delle informazioni fornite” hanno messo in evidenza una differenza significativa tra l’ultima versione usata e le altre. Gli utenti ritengono molto più capace soprattutto la versione dotata di mappa, di cui hanno anche maggiormente preferito le indicazioni, mentre hanno preferito solo leggermente di più le indicazioni date dalla versione reale rispetto a quella virtuale. D’altra parte, la differenza sulla capacità del robot virtuale da quello reale non mostra risultati abbastanza significativi. In questo caso è evidente che per un receptionist robotico è molto più importante che sia dotato di mappa e solo secondariamente che sia un robot reale e non virtuale.

Se si confrontano i risultati di quest’ultime due domande con quelli ottenuti dal

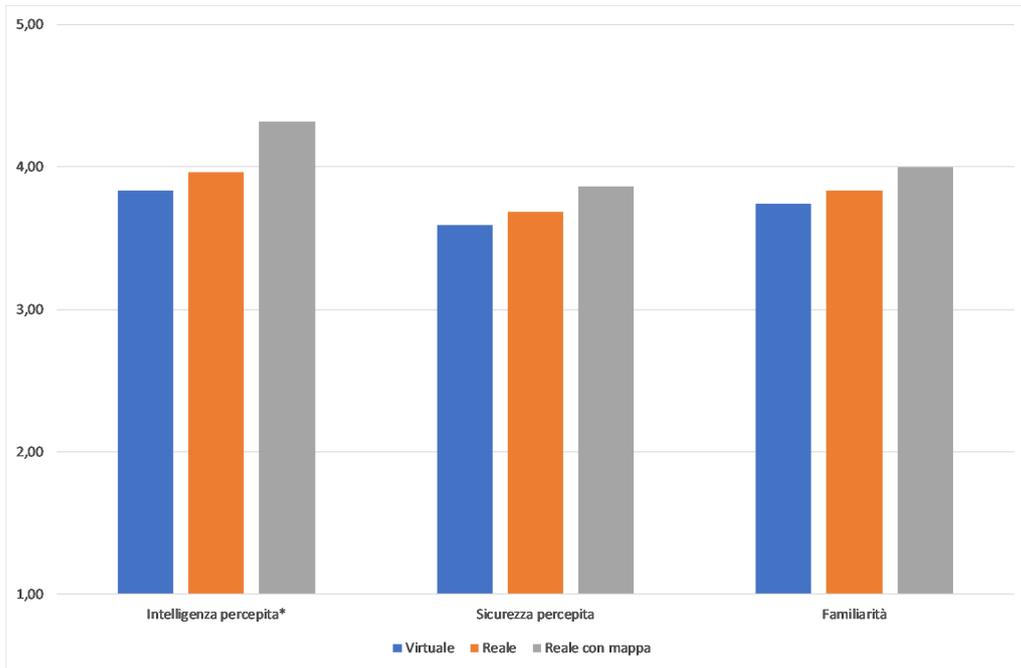


Figura 5.11. Risultati per le altre tre categorie del questionario Godspeed. Le categorie significative sono evidenziate con un asterisco.

lavoro di Trovato et al. [1][2][3] su Anà (virtuale) e KOBIANA (reale), si nota che sono stati ottenuti dei risultati opposti per la domanda sulla capacità del robot, mentre sono stati confermati i risultati sulla migliore utilità delle indicazioni fornite dal robot reale. La causa di questa differenza può essere probabilmente dovuta al diverso aspetto che i due robot avevano nel caso della ricerca di Trovato et al. e al fatto che entrambi in quel caso entrambi i robot erano visti su uno schermo, mentre nel presente lavoro l'effettiva presenza del robot reale può aver influito in maniera diversa l'interazione dell'utente.

Anche per quanto riguarda la seconda parte del questionario, ci sono state delle differenze rispetto alla ricerca precedente. Infatti, contrariamente ai risultati di questo lavoro, Anà è risultata preferibile rispetto a KOBIANA per quanto riguarda gli aspetti su Antropomorfismo, Animazione, Piacevolezza, Familiarità. Anche in questo caso, come in precedenza, questo è probabilmente causato dal diverso aspetto tra Anà e KOBIANA. I test mostrano che solamente i risultati riguardanti Antropomorfismo, Animazione e Piacevolezza sono significativi, mentre non è stato possibile per le altre tre categorie rifiutare l'ipotesi nulla per cui tutte le versioni del robot sono equivalenti. Per le prime due categorie, tutti gli utenti preferiscono la versione reale, soprattutto quella dotata di mappa, rispetto alla versione virtuale. Per quanto riguarda la piacevolezza, invece, vi è una differenza più netta tra le due versioni reali e quella virtuale, dove la mappa non ha influenzato alla stessa maniera questo

aspetto. Inoltre, per quanto riguarda la categoria Intelligenza percepita gli utenti ritengono significativamente più intelligente il sistema con il robot dotato di mappa rispetto agli altri due sistemi che ne sono sprovvisti.

Il questionario non ha evidenziato nessuna differenza sulla qualità della voce tra le tre diverse versioni. Questo non è del tutto inaspettato visto che la sintesi vocale del robot è essenzialmente la stessa ed è soltanto il sistema di riproduzione dell'audio a cambiare tra versione virtuale e reale.

# Capitolo 6

## Conclusioni

Questo capitolo evidenzia i risultati ottenuti e quali potrebbero essere gli sviluppi futuri.

L'obiettivo della tesi, che era quello di dimostrare che c'è una differenza significativa nella comprensione delle indicazioni fornite da un robot receptionist quando viene utilizzata una mappa, è stato raggiunto come è stato dimostrato dall'aumento del numero di utenti in grado di individuare correttamente il luogo da raggiungere (che si sono inoltre dimostrati in grado di raggiungerlo più velocemente).

Una limitazione che questa tipologia di robot purtroppo dimostra è rappresentata dalla difficoltà nell'ottenere un riconoscimento vocale preciso ed affidabile in qualunque condizione ambientale, quindi anche in presenza di persone multiple oppure quando sono presenti altri rumori esterni. La risoluzione di questo problema è sicuramente uno degli obiettivi più importanti al fine di migliorare le applicazioni della robotica di servizio anche in quelle occupazioni che richiedono di interagire spesso con l'utente.

Inoltre, il sistema utilizzato è limitato a causa della necessità di dover riconfigurare tutti i punti registrati sulla mappa tutte le volte che si voglia aggiungere ulteriori percorsi, oppure nel caso in cui sia necessario cambiare completamente la mappa utilizzata o soltanto la sua posizione rispetto al robot. La soluzione possibile sarebbe quella di migliorare il funzionamento del modulo di cinematica inversa, oltre ad aggiungere un grado di libertà in più al braccio, in modo che sia garantito il raggiungimento di qualsiasi punto della mappa specificandone semplicemente un punto direttamente in base alle coordinate cartesiane della mappa stessa. Purtroppo sono a disposizione solamente cinque gradi di libertà, perciò non sempre è possibile assegnare a piacimento sia l'orientamento che la posizione della mano del robot. Ad esempio, con l'introduzione del torso, sarebbe possibile ottenere il sesto grado di libertà necessario al robot per risolvere il problema descritto.

Infine, un possibile sviluppo di questa tesi potrebbe essere quello di confrontare l'utilizzo di un robot receptionist fisso con uno mobile, che può quindi accompagnare l'utente direttamente lungo il percorso, invece di spiegarlo solamente.

# Bibliografia

- [1] G. Trovato, J. G. Ramos, H. Azevedo, A. Moroni, S. Magossi, H. Ishii, R. Simmons, and A. Takanishi. “Olá, my name is Ana”: A study on Brazilians interacting with a receptionist robot. In *Proc. Int. Conf. Advanced Robotics (ICAR)*, pages 66–71, July 2015.
- [2] G. Trovato, J. G. Ramos, H. Azevedo, A. Moroni, S. Magossi, H. Ishii, R. Simmons, and A. Takanishi. Designing a receptionist robot: Effect of voice and appearance on anthropomorphism. In *Proc. 24th IEEE Int. Symp. Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pages 235–240. IEEE, August 2015.
- [3] Gabriele Trovato, Josue G Ramos, Helio Azevedo, Artemis Moroni, Silvia Magossi, Reid Simmons, Hiroyuki Ishii, and Atsuo Takanishi. A receptionist robot for brazilian people: study on interaction involving illiterates. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 8(1):1–17, 2017.
- [4] Robots and robotic devices – vocabulary. ISO 8373:2012, International Organization for Standardization, 2012.
- [5] International Federation of Robotics IFR. Executive Summary World Robotics 2017 Service Robots. [https://ifr.org/downloads/press/Executive\\_Summary\\_WR\\_Service\\_Robots\\_2017\\_1.pdf](https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2017_1.pdf), 2017. [Online; consultato 30-10-2017].
- [6] Hiroshi Ishiguro, Tetsuo Ono, Michita Imai, Takeshi Maeda, Takayuki Kanda, and Ryohei Nakatsu. Robovie: an interactive humanoid robot. *Industrial Robot: An International Journal*, 28(6):498–504, 2001.
- [7] G. Langevin. InMoov - Open Source 3D printed life-size robot. <http://www.inmoov.fr/>, 2017. [Online; consultato 30-09-2017].
- [8] F. Halataei and A. K. Kayhani. Optimizing NAO humanoid walking using ABC algorithm. In *2015 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI)*, pages 1142–1144, Nov 2015.
- [9] Iolanda Leite, Carlos Martinho, and Ana Paiva. Social robots for long-term interaction: A survey. *International Journal of Social Robotics*, 5(2):291–308, Apr 2013.
- [10] Dan Bohus, Chit W. Saw, and Eric Horvitz. Directions robot: In-the-wild

- experiences and lessons learned. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, AAMAS '14, pages 637–644, Richland, SC, 2014. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- [11] F. Acuña, M. Singaña, F. Oñate, V. Valdés, and M. Bustillos. Humanoid interpreter for teaching basic sign language. In *2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*, pages 1–7. IEEE, Oct 2016.
- [12] K. A. Condori, E. C. Urquizo, and D. A. Diaz. Embedded brain machine interface based on motor imagery paradigm to control prosthetic hand. In *2016 IEEE ANDESCON*, pages 1–4, Oct 2016.
- [13] N. O. Valencia, L. F. V. Londoño, M. A. Jinete, and R. Jiménez. Movement detection for object tracking applied to the inmoov robot head. In *2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA)*, pages 1–6, Aug 2016.
- [14] P. Vicente and A. Bernardino. Wedding robotics: A case study. In *2017 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, pages 140–145, April 2017.
- [15] R. Gockley, A. Bruce, J. Forlizzi, M. Michalowski, A. Mundell, S. Rosenthal, B. Sellner, R. Simmons, K. Snipes, A. C. Schultz, and Jue Wang. Designing robots for long-term social interaction. In *2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 1338–1343, Aug 2005.
- [16] Masahiro Mori. The uncanny valley. *Energy*, 7(4):33–35, 1970.
- [17] M. A. Yousuf, Y. Kobayashi, Y. Kuno, A. Yamazaki, and K. Yamazaki. How to move towards visitors: A model for museum guide robots to initiate conversation. In *Proc. IEEE RO-MAN*, pages 587–592, August 2013.
- [18] Maria Luce Lupetti, Luca Giuliano, and Claudio Germak. Virgil robot at racconigi’s castle: a design challenge. 2016.
- [19] A. Al-Wazzan, R. Al-Farhan, F. Al-Ali, and M. El-Abd. Tour-guide robot. In *2016 International Conference on Industrial Informatics and Computer Systems (CIICS)*, pages 1–5, March 2016.
- [20] Michiel Joosse and Vanessa Evers. A guide robot at the airport: First impressions. In *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, HRI '17, pages 149–150, New York, NY, USA, 2017. ACM.
- [21] Rudolph Triebel, Kai Arras, Rachid Alami, Lucas Beyer, Stefan Breuers, Raja Chatila, Mohamed Chetouani, Daniel Cremers, Vanessa Evers, Michelangelo Fiore, Hayley Hung, Omar A. Islas Ramírez, M.P. Joosse, Harmish Khambhaita, Tomasz Kucner, Bastian Leibe, Achim J. Lilienthal, Timm Linder, M. Lohse, Martin Magnusson, Billy Okal, Luigi Palmieri, Umer Rafi, Marieke van Rooij, and Lu Zhang. *SPENCER: A Socially Aware Service Robot for Passenger Guidance and Help in Busy Airports*, pages 607–622. Springer Tracts in Advanced

- Robotics. Springer Verlag, 6 2015. eemcs-eprint-26231.
- [22] T. Kanda, M. Shiomi, Z. Miyashita, H. Ishiguro, and N. Hagita. A communication robot in a shopping mall. *IEEE Transactions on Robotics*, 26(5):897–913, Oct 2010.
  - [23] Haixia Wang, Fuyou Zhang, Xianghua Fan, and Xiao Lu. A practical service robot system for greeting guests. In *Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese*, pages 4997–5001. IEEE, 2012.
  - [24] Christoph Bartneck, Dana Kulić, Elizabeth Croft, and Susana Zoghbi. Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots. *International Journal of Social Robotics*, 1(1):71–81, Jan 2009.
  - [25] Patrick Holthaus and Sven Wachsmuth. The receptionist robot. In *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*, pages 329–329. ACM, 2014.
  - [26] Marc Schröder and Jürgen Trouvain. The German text-to-speech synthesis system MARY: A tool for research, development and teaching. *International Journal of Speech Technology*, 6(4):365–377, 2003.
  - [27] Wilma A. Bainbridge, Justin W. Hart, Elizabeth S. Kim, and Brian Scassellati. The benefits of interactions with physically present robots over video-displayed agents. *International Journal of Social Robotics*, 3(1):41–52, Jan 2011.

Appendice A

Questionario

<b>Usefulness, satisfaction, and ease of use</b>
The system is pleasant to use The system works the way I want it to work The system is fun to use I am satisfied with the system
<b>User interaction</b>
I was able to understand how to interact with the system I think that the way to interact with the system is simple and uncomplicated I did not have always a clear idea of how to achieve a given result I was impressed with the way I could interact with the system I had the right level of control on the system I was always aware of what the system was doing I though the user interface negatively influenced my performance
<b>System behaviour</b>
The system behaved in an unexpected way The system behaved in an unexpected way I felt disorientated while using the system System behaviour was self-explanatory I thought that the aspect of the receptionist negatively influenced my performance I thought the voice quality negatively influenced my performance I think that aspect of the receptionist was visually pleasant I think that receptionist voice was pleasant The aspect of the receptionist reduced my sense of being connected with it Voice quality reduced my sense of being connected with the receptionist The system appeared to freeze or pause at intervals The system response time did negatively affect my performance
<b>Naturalness</b>
The movement of the receptionist was too simplistic The receptionist moved in an unnatural way I felt the receptionist had a personality I felt the receptionist succeed in establishing a connection with me Receptionist aspect negatively influenced my engagement I perceived the receptionist as an intelligent opponent I liked the way the receptionist was moving
<b>Receptionist</b>
It is good as receptionist It gives useful information It has a good voice Its voice appropriate to its appearance

Tabella A.1. Prima parte del questionario.

<b>Anthropomorphism</b>
Fake/Natural Machinelike/Humanlike Unconscious/Conscious Artificial/Lifelike Moving rigidly/Moving elegantly
<b>Animacy</b>
Dead/Alive Stagnant/Lively Artificial/Lifelike Mechanical/Organic Inert/Interactive Apathetic/Responsive
<b>Likeability</b>
Dislike/Like Unfriendly/Friendly Unkind/Kind Unpleasant/Pleasant Awful/Nice
<b>Perceived Intelligence</b>
Incompetent/Competent Ignorant/Knowledgeable Irresponsible/Responsible Unintelligent/Intelligent Foolish/Sensible
<b>Perceived Safety</b>
Anxious/Relaxed Agitated/Calm Quiescent/Surprised
<b>Familiarity</b>
Creepy/Pretty Scary/Innocuous Eerie/Familiar Weird/Ordinary Sinister/Reassuring

Tabella A.2. Seconda parte del questionario basato su Godspeed.