

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA GENERALE  
TRIENNALE IN SCIENZE PSICOLOGICHE COGNITIVE E PSICOBIOLOGICHE

## Mi fido ad essere assistito da un robot? Uno studio empirico

CANDIDATO

**Chiara Odello**

Matricola 2014913

RELATORE

**Prof. Marco Zorzi**

Università di Padova

CO-RELATORE

**Dr. Ivilin Peev Stoianov**

Consiglio Nazionale delle Ricerche

ANNO ACCADEMICO  
2023/2024

# Indice

<b>1</b>	<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
2.1	Gli esordi della robotica collaborativa . . . . .	4
2.2	La collaborazione uomo-robot . . . . .	4
2.3	Le caratteristiche generali dei cobot . . . . .	5
2.4	Caratteristiche della collaborazione uomo-macchina . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Collaborazione uomo-macchina: verso nuovi approcci e modelli</b>	<b>10</b>
3.1	Autonomia . . . . .	10
3.2	Adattabilità . . . . .	11
3.3	Usabilità . . . . .	13
3.4	Comunicazione . . . . .	14
3.5	Organizzazione del task . . . . .	15
3.6	Accettazione sociale . . . . .	15
3.7	La fiducia nelle interazioni; similitudini e differenze essenziali tra le relazioni uomo-uomo e uomo-robot . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Lo studio</b>	<b>21</b>
4.1	Gli obiettivi dello studio . . . . .	21
4.2	NAO . . . . .	22
4.3	Metodologia . . . . .	23
4.3.1	Soggetti . . . . .	23
4.3.2	Materiale . . . . .	23
4.3.3	Questionario . . . . .	23
4.3.4	Procedura . . . . .	24
4.4	Risultati . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Discussione</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Conclusione</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Riconoscimenti</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Riferimenti bibliografici</b>	<b>33</b>

# 1 Abstract

L'essere umano, grazie allo sviluppo della robotica, deve muoversi in alcuni contesti in cui l'interazione con dei robot intelligenti ed autonomi è essenziale. Questo riguarda, per esempio, soggetti con disabilità o in età senile che possono aver bisogno di assistenza personale. Dunque è importante capire quali siano le dinamiche che possano definire questa nuova relazione, prendendo in considerazione anche le difficoltà a comprendere e soddisfare le intenzioni umane che si possono osservare in questi nuovi robot.

Nella seguente tesi si vuole studiare, attraverso l'analisi della letteratura e uno studio empirico, il concetto di fiducia nella particolare interazione uomo-robot e come questa guidi vari comportamenti come, ad esempio, la richiesta di una determinata azione piuttosto che altra, da parte della persona nei confronti del robot. L'obiettivo finale è ipotizzare se questa interazione possa essere utile e positiva per soggetti con difficoltà motorie; più nello specifico se individui con handicap siano tranquilli e fiduciosi nel farsi alimentare direttamente da un agente robotico.

Il robot utilizzato in questo esperimento è NAO; un androide dotato di articolazioni mobili, telecamere, microfoni e altoparlanti che gli permettono di interagire con l'esterno infatti è realizzato per essere sfruttato principalmente in contesti che prevedono un'interazione sociale diretta con l'uomo. Riassumendo la domanda a cui si vuole rispondere è: "Mi fido ad essere assistito da un robot?". Osservando i dati raccolti e analizzando l'andamento della fiducia mettendola in relazione alla distribuzione dell'errore e alla scelta la risposta potrebbe essere "Sì".

## 2 Introduzione

### 2.1 Gli esordi della robotica collaborativa

L'idea della collaborazione tra uomo e macchina nasce a partire dagli anni '60 con la terza rivoluzione industriale. L'introduzione della robotica si può definire come una risposta a delle particolari esigenze umane sviluppatasi con vari cambiamenti della società ([Digiario, 2019](#)):

- Aumentare la velocità di produzione a causa di un aumento crescente e imponente della domanda
- Incrementare l'efficienza nella produzione per rispondere alla concorrenza sempre più globale
- Aiutare l'uomo in compiti possibilmente pericolosi e pesanti

Detto ciò è impossibile non prendere in considerazione nello specifico il concetto di collaborazione. Una collaborazione prevede una partecipazione attiva da entrambe le parti a un lavoro che ha particolari obiettivi. È bene, però, sottolineare la differenza tra questo concetto e il termine cooperazione. Secondo [Roschelle and Teasley \(1995\)](#) un lavoro cooperativo viene portato a termine suddividendo quest'ultimo tra i vari soggetti che ne diventano responsabili. Un lavoro collaborativo, invece, si può descrivere come un impegno da parte dei partecipanti in uno sforzo coordinato per portare a termine l'obiettivo ultimo del compito. Dunque la cooperazione non implica obbligatoriamente una diretta interazione tra i soggetti coinvolti nell'attività, cosa che è essenziale nella collaborazione.

### 2.2 La collaborazione uomo-robot

La volontà di creare una collaborazione tra uomo e robot viene studiata in un nuovo campo di ricerca chiamato Human Robot Collaboration (HRC). Lo scopo principale di questi studi innovativi è quello di creare un ambiente che possa portare a un'interazione collaborativa sicura tra uomo e robot ([Vysocky and Novak, 2016](#)). Alla base del mondo dell'HRC c'è un filone di ricerca detto Human Robot Interaction (HRI); ovvero un campo di ricerca della robotica che si dedica alla comprensione e progettazione di sistemi robotici che possono essere utilizzati da o con gli esseri umani ([Goodrich et al., 2008](#)). Di conseguenza si può considerare HRC come una sotto branca di HRI.

Riassumendo, l'idea principale dell'HRC, è quella di rendere possibile la combinazione delle capacità umane con quelle robotiche. Ciò potrebbe portare a molti risultati interessanti poiché gli esseri umani hanno una flessibilità cognitiva non osservabile ancora nei robot e una grande capacità di problem solving; i robot, invece, possiedono una precisione maggiore, forza e sicurezza anche in situazioni potenzialmente pericolose.

Prendendo in considerazione nuovamente il termine collaborazione, è bene sottolineare, che il termine “robot collaborativo” è nato nel 1996 e si può definire come un dispositivo meccanico che è capace di manipolare e modellare oggetti vari in collaborazione con un operatore umano (Colgate et al., 1996): *“La presente invenzione si concretizza in un nuovo tipo di dispositivo robotico chiamato robot collaborativo o “cobot”. Un cobot rende possibile una collaborazione fisica diretta tra una persona e un manipolatore controllato dal computer”*. Oggigiorno questa tipologia di robot collaborativi viene descritta dalla normativa tecnica ISO 10218-1 (2011) come *“robot destinati a interagire fisicamente con gli esseri umani in uno spazio di lavoro condiviso”*. Da queste definizioni si intuisce una differenza tra i cobot e i robot industriali. Questi ultimi infatti vengono definiti come *“manipolatori multifunzione riprogrammabili, con tre o più assi di rotazione, che possono essere fissi o mobili per l’impiego in applicazioni di automazione industriale”*.

### 2.3 Le caratteristiche generali dei cobot

Questi agenti robotici vengono progettati con lo scopo di lavorare a stretto contatto con l’essere umano e, solitamente, hanno caratteristiche antropomorfe che permettono l’attuazione di movimenti simili a quelli umani.

Inoltre la costruzione dei cobot è guidata da particolari scopi come, ad esempio:

- Creare un’interazione macchina-uomo il più possibile sicura e produttiva
- Creare una relazione intelligente con l’essere umano seguendo anche le capacità di quest’ultimo

Dunque il cobot deve avere una struttura compatta e leggera e sottostare ad una programmazione semplice e veloce per poter attuare operazioni e movimenti fluenti e utili per il raggiungimento dell’obiettivo.

### 2.4 Caratteristiche della collaborazione uomo-macchina

Secondo il National Institute of Standards and Technology (NIST, 2018) questa valutazione è essenziale e l’analisi dell’argomento è la *“conseguenza dell’incapacità dei robot di comunicare, comprendere l’intenzione e stabilire una comprensione reciproca dell’ambiente e della situazione con i colleghi umani [...] e dell’assenza di strumenti e protocolli necessari per descrivere e misurare efficacemente le interazioni uomo-robot, sia dall’incompleta raccolta di metriche per valutare le prestazioni del teaming uomo-robot, sia da protocolli insufficienti per un’interfaccia più intuitiva con gli strumenti robotici”*.

Innanzitutto per valutare la collaborazione è utile descrivere e approfondire il contesto applicativo, ovvero il contesto in cui si osserva l’interazione. Secondo la normativa ISO 10218-1 (2011) esistono quattro modalità di collaborazione tra uomo e robot:

- Arresto monitorato di sicurezza: quando il soggetto umano invade lo spazio di lavoro dell'ente meccanico si osserva una momentanea interruzione del lavoro di quest'ultimo
- Monitoraggio della velocità e della separazione: viene imposta una distanza minima tra la persona e il robot e nel caso questa non venga rispettata momentaneamente si osserverebbe una diminuzione della velocità di lavoro o un blocco dell'attività
- Guida manuale: c'è un vero e proprio contatto tra il robot e l'uomo in cui quest'ultimo indica direttamente al macchinario quali movimenti deve fare
- Limitazione di forza e potenza: in questo caso si evidenzia la capacità da parte del cobot di identificare anche piccole deviazioni grazie ad encoder ad alta risoluzione al fine di evitare impatti. Infatti il robot può arrestarsi immediatamente grazie all'azione di freni

In generale nella letteratura sono stati proposti numerosi modelli che classificano le modalità di collaborazione uomo-robot creando così varie classifiche di possibili scenari collaborativi.

Ad esempio [Shi et al. \(2012\)](#) hanno ipotizzato tre livelli di collaborazione che vengono distinti in base al grado di condivisione dello spazio di lavoro e al funzionamento del robot. Queste categorie sono:

- Basso: il soggetto non entra mai nel campo di lavoro in cui si trova il robot
- Medio: quando l'uomo entra nello spazio di lavoro del robot esso interrompe qualsiasi attività
- Alto: il robot è libero di attivarsi e quindi muoversi anche con la presenza della persona

Successivamente ci sono stati altri tentativi per affrontare questo tema ed analizzarlo; come ad esempio [Cesta et al. \(2016\)](#): questo team di ricerca propone una classificazione basata sul grado di interdipendenza tra l'agente meccanico e l'essere umano durante il lavoro. Le categorie in questione sono (Fig.1):

- Indipendente: i due enti che collaborano impegnano il proprio lavoro su elementi distinti, ma sono nel medesimo spazio di lavoro ed è proprio quest'ultimo aspetto che permette di utilizzare il termine collaborazione
- Simultaneo: il soggetto umano e il cobot lavorano contemporaneamente su compiti differenti, ma sullo stesso elemento
- Sequenziale: si osserva sempre una collaborazione a stretto contatto come nel caso lavoro simultaneo, ma il processo ha delle tempistiche precise; ovvero la fine dell'attività del cobot risulta lo stimolo per far partire l'azione dell'operatore umano e viceversa

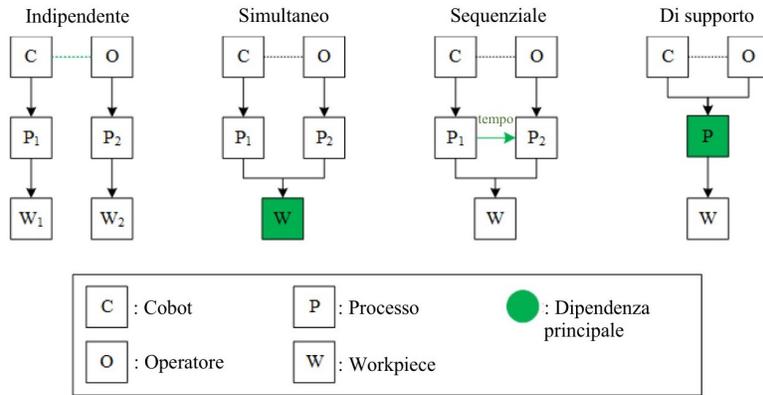


Figura 1: Illustrazione schematica della classificazione di [Cesta et al. \(2016\)](#)

	<i>Coesistenza</i>	<i>Cooperazione sequenziale</i>	<i>Cooperazione parallela</i>	<i>Collaborazione</i>
Spazio condiviso				✓
Processo sequenziale		✓		
Processo simultaneo	✓		✓	✓
Risorse condivise			✓	✓
Pezzo da lavorare condiviso		✓	✓	✓
Contatto diretto		✓		✓

Figura 2: Gradi di contatto tra uomo e robot durante la collaborazione secondo [Behrens et al. \(2015\)](#)

- Di supporto: la persona e il cobot lavorano in modo interattivo sullo stesso processo

Ovviamente esistono altre classificazioni che possono prendere in considerazione elementi differenti.

Ad esempio analizzando il modello di [Behrens et al. \(2015\)](#) si può subito notare che, rispetto allo schema teorico precedente, viene preso in considerazione anche il fattore della presenza o meno di contatto fisico tra uomo e robot. Con questa nuova struttura si sono trovate le seguenti categorie (Fig. 2):

- Coesistenza: c'è una netta e definita separazione tra il robot e la persona
- Cooperazione sequenziale: potenzialmente può esserci un contatto fisico poiché i due enti collaborano alternandosi, ma entrambi lavorano sullo stesso pezzo
- Cooperazione parallela: nonostante uomo e robot lavorino sul medesimo elemento in contemporanea non è previsto assolutamente nessun incontro fisico

- Collaborazione: il contatto fisico è inevitabile poiché necessario

Successivamente grazie al contributo di [Aaltonen et al. \(2018\)](#) c'è stato un ampliamento delle categorie; ovvero i livelli non coesistenza, coesistenza, cooperazione e collaborazione vengono suddivisi in sotto-livelli più specifici (Fig. 3):

- Condivisione dello spazio di lavoro
- Attività del robot con la presenza umana
- Tipo di sforzo congiunto
- Contatto fisico

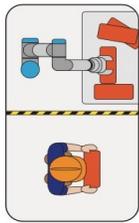
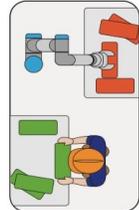
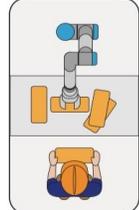
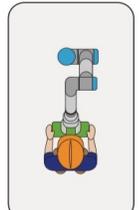
<i>Livello collaborazione</i>	Fattore specifico sotto-livello	Condivisione dello spazio	Attività robot con uomo presente	Sforzo congiunto	Contatto fisico
<b>No coesistenza</b>	 Barriere di separazione	Separazione fisica	No	No	Escluso
<b>Coesistenza</b>	Spazio separato	Separato	Robot in arresto	No	Escluso
	Zona ristretta	Condivisione spazialmente limitata	Robot si arresta se uomo in zona ristretta	No	Escluso
	Spazio limitato: accesso sequenziale	Condivisione temporalmente limitata	Attività sequenziale	No	Escluso
	Spazio libero; contatto escluso	Condivisione	Attività simultanea	No	Escluso
	Spazio libero; contatto ok	Condivisione	Attività simultanea	No	Consentito
<b>Cooperazione</b>	Programmazione; teleoperazione	Condivisione	Robot teleoperato da teach pendent	Obiettivo condiviso	Possibile
	Programmazione; guida manuale	Condivisione	Robot guidato manualmente	Obiettivo condiviso	Richiesto
	Spazio limitato: zona ristretta	Condivisione spazialmente limitata	Robot in arresto se uomo nella zona ristretta	Obiettivo o oggetto condiviso	Escluso
	Lavoro sequenziale; contatto escluso	Condivisione temporalmente limitata	Attività simultanea	Obiettivo o oggetto condiviso	Escluso
	Simultaneo; contatto escluso	Condiviso	Attività simultanea	Obiettivo condiviso	Consentito
	Simultaneo; contatto ok	Condiviso	Attività simultanea	Obiettivo condiviso	Escluso
<b>Collaborazione</b>	Contatto escluso	Condiviso	Attività simultanea	Oggetto condiviso; processo differente	Consentito
	Contatto ok; processi differenti	Condiviso	Attività simultanea	Oggetto e processo condiviso	Consentito
	Contatto ok; processo condiviso	Condiviso	Attività simultanea, guida manuale	Oggetto condiviso	Richiesto
	Peer-to-peer adattivo	Condiviso	robot super-adattivo	Oggetto condiviso	Consentito
	Super-adattivo	Condiviso	robot super-adattivo	Oggetto condiviso	Consentito

Figura 3: Livelli e sotto-livelli dello schema collaborativo tra uomo e robot secondo Aaltonen et al. (2018)

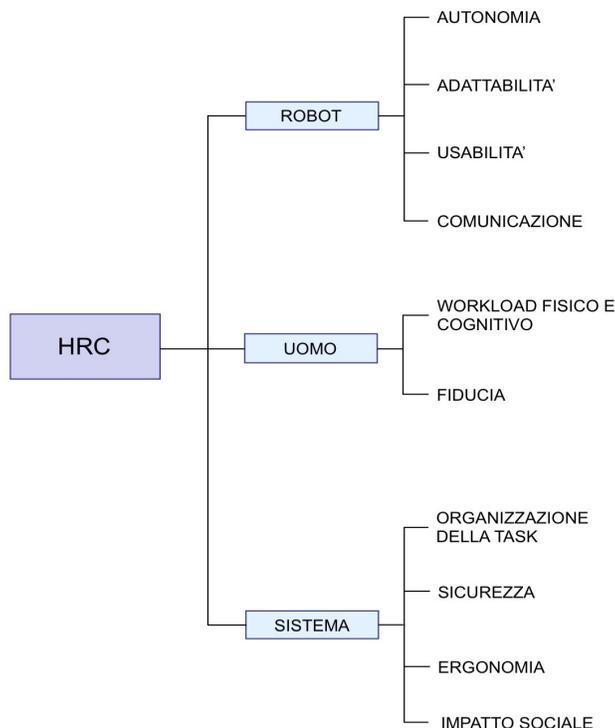


Figura 4: Fattori immediatamente riscontrabili e non nell’analisi della collaborazione uomo-robot (Digiario, 2019)

### 3 Collaborazione uomo-macchina: verso nuovi approcci e modelli

Analizzando le classificazioni presentate precedentemente è evidente che queste osservino solamente ciò che è rilevabile dall’esterno; dunque fino ad ora il tema è stato trattato in modo parziale perché è essenziale prendere in considerazione anche fattori non immediatamente riscontrabili (Fig. 4). Di conseguenza l’obiettivo è proprio quello di creare un approccio multidimensionale per indagare tutti i fattori, immediatamente visibili e non, che influenzano la collaborazione uomo-robot.

#### 3.1 Autonomia

L’elemento dell’autonomia del robot presente nell’interazione è essenziale perché determina sia i compiti che esso è capace di svolgere sia il livello in cui avviene l’interazione con l’essere umano. La teoria che descrive come e se l’autonomia

influenzi l'interazione uomo-robot si divide in due scuole di pensiero ([Digiaro, 2019](#)):

- All'aumentare dell'autonomia il robot ha bisogno sempre meno di interagire con il soggetto e in modi meno complessi
- Una maggiore autonomia porta ad un'interazione più sofisticata

Ma come misurare l'autonomia? Uno dei tentativi più famosi è il modello Level of Autonomy Assessment Scale (LORA, Fig. 5) ([Beer et al., 2014](#)). Secondo questa teoria l'autonomia del robot viene influenzata dall'ambiente e dal compito. In particolare quest'ultimo viene suddiviso in tre categorie:

- Percepire: registrazione e filtraggio dei dati
- Pianificare: ipotizzare più soluzioni e valutarle
- Agire: attivarsi nel concreto

Nell'interazione il robot può essere più o meno autonomo dall'agire della persona su questi tre livelli; infatti nella tabella si possono osservare tre possibili sigle:

- U: l'autonomia del robot in quel livello è inesistente
- U/R
- R: l'autonomia del robot in quel livello è totale

### 3.2 Adattabilità

L'adattabilità è la capacità del robot di adattarsi autonomamente seguendo le caratteristiche del contesto ([Digiaro, 2019](#)). Analizzando questa dimensione si può creare una scala qualitativa suddivisa su quattro livelli ([Krüger et al., 2017](#)):

- Livello 0: il robot è del tutto incapace di adattarsi autonomamente seguendo i cambiamenti esterni
- Livello 1: il robot ha un algoritmo di base che prevede più possibilità d'azione, ma di per sé non si può parlare di un vero e proprio learning by doing
- Livello 2: il robot è capace di adattarsi, ma i cambiamenti prodotti da se stesso non è detto che siano la scelta migliore per raggiungere il risultato desiderato
- Livello 3: il robot dev'essere capace di acquisire informazioni sul suo partner, metterle in relazione all'obiettivo comune e fornire informazioni sul proprio stato per creare una collaborazione con l'umano il più possibile utile e intelligente

<i>Categoria LORA</i>	<i>Percepire</i>	<i>Pianificare</i>	<i>Agire</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Esempi da letteratura</i>
<b>Manuale*</b>	U	U	U	L'uomo esegue tutti gli aspetti dell'attività compresi i rilievi ambientali, la generazione di piani / opzioni / obiettivi e processi di attuazione	"Manual control" Endsley & Kaber, 1999
<b>Tele-operazione</b>	U/R	U	U/R	Il robot assiste l'uomo nell'implementazione dell'azione. Tuttavia, il rilevamento e la pianificazione sono assegnati all'uomo. Ad esempio, un uomo può teleoperare un robot, ma scegliere di richiedere al robot di fornire assistenza per alcuni aspetti di un'attività (ad esempio, per la presa di oggetti)	"Action support" Endsley & Kaber, 1999; Kaber et al., 2000; "Manual Teleoperation" Milgram, 1995; "Tele Mode" Baker & Yanco, 2004; Bruemmer et al., 2005; Desay & Yanco, 2005
<b>Tele-operazione assistita</b>	U/R	U	U/R	L'uomo assiste tutti gli aspetti del compito. Tuttavia, il robot rileva l'ambiente e sceglie di intervenire con un'attività. Ad esempio, se l'utente naviga il robot troppo vicino a un ostacolo, il robot sterzerà automaticamente per evitare la collisione.	"Assisted Teleoperation" Takayama et al., 2011; "Safe Mode" Baker & Yanco, 2004; Bruemmer et al., 2005; Desay & Yanco, 2005
<b>Elaborazione in lotti</b>	U/R	U	R	Sia l'uomo che il robot monitorano e rilevano l'ambiente. L'uomo, tuttavia, determina gli obiettivi e i piani dell'attività, quindi il robot la implementa.	"Batch Processing" Endsley & Kaber, 1999; Kaber et al., 2000;
<b>Supporto alla decisione</b>	U/R	U/R	R	Sia l'uomo che il robot percepiscono l'ambiente e generano un piano di attività. Tuttavia, l'uomo sceglie il piano delle attività e comanda al robot di attuare le azioni.	"Decision Support" Endsley & Kaber, 1999; Kaber et al., 2000;
<b>Controllo condiviso con iniziativa umana</b>	U/R	U/R	R	Il robot rileva automaticamente l'ambiente, sviluppa piani e obiettivi e esegue azioni. Tuttavia, l'uomo monitora i progressi del robot e può intervenire e influenzare il robot con nuovi obiettivi e piani, se il robot sta avendo difficoltà.	"Shared Mode" Baker & Yanco, 2004; Bruemmer et al., 2005; Desay & Yanco, 2005; "Mixed initiative" Sellner et al., 2006; "Control Sharing" Tam et al., 1995
<b>Controllo condiviso con iniziativa robot</b>	U/R	U/R	R	Il robot esegue tutti gli aspetti del compito (rilievo, piano, azione). Se il robot incontra difficoltà, può richiedere all'uomo assistenza nella definizione di nuovi obiettivi e piani.	"System Initiative" Sellner et al., 2006; "Fixed-Subtask Mixed-Initiative" Hearst, 1999
<b>Controllo esecutivo</b>	R	U/R	R	L'uomo può dare un obiettivo astratto di alto livello (ad esempio, navigare nell'ambiente verso una posizione specifica). Il robot rileva autonomamente l'ambiente, imposta il piano ed esegue l'azione.	"Seamless Autonomy" Few et al., 2008; "Autonomous Mode" Baker & Yanco, 2004; Bruemmer et al., 2005; Desay & Yanco, 2005
<b>Controllo di supervisione</b>	U/R	R	R	Il robot svolge tutti gli aspetti dell'attività, ma l'uomo controlla continuamente il robot, l'ambiente e l'attività. L'uomo ha la possibilità di scavalcare e può fissare un nuovo obiettivo e piano. In questo caso, l'autonomia passerebbe al controllo esecutivo, al controllo condiviso o al supporto decisionale.	"Supervision Control" Endsley & Kaber, 1999; Kaber et al., 2000
<b>Piena autonomia</b>	R	R	R	Il robot esegue tutti gli aspetti del compito in modo autonomo senza l'intervento umano con azioni di rilevamento, pianificazione o attuazione.	"Full Automation" Endsley & Kaber, 1999

Legenda: U=Uomo; R=Robot; U/R=Uomo e robot

\* "Manuale" rappresenta una situazione in cui nessun robot è coinvolto nell'esecuzione dell'attività; questo livello è incluso per un continuum tassonomico completo.

Figura 5: LORA (Beer et al., 2014)

<i>Nr.</i>	<i>Item</i>	<i>Punteggio (da 0 a 4 punti)</i>
1	Penso che mi piacerebbe usare questo sistema frequentemente	
2	Trovo il sistema inutilmente complesso	
3	Penso che il sistema sia facile da usare	
4	Penso che avrei bisogno del supporto di un tecnico per poter utilizzare questo sistema	
5	Trovo che le varie funzioni di questo sistema erano ben integrate	
6	Penso che ci sia troppa incoerenza in questo sistema	
7	Immagino che la maggior parte delle persone imparerebbe ad usare questo sistema molto rapidamente	
8	Trovo il sistema molto complicato da usare	
9	Mi sento molto fiducioso nell'uso del sistema	
10	Ho bisogno di imparare un sacco di cose prima di poter andare avanti con questo sistema	

Figura 6: System Usability Scale ([Brooke, 1996](#))

### 3.3 Usabilità

Secondo la ISO 9241-11 (2018) l'usabilità *“la misura in cui un prodotto può essere utilizzato da utenti specifici per raggiungere determinati obiettivi con efficacia , efficienza e soddisfazione in un determinato contesto d'uso”*.

Questo termine si può dividere in efficacia, efficienza, soddisfazione e facilità di apprendimento:

- L'efficacia si può descrivere come l'accuratezza e la completezza con cui gli utenti raggiungono determinati compiti; l'efficienza quindi prende in considerazione aspetti come le risorse spese in relazione all'accuratezza e alla completezza con cui gli utenti raggiungono gli obiettivi
- La soddisfazione, invece, si può definire come la misura in cui le risposte fisiche, cognitive ed emotive del partner meccanico soddisfano le esigenze e le aspettative del soggetto
- Con il termine facilità di apprendimento si intende semplicemente con quanta facilità un sistema possa essere appreso da soggetti alle prime armi

In sostanza l'usabilità è un fattore molto importante nell'analisi delle prestazioni del sistema uomo-robot e una buona usabilità sicuramente porta ad un rafforzamento dell'affidabilità del robot.

Per rendere quantificabile questo concetto si utilizza solitamente la System Usability Scale (SUS, Fig. 6). Quest'ultimo è un questionario di 10 item in cui i soggetti possono inserire le loro percezioni utilizzando una scala Likert a 5 punti (Brooke, 1996). I punteggi vengono poi sommati tra loro moltiplicando il tutto per 2,5 dunque il risultato sta in un range tra 0 e 100. In particolare nella seguente tabella si può notare che gli item 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 si riferiscono all'usabilità mentre gli item 4 e 10 alla facilità di apprendimento.

### 3.4 Comunicazione

È essenziale introdurre nel sistema uomo-robot un buon protocollo di comunicazione. Infatti un elemento inerente a questo che può portare ad una collaborazione positiva è che il robot abbia la possibilità di captare gli stimoli e le esigenze del soggetto umano e comunicare con lui (Maurtua et al., 2017).

Di conseguenza risulta molto interessante analizzare come il grado di comunicazione del robot verso l'essere umano influisce sulla fiducia di quest'ultimo nei suoi confronti. Seguendo gli studi di Wang et al. (2016), infatti, si è osservato che le persone hanno una maggior fiducia nei robot che riescono a creare spiegazioni complete su come hanno preso una certa decisione. In sostanza più l'umano comprende il processo decisionale dell'agente meccanico, descritto da quest'ultimo, più tende a fidarsi di lui (cosa che migliora sicuramente anche le prestazioni del team).

Tutti i dati che hanno portato a questa spiegazione derivano da un esperimento in cui un team uomo-robot si trova ad affrontare una missione di ricognizione. In particolare il robot facente parte del team poteva avere diversi livelli di capacità esplicativa e abilità varie potenzialmente utili in questa situazione. In particolare il robot in questione è in grado di scansionare gli edifici dall'esterno per individuare potenziali pericoli e avvisare, nel caso, il compagno umano. Ciò è reso possibile da un sensore per armi nucleari, biologiche e chimiche (NBC), una telecamera capace di rilevare uomini armati ed un microfono per captare i dialoghi anche in lingue straniere.

Come accennato in precedenza l'agente meccanico è progettato per avere 6 possibili "modalità" basate sulla variazione di due variabili (Wang et al., 2016):

- **Abilità:** in questo caso può essere alta o bassa; nel primo caso la possibilità di avere informazioni errate da parte del robot è pari a 0, nel secondo l'agente meccanico potrebbe commettere degli errori falsi negativi
- **Spiegazione:** può variare lungo tre livelli; si va da una spiegazione ricca di informazioni dettagliate che possono aiutare il compagno umano fino ad una risposta totalmente priva di spiegazione

L'analisi vera e propria di tutto ciò si basa sull'osservazione di particolari variabili:

- Conformità: rapporto tra il numero di decisioni prese dai partecipanti in accordo con le raccomandazioni del robot e il numero totale delle decisioni dei partecipanti
- Trasparenza: misurazione calcolata con una scala Likert a 7 punti utilizzata in un questionario post-missione
- Successo nella missione
- Decisione corrette

Riassumendo quindi, coerentemente con studi passati, la trasparenza e la buona comunicazione da parte del robot sui suoi processi decisionali ha favorito la creazione di un rapporto di fiducia. Nonostante ciò si è notato che la capacità di spiegarsi ha aiutato nello specifico i robot con scarse capacità rispetto a quelli con alte capacità. Ciò, molto probabilmente, è dovuto al fatto che i partecipanti che hanno lavorato con robot ad alte capacità non hanno mai avuto un particolare bisogno di fare attenzione alla spiegazione della loro decisione poiché la probabilità di errore in questo caso è pari allo 0%.

### 3.5 Organizzazione del task

Con il termine organizzazione del task si intende la strutturazione del team, la tipologia di task e le tempistiche del lavoro (Wang et al., 2016).

In una collaborazione è essenziale tenere il conto di quanti agenti (umani e non) sono coinvolti ed è proprio da questa accortezza che si possono distinguere configurazioni in singolo, multiple e di team (Fig 7). La differenza essenziale di questi due ultimi scenari organizzativi è che un team lavora seguendo un coordinamento interno. Un altro importante aspetto da prendere in considerazione è che un comportamento può essere attivo (avere un contributo nell'arrivare all'obiettivo desiderato), inattivo (non essere per nulla utile, ma semplicemente un ostacolo) e di supporto.

Per analizzare il task nel particolare è bene creare una sezione gerarchica; ovvero l'obiettivo ultimo viene suddiviso in sotto-obiettivi e così via. Questa suddivisione risulta utile anche per osservare le tempistiche del lavoro poiché uno degli elementi da prendere in considerazione è la durata dei sotto-compiti. Ciò però non basta, infatti è importante valutare anche il tempo totale del task, il tempo di inattività della persona (momento in cui lavora solamente il robot) e viceversa più il tempo di attività simultanea.

### 3.6 Accettazione sociale

Un elemento che predice la positività o meno della collaborazione uomo-robot è l'accettazione del robot da parte dell'essere umano. In generale ciò è possibile quando l'agente meccanico viene considerato utile poiché segue i bisogni e le aspettative degli utilizzatori.

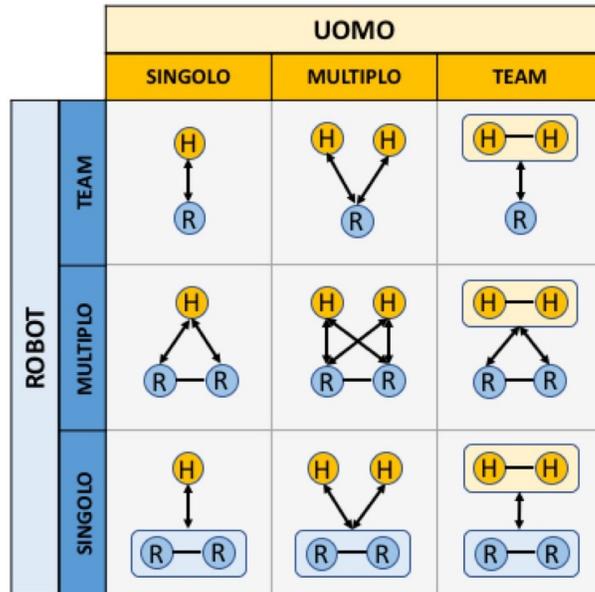


Figura 7: Possibili organizzazioni del sistema di lavoro (Wang et al., 2016)

Di conseguenza è essenziale concentrarsi su quest'aspetto poiché è uno dei fattori che poi porta al vero e proprio utilizzo del robot.

Secondo il modello Technology Acceptance Model (TAM) di Davis (1989) gli aspetti che influenzano prepotentemente l'intenzione della persona di utilizzare l'agente meccanico sono la facilità d'uso e, per l'appunto, l'utilità percepita (Fig. 8).

Con il passare del tempo grazie a studi successivi il modello di Davis è stato ampliato con altre variabili che sono, poi, state inserite in un questionario con 17 item valutati dai soggetti con una scala Likert a 7 punti (Bröhl et al., 2016), Fig. 9.

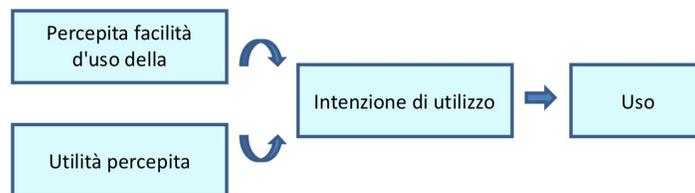


Figura 8: TAM (Davis, 1989)

<i>Fattore</i>	<i>Nr.</i>	<i>Item</i>	<i>Punteggio (da 0 a 6)</i>
<i>Norma soggettiva</i>	1	In generale, l'organizzazione supporta l'uso del robot (TAM 2/3)	
<i>Immagine</i>	2	Le persone che nella mia organizzazione usano il robot hanno più prestigio di quelli che non lo usano (TAM 2/3)	
<i>Rilevanza del lavoro</i>	3	L'uso del robot è pertinente ai vari compiti correlati al mio lavoro (TAM 2/3)	
<i>Qualità dell'output</i>	4	La qualità degli output che ottengo dal robot è elevata (TAM 2/3)	
<i>Dimostrabilità del risultato</i>	5	Non ho difficoltà nel dire ad altri i risultati dell'uso del robot (TAM 2/3)	
<i>Piacere percepito</i>	6	Trovo piacevole l'utilizzo del robot (TAM 3/3)	
<i>Implicazione sociale</i>	7	Temo di aver perso il contatto con i miei colleghi a causa del robot	
<i>Implicazione legale (sicurezza sul lavoro)</i>	8	Non mi interessa se il robot lavora con me in un compito condiviso	
<i>Implicazione legale (protezione dei dati)</i>	9	Non mi interessa se il robot raccoglie informazioni personali su di me	
<i>Implicazione etica</i>	10	Temo che potrei perdere il lavoro a causa del robot	
<i>Sicurezza percepita</i>	11	Mi sento sicuro quando uso il robot	
<i>Auto-efficacia</i>	12	Potrei usare il robot se qualcuno mi mostrasse prima come fare (TAM 3/3)	
<i>Ansia da robot</i>	13	I robot mi fanno sentire a disagio (TAM 3/3)	
<i>Utilità percepita</i>	14	L'uso del robot migliora le mie prestazioni nel lavoro (TAM)	
<i>Facilità d'uso percepita</i>	15	La mia interazione con il robot è facile (TAM)	
<i>Intenzione comportamentale</i>	16	Se potessi scegliere, se il robot mi supportasse al lavoro, io gradirei lavorare con il robot	
<i>Comportamento d'uso</i>	17	Preferisco il robot ad altre macchine nell'ambiente industriale	

Figura 9: Questionario per analizzare l'accettazione sociale (Bröhl et al., 2016)

### 3.7 La fiducia nelle interazioni; similitudini e differenze essenziali tra le relazioni uomo-uomo e uomo-robot

Quando si pensa alla fiducia inserita in un rapporto sicuramente d'istinto si immagina ad un'interazione tra due esseri umani e non ad un uomo e un robot. Dunque è inevitabile soffermarci un po' anche sulle relazioni interpersonali (uomo-uomo), confrontandoli, così, con quelle uomo-robot. In generale si possono notare sicuramente delle similitudini tra questi due rapporti, ma non solo (Hoff and Bashir, 2015).

In entrambi i casi, infatti, il concetto di fiducia che lega gli enti coinvolti è il medesimo poiché si vanno ad osservare particolari atteggiamenti di aiuto reciproco in situazioni incerte. Ciò è stato concretamente visibile grazie agli esperimenti fatti nei anni '90 in cui si è osservato che i soggetti applicano regole sociali tipiche nelle relazioni interpersonali (es. cortesia) anche nei rapporti con gli enti robotici (Nass et al., 1994, 1999).

Nonostante ciò ci sono anche delle forti distinzioni infatti la fiducia uomo-automazione e la fiducia uomo-uomo si basano su attributi differenti. La fiducia interpersonale si può basare su elementi come abilità, integrità o benevolenza (Mayer et al., 1995); invece la fiducia uomo-robot può incentrarsi su aspetti come prestazione, processo o scopo (Lee and Moray, 1992).

- La fiducia basata sulla prestazione. Questa varia a seconda della qualità con cui lavora il sistema automatizzato
- La fiducia basata sul processo fluttua a seconda della comprensione del soggetto umano coinvolto delle modalità d'azione del robot
- La fiducia basata sullo scopo si basa sulla natura dell'obiettivo affidato all'ente meccanico

Un altro aspetto che differenzia queste due tipologie di rapporto è la progressione della fiducia nel tempo osservata da Rempel et al. (1985). Nel caso dei rapporti interpersonali i soggetti si relazionano inizialmente affidandosi alla prevedibilità delle azioni dell'altro, che poi successivamente viene sostituita da affidabilità/integrità e solamente alla fine si può parlare di fede. Analizzando, invece, la progressione della relazione uomo-automazione si può notare che inizialmente la persona presenta un forte pregiudizio positivo nelle capacità del robot, dunque la loro fiducia si basa su pura fede. Nonostante ciò questa fiducia si dissolve facilmente già dai primi errori da parte del robot e man mano che il rapporto progredisce la fede viene sostituita dall'affidabilità e prevedibilità.

Ovviamente è bene sottolineare che questa distinzione è analizzabile solo nelle relazioni tra sconosciuti e quelle tra uomo e robot poiché nella realtà entrano in gioco numerosi fattori.

Osservando, però, i giorni di oggi a causa dei progressi è sempre più frequente doversi interfacciare con agenti robotici e quindi dover lavorare con loro creando, così, un team. Questa nuova concezione di partnership porta con sé nuove sfide in cui l'obiettivo è quello di osservare una buona collaborazione tra

uomo e robot. Uno degli elementi più importanti che può portare a ciò si basa sulla fiducia che la persona pone nell'ente meccanico.

In questo caso la fiducia si può definire con i seguenti termini: sicurezza, prestazione e tasso di utilizzo ed è il fattore principale che può portare all'utilizzo o meno del robot da parte della persona. Quindi è sicuro che in alcuni lavori il contributo robotico può essere un grande aiuto, ma l'utilizzo di questi agenti non è detto che sia sempre funzionale. Infatti nel caso dell'uso improprio si possono facilmente osservare dei fallimenti dovuti alla troppa fiducia posta nell'ente meccanico.

Secondo Lee e See (2004) la fiducia è definibile come *“l’atteggiamento che aiuterà un agente a raggiungere gli obiettivi di un individuo in una situazione caratterizzata da incertezza e vulnerabilità”* (Lee and See, 2004). In sostanza la fiducia porta a identificare l'agente robotico come un buon compagno di squadra, come colui che può aiutare. Il senso di fiducia infatti può influenzare la disponibilità della persona a fare affidamento sull'utente meccanico, soprattutto in situazioni potenzialmente rischiose.

Ovviamente analizzando a fondo la fiducia si può osservare che è un concetto molto complesso e, prendendo in considerazione nello specifico il sistema uomo-robot, gli elementi essenziali da prendere in considerazione sono (Hancock et al., 2011):

- Prestazioni del robot (affidabilità, prevedibilità e comportamento)
- Fattori basati sugli attributi del robot (dimensioni e movimento)
- Fattori ambientali (tipologia del compito da svolgere)

Prendendo in considerazione i contesti industriali, Charalambous et al. (2016) hanno sviluppato una scala psicometrica di 10 item per misurare proprio quella fiducia che l'operatore deve avere nella macchina industriale in questione. Andando più nel particolare si è osservato che sono essenziali tre componenti per far sì che l'uomo si fidi del robot:

- La sicurezza mentale e fisica durante la collaborazione
- Gli aspetti prestazionali del robot (in particolare l'affidabilità)
- I movimenti: quest'aspetto risulta molto interessante perché più il movimento robotico è fluente più il soggetto umano tenderà a sentirsi al sicuro per poi inevitabilmente fidandosi

Il questionario che viene utilizzato in questi casi viene somministrato agli operatori che collaborano con i macchinari e ciascun item viene valutato su una scala Likter a 5 livelli (da fortemente in disaccordo a fortemente d'accordo). Il punteggio finale si ottiene semplicemente sommando i punteggi di ciascun item tra di loro e può muoversi su un range tra 0 e 50.

Nello specifico nel rapporto uomo-robot si possono osservare 3 elementi essenziali:

<i>Fattore</i>	<i>Nr.</i>	<i>Item</i>	<i>Punteggio (da 0 a 4)</i>
<i>Movimento del robot e velocità di raccolta</i>	1	Il modo in cui il robot si muove mi metteva a disagio	
	2	La velocità alla quale la pinza preleva e rilascia i componenti mi rendeva inquieto	
<i>Cooperazione sicura</i>	3	Sono fiducioso della sicurezza nella collaborazione con il robot	
	4	Sono a mio agio perché so che il robot non mi farebbe del male	
	5	La dimensione del robot non mi preoccupa	
	6	Mi sento al sicuro interagendo con il robot	
<i>Affidabilità del robot e della pinza</i>	7	So che la pinza non lascerebbe cadere i componenti	
	8	La pinza del robot non sembra affidabile	
	9	Sembra che della pinza ci si possa fidare	
	10	Sento di poter fare affidamento sul robot per fare ciò che devo fare	

Figura 10: Questionario per valutare la fiducia dei soggetti umani verso i robot in contesti industriali (Charalambous et al., 2016)

1. La persona
2. L'ambiente
3. L'agente meccanico

Questi, seguendo la teoria di Marsh and Dibben (2003), rappresentano rispettivamente 3 livelli di fiducia:

1. Fiducia disposizionale: tendenza generale duratura nel tempo a fidarsi a prescindere dall'ambiente e dal sistema robotico utilizzato in quello specifico contesto. Dunque è possibile cogliere differenze tra individui di diversa età, cultura, genere e personalità
2. Fiducia situazionale: deriva sia dal contesto esterno che dallo stato interno dell'individuo
3. Fiducia appresa: atteggiamenti dovuti a valutazioni fatte grazie alle esperienze vissute dal soggetto

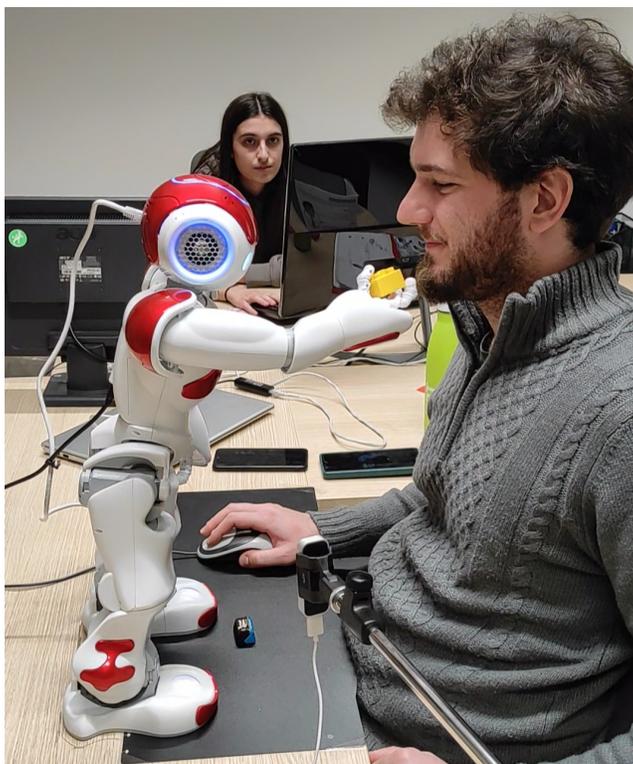


Figura 11: Setup sperimentale

## 4 Lo studio

### 4.1 Gli obiettivi dello studio

Lo studio è partito da una collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (ISTC), nell'ambito del progetto europeo *"Multifunctional, adaptive and interactive AI system for Acting in multiple contexts" (MAIA)* che indaga metodi innovativi per l'interfaccia uomo-macchina, in particolare, con l'obiettivo di anticipare le intenzioni dei soggetti ai fini di formare agenti intelligenti assistivi come esoscheletri e robot.

L'obiettivo di questa ricerca è quello di investigare le dinamiche della fiducia e del comportamento presenti nelle interazioni uomo-robot, in particolare in seguito al successo o fallimento nel comprendere e assistere le intenzioni umane da parte dell'agente meccanico (Fig. 11). Dunque il cuore dello studio prevede l'osservazione degli effetti del successo/fallimento nella costruzione della fiducia e della rilevanza fisiologica della scelta. Il disegno dell'esperimento comprende interazioni tra un soggetto umano e un robot umanoide, con due tipi di comportamenti quotidiani tra cui la persona esprime volontà di effettuare un'azione

(alimentazione o giocare). L'opzione cibo porta con sè un'azione che riguarda un'esigenza fisiologica essenziale che in questo caso l'individuo non riesce ad attuare senza ausili esterni; mentre il gioco rappresenta un'interazione opzionale e non particolarmente importante a livello fisiologico, nonostante ciò comunque è un'attività comune e desiderevole. Dunque, abbiamo cercato di indagare come le capacità dell'agente assistivo di comprendere ed attuare i desideri dell'individuo influenzano la fiducia del assistito verso l'assistente e nella scelta delle interazioni, a secondo la loro importanza a livello fisiologico. Visti precedenti studi che hanno mostrato la rilevanza degli azioni fisiologiche sul comportamento, anche a livello affettivo [Ferri et al. \(2010\)](#), abbiamo prospettato di trovare differenze dei fattori che possono determinare la fiducia, tipo, gli errori nel comprendere i desideri e intenzioni.

## 4.2 NAO

Il robot utilizzato nell'esperimento è NAO (Fig. 11, 14) detto anche Zorg Ouderen Revalidatie Animate (ZORA). Ovvero un robot di assistenza sociale facente parte della quinta generazione di sviluppo della robotica (robot umanoidi); nel particolare della categoria Socially Assistive Robots (SAR) in cui l'obiettivo è quello di progettare agenti robotici capaci di interagire con l'uomo nel modo più naturale possibile ([Robaczewski et al., 2021](#)). Questa tipologia di robot sta nascendo principalmente come potenziale soluzione nell'aiutare soggetti fragili come gli anziani e si possono distinguere in due categorie ([Robaczewski et al., 2021](#)):

- Robot di riabilitazione (es. sedie a rotelle intelligenti, esoscheletri)
- Robot di assistenza sociale: essi si dividono ulteriormente in altre due tipologie; ovvero robot di servizio e robot di compagnia. I primi vengono utilizzati per assistere soggetti deboli nelle azioni quotidiane; mentre i secondi mirano più ad aiutare le persone sul versante psicologico

Nello specifico, NAO è un robot umanoide alto 58 cm con particolari caratteristiche che gli permettono di adattarsi all'ambiente:

- Articolazioni da 25 gradi di libertà
- 2 telecamere
- 7 sensori tattili
- 4 microfoni
- Altoparlanti

Il robot ha software di controllo che gli permette di agire in autonomia, ma anche di essere controllato da sperimentatore tramite rete cablata o Wi-Fi attraverso software scritto in linguaggio Python utilizzando toolbox SDK-NAO.

### Questionario sulla fiducia nella relazione Uomo - Robot assistivo

No.	DOMANDA	PESO
1	Mi fiderei di un assistente robotico intelligente che vedo per la prima volta	1
2	Mi fiderei di un robot nel prestarmi assistenza personale se ne avessi la necessità o la comodità	1
3	Mi fiderei di un robot con il compito di nutrirmi se fossi nella condizione di non potermi nutrire da solo	1
4	Sento di potermi fidare delle capacità dei robot nello scegliere le azioni giuste	1
5	Temo che i robot assistivi non siano in grado di capire i desideri e le intenzioni delle persone	-1
6	Sono a mio agio a stare vicino ad un robot perché so che non mi farebbe del male	1
7	Mi sento al sicuro interagendo con dei robot	1
8	Sono a disagio nel modo in cui si muovono i robot	-1

Figura 12: Esperimento: Questionario

## 4.3 Metodologia

### 4.3.1 Soggetti

Lo studio si basa su un campione di 17 studenti volontari (16 femmine, 1 maschio) di età differenti, divisi in due gruppi creati in base alla distribuzione degli errori commessi dal robot il cui obiettivo è quello di cimentarsi in una attività con il robot NAO.

### 4.3.2 Materiale

I materiali utilizzati sono:

- Il robot umanoide **NAO v.5** controllabile tramite **SDK per Python**
- Gli oggetti che rappresentano le opzioni dei possibili desideri: un cubetto colorato, per giocare, ed un cioccolatino, per essere nutriti (Fig. 11 e 14)
- Una telecamera per riprendere il volto e le espressioni facciali
- Un device Leap Motion tracker ad infrarossi per analizzare i movimenti della mano
- Un computer per il controllo del esperimento con OS Linux Ubuntu che permette allo sperimentatore di indicare (di nascosto) al NAO le scelte dei soggetti e che registra le immagini della telecamera e del Leap Motion.

### 4.3.3 Questionario

La fiducia dei soggetti nel robot è stata misurata tramite un questionario basato su scala Likert a 5 punti (Fig. 12). Il questionario nasce ispirandosi a quello utilizzato da [Charalambous et al. \(2016\)](#) per valutare la fiducia dei soggetti umani verso i robot in contesti industriali, ma adattato ai fini dello studio per l'analisi della fiducia nell'interazione con dei robot assistivi. Le domande utilizzate nel questionario possono avere un peso positivo (1) o negativo (-1) nel punteggio complessivo di fiducia, come indicato in Fig. 12.

Trial step	NAO	Soggetto
0	In stand-by	Fermo/libero
1	Parla	
2		Schiaccia il mouse e lo tiene pr
3	Aprire la mano	Attende il blink
4	Blink ("go" signal)	
5		Lascia il mouse
6		Sceglie l'oggetto e lo mette in n
7	Guarda in basso	
8	Alza la testa	
9	Chiude la mano	
10	<b>Azioni a seconda dell'oggetto dato dal soggetto</b>	
11	Si ripositiona eretto	Riprende l'oggetto e lo posa

Figura 13: Procedura sperimentale: sequenza di eventi

#### 4.3.4 Procedura

Una particolarità dell'esperimento è che i soggetti per tutto il tempo credono che NAO sia completamente autonomo e agisca osservando l'esterno, cosa non vera poiché l'intenzione percepita dal robot è gestita dallo sperimentatore. Questo paradigma sperimentale si chiama "Wizard of Oz" ed è stato utilizzato da anni proprio nel campo dello studio dell'interazione uomo-agenti intelligenti (Kelley, 1983). "Wizard of Oz" porta all'attenzione di aspetti molto interessanti, come, ad esempio, il fattore autonomia - in questo caso simulata - nell'interazione uomo-robot. Come già accennato in precedenza, su questo argomento la letteratura si divide in due scuole di pensiero (Digiario, 2019); tra le due quella che in questo caso spicca è la seconda: una maggiore autonomia porta ad un'interazione più sofisticata. Ciò potrebbe risultare interessante poiché potrebbe portare all'osservazione di particolari sviluppi nel rapporto uomo-NAO.

L'esperimento si divide in 4 blocchi ognuno da 30 trial che si concludono, ogni volta, con il questionario sulla fiducia che viene presentato anche prima di iniziare l'interazione con NAO.

In ogni trial le azioni si susseguono nel seguente modo con tempistiche precise (Fig. 13). Ciò è collegabile alla definizione di lavoro sequenziale di Cesta et al. (2016) in cui i soggetti coinvolti nell'interazione operano a stretto contatto (come si osserva anche nel lavoro simultaneo), ma il processo ha uno specifico ritmo (la fine dell'attività di NAO risulta una sorta di segnale di attivazione per la persona).

Il primo momento importante nel trial è quando il soggetto indica al robot la sua volontà, ovvero il punto 6 (Fig. 14, sinistra). In quell'attimo il soggetto umano sceglie se vuole giocare o essere cibato ed esprime la sua preferenza consegnando al robot il cibo (scelta fisiologicamente rilevante) o il gioco (scelta non legata a bisogni fisiologici). NAO comprende questa volontà, o intenzione, e quindi si aziona di conseguenza. Nel primo caso, quello del cibo, NAO risponde



Figura 14: Procedura: Dopo che il partecipante indica a NAO la sua volontà (sinistra), il robot interpreta l'intenzione e risponde con un'azione (destra).

verbalmente pronunciando “Buon appetito” e si sporge come se dovesse effettivamente imboccare la persona (Fig. 14, destra). Nel caso, invece, la volontà del soggetto sia di giocare, NAO risponde con “Riprenditelo” per poi restituirlo al partecipante.

Per indagare gli effetti del comprendere ed implementare l'intenzione giusta, qualche volta NAO è programmato per sbagliare; ovvero attivarsi come se avesse ricevuto il gioco, nonostante la scelta della persona fosse cibo e viceversa. L'analisi principale nasce proprio dalla reazione umana a questi errori.

Quindi, i soggetti sono divisi in 2 gruppi chiamati Low-High (LH) e High-Low (HL) secondo la quantità degli errori nei 4 blocchi sperimentali. Nel gruppo LH, il primo blocco è caratterizzato da un basso numero di errori di interpretazione della scelta del partecipante (10%), mentre il numero di errori nel secondo blocco è alto (30%). Viceversa per il gruppo HL. Gli altri due blocchi hanno sempre errore medio 20%, ma distribuiti in modo crescente o decrescente. In questa tesi è stato analizzato solo l'effetto dei primi due blocchi.

**LH:**

1. uniforme 10%
2. uniforme 30%
3. Decrescente 20%
4. Crescente 20%

**HL:**

1. Uniforme 30%
2. Uniforme 10%
3. Crescente 20%
4. Decrescente 20%

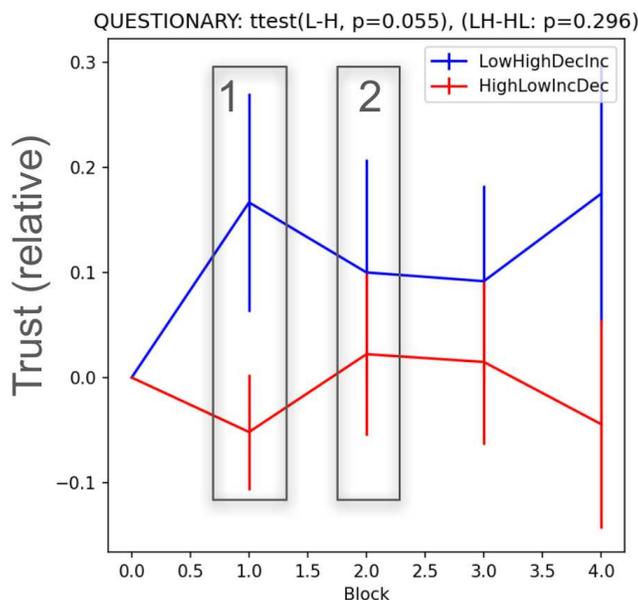


Figura 15: Risultato sperimentale (1): Andamento della fiducia nei gruppi di soggetti LH e HL durante l'esperimento, con diversa quantità di errori nei vari blocchi (vedi il testo per dettagli e interpretazioni)

#### 4.4 Risultati

Grazie ai dati acquisiti si può dedurre come l'accuratezza nell'interazione uomo-robot influenzi dinamicamente la fiducia e ciò è proprio quello che si può osservare nel andamento della fiducia relativa (rispetto alla fiducia a priori alle interazioni con NAO), illustrato in Fig. 15:

1. **Blocco 1:** nel gruppo di soggetti con minima quantità di errore si osserva un relativo aumento della fiducia rispetto alla fiducia a priori dell'interazione con NAO (gruppo LH, linea blu). Viceversa, nel gruppo di soggetti con una grande percentuale di errore nel primo blocco, la fiducia tende a diminuire (gruppo HL, linea rossa). La differenza degli andamenti di fiducia tra i due gruppi è marginalmente significativa ( $p=0.055$ ). Considerando l'ipotesi a priori di osservare incremento/decremento della fiducia dopo pochi/tanti errori, la differenza osservata è significativa (analisi ad una coda).
2. **Blocco 2:** nonostante le distribuzioni differenti nei due gruppi, dopo il blocco 2 tutti i soggetti (a prescindere dal loro gruppo) hanno affrontato lo stesso numero di errori durante l'interazione con il robot (errore cumulativo). Si potrebbe quindi notare che sia il gruppo Low-High (LH) che

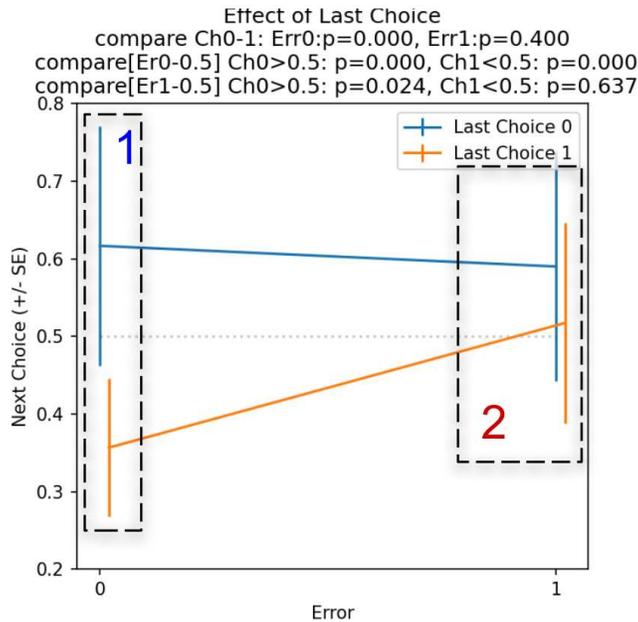


Figura 16: Risultato sperimentale (2): Effetto dell'errore nell'interazione precedente (ascissa: 0: corretto, 1: errore) e dell'ultima intenzione (0=giocare; blu, 1=essere cibati; arancione) sulla scelta dell'intenzione successiva. Dettagli e interpretazioni nel testo.

quello High-Low (HL) riportano circa lo stesso livello di fiducia (differenza non significativa,  $p=0.296$  a due code). Dunque l'aspetto dell'errore cumulativo evidenzia il fatto che la fiducia cambi in modo dinamico lungo un continuum.

Continuando l'analisi si è osservato anche l'effetto dell'accuratezza sulle intenzioni durante l'interazione, cioè, essere cibati o giocare. In particolare si è voluto prendere in considerazione la scelta dell'intenzione in relazione alla scelta precedente e agli errori. Nell'esperimento le scelte possibili del soggetto sono sempre due; nel grafico, l'opzione giocare è indicata con 0, mentre quella di essere cibato è segnata con il numero 1. La scelta media in funzione a questi due fattori è visualizzata in Fig. 16.

Analizzando il grafico si può notare che i soggetti tendono ad alternare la loro scelta solamente dopo un'interazione priva di errori (le intenzioni vengono alternate dopo entrambi gioco o cibo;  $Error=0$ ; vedi statistica nel titolo del grafico), ma anche che nel caso l'interazione sia fallimentare ( $Error=1$ ) le persone preferiscono scegliere il cibo rispetto al gioco. Da ciò risulta evidente che i bisogni fisiologicamente rilevanti (cibo) prevalgono su altri desideri definibili non importanti dal punto di vista fisiologico (giocare) dunque le persone tendono a dare più peso all'accuratezza quando si tratta dell'opzione cibo.

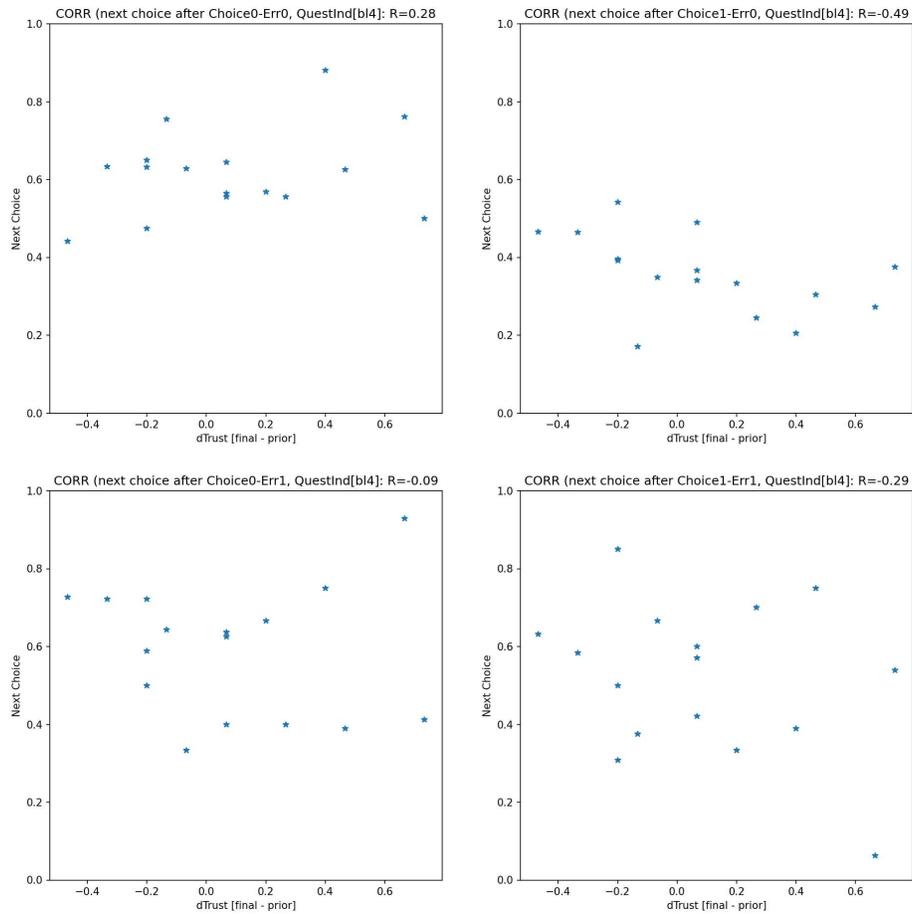


Figura 17: Risultato sperimentale (3): Relazione tra la scelta (intenzione) e la dinamica del trust in funzione alla precedente intenzione e accuratezza.

Procedendo con l'analisi dei dati abbiamo approfondito gli effetti dell'errore e della scelta, considerando questa volta la relazione tra la dinamica della fiducia e la scelta. Come dimostra il risultato illustrato in Fig. 17, si nota un trend verso un andamento casuale del comportamento nel caso di diminuzione della fiducia (scelte si avvicinano a 0.5). Cosa differente si osserva nel caso ci sia un incremento della fiducia; infatti in questa situazione, dopo mancanza di errore (riga superiore), l'individui tende ad alternare la scelta tra le due opzioni poiché, essendo certo che quando in futuro chiederà il cibo gli verrà dato, può scegliere con sicurezza anche l'opzione non fisiologicamente rilevante. Riassumendo quindi una buona fiducia nell'interazione aiuta la persona a costruire e mantenere uno schema comportamentale riguardo alla scelta cibo-gioco.

## 5 Discussione

Lo studio può essere inserito nel campo di ricerca HRC che si propone di rendere possibile la collaborazione tra uomo e robot e quindi permettere la combinazione delle loro capacità. In generale, seguendo la terminologia di [Colgate et al. \(1996\)](#), NAO si può definire come un cobot; ovvero un robot che *“rende possibile una collaborazione fisica diretta tra una persona e un manipolatore controllato dal computer”*.

In quest’esperimento l’incontro tra la persona e il robot si può definire, citando [Shi et al. \(2012\)](#), con un alto livello di collaborazione. In sostanza NAO è libero di muoversi ed attivarsi anche con la presenza della persona, ma non solo. Infatti nell’interazione tra i due agenti avviene un vero e proprio contatto fisico che [Behrens et al. \(2015\)](#) definiscono con il termine “collaborazione”. Nella collaborazione con NAO, però, si sono voluti inserire degli errori specifici che lo hanno portato ad un’interpretazione errata della situazione facendogli commettere degli sbagli. Questo aspetto può portare al non utilizzo del robot da parte del collaboratore umano e dipende principalmente dalla percezione di quest’ultimo sull’utilità o meno del robot. In sostanza se la persona non si sente aiutata dall’agente meccanico l’accettazione sociale viene meno e la possibilità che il robot venga utilizzato diminuisce [Digiario \(2019\)](#).

Prendendo in considerazione più nello specifico la fiducia in questa relazione è evidente che sia un tema molto complesso in cui sono coinvolti tanti fattori. Analizzando la teoria di [Hancock et al. \(2011\)](#) si possono selezionare quelli più essenziali; ovvero: le prestazioni del robot, i fattori basati sui suoi attributi e i fattori ambientali. Osservando le prestazioni di NAO è evidente che gli errori abbassano aspetti come l’affidabilità, la prevedibilità. Invece, prendendo in considerazione l’aspetto del robot in questione (dimensioni e movimento) si potrebbe ipotizzare che la sua struttura piccola e di forma umanoide e i movimenti abbastanza fluidi possano aiutare il soggetto a sentirsi mentalmente e fisicamente al sicuro durante la collaborazione ([Charalambous et al., 2016](#)). Detto ciò è inevitabile non citare la teoria di [Charalambous et al. \(2016\)](#). In questa loro ricerca vengono sottolineati dei precisi fattori che possono promuovere o meno la fiducia dell’uomo verso il robot.

- La sicurezza mentale e fisica durante la collaborazione
- Gli aspetti prestazionali del robot. Infatti nell’analisi dei dati si è notato che l’aumento degli errori portava automaticamente alla diminuzione del senso di affidabilità e viceversa
- I movimenti che possono essere più o meno fluidi

Riprendendo le tante domande sorte durante la progettazione dell’esperimento se ne possono notare, con curiosità, alcune; in particolare: “Come viene gestita la scelta tra il cibo e il gioco? Si può notare un coinvolgimento emotivo, osservabile attraverso le espressioni facciali, durante l’interazione?”. Durante l’intera attività i soggetti hanno una telecamera puntata sul volto per visionare

anche successivamente i loro movimenti facciali durante il rapporto interattivo con NAO. Ciò può risultare essenziale nel caso si voglia osservare la relazione tra l'azione (scelta tra cibo o gioco) e le espressioni facciali dovute a varie possibili configurazioni di muscoli capaci di trasmettere lo stato emotivo. Concentrandosi sull'opzione "cibo", dunque sulla scelta di attivare in NAO il comportamento legato all'alimentazione dell'altro, è inevitabile sottolineare quanto l'azione dell'alimentazione sia per sua natura emotiva ed intima [Ferri et al. \(2010\)](#). Tuttavia, la complessità dell'elaborazione delle immagini visive ci ha vincolato ad analizzare queste ipotesi in un momento successivo.

Per quanto riguarda l'espressione o addirittura far sentire dai robot stessi un'intelligenza emotiva tanto elaborata come quella umana, ai fini di studiare gli effetti sull'interazione e sulla fiducia, è stato complicato implementarla poiché la tecnologia a nostra disposizione durante la sperimentazione è limitata ad un agente meccanico di antecedente generazione rispetto le tecnologie note attualmente. Osservando nello specifico le caratteristiche di NAO risulta infatti impossibile andare oltre a movimenti umanoidi esterni e ciò potrebbe ipoteticamente eliminare il peso emotivo osservabile nella medesima situazione, ma in cui i soggetti coinvolti sono entrambi umani. Tuttavia, abbiamo cercato di introdurre elementi emotivi nel dialogo verbale tra NAO e i soggetti umani, facendo sì che NAO comunicasse verbalmente con dei soggetti umani durante tutto l'esperimento.

In questo studio sarebbe stato interessante prendere anche in considerazione aspetti relativi alla persona più nello specifico; insomma i fattori umani che possono portare o meno a difficoltà di vario genere nell'interazione con i robot. Ad esempio uno dei fattori umani che potrebbe essere rilevante in questi casi è la personalità. Analizzando quest'aspetto si è notato che gli umani rispondono socialmente durante l'interazione con l'agente meccanico, cosa tipica nell'interazione uomo-uomo ([Reeves and Nass, 1996](#)). Un esempio lampante di ciò si basa sull'ipotesi somiglianza-attrazione; teoria sostenitrice del fatto che soggetti simili tendano ad attrarsi a vicenda ([Nass and Lee, 2001](#)). Inizialmente ciò viene analizzato solamente nelle relazioni interpersonali, ma, successivamente, si notò che agenti meccanici evoluti con caratteristiche simili all'individuo coinvolto nell'interazione vengono accettati con molta più facilità. Ad esempio robot che utilizzano frasi come "Dovresti assolutamente farlo" tendono ad attrarre personalità dominanti, mentre l'utilizzo di espressioni come "Potresti farlo" è molto probabile che attirino personalità più sottomesse ([Nass and Lee, 2001](#)).

Un altro aspetto interessante è il senso di sicurezza; un elemento che può risultare in stretta correlazione con la personalità del soggetto coinvolto, gli atteggiamenti e le esperienze passate. Questo lato "più soggettivo" della fiducia porta con sé molte complicazioni poiché è evidente che ci siano delle differenze tra i soggetti e ciò dipende dalla fiducia disizionale ([Marsh and Dibben, 2003](#)); ovvero la tendenza dell'individuo a fidarsi a prescindere dall'ambiente e dal sistema robotico utilizzato.

## 6 Conclusione

Per concludere può essere utile ripartire dalla domanda su cui si basa l'intero progetto: "Mi fido ad essere assistito da un robot?". Questo quesito nasce da una specifica e ipotetica situazione che si potrebbe osservare in un possibile futuro: una persona con difficoltà nel muovere gli arti che viene alimentata da un robot in totale tranquillità; in sostanza fidandosi.

In particolare questo studio si propone di indagare gli effetti che si osservano nella fiducia durante l'interazione manipolando l'accuratezza dell'azione (distribuzione dell'errore) e il prodotto della relazione tra la fiducia e la scelta del soggetto (cibo o gioco) durante la collaborazione.

Da questi obiettivi si sono notati diversi aspetti interessanti: la fiducia cambia rapidamente durante l'interazione uomo-robot; in particolare aumenta o diminuisce in base alle risposte del robot che possono essere corrette o inaspettatamente errate. Questa dinamicità della fiducia, ovviamente, è osservabile anche nei rapporti interpersonali.

Inoltre, analizzando i dati, quando i soggetti svolgono attività in cui hanno più possibilità di scelta possono o meno avere uno schema comportamentale. Indagando più da vicino la situazione in cui c'è una scarsa fiducia si può notare un alternarsi casuale delle scelte.

Riguardo agli schemi comportamentali possibili si nota che attività rilevanti a livello fisiologico (es. mangiare) sono preferite rispetto ad altre attività non così rilevanti da quel punto di vista (es. giocare); questo è particolarmente evidente nei casi di maggior incertezza. Ciò è dovuto, molto probabilmente, ad una spinta più istintiva che porta l'individuo a preferire in modo prioritario gli elementi base per la propria sopravvivenza. Ovviamente la fiducia può aiutare a costruire uno schema comportamentale più ricco dando la possibilità alla persona di andare oltre ai bisogni base, eliminando così la preferenza in questione. "Ma quindi si dovesse dare una risposta decisa, ma comunque ipotetica, quale potrebbe essere?" Sicuramente, nella ricerca in generale, essere negativi verso il progresso non è mai utile e osservando l'andamento degli studi la risposta potrebbe essere "Sì".

## 7 Riconoscimenti

La ricerca è stata possibile con il contributo del Unione Europea, Quadro di Ricerca Horizon 2020, Programma per la Ricerca e Innovazione H2020-EIC-FETPROACT-2019, Grant Agreement 951910, Progetto di Ricerca "Multifunctional, adaptive and interactive AI system for Acting in multiple contexts" (MAIA) con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (CNR-ISTC), Padova, sotto il coordinamento del Dr. Ivilin Peev Stoianov.

L'esperimento è stato ideato dal Dott. Ivilin P. Stoianov e progettato dai Dott Ivilin P. Stoianov, Dott. Antonio Roberto Buonfiglio, e Dott-ssa Chiara Odello. Il controllo del esperimento è stato implementato dal Dott. Antonio Roberto Buonfiglio in Python, con l'utilizzo di SDK-NAO. L'esperimento è stato condotto dalla Dott-ssa Chiara Odello nel laboratorio MAIA del CNR-ISTC, Padova. L'analisi dei dati è stata fatta dal Dott. Ivilin P. Stoianov in Python. Le interpretazioni dei risultati sono state fatte dai Dott Ivilin P. Stoianov e Dott-ssa Chiara Odello.

## 8 Riferimenti bibliografici

- Aaltonen, I., Salmi, T., and Marstio, I. (2018). Refining levels of collaboration to support the design and evaluation of human-robot interaction in the manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 72:93–98.
- Beer, J. M., Fisk, A. D., and Rogers, W. A. (2014). Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. *Journal of human-robot interaction*, 3(2):74.
- Behrens, R., Saenz, J., Vogel, C., and Elkmann, N. (2015). Upcoming technologies and fundamentals for safeguarding all forms of human-robot collaboration.
- Bröhl, C., Nelles, J., Brandl, C., Mertens, A., and Schlick, C. M. (2016). Tam reloaded: a technology acceptance model for human-robot cooperation in production systems. In *HCI International 2016—Posters’ Extended Abstracts: 18th International Conference, HCI International 2016, Toronto, Canada, July 17-22, 2016, Proceedings, Part I 18*, pages 97–103. Springer.
- Brooke, J. (1996). Sus: A “quick and dirty” usability scale. *Usability Evaluation in INdustry/Taylor and Francis*.
- Cesta, A., Orlandini, A., Bernardi, G., and Umbrico, A. (2016). Towards a planning-based framework for symbiotic human-robot collaboration. In *2016 IEEE 21st international conference on emerging technologies and factory automation (ETFA)*, pages 1–8. IEEE.
- Charalambous, G., Fletcher, S., and Webb, P. (2016). The development of a scale to evaluate trust in industrial human-robot collaboration. *International Journal of Social Robotics*, 8:193–209.
- Colgate, J. E., Wannasuphprasit, W., and Peshkin, M. A. (1996). Cobots: Robots for collaboration with human operators. In *ASME international mechanical engineering congress and exposition*, volume 15281, pages 433–439. American Society of Mechanical Engineers.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS quarterly*, pages 319–340.
- Digiario, F. N. (2019). *Studio di una scala per la valutazione strutturata del concetto di collaborazione uomo-robot*. PhD thesis, Politecnico di Torino.
- Ferri, F., Stoianov, I., Gianelli, C., D’Amico, L., Borghi, A. M., and Gallese, V. (2010). When Action Meets Emotions: How Facial Displays of Emotion Influence Goal-Related Behavior. *PLoS ONE*, 5(10):e13126.
- Goodrich, M. A., Schultz, A. C., et al. (2008). Human–robot interaction: a survey. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 1(3):203–275.

- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y., De Visser, E. J., and Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human factors*, 53(5):517–527.
- Hoff, K. A. and Bashir, M. (2015). Trust in automation: Integrating empirical evidence on factors that influence trust. *Human factors*, 57(3):407–434.
- ISO (2011). ISO 10218-1:2011(en) Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots.
- Kelley, J. F. (1983). An empirical methodology for writing user-friendly natural language computer applications. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 193–196.
- Krüger, M., Wiebel, C. B., and Wersing, H. (2017). From tools towards cooperative assistants. In *Proceedings of the 5th International Conference on Human Agent Interaction*, pages 287–294.
- Lee, J. and Moray, N. (1992). Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. *Ergonomics*, 35(10):1243–1270.
- Lee, J. D. and See, K. A. (2004). Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human factors*, 46(1):50–80.
- Marsh, S. and Dibben, M. R. (2003). The role of trust in information science and technology. *Annual Review of Information Science and Technology (ARIST)*, 37:465–98.
- Maurtua, I., Ibarguren, A., Kildal, J., Susperregi, L., and Sierra, B. (2017). Human-robot collaboration in industrial applications: Safety, interaction and trust. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(4):1729881417716010.
- Nass, C. and Lee, K. M. (2001). Does computer-synthesized speech manifest personality? experimental tests of recognition, similarity-attraction, and consistency-attraction. *Journal of experimental psychology: applied*, 7(3):171.
- Nass, C., Moon, Y., and Carney, P. (1999). Are people polite to computers? responses to computer-based interviewing systems 1. *Journal of applied social psychology*, 29(5):1093–1109.
- Nass, C., Steuer, J., and Tauber, E. R. (1994). Computers are social actors. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 72–78.
- Reeves, B. and Nass, C. (1996). The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people. *Cambridge, UK*, 10(10):19–36.
- Rempel, J. K., Holmes, J. G., and Zanna, M. P. (1985). Trust in close relationships. *Journal of personality and social psychology*, 49(1):95.

- Robaczewski, A., Bouchard, J., Bouchard, K., and Gaboury, S. (2021). Socially assistive robots: The specific case of the nao. *International Journal of Social Robotics*, 13:795–831.
- Roschelle, J. and Teasley, S. D. (1995). The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. In *Computer supported collaborative learning*, pages 69–97. Springer.
- Shi, J., Jimmerson, G., Pearson, T., and Menassa, R. (2012). Levels of human and robot collaboration for automotive manufacturing. In *Proceedings of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, pages 95–100.
- Vysocky, A. and Novak, P. (2016). Human-robot collaboration in industry. *MM Science Journal*, 9(2):903–906.
- Wang, N., Pynadath, D. V., and Hill, S. G. (2016). Trust calibration within a human-robot team: Comparing automatically generated explanations. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pages 109–116. IEEE.