



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**TEST SU QUADROTTI PER LA PROGETTAZIONE DEL ROBOT
COLLABORATIVO PER LA LUCIDATURA DELLE SCARPE DI
CUOIO**

**SQUARED TEST FOR COLLABORATIVE ROBOT'S DESIGN
TO POLISH LEATHER SHOES**

Relatore:

Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:

Federico Taddei

A.A. 2020 / 2021

INDICE

1 INTRODUZIONE	4
1.1 INDUSTRIA 4.0	5
1.2 ROBOT NELL' INDUSTRIA	7
1.3 COBOT	8
2 METODO	13
2.1 BANCO PROVA	13
2.2 UR5e UNIVERSAL ROBOTS	15
2.3 OEM CONTROL BOX UR5e	18
2.4 TEACH PENDANT E POLYSCOPE	19
2.5 SCHEDA MOTORE 6501.00088 FAULHABER	19
2.6 MOTION MANAGER FAULHABER	22
2.7 TOOL	23
3 CASO STUDIO	25
3.1 TEST	28
3.1.1 TEST A1	28
3.1.2 TEST A2	35
3.1.3 TEST A3	38
3.1.4 TEST A4	41
3.1.5 TEST A5	47
3.1.6 TEST A6	49
3.1.7 TEST B1	52
4 CONCLUSIONI	54

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito dell'industria calzaturiera artigianale la lucidatura delle scarpe di cuoio risulta essere un processo fondamentale che richiede precisione e accuratezza. La globalizzazione, la competizione sui prezzi, così come l'evoluzione dei mercati e della domanda, hanno per questo messo in forte difficoltà il mondo della calzatura, che è rimasto fermo e profondamente ancorato alla propria tradizione artigianale. Questo ha spinto a sperimentare nuovi processi di lucidatura automatizzandoli, per incoraggiare l'evoluzione di un settore di nicchia ma fondamentale per l'economia nazionale, europea e internazionale. Nell'arco della tesi si cercherà di far luce alle nuove tecnologie dell'industria 4.0 e si eseguiranno dei test per la lucidatura su quadrotti di pelle con l'ausilio di robot collaborativi. L'utilizzo di questi dispositivi non andrà a sostituire l'operatore ma a supportare la sua attività durante la lavorazione e in particolare nella prima fase della lucidatura. I cobot, infatti, sono in grado di interagire e collaborare con i dipendenti umani all'interno di un unico spazio di lavoro condiviso grazie anche al loro elevato livello di sicurezza. Attualmente per la lucidatura delle scarpe di pelle l'operatore si avvolge l'indice e il medio della mano con un panno, preleva il lucido, lo uniforma su un nastro e lo applica sulla scarpa con movimenti circolari. A tal proposito su questa tesi verrà analizzato l'utilizzo del cobot collaborativo UR5e per simulare il lavoro svolto nella prima fase della lucidatura, che sarà poi completato e definito dall'operatore, utilizzando lucido e acqua. L'UR5e è dotato infatti di un braccio meccanico che inizialmente preleva il lucido, lo omogenizza su una piastra e attraverso due diversi moti della testina del tool riproduce i movimenti dell'operatore. L'obiettivo di questa tesi è dimostrare i vantaggi dell'utilizzo di questi dispositivi nelle aziende calzaturiere. Quest'argomento apre nuovamente il dibattito sull'investimento robotico nell'industria manifatturiera e in particolare per i pellami che richiedono una manualità di lavorazione e di raffinatezza nel risultato che solo una mano umana può dare. Con i nuovi robot collaborativi però si possono far svolgere alcuni processi di lucidatura faticosi per l'uomo. La tesi è articolata su quattro capitoli: nel primo viene presentato il concetto emergente di Industria 4.0 e l'adozione di nuove tecnologie per processi di produzione più intelligenti. Si analizzano soprattutto i vantaggi e le caratteristiche dei robot collaborativi all'interno delle aziende per aumentare esponenzialmente l'efficienza e la produttività. Nel secondo capitolo, invece, vengono descritti tutti i componenti utilizzati per svolgere i test sui quadrotti e viene illustrata la logistica del banco prova. Il terzo capitolo illustra i collegamenti effettuati per il funzionamento del cobot, le variabili utilizzate per lo svolgimento delle

prove e la programmazione dei moti del braccio meccanico. Inoltre, viene fornita una descrizione dettagliata di ciascun test, delle difficoltà emerse e dei cambiamenti realizzati con lo scopo di ottenere risultati ottimali. Per concludere vengono riportate delle osservazioni sulla lucidatura ottenuta mediante l'utilizzo dell'UR5e e delle considerazioni future per rendere più efficiente il processo e migliorare l'esito finale dei test.

1.1 INDUSTRIA 4.0

Negli ultimi anni con i crescenti progressi nelle tecnologie di produzione, sono emersi molti nuovi concetti globali come “Industria 4.0” che è diventato un argomento sempre più rilevante. La prima volta che sentiamo nominare questo termine è ad Hannover nel 2011 alla “*Hannover Messe*”, la più grande fiera per investitori internazionali, punto di riferimento per l'industria che raduna da oltre un secolo tutte le nuove tecnologie industriali ed energetiche d'avanguardia. Durante questo evento tre personaggi del mondo politico, scientifico ed economico tedesco, Dr. Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas e Wolfgang Wahlster, hanno presentato la loro relazione intitolata “*Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*” ossia “Industria 4.0: L'Internet delle cose sulla strada della quarta rivoluzione industriale”.¹ In questo documento viene illustrato brevemente come le innovazioni tecnologiche e digitali stravolgeranno il mondo delle industrie e grazie ai cosiddetti “*Cyber Physical System*” o “sistemi cyber-fisici” diverranno possibili nuovi modelli di business.² Secondo gli autori si avranno ripercussioni non solo sui sistemi produttivi delle imprese ma anche sulla vita e le abitudini dei cittadini, dovuti all' utilizzo e all'integrazione dei “CPS” nei processi di fabbricazione dei beni fisici e questo porterà ad un cambio di rilevanza globale. Per questa ragione gli autori hanno esortato, il governo tedesco ad adottare le politiche industriali oggetto de il “*Zukunftsprojekt Industrie 4.0*” o “*Progetto per l'Industria del Futuro 4.0*”, in modo da ricoprire un ruolo di primo piano in questa corsa all'innovazione, poiché il comparto industriale tedesco è particolarmente valido nel campo dell'automazione industriale e dell'ingegneria meccanica.³

¹ http://luigidcapra.altervista.org/it/Fabbrica_40/Origini_del_termine_Industrie_4.0.html

² Ibid

³ Ibid

L'Industria 4.0 può essere paragonata a tre rivoluzioni industriali avvenute negli ultimi secoli e che rappresentano i principali cambiamenti nella produzione, risultato di diversi progressi tecnologici che hanno come obiettivo un aumento della produttività e dell'efficienza. La prima rivoluzione industriale ha avuto origine in Inghilterra a metà del XVIII secolo grazie anche all'invenzione della macchina a vapore. La Seconda Rivoluzione Industriale invece, arrivò in Europa e negli Stati Uniti durante la seconda metà del XIX secolo ed è stata caratterizzata dalla produzione di massa e dalla sostituzione del vapore con energia chimica ed elettrica. Sono state sviluppate diverse tecnologie nell'industria e nella meccanizzazione che consentono di aumentare la produttività e in particolare la catena di montaggio con operazioni automatiche che permette di soddisfare la crescente domanda. Mentre la Terza Rivoluzione Industriale è stata innescata dall'invenzione del Circuito Integrato (microchip) negli ultimi anni del XX secolo in molti paesi industrializzati del mondo. La caratteristica fondamentale di questa rivoluzione è l'utilizzo dell'elettronica e dell'Information Technology (IT) che mira ad ottenere un'ulteriore automazione nella produzione industriale.⁴ L'Industria 4.0 potrebbe eventualmente rappresentare una quarta rivoluzione poiché ha avuto una grande influenza nel settore industriale introducendo importanti progressi legati alle fabbriche intelligenti e future. Questo concetto emergente di Industria 4.0 è un termine generico per un nuovo paradigma industriale che abbraccia una serie di futuri sviluppi industriali riguardanti i sistemi cyber-fisici (CPS), Internet of Things (IoT), Internet of Services (IoS), Robotica, Big Data, Produzione cloud e realtà aumentata. L'adozione di queste tecnologie è fondamentale per lo sviluppo di processi di produzione più intelligenti che includono dispositivi, macchine, moduli di produzione e prodotti in grado di scambiare informazioni in modo indipendente, attivare azioni e controllarsi a vicenda, consentendo un ambiente di produzione intelligente.⁵ L'Industria 4.0 ha quindi un enorme potenziale e fornirà una serie di opportunità economiche e sociali in quanto porterà un cambiamento nell'organizzazione del lavoro, nei modelli di business e nella tecnologia di produzione.

⁴ <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>

⁵ Ibid

The Four Industrial Revolutions

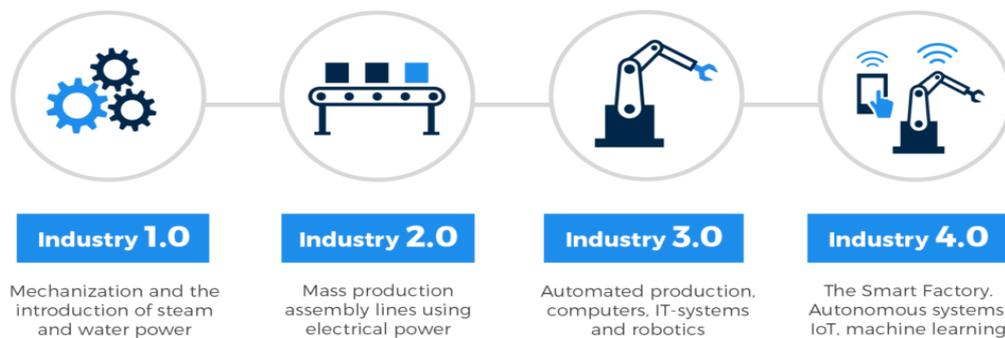


Figura 1 – Rivoluzioni Industriali⁶

1.2 ROBOT NELL' INDUSTRIA

I robot hanno un ruolo importante nell'industria moderna e il numero di robot industriali multiuso nella sola Europa è quasi raddoppiato dal 2004.⁷ Un aspetto essenziale dell'Industria 4.0 sono i metodi di produzione autonomi alimentati da robot in grado di completare le attività in modo intelligente, con particolare attenzione alla sicurezza, alla flessibilità, alla versatilità e alla collaborazione. Un robot è una macchina multifunzione riprogrammabile, autonoma o semi autonoma, capace di svolgere una serie di compiti al fianco o in sostituzione dell'uomo. Può eseguire mansioni esclusivamente meccaniche e ripetitive, gestire oggetti attraverso movimenti programmati precedentemente oppure può adeguare il proprio comportamento all'ambiente circostante grazie all'intelligenza artificiale che acquisisce dati, li elabora e modifica gli input alla macchina, ottimizzando il lavoro.⁸

⁶ <https://kfactory.eu/wp-content/uploads/2021/01/image-2.png>

⁷ https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic_p.139

⁸ <https://www.arcossrl.com/automazione-robotica-industriale-cose-e-quali-vantaggi-per-le-industrie/>

La sua integrazione negli spazi di lavoro umani diventa quindi più economica e produttiva poiché robot e umani lavorano utilizzando interfacce uomo-macchina con sensori intelligenti. La robotizzazione dei processi è una strategia di automazione che può essere definita come l'applicazione di tecnologie che consentono la gestione e il controllo del processo, standardizzando le lavorazioni e ottenendo incrementi di produzione, costi inferiori, maggiore precisione e affidabilità.⁹ I robot forniscono soluzioni semplici ed efficienti per tutte quelle applicazioni in cui si richiede una lavorazione automatizzata della materia come smerigliatura, sbavatura, lucidatura, taglio, molatura, laseratura e asservimento. La robotica nelle applicazioni industriali ha un impatto economico sostanziale in cui l'aumento della produttività può guidare la crescita economica. Un recente studio stima che questi benefici avranno contribuito fino a 78 miliardi di euro al PIL tedesco entro l'anno 2025.¹⁰ L'esigenza di aumentare l'efficienza nella produzione e di sviluppare nuovi percorsi di business ha fatto sì che, nel settore industriale, i robot meccanici abbiano raggiunto un'importanza tale per cui risulta quasi impossibile immaginare di svolgere alcuni lavori senza il loro aiuto. Nonostante ciò, non si tratta di innovazione robotica che si inserisce singolarmente all'interno della filiera produttiva, ma di forza lavoro integrata che contribuisce ad aumentare esponenzialmente l'efficienza e la produttività delle aziende. Di conseguenza le competenze delle persone che si trovano a stretto contatto con i nuovi sistemi intelligenti si stanno arricchendo e sempre più innovazioni tecnologiche sono poste al centro dei processi produttivi. Pertanto, la robotica industriale può essere la soluzione ideale per consentire di accelerare l'innovazione della realtà produttiva.

1.3 COBOT

I robot collaborativi possono anche essere chiamati robot cooperativi, cobot o assistenti robotici. Si tratta di macchinari intelligenti che sono in grado di interagire e collaborare con i dipendenti umani all'interno di un unico spazio di lavoro condiviso. Sono considerati i robot industriali del futuro e sono in contrasto rispetto ai macchinari usati a partire dagli anni Quaranta nelle industrie di tutto il mondo.

⁹ <https://www.arcossrl.com/automazione-robotica-industriale-cose-e-quali-vantaggi-per-le-industrie/>

¹⁰ https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic, pag.142

Un tempo, infatti, i robot venivano strutturati per svolgere in maniera autonoma il proprio lavoro, spesso senza la necessità dell'intervento umano. Nell'Industria 4.0 invece si punta alla creazione di macchinari che possano interagire con la componente umana di un'impresa in modo da rendere più efficiente, per entrambe le parti, il lavoro. I cobot sono stati inventati nel 1996 da J. Edward Colgate e Michael Peshkin, due professori presso la Northwestern University dell'Illinois.¹¹ Un robot destinato alla cooperazione con gli umani deve avere un design conforme allo standard industriale secondo la norma di sicurezza ISO EN 10218. Le raccomandazioni per i robot collaborativi sono riassunte in una nuova (febbraio 2016) specifica tecnica ISO/TS 15066 (Robot e robotica dispositivi – Robot collaborativi).¹² I robot collaborativi sono robot antropomorfi con movimenti su sei assi progettati per rispettare criteri di sicurezza, flessibilità e compattezza e studiati per lavorare a stretto contatto con l'operatore. I robot non sono tutti uguali ma si distinguono per molte caratteristiche come le dimensioni, la portata, la velocità, minore o maggiore flessibilità operativa e applicativa, il costo, la necessità o meno di barriere di sicurezza. In particolare, le differenze fra i robot tradizionali e i robot collaborativi possono essere riassunte secondo le seguenti proprietà:

- Sicurezza
- Flessibilità
- Velocità di messa in opera¹³

Sicurezza:

Un grande vantaggio dei cobot è operare senza l'ausilio di barriere di protezione intorno, in quanto sono stati progettati per lavorare al fianco delle persone, a differenza dei robot tradizionali che necessitano di costose recinzioni a separare lo spazio dove operano da quello in cui agiscono gli operatori. Oltre l'80% della base installata complessiva dei cobot, opera senza recinzioni o barriere, condividendo spazio e mansioni con gli operatori. La differenza tra queste due tipologie di robot non sta solo sulle dimensioni e sulla velocità, che risulta essere più contenuta nei robot collaborativi rispetto ai robot tradizionali, ma è dovuta soprattutto ad una diversa concezione della funzione del robot. I robot collaborativi inoltre offrono la possibilità di poter essere equipaggiati con un'ampia gamma di sensori che ne accrescono la sicurezza, come laser scanner e sistemi di visione che registrano la presenza dell'operatore controllando movimenti e tempi di reazione dei cobot.

¹¹ <https://tecnologia.libero.it/cosa-sono-i-cobot-14641>

¹² https://www.researchgate.net/publication/303853919_Human_-_Robot_collaboration_in_industry, p.903

¹³ <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>

I quattro principali tipi di operazioni collaborative come definite dalla norma EN ISO10218-1 sono:

- Stop di sicurezza monitorato: Il sistema robot si arresta prima che i lavoratori possano accedere o essere esposti a qualsiasi situazione di pericolo, lasciando il robot acceso e questo consente di operare senza gabbia di sicurezza.
- Guida manuale: Si riferisce all' utilizzo fisico del robot, l'operatore infatti utilizza un dispositivo manuale o semplicemente muove il braccio del robot per aiutarlo a completare la sua operazione.
- Monitoraggio della velocità e della distanza uomo-macchina: Un dispositivo di sicurezza esterno come uno scanner fa sì che il robot rallenti se i requisiti minimi di distanza tra operatore e robot non sono rispettati.
- Limitazione della potenza e della forza: Le funzioni di sicurezza arrestano il robot per evitare lesioni alle persone quando il livello massimo di forza o di potenza viene raggiunto.¹⁴

Flessibilità:

Un robot industriale tradizionale è dotato di grande velocità e ripetibilità su lotti lunghi e senza variazioni di prodotto poiché risulta performante solo su grandi volumi produttivi. L'automazione cui un robot tradizionale dà origine è rigida mentre la flessibilità è la vera cifra stilistica che contraddistingue un robot collaborativo. Un cobot è piccolo e leggero, quindi può essere spostato agevolmente all'interno del layout industriale e applicato esattamente dove serve. Inoltre, la sua versatilità lo rende applicabile in molteplici operazioni; infatti, si tratta di un braccio capace di offrire il suo contributo operativo ovunque serva. La possibilità di operare in sicurezza senza recinzioni, le dimensioni e il peso contenuti (circa 30 kg), svincolano il cobot dall'aver una posizione fissa all'interno del layout. Un'altra caratteristica che enfatizza la flessibilità è la facilità di programmazione di un braccio robotico che per le operazioni più elementari e diffuse può avvenire sia tramite il Teach Pendant che con la modalità Freedrive.¹⁵

¹⁴ <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>

¹⁵ Ibid

Velocità di messa in opera:

Ciò che rende i cobot una soluzione pronta all'uso in grado di potenziare linee produttive e processi è la loro velocità di messa in opera, che è la somma di diversi fattori. I robot collaborativi non richiedono lunghe e costose modifiche al layout produttivo e possono essere integrati in tempi rapidi nelle aree di lavoro, date le dimensioni contenute e le safety native che li rendono sicuri anche in assenza di barriere. Sono alimentati con corrente elettrica a 220 V di tensione e sono virtualmente integrabili ovunque, anche in ambienti civili. Riescono, inoltre, ad automatizzare un gran numero di applicazioni e sono strumenti flessibili pronti ad entrare in produzione e passare da un'attività ad un'altra in tempi molto rapidi, grazie alla semplicità e alla rapidità di programmazione. Ad esempio, con un robot collaborativo è possibile automatizzare:

- Pick&Place: un must per i cobot poiché li rende precisi, sicuri, con elevatissimi standard di ripetibilità e costituiscono la soluzione perfetta per sollevare gli operatori da operazioni ripetitive, garantendo una maggiore efficienza e produttività.
- Asservimento macchine utensile: grazie alla programmazione semplice e intuitiva possono essere facilmente implementati in applicazioni di asservimento macchine utensili come CNC o macchine per lo stampaggio plastico, anche per la produzione di prototipi e piccoli lotti di prodotto, così come automatizzare e ottimizzare la produzione di lotti lunghi.
- Manipolazione materiale: è possibile effettuare con i cobot qualsiasi tipo di packaging e pallettizzazione grazie alla semplicità di programmazione che consente di impostare pattern personalizzati.
- Controllo qualità: le caratteristiche dei cobot li rende particolarmente indicati per questo ruolo data l'alta precisione e ripetibilità.
- Assemblaggio: dotati di un sensore forza/coppia sul polso possono essere integrati in qualsiasi applicazione di assemblaggio garantendo costantemente l'erogazione della giusta forza nella manipolazione dei componenti.
- Finitura superficiale: trovano applicazione anche in rapporto a materiali delicati come il legno e su superfici curve.¹⁶

¹⁶ <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>

- Saldatura: i cobot possono automatizzare numerosi tipi di saldatura come TIG, MIG, plasma cutting, a punti, brasatura. Con i cobot è possibile incrementare qualità e precisione dei cordoni di saldatura e migliorare l'ergonomia del task, sollevando gli operatori da un'operazione potenzialmente rischiosa.
- Erogazione: con un cobot è possibile impostare traiettorie di precisione micrometrica nell'applicazione di collanti e sigillanti. Questo da un lato aumenta la precisione e la coerenza del task, dall'altro riduce scarti e consumo di materiale.¹⁷

Date le numerose abilità di questi robot collaborativi, l'obiettivo di questa tesi è dimostrare i vantaggi dell'utilizzo di questi dispositivi nelle aziende calzaturiere. Quest'argomento apre nuovamente il dibattito sull'investimento robotico nell'industria manifatturiera e in particolare per i pellami che richiedono una manualità di lavorazione e di raffinatezza nel risultato che solo una mano umana può dare. Con i nuovi robot collaborativi però si possono far svolgere alcuni processi di lucidatura faticosi per l'uomo. Essi, inoltre, permettono di realizzare una lucidatura uniforme in tempi più precisi e costanti grazie alla loro velocità di messa in opera e flessibilità. A tale scopo abbiamo eseguito dei test con il cobot UR5e di Universal Robots su due diversi pellami forniti da un'azienda calzaturiera, per poter rendere più efficiente la produzione migliorando la condizione di lavoro degli operai.

¹⁷ <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>

2 METODO

2.1 BANCO PROVA

Per eseguire il test è stato realizzato un tavolo da lavoro composto da un banco robot (M.8) e un banco prova (M.9). Il primo è un piano in alluminio di dimensioni 1050x225 mm, su cui sono stati posizionati il controllore del robot (M.1) la scheda motore (M.7) e al centro il cobot (M.6) che è stato fissato con quattro viti di diametro 8.4mm.

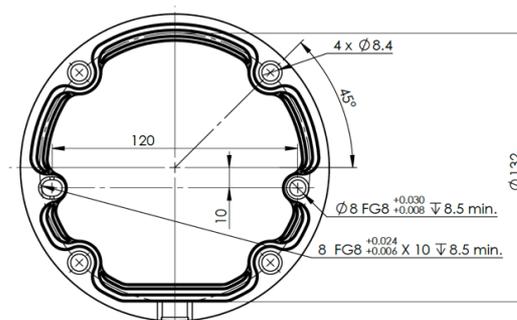


Figura 2 – schema base cobot UR5e¹⁸

Mentre il secondo banco è di laminato di dimensione 1000x655 mm, su cui sono stati collocati i diversi strumenti per effettuare la prova ad una distanza non superiore a 800mm poiché è il raggio massimo di estensione del braccio meccanico del cobot. Sul lato sinistro è stato posizionato il supporto (M.2) che contiene il lucido (M.3) calamitato, la spugnetta (M.4) e una piastra (M.5) per poter uniformare il lucido nella testina del tool. Inoltre, al centro del banco prova si trova la pelle (M.11) su cui eseguire i test, posta su una base di gomma di dimensioni 10mm maggiori rispetto alla pelle e fissata con quattro morsetti sul balco. L'azienda calzaturiera ci ha fornito due tipi di pelle (U55 e U59) divisa in due diverse colorazioni, blu e marrone. Durante la lavorazione è sempre presente l'operatore (M.12) che posiziona e rimuove la pelle, sostituisce eventuali lucidi, piastre e spugne lavorando in collaborazione con il robot collaborativo.

¹⁸ https://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2018/07/UR5e_User_Manual_it_Global.pdf, p 24

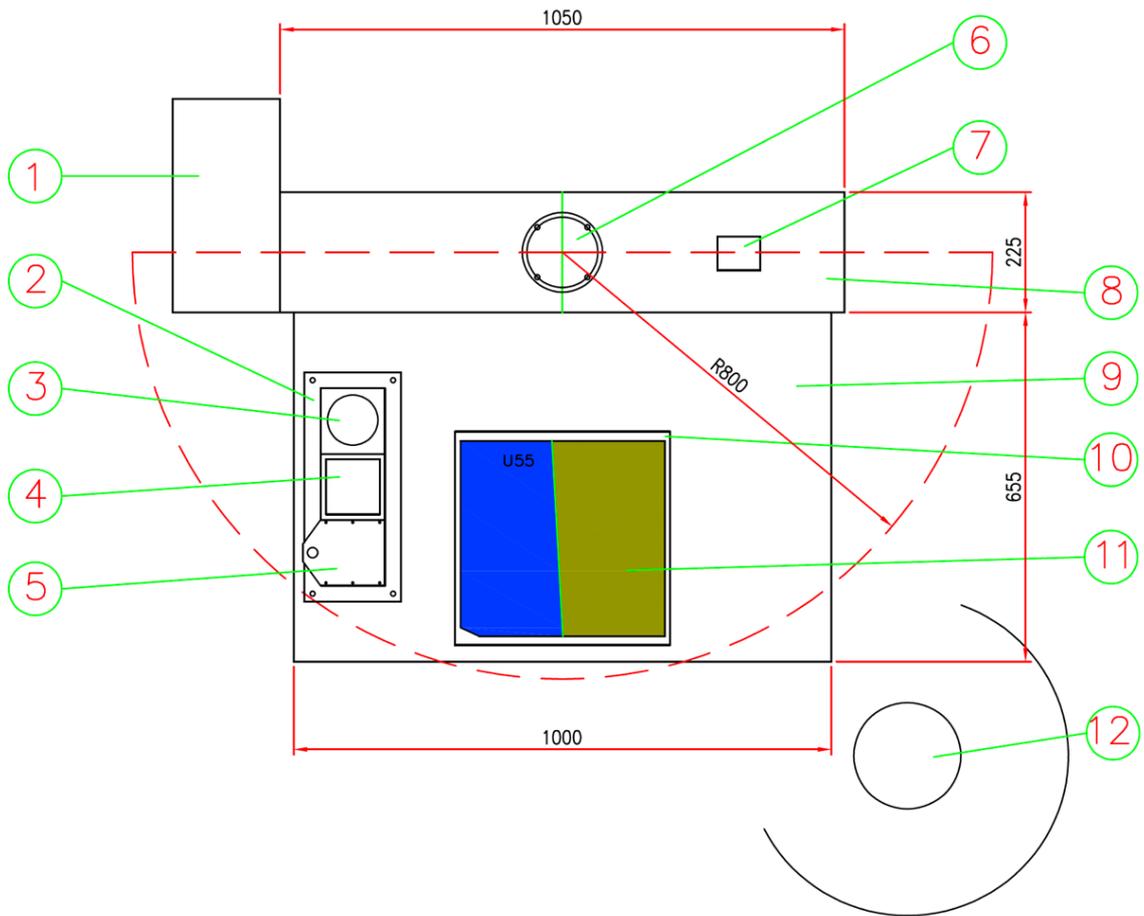


Figura 3 – Disegno banco Prova

Marca	Descrizione
1	CONTROLLORE
2	PORTA LUCIDO
3	LUCIDO
4	SPUGNETTA
5	PIASTRA
6	COBOT
7	SCHEDA MOTORE
8	BANCO ROBOT
9	BANCO PROVA
10	GOMMA
11	PELLE
12	OPERATORE

Tabella 1 – Componenti banco prova

2.2 UR5e UNIVERSAL ROBOTS

Universal Robots è stata fondata nel 2006 da Esben Østergaard, Kasper Støy, e Kristian Kassow. Nel 2008 è stato venduto il primo robot collaborativo UR5 leggero e flessibile con una programmazione 3D semplice ma sofisticata e dotata di un'interfaccia utente intuitiva che consente a chiunque di installarlo e gestirlo rapidamente. Nel 2018 l'azienda presenta i robot collaborativi della gamma e-Series, la "e" sta per "evoluzione", "empowering people" ma soprattutto, "easy to use".¹⁹ UR5e è un robot collaborativo leggero pensato per applicazioni di medio carico (fino a 5 kg). Il braccio è realizzato con tubi in alluminio estruso e sei giunti che consentono un'elevata flessibilità del braccio robotico di Universal Robots con l'obiettivo di imitare i movimenti del braccio umano.²⁰

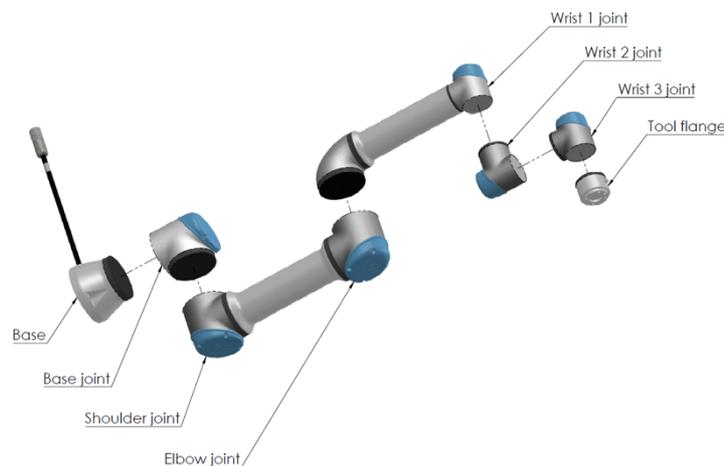


Figura 4 - Giunti, base e flangia dell'utensile del braccio del robot.²¹

Questo robot è adatto a ogni uso e in particolare è ideale per ottimizzare processi collaborativi leggeri, come pick&place, assemblaggio e testing. UR5e è stato progettato per un'integrazione semplice in un'ampia gamma di applicazioni. Il modello UR5e si caratterizza per un'accentuata versatilità, flessibilità operativa, misure di sicurezza come tempo e distanza di arresto personalizzabile, tanto che possono funzionare senza protezioni di sicurezza sulla base di risultati di una valutazione del rischio.

¹⁹ <https://www.universal-robots.com/it/info-su-universal-robots/la-nostra-storia/>

²⁰ https://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2018/07/UR5e_User_Manual_it_Global.pdf, p. 9

²¹ Ivi, p. 10

I robot collaborativi permettono inoltre una semplice programmazione grazie all'interfaccia PolyScope per muovere un utensile. Consente poi una facile installazione e un rapido ritorno sull'investimento, è estremamente silenzioso, efficiente dal punto di vista energetico ed è dotato di porte input e output per l'integrazione con macchinari esterni.²²

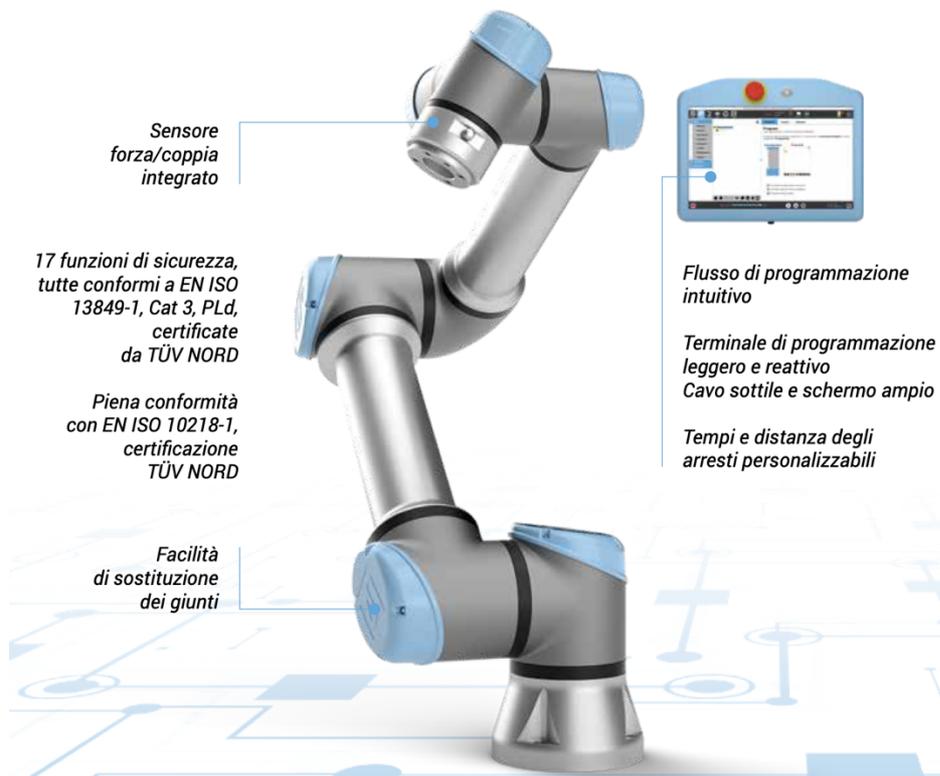


Figura 5 – vantaggi UR5e²³

²² <https://www.tecoma.net/ita/prodotti/universal-robots-robot-collaborativi>

²³ Ibid

La scheda tecnica mostra tutte le specifiche del robot collaborativo UR5e:

UR5e technical details

Performance

Power consumption	Approx. 200 W using a typical program	
Collaboration operation	17 advanced adjustable safety functions incl. elbow monitoring. Remote Control according to ISO 10218	
Certifications	EN ISO 13849-1, Cat.3, PL d, and EN ISO 10218-1	
F/T Sensor - Force, x-y-z	F/T Sensor - Torque, x-y-z	
Range	50 N	Range 10 Nm
Resolution	2.5 N	Resolution 0.04 Nm
Accuracy	4.0 N	Accuracy 0.30 Nm
Ambient temperature range	0-50°C	
Humidity	90% RH (non-condensing)	

Specification

Payload	5 kg / 11 lbs	
Reach	850 mm / 33.5 in	
Degrees of freedom	6 rotating joints DOF	
Programming	Polyscope graphical user interface on 12 inch touchscreen with mounting	

Movement

Pose Repeatability	+/- 0.03 mm, with payload, per ISO 9283	
Axis movement robot arm	Working range	Maximum speed
Base	± 360°	±180°/Sec.
Shoulder	± 360°	±180°/Sec.
Elbow	± 360°	±180°/Sec.
Wrist 1	± 360°	±180°/Sec.
Wrist 2	± 360°	±180°/Sec.
Wrist 3	± 360°	±180°/Sec.
Typical TCP speed	1 m/Sec./ 39.4 in/Sec.	



Features

IP classification	IP54	
ISO Class Cleanroom	6	
Noise	Less than 65 dB(A)	
Robot mounting	Any Orientation	
I/O Ports	Digital in	2
	Digital out	2
	Analog in	2
	Analog out	0
	UART interface (9.6k-5Mbps)	
I/O power supply in tool	12V/24V 600mA continuous, 2A for shorter periods	

Physical

Footprint	Ø 149 mm	
Materials	Aluminium, Plastic, Steel	
Tool (end-effector) connector type	M8 M8 8-pin	
Cable length robot arm	6 m / 236 in	
Weight including cable	20.6 kg / 45.4 lbs	

 **UNIVERSAL ROBOTS**
universal-robots.com

Figura 6 – Scheda tecnica UR5e²⁴

²⁴ <https://pdf.directindustry.it/pdf-en/universal-robots-france/ur5e-fact-sheet/101499-904790.html>

2.3 OEM CONTROL BOX UR5e

I robot Universal Robots e-Series sono dotati di una serie di funzioni di sicurezza integrate, di I/O di sicurezza e segnali di controllo digitali e analogici da e verso l'interfaccia elettrica, in modo da poter effettuare la connessione ad altre macchine e dispositivi protettivi aggiuntivi. Ciascuna funzione e I/O di sicurezza è realizzata in conformità alla normativa EN ISO13849-1:2008.

Le interfacce elettriche del control box dell'Universal Robots UR5e sono:

- 16 input digitali (0/24V DC)
- 16 output digitali (0/24V DC)
- 2 input analogici (0-10V DC or 4-20 mA)
- 2 output analogici (0-10V DC or 4-20 mA)²⁵

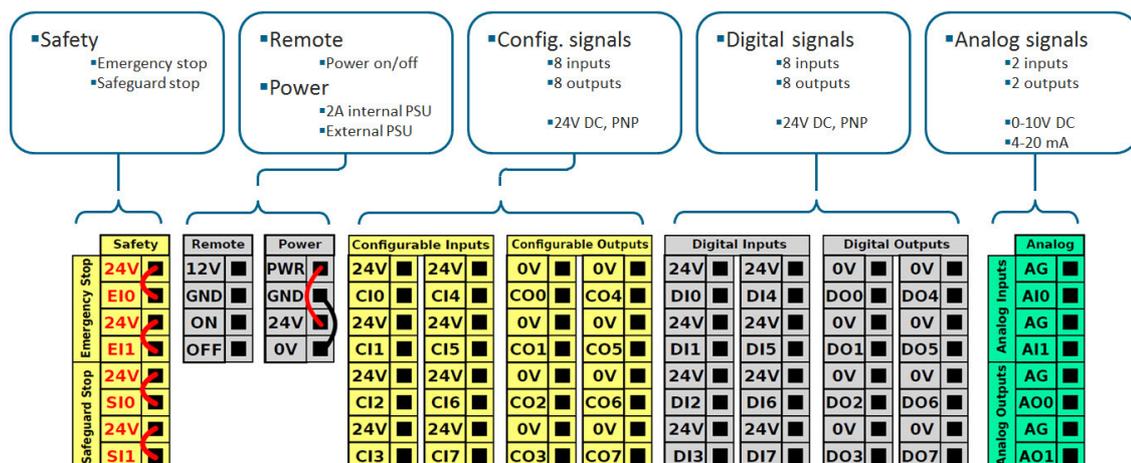


Figura 7 - schema I/O control box UR5e²⁶

Il control box è collegato al Teach Pendant, dispositivo di abilitazione a 3 posizioni, compatibile con l'UR5e e progettato ergonomicamente per un facile utilizzo con entrambe le mani.

²⁵ <https://forum.universal-robots.com/t/electrical-interfaces/25>

²⁶ Ibid

2.4 TEACH PENDANT E POLYSCOPE

Il Teach Pendant a 3PE è integrato meccanicamente e funzionalmente con il terminale di programmazione e-Series e con l'interfaccia utente PolyScope, per consentire tutti i movimenti del robot, compreso il Freedrive in modalità manuale.²⁷ Mantenendo infatti premuto il pulsante Freedrive sul retro del Teach Pendant si ha la possibilità di posizionare manualmente il braccio del robot nelle posizioni e/o pose desiderate.²⁸ In PolyScope, i movimenti dell'utensile vengono impartiti ricorrendo a una serie di punti percorso, ovvero punti nello spazio di lavoro del robot. Un punto percorso può essere stabilito portando il robot in una certa posizione oppure può essere calcolato dal software. Il Teach Pendant è inoltre dotato di una semplice installazione plug-and-play senza necessità di cablaggio aggiuntivo, dovuto al design completamente integrato. L'interfaccia utente è intuitiva per una facile programmazione, grazie al potente software PolyScope di UR che è dotato di un alto livello che rende immediata la gestione delle applicazioni da parte dell'operatore. Inoltre, è disponibile un ambiente di programmazione complesso e dettagliato per consentire agli sviluppatori di realizzare applicazioni collaborative complesse e sperimentali.

2.5 SCHEDA MOTORE 6501.00088 FAULHABER

Faulhaber è un gruppo aziendale fondato nel 1947 che oggi offre la più ampia gamma al mondo di sistemi di azionamento in miniatura e micro-disponibile da un unico fornitore. Grazie a questa varietà di tecnologie, Faulhaber è in grado di progettare soluzioni di azionamento uniche per precisione e affidabilità negli spazi più ridotti.²⁹ La scheda motore 6501.00088 by Faulhaber viene utilizzata per programmare la velocità di rotazione.

²⁷ https://www.universal-robots.com/media/1820967/07_2021_ur_e-series_brochure_it_web.pdf, p10

²⁸ https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/90723/99609_3PETP_installation_guide_it.pdf, p16

²⁹ <https://www.faulhaber.com/it/informazioni-su-faulhaber/profilo-dellazienda/>

Il regolatore di velocità SC1801S Faulhaber è stato progettato per la guida e il controllo della velocità dei motori nella gamma a bassa potenza e contiene alcuni componenti elettrici.³⁰ Il manuale tecnico consente di utilizzare questo dispositivo in linea con le norme di sicurezza e descrive l'installazione, la configurazione e l'uso della scheda motore. Per poter collegare il regolatore di velocità al terminale o al connettore si utilizzano i terminali:

- X2
- X3
- X6
- X10

L'alimentazione invece avviene tramite Umot e GRN attraverso il terminale X1. Il massimo voltaggio di Umot dipende dal regolatore di velocità ed è raccomandato l'utilizzo di almeno 10.5V come minimo voltaggio per ottenere da 0V a 10V come setpoint (Unsoll) attraverso un potenziometro tramite il terminale P1.³¹ Il terminale S3 viene utilizzato per l'accensione e spegnimento della scheda motore in modo da poter configurare le impostazioni e i parametri. Le modifiche vengono poi trasferite al regolatore di velocità utilizzando il pulsante "Send" mentre per interrompere la comunicazione con il PC e attivare il regolatore di velocità viene usato il pulsante "Run". Inoltre, il terminale X9 consente di collegare la scheda motore al software attraverso una porta USB.³² La direzione di rotazione dipende dall'accensione di S1 e S2 e per poter cambiare il senso di rotazione, occorre portare l'interruttore S1 su "MOT" e scegliere la direzione tramite l'interruttore S2. Inoltre, se S1 è ruotato su "PROG" il motore ruoterà sempre in senso orario.³³

³⁰ <https://it.rs-online.com/web/p/controllo-motori/8734754/>

³¹ https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_7000_05019.pdf, pp6-7

³² Ivi, pp. 9-10

³³ Ivi, p12

La scheda tecnica mostra tutte le specifiche della scheda motore e i suoi terminali:



Accessories

Programming Adapter SC/SCS for Speed Controller and Speed Control Systems, USB/RS232 interface

Part No.: 6501.00088

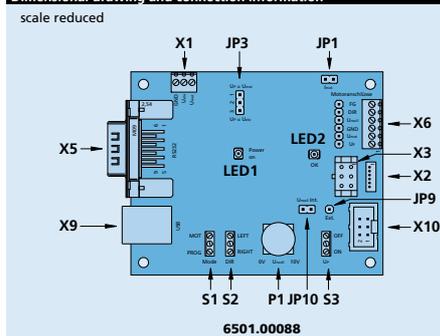
		6501.00088	
Power supply for electronics	U_{elo}	3,5 ... 30	V
Power supply for motor	U_{mot}	0 ... 30	V
Current consumption of electronics	I_{el}	0,1	A
Temperature range:			
– Operating temperature		0 ... + 65	°C
Dimensions and weight:			
– Dimensions (L x B x H)		80 x 65 x 31	mm
– Mass		45	g

General information

Description of connectors / controls:

<p>X1 Terminals for power supplies Pin 1: GND Ground connection of power supply/supplies Pin 2: U_{elo} Power supply for electronics Pin 3: U_{mot} Power supply for motor winding</p> <p>X2, X3, X6, X10 Terminals for motor / motor controller Pin 1: U_p Power supply for motor winding Pin 2: U_{mot} Power supply for motor winding Pin 3: GND Power supply negative pole Pin 4: U_{nsoll} Output for nominal speed setting 0...10V Pin 5: DIR Output for direction of rotation setting Pin 6: FG Input for speed signal from motor controller</p> <p>X5 RS232 connector, may optionally be used instead of X9 in PROG mode for programming</p> <p>X9 USB connector, may optionally be used instead of X5 in PROG mode for programming</p> <p>JP1 Jumper can be removed and connected to an amperemeter for motor current measurement at U_{mot}.</p> <p>JP3 Jumper to separate power supply for electronics and motor 1-2: $U_p = U_{mot}$ Joint power supply to electronics and motor winding via terminal U_{mot} 2-3: $U_p = U_{elo}$ Power supply to electronics via separate terminal U_{elo} (separate power supply for electronics and motor winding). Power supply for programming adapter also via the terminal selected for U_p</p> <p>JP9 Connector for external signal for U_{nsoll}, e.g. PWM signal for speed setting. Note: JP10 must then be removed.</p>	<p>JP10 Jumper for selection of the source for U_{nsoll}. Closed: U_{nsoll} adjustable with P1.</p> <p>S1 Switch for setting the operating mode PROG mode = software update MOT mode = motor operation</p> <p>S2 Switch for setting the direction of rotation of the motor</p> <p>S3 Switch for switching the power supply U_p for the electronics on/off</p> <p>P1 P1 is used to set U_{nsoll} from 0...10V. JP10 must be closed. The power supply U_p must be at least 10,5V.</p> <p>LED 1 Indicates the programming adapter is ready for operation</p> <p>LED 2 Indicates the external controller status. ON = ready for operation, OFF = error</p> <p>Start-up</p> <ul style="list-style-type: none"> - Connect operating voltage to X1. Use alternatively joint or separate operating voltage for electronics and motor. - Notes: Pay attention to correct setting of JP3. - Pay attention to minimum/maximum values for U_{mot} and U_{elo}. - S3 in position OFF; JP1 and JP10 closed. - Connect motor/motor controller to X2, X3, X6 or X10. - For PROG mode, connect to a Windows PC at X5 (null modem cable) or X9 (USB connection cable type B). - LED 1 and LED 2 lights up after power-on for U_{mot} or U_{mot} and U_{elo}. <p>Driver installation:</p> <p>If the programming adapter is to be operated via the USB connector X9, a special USB driver must be installed if using Windows XP (further details on request).</p>
--	---

Dimensional drawing and connection information



Connection

No.	Function
LED 1	Ready for operation
LED 2	Status external controller
Terminals	
X1	Power supply
X2, X3, X6, X10	Connector for motor or SC controller
X5	RS232 connector
X9	USB connector, type B
Jumpers	
JP1	Motor current measurement
JP3	Separation of U_p from U_{mot}
JP9	U_{nsoll} external input signal
JP10	U_{nsoll} int. setting with P1
Switches	
S1	Operating mode
S2	Direction of motor rotation
S3	Power switch on/off
Potentiometer	
P1	U_{nsoll} setting

PROG mode

Settings	
S1	PROG
S2	RIGHT
S3	OFF
P1	0V
JP1	Closed
JP10	Closed
MOT mode	
Settings	
S1	MOT
S2	RIGHT or LEFT
S3	OFF - ON
P1	0V ... 10V
JP1	Opt. current measurement
JP10	Select source for U_{nsoll}

For detailed information regarding FAULHABER accessories please refer to the instruction manuals.
Edition 2020 Feb.18

© DR. FRITZ FAULHABER GMBH & CO. KG
Specifications subject to change without notice.

Figura 8 – Scheda tecnica e terminali della scheda motore 6501.00088 by Faulhaber³⁴

³⁴ <https://docs.rs-online.com/f38f/0900766b813e67b9.pdf>

2.6 MOTION MANAGER FAULHABER

Il software “Faulhaber Motion Manager” fornisce all’utente un supporto completo per l’avvio e la configurazione dei comandi del sistema di azionamento Faulhaber. Le procedure sono uniformi e intuitive indipendentemente dalla famiglia di dispositivi e dall’interfaccia utilizzata grazie all’interfaccia grafica. Il software presenta una guida alla configurazione e alla messa in servizio dei sistemi di azionamento Faulhaber con controllori di movimento e regolatore di velocità. Il Motion Manager Faulhaber è progettato per il supporto durante la configurazione delle funzioni di azionamento dei controllori.³⁵ Le interfacce grafiche o l’input di comando consentono l’azionamento dei comandi nelle modalità operative supportate e utilizzando programmi VB Script o la funzione macro integrata, si ha la possibilità di creare ed eseguire sequenze di attuazione. La funzione trace consente, invece, un’analisi grafica del comportamento di guida. Il Motion Manager è in grado inoltre di creare, trasferire e gestire programmi di sequenza da eseguire nel controllo del dispositivo, caricare e scaricare file di parametri. Le procedure guidate assistono durante la messa in servizio di un controllo e le unità di azionamento rilevate sulle interfacce selezionate vengono visualizzate in una struttura ad albero. L’interfaccia corrente e le impostazioni di visualizzazione possono essere poi salvate nei file di progetto e le azioni dell’utente e il flusso di comunicazione vengono registrati. Sono inoltre disponibili possibilità per il rilevamento degli errori e il monitoraggio del flusso del programma.³⁶

³⁵ <https://www.faulhaber.com/en/support/ Faulhaber-motion-manager/>

³⁶ https://www.faulhaber.com/OnlineUpdates/Moman6/EN_7000_05054.pdf

2.7 TOOL

Il tool consente la rotazione della testina in due diversi moti, cambiando solamente i componenti interni.

- Moto 1: moto intorno al proprio asse fisso

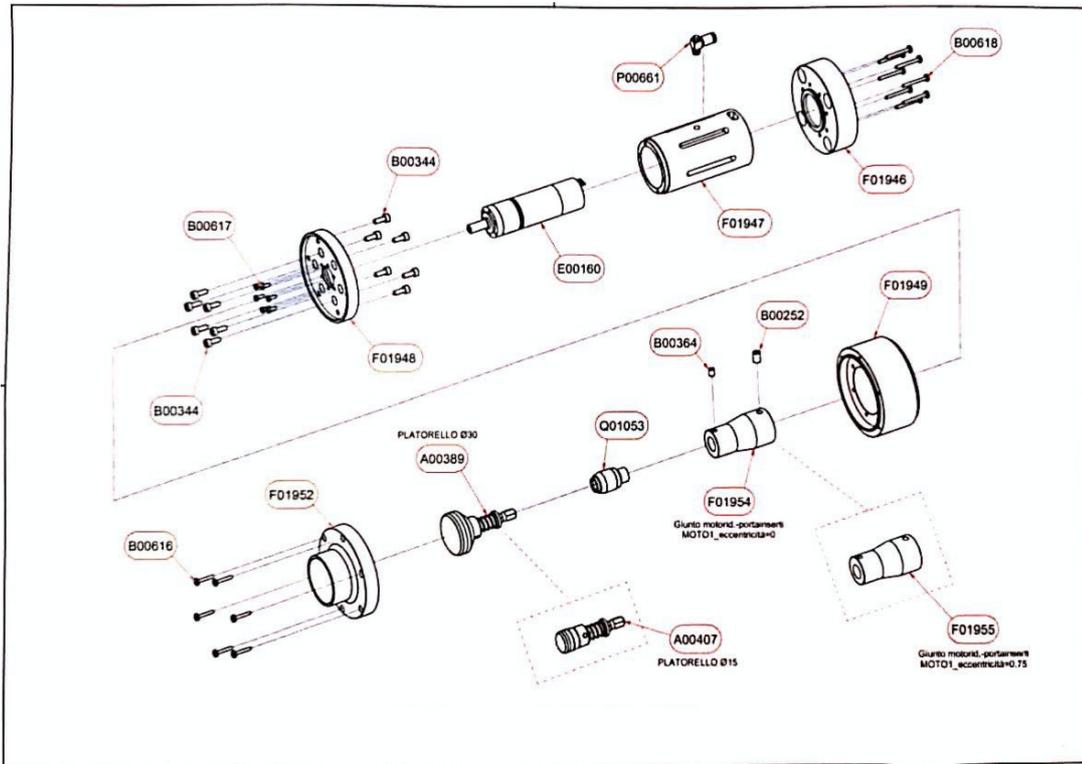


Figura 9 – Esploso tool moto 1

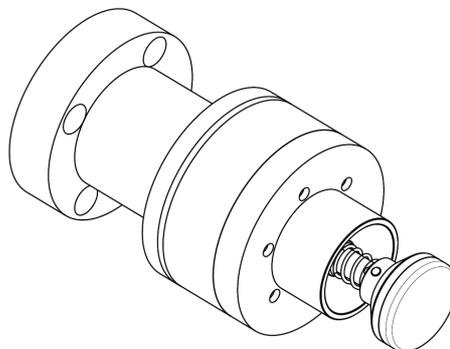


Figura 10 – Compatto tool moto 1

- Moto 2: moto planetario

È costituito da un moto di rotazione intorno al proprio asse fisso di una ruota dentata (R00107) e da uno di rivoluzione attorno ad una corona (R00564).

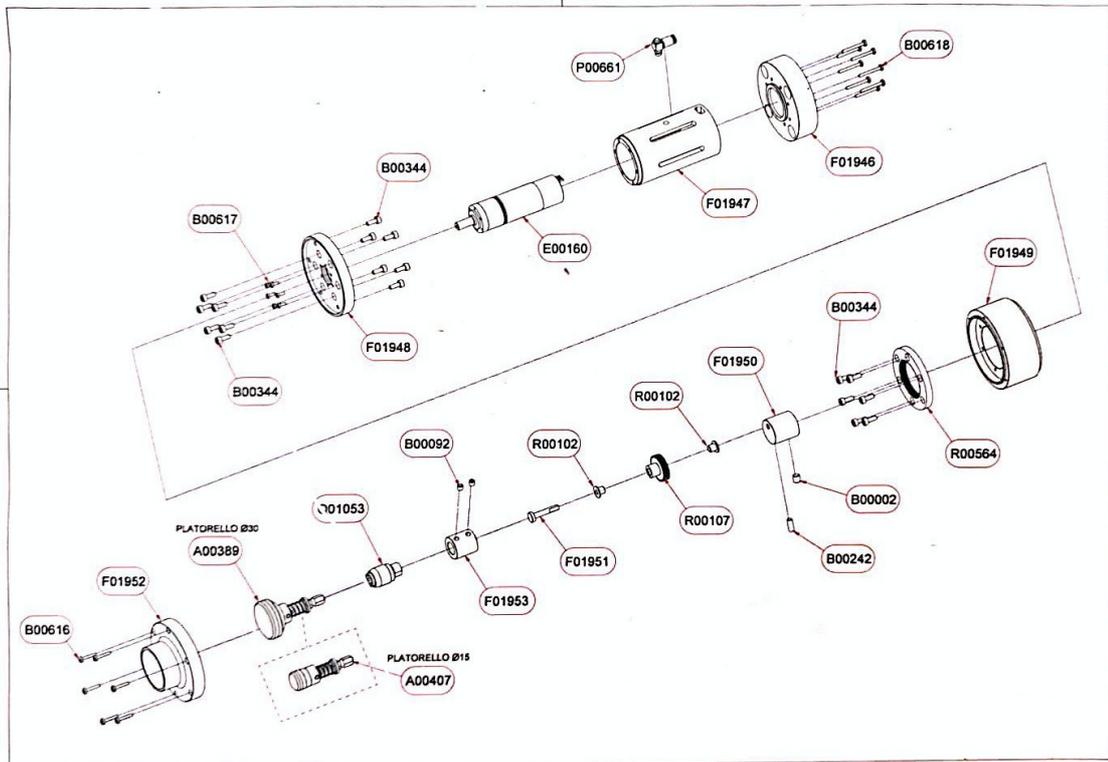


Figura 11 – Esploso tool moto 2

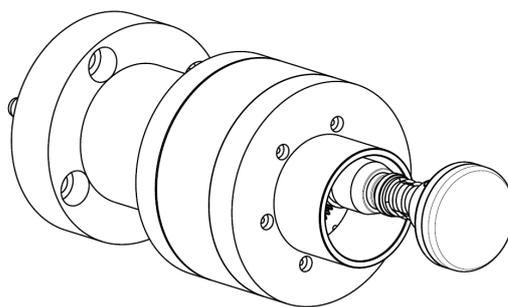


Figura 12 – Compatto tool moto 2

3 CASO STUDIO

Un'azienda calzaturiera ha inviato all'Università due pelli (U55 e U59), ciascuna suddivisa in una colorazione marrone e blu, delle proprie scarpe, per effettuare dei test e verificare che la postazione progettata ci permetta di ottenere dei risultati ottimali con il cobot UR5e. Inizialmente ho studiato i diversi datasheet e i manuali di tutti i componenti necessari per effettuare i test:

- Scheda motore 6501.00088 di Faulhaber
- Motion Manager software di Faulhaber
- Control box del robot collaborativo UR5e
- PolyScope
- Esploso del tool con i due diversi moti di rotazione

Ho individuato poi i terminali e componenti della scheda motore:

- X1 per l'alimentazione attraverso un trasformatore a 12 V
- S3 per l'accensione e lo spegnimento della scheda motore
- X3 per il collegamento del tool
- X6 per il cablaggio con il control box
- P1 il potenziometro per regolare il voltaggio da 0V a 10V
- X9 il connettore USB per il caricamento del software

Dopo aver collegato la scheda motore con il pc attraverso il terminale X9 e avviato il software Motion Manager, ho settato i giri della testina del tool in base al voltaggio impostando 1000rpm per Volt. Una volta inseriti i dati la scheda è in grado di memorizzarli in modo da evitare l'inserimento ad ogni accensione della scheda motore. Ho collegato poi le diverse porte del terminale X6 (Unsoll, Up e GND) con le porte di input e output del control box per controllare l'accensione e lo spegnimento della scheda e il voltaggio per la velocità della testina del tool dal Teach Pendant del cobot. Inoltre, attraverso lo smontaggio e montaggio dei componenti del tool sono stato in grado di definire due diversi moti, il primo attorno al proprio asse fisso e il secondo un moto planetario. In seguito, ho preparato il banco prova in modo da rendere il lavoro efficiente e diminuire il tempo ciclo, posizionando i componenti per i test di lucidatura.

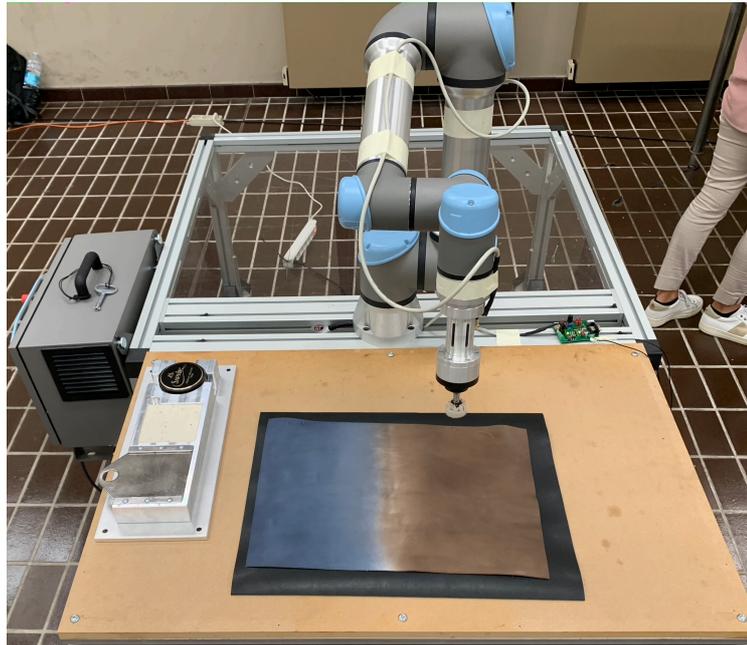


Figura 13 – Banco prova

Determinata la logistica del banco prova ho deciso in quanti quadrotti dividere le pelli (U59 e U55) fornite dall'azienda calzaturiera e ho definito la dimensione dei singoli quadrotti. Nella pelle U59 ho suddiviso sei quadrotti (A1, A2, A3, A4, A5, A6) nella parte marrone di dimensione 75x75mm per ogni quadrotto.



Figura 14 – Pelle U59

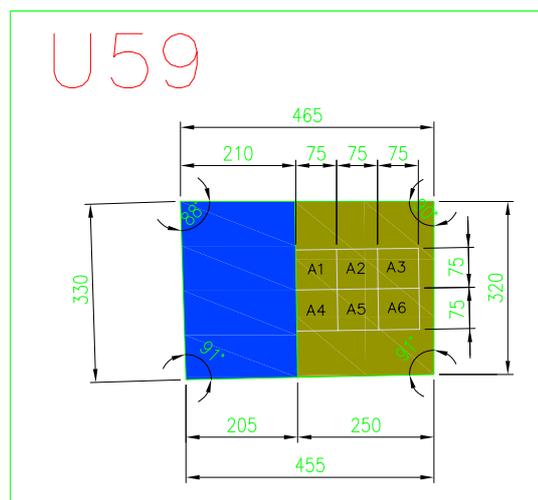


Figura 15 – Divisione in quadrotti della pelle U59

Nella pelle U55 ho considerato un singolo quadretto B1 di dimensione 80x80mm.



Figura 16 – Pelle U55

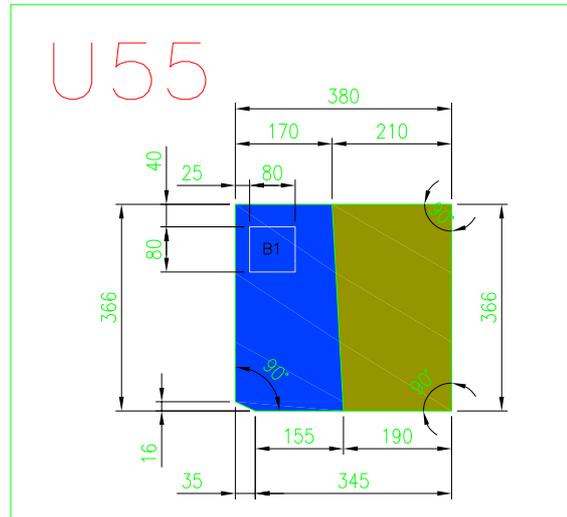


Figura 17– Divisione in quadretti della pelle U55

Per l'esecuzione dei test di lucidatura ho impostato le variabili:

- forza prova quadretto
- forza ripasso senza lucido
- forza prelievo lucido
- forza per uniformare lucido
- forza serpentina con prelievo lucido
- tempo prelievo lucido
- tempo per uniformare lucido
- velocità robot
- voltaggio testina motore testina
- moto del tool
- moto serpentina.

Successivamente ho programmato il robot con lo script PolyScope selezionando la funzione Freedrive sul Teach Pendant per poter definire le posizioni che consentono di costruire i moti orizzontali e quelli delle serpentine del braccio del cobot.

3.1 TEST

3.1.1 TEST A1

Inizialmente ho eseguito i test sulla pelle U59 nella parte marrone, usando il moto planetario e la testina da 30mm.

Test A1-1

Ho eseguito il primo test nel quadrotto A1 della pelle U59 nella parte marrone e ho impostato dei valori prova.

A1 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	4 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
Forza prelievo lucido	1 N
Forza per uniformare lucido	2N
Tempo prelievo lucido	4 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 2 – Variabili test A1-1

Per la definizione del moto del cobot ho diviso inizialmente il quadrotto in tre parti uguali per poter stabilire tre moti orizzontali per ciascuna riga (moto 1, moto 2 e moto 3). Per ogni moto il braccio del cobot, partendo da un offset iniziale, preleva il lucido e lo uniforma sulla piastra. Successivamente il braccio esegue una serpentina (moto 4) e alzando la testina e tornando alla posizione iniziale del moto 4, la ripercorre. Dopodiché percorre per due volte la serpentina del moto 4 in verso opposto, definita serpentina del moto 5, alzando la testina tra i due percorsi.

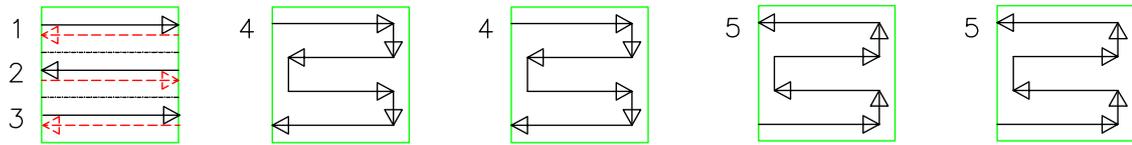


Figura 18 – moti braccio cobot test A1-1



Figura 19 – Risultato finale test A1-1

In questo test ho notato che quando la testina andava ad impattare la pelle dopo il prelievo e l'omogeneizzazione, lasciava delle macchie e non si portava dietro il lucido durante il moto.

Test A1 – 2

Nel secondo test ho aumentato la variabile “forza prelievo lucido” per poter risolvere la mancanza di lucido durante l’intero moto del braccio.

A1 - 2	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	4 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
Forza prelievo lucido	2 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	4 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 3 – Variabili test A1-2

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test precede.

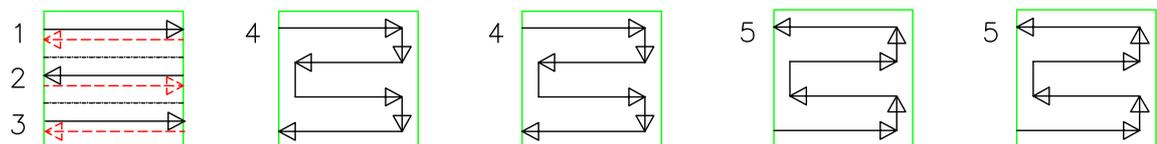


Figura 20 – moti braccio cobot test A1-2



Figura 21 – Risultato finale test A1-2

Anche in questo test, pur avendo aumentato la forza di prelievo, il lucido non era abbastanza per lucidare tutto il quadrotto e non era distribuito in modo uniforme.

Test A1 – 3

Nel terzo test ho aumentato sia la “forza del prelievo lucido” che il “tempo del prelievo”.

A1 - 3	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	4 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 3 – Variabili test A1-3

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test precede.

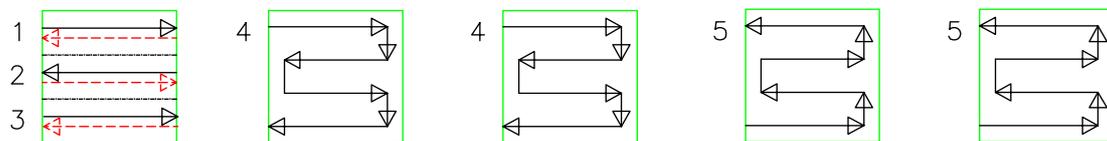


Figura 22 – moti braccio cobot test A1-3



Figura 23 – Risultato finale test A1-3

Dal risultato di questo test ho riscontrato che il quadrotto aveva più lucido rispetto ai test precedenti eccetto nella parte centrale.

Test A1 – 4

In questo test ho solo aumentato la “velocità del robot “nei movimenti dal 50% al 60%.

A1 – 4	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	4 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	60%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 4 – Variabili test A1-4

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test precedente.

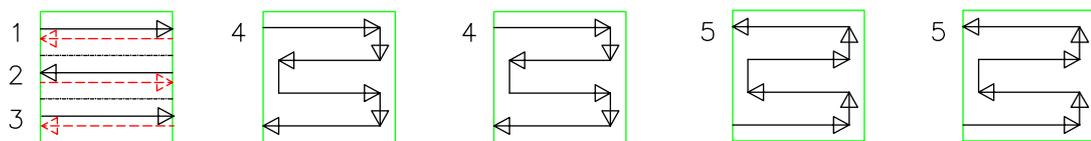


Figura 24 – moti braccio cobot test A1-4



Figura 25 – Risultato finale test A1-4

Da questo test ho dedotto che la velocità del robot andava ad influenzare il risultato finale in termini di lucidatura ma permetteva di diminuire il tempo ciclo.

3.1.2 TEST A2

Test A2 – 1

Nel primo test del secondo quadrotto A2 ho impostato gli stessi valori del quadrotto A1 test 1.

A2 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	4 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
forza prelievo lucido	1 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	4 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 4 – Variabili test A1-4

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test A1.

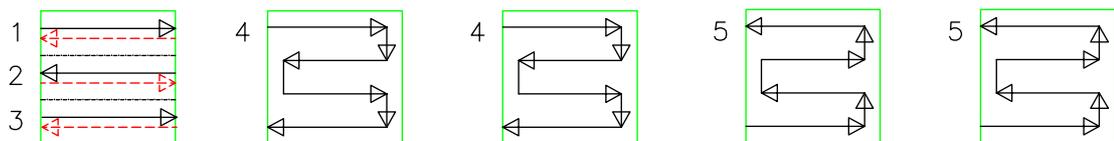


Figura 26 – moti braccio cobot test A2-1



Figura 27 – Risultato finale test A2-1

In questo test ho riscontrato le stesse problematiche del test A1-1. Il lucido, infatti, non risultava uniforme su tutto il quadrotto e la testina non portava dietro il lucido durante il moto.

Test A2 -2

Nel secondo test del quadrotto A2 ho aumentato la “forza prova quadrotto”, la “forza del prelievo lucido” e il “tempo del prelievo lucido” per poter risolvere le problematiche del primo test.

A2 - 2	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido	6 N
forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 s
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 5 – Variabili test A2-2

Il moto del braccio del cobot è rimasto invariato rispetto al test precedente.

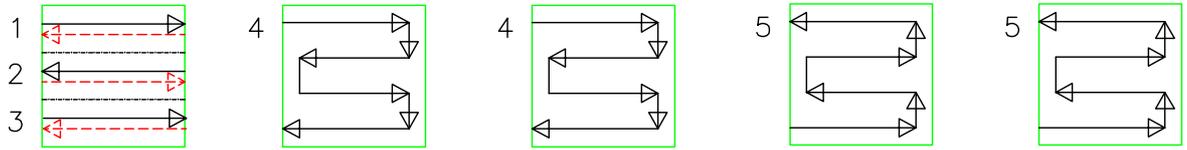


Figura 28– moti braccio cobot test A2-2



Figura 29 – Risultato finale test A2-2

Dal risultato finale di questo test ho notato che il lucido era abbastanza omogeneo eccetto nella parte centrale del quadrotto.

3.1.3 TEST A3

Test A3 – 1

Nel terzo quadrotto A3 ho aumentato la “forza del ripasso senza lucido” rispetto al test precedente perché il lucido non era uniforme su tutto il quadrotto ma solo nel suo perimetro.

A3 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido	7 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot (% del valore max)	50%
voltage testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 6 – Variabili test A3-1

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test precedente.

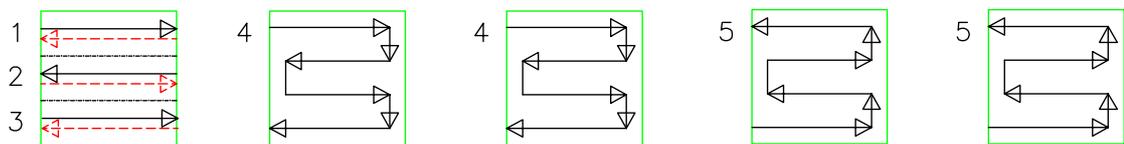


Figura 30– moti braccio cobot test A3-1



Figura 31 – Risultato finale test A3-1

Il risultato finale è stato migliore rispetto ai test precedenti anche se ho notato la presenza di alcune macchie.

Test A3 - 2

Nel secondo test non ho cambiato nessun parametro rispetto al test precedente.

A3 - 2	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido	7 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot (% del valore max)	50%
voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 6 – Variabili test A3-2

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test precedente.

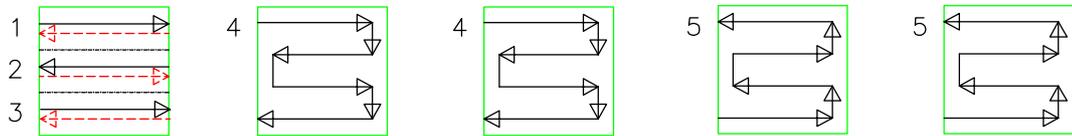


Figura 32– moti braccio cobot test A3-2



Figura 33 – Risultato finale test A3-2

Il risultato di questo test è buono poiché più passate di lucido hanno reso il quadrotto più uniforme.

3.1.4 TEST A4

Test A4 – 1

In questo test invece ho aumentato il “voltaggio delle testina motore”, così da poter aumentare i giri al minuto della testina a 6000 giri al minuto. Inoltre, ho cambiato anche la “forza ripasso senza lucido, senza alzare ma con tratto lineare” ossia la testina tra un moto della serpentina e l’altro non si alzava. Infine, ho modificato il moto del braccio.

A4 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido, senza alzare ma con tratto lineare	7 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	6 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 6 – Variabili test A4-1

Il braccio per ogni moto inizialmente preleva e uniforma il lucido, percorrendo poi ciascun moto orizzontale. Successivamente percorre la serpentina 6 e senza alzare la testina inizia il moto della serpentina 4. Dopodiché la testina si alza e percorre consecutivamente il moto della serpentina 7 e 8.

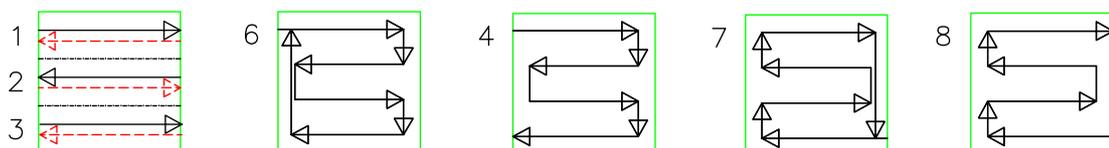


Figura 34– moti braccio cobot test A4-1



Figura 35 – Risultato finale test A4-1

Quando il braccio del cobot percorre la serpentina del moto 4 e quella del moto 8, la testina del tool si blocca e non gira ma scorre lungo la pelle causando una distribuzione non uniforme del lucido.

Test A4 – 2

Per poter risolvere il problema del test precedente, inizialmente ho diminuito i giri della testina da 6 V a 5 V.

A4 - 2	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido, senza alzata ma con tratto lineare	7 N
Forza prelievo lucido	3 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot(% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 7 – Variabili test A4-2

Il moto del braccio è rimasto invariato rispetto al test A4 – 1.

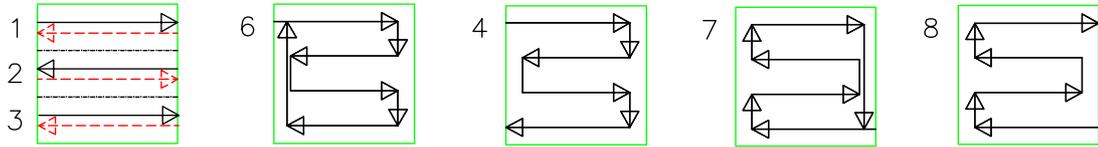


Figura 36– moti braccio cobot test A4-2



Figura 37 – Risultato finale test A4-2

Nonostante la modifica effettuata, la testina del tool si bloccava sempre sugli stessi moti della serpentina del test precedente.

Test A4 – 3

In questo test ho aumentato la “forza del prelievo lucido” poiché ho dedotto che la causa dell’arresto della rotazione della testina era dovuto all’attrito.

A4 - 3	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido, senza alzata ma con tratto lineare	7 N
Forza prelievo lucido	4 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot(% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 8 – Variabili test A4-3

Il moto del braccio è rimasto invariato al test precedente.

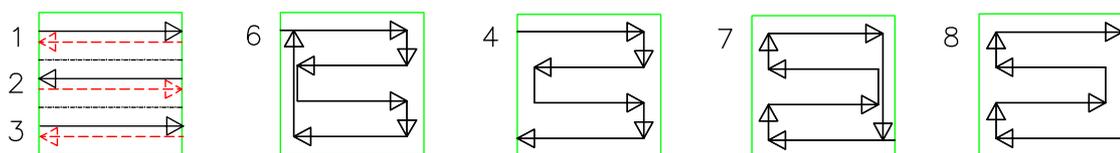


Figura 38– moti braccio cobot test A4-3



Figura 39 – Risultato finale test A4-3

Pur avendo aumentato la forza del prelievo lucido, la testina si bloccava negli stessi moti delle serpentine precedenti.

Test A4-4

In questo test per poter evitare l'arresto della rotazione della testina, ho diminuito la "forza di ripasso senza lucido, senza alzata ma con tratto lineare".

A4 - 4	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza ripasso senza lucido, senza alzata ma con tratto lineare	5 N
Forza prelievo lucido	4 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot(% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 9 – Variabili test A4-4

Il moto del braccio rimane uguale al test precedente.

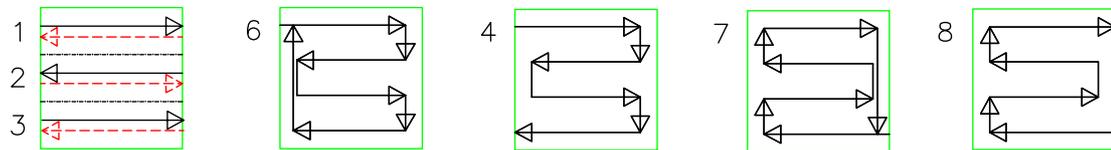


Figura 40– moti braccio cobot test A4-4



Figura 41 – Risultato finale test A4-4

Grazie alla presenza di una maggiore quantità di lucido, dovuta dall'esecuzione dei test precedenti sullo stesso quadrotto, la testina si è bloccata solo nel moto 8 della serpentina.

3.1.5 TEST A5

Test A5 – 1

In questo test ho tolto la variabile “forza ripasso senza lucido“ e aggiunto la variabile “forza serpentina con prelievo lucido “ per poter evitare il problema dell’arresto della testina sulla pelle.

A5 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza prelievo lucido	4 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Forza serpentina con prelievo lucido	6 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 10 – Variabili test A5-1

Il moto del braccio rimane invariato rispetto al test precedente ma prima di effettuare il moto 6 della serpentina il cobot preleva il lucido e lo uniforma.

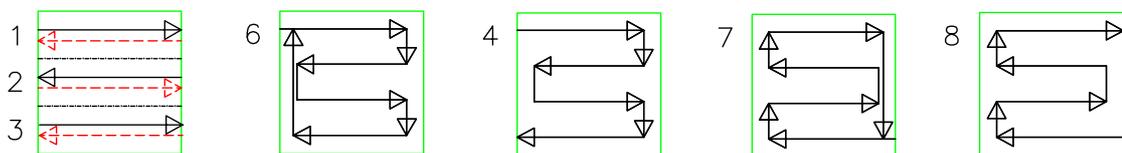


Figura 42– moti braccio cobot test A5-1



Figura 43 – Risultato finale test A5-1

Nonostante il cambiamento della variabile, la testina si blocca quando percorre la serpentina nel moto 7 e 8. Inoltre, nella parte centrale del quadrotto la presenza di lucido è insufficiente.

3.1.6 TEST A6

A6-1

Dal momento che la testina si arrestava e il lucido non veniva uniformato correttamente, ho aumentato la “forza per uniformare il lucido” e cambiato il moto delle serpentine.

A6 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza prelievo lucido	4 N
Forza per uniformare lucido	3 N
Forza serpentina con prelievo lucido	6 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	3 sec
Velocità robot (% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 11 – Variabili test A6-1

Il braccio per ogni moto inizialmente preleva e uniforma il lucido, percorrendo poi ciascun moto orizzontale. Successivamente la testina preleva e uniforma il lucido prima di percorrere la serpentina 9 e senza alzare la testina inizia il moto della serpentina 10. Dopodiché la testina si alza, preleva e uniforma il lucido ed infine percorre consecutivamente il moto della serpentina 11 e 12.

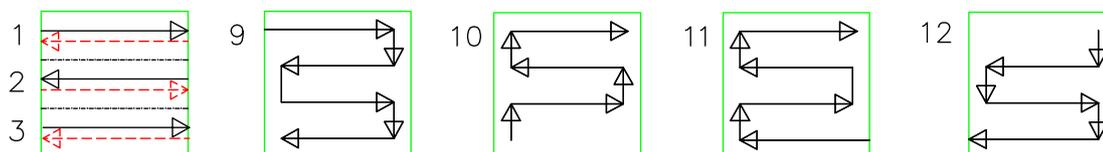


Figura 44– moti braccio cobot test A6-1



Figura 45 – Risultato finale test A6-1

Dal risultato di questo test si notano delle macchie di lucido dovute all’impatto iniziale della testina sulla pelle, causando una distribuzione non uniforme su tutto il quadrotto.

A6 – 2

In questo test ho aumentato i moti delle serpentine per poter uniformare meglio il lucido su tutto il quadrotto ed evitare la presenza di macchie e aumentato di 1 secondo il “tempo per uniformare lucido”.

A6 - 2	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza prelievo lucido	4 N
Forza per uniformare lucido	3 N
Forza serpentina con prelievo lucido	6 N
Tempo prelievo lucido	6 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot(% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø30mm
Moto	2

Tabella 12 – Variabili test A6-2

Il braccio per ogni moto inizialmente preleva e uniforma il lucido, percorrendo poi ciascun moto orizzontale. In seguito, preleva e uniforma il lucido prima di percorrere la serpentina 9 e senza alzare la testina inizia il moto della serpentina 13 e 14. Dopodiché la testina si alza, preleva e uniforma nuovamente il lucido ed infine percorre consecutivamente il moto della serpentina 11, 15 e 16.

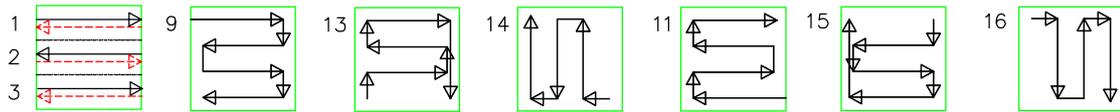


Figura 46– moti braccio cobot test A6-2



Figura 47 – Risultato finale test A6-2

Quest'ultimo test è stato migliore per quanto riguarda la pelle nella colorazione marrone anche se il processo di lucidatura è risultato essere troppo lungo, con un tempo ciclo di 6 minuti.

3.1.7 TEST B1

Successivamente ho utilizzato la pelle U55, ho montato i componenti per il moto 1 del tool e la testina da 15 mm per svolgere un unico test nella parte blu della pelle.

B1 – 1

Per questo test ho impostato dei valori indicativi per poter osservare il risultato in seguito all'utilizzo del moto 1, della testina di diametro minore e della pelle nella colorazione blu.

B1 - 1	
VARIABILI	VALORI
Forza prova quadrotto	5 N
Forza prelievo lucido	2 N
Forza per uniformare lucido	2 N
Forza serpentina con prelievo lucido	6 N
Tempo prelievo lucido	4 s
Tempo per uniformare lucido	4 sec
Velocità robot(% del valore max)	50%
Voltaggio testina motore	5 V
Testina	ø15mm
Moto	1

Tabella 13 – Variabili test B1-1

Dal momento che la testina è più piccola e il quadrotto di dimensioni maggiori (80x80mm), occorre dividere in 7 parti uguali l'area su cui eseguire il test. Il braccio per ogni moto inizialmente preleva e uniforma il lucido, percorrendo poi ciascuno dei 7 moto orizzontali. In seguito, preleva e uniforma il lucido e percorre il moto 24 della serpentina ed infine esegue gli stessi passaggi di prelievo e omogeneizzazione del lucido e percorre la serpentina del moto 24 in verso opposto, definita serpentina moto 25.

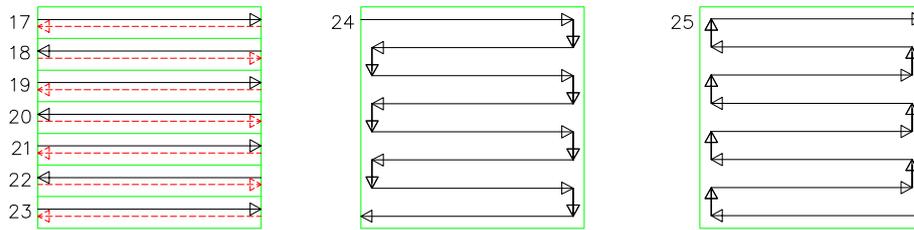


Figura 48– moti braccio cobot test B1-1



Figura 47 – Risultato finale test B1-1

Il risultato di questo test è da scartare perché il lucido lascia delle macchie appena la testina impatta sulla pelle e la parte centrale del quadrotto non viene lucidata correttamente.

4 CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa tesi è introdurre i cobot nell'azienda calzaturiera per efficientare la produzione migliorando la condizione di lavoro degli operai, automatizzando la prima fase di lucidatura delle scarpe di cuoio. I test effettuati sono test preliminari e si evince che è possibile lucidare la pelle piana nonostante ci siano state alcune limitazioni. Dai risultati è emersa, infatti, la non uniformità dei due lucidi e in particolare la difficoltà sulla pelle marrone poiché il lucido risulta più leggero come colorazione e ha una consistenza diversa rispetto al lucido blu. Un altro problema è l'impronta iniziale della testina non appena impatta la pelle causando delle macchie e una distribuzione non uniforme sul quadrotto. Inoltre, il lavoro del braccio meccanico è risultato essere molto dispendioso in termini di tempo poiché il tempo di ciclo necessario per la lucidatura di ogni quadrotto era di almeno 6 minuti per ottenere un buon risultato. A tale scopo per ottimizzare i test futuri sarà opportuno accelerare gli spostamenti del robot per diminuire il tempo ciclo. Inoltre, sarà necessario il passaggio delle caratteristiche specifiche fatte sulla pelle piana alla scarpa e i risultati dovranno essere visionati dall'azienda calzaturiera. Dal momento che le scarpe sono difficili da realizzare a causa della loro complessa geometria, l'operatore sarà sempre necessario per il controllo qualità e visione del perfetto funzionamento della linea ma i robot serviranno a supportare la competenza umana nella realizzazione delle stesse.

RINGRAZIAMENTI

Questo spazio lo dedico alle persone che, con il loro supporto, mi hanno aiutato in questo percorso di crescita personale e professionale. Un ringraziamento particolare va al mio relatore e prof. Michele Germani per avermi fatto collaborare a questo progetto, Giorgia Chiriatti e Melania Franchini per la loro disponibilità durante lo svolgimento dei test. Ringrazio i miei genitori e mia sorella Giorgia che mi hanno sostenuto in tutte le decisioni con consigli preziosi e rispettando sempre i miei spazi, siete per me un esempio da seguire. Senza il vostro supporto morale non sarei mai potuto arrivare fin qui, grazie per esserci sempre stati soprattutto nei momenti di sconforto. Una dedica speciale ai miei amici, che ogni giorno hanno condiviso con me gioie, sacrifici e successi. L'affetto e il sostegno che mi hanno dimostrato rendono questo traguardo ancora più prezioso. Vorrei ringraziare anche i miei colleghi di università per aver condiviso intere giornate di studio, questa esperienza senza di voi non sarebbe stata la stessa cosa.

Grazie di cuore, vi voglio bene.

BIBLIOGRAFIA

- [1] http://luigidcapra.altervista.org/it/Fabbrica_40/Origini_del_termine_Industrie_4.0.html
- [2] <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- [3] <https://kfactory.eu/wp-content/uploads/2021/01/image-2.png>
- [4] https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic , p.139
- [5] <https://www.arcossrl.com/automazione-robotica-industriale-cose-e-quali-vantaggi-per-le-industrie/>
- [6] https://www.researchgate.net/publication/304614356_Industry_40_A_review_on_industrial_automation_and_robotic
- [7] <https://tecnologia.libero.it/cosa-sono-i-cobot-14641>
- [8] https://www.researchgate.net/publication/303853919_Human_-_Robot_collaboration_in_industry , p.903
- [9] <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>
- [10] <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/>
- [11] https://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2018/07/UR5e_User_Manual_it_Global.pdf, p 24
- [12] <https://www.universal-robots.com/it/info-su-universal-robots/la-nostra-storia/>
- [13] https://www.alumotion.eu/wp-content/uploads/2018/07/UR5e_User_Manual_it_Global.pdf , p. 9
- [14] <https://www.tecoma.net/ita/prodotti/universal-robots-robot-collaborativi>
- [15] <https://pdf.directindustry.it/pdf-en/universal-robots-france/ur5e-fact-sheet/101499-904790.html>
- [16] <https://forum.universal-robots.com/t/electrical-interfaces/25>
- [17] https://www.universal-robots.com/media/1820967/07_2021_ur_e-series_brochure_it_web.pdf, p10
- [18] http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support/site/90723/99609_3PETPinstallation_guide_it.pdf p16
- [19] <https://www.faulhaber.com/it/informazioni-su-faulhaber/profilo-dellazienda/>
- [20] <https://it.rs-online.com/web/p/controllo-motori/8734754/>
- [21] https://www.faulhaber.com/fileadmin/Import/Media/EN_7000_05019.pdf, pp6-7
- [22] <https://docs.rs-online.com/f38f/0900766b813e67b9.pdf>
- [23] <https://www.faulhaber.com/en/support/faulhaber-motion-manager/>
- [24] https://www.faulhaber.com/OnlineUpdates/Moman6/EN_7000_05054.pdf