



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**STUDIO E REALIZZAZIONE DI UNA CELLA ROBOTIZZATA PER IL
CONTROLLO DIMENSIONALE DI COMPONENTI TORNITI**

**STUDY AND CONSTRUCTION OF A ROBOTIC CELL FOR THE
DIMENSIONAL CONTROL OF TURNED COMPONENTS**

Relatore:

Prof. Ing. Giacomo Palmieri

Tesi di Laurea di:

Samuele Ascani

Correlatore:

Ing. Saverio Zitti

A.A. 2021 / 2022

*Alla mia famiglia,
e a tutti coloro
che hanno scelto
di sostenermi durante
questo percorso.*

INDICE

Abstract	4
Sommario	6
Capitolo 1 Introduzione	8
1.1 Robotica collaborativa	9
1.1.1 Differenze tra robot tradizionali e robot collaborativi.....	12
1.1.2 Principali caratteristiche tecniche dei cobot.....	14
1.1.3 Ispezione e controllo qualità con i cobot.....	15
1.2 Robot utilizzato	18
1.3 Scopo della tesi	21
Capitolo 2 Software utilizzati	22
2.1 Solid Edge.....	22
2.2 RoboDK.....	23
2.3 TM Flow.....	24
2.4 Createc Vision	25
Capitolo 3 Principali componenti della cella automatizzata	26
3.1 Componente da misurare	27
3.2 Sistema di visione.....	30
3.3 Strutture di sostegno	34
3.4 End effector.....	35
3.4.1 Progettazione dita pinza	39
Capitolo 4 Banco di visione assemblato	43
4.1 Struttura banco di visione.....	44
4.2 Struttura supporto sistema di visione orizzontale.....	45
4.3 Struttura supporto sistema di visione verticale.....	46
4.4 Struttura sistema di posaggio pezzo	47

Capitolo 5	Carrello trasporto robot assemblato	50
5.1	Struttura carrello.....	51
5.2	Blister di carico e scarico.....	53
Capitolo 6	Layout finale della cella automatizzata	56
6.1	Fase di Programmazione.....	57
6.2	Programmazione robot	60
6.2.1	Simulazione in RoboDK	61
6.2.2	Programmazione in TMFlow	64
6.3	Programmazione sistema di visione	72
Conclusioni	80
Appendice 1	82
Appendice 2	85
Appendice 3	87
Indice figure e tabelle	89
Bibliografia e sitografia	92
Ringraziamenti	95

ABSTRACT

In the field of industrial automation, collaborative robotics represents the latest technology in the field, created to address the needs of companies and entrepreneurs to automate large varieties of industrial processes, with particularly short set-up and programming times. Whereas previously an automated station required dedicated facilities, feasibility studies and huge investments, today cobots offer the possibility of building automated stations at low cost, given the wide variety of operations they can perform, the possibility of use in close contact with operators and given the significantly shorter set-up times compared to traditional robots.

The following thesis will describe the phases that led to the realization of a robotic island for the dimensional control of turned components, an activity carried out at the company Zannini S.p.A. in Castelfidardo (AN), a leader in the production of turned parts and high-precision mechanical components for the automotive, hydraulic and electromechanical sectors.

The thesis consists of an introductory first part that provides an overview of the potential, characteristics and performance of collaborative robots as well as, to follow, a brief description of the software required for the design and simulation of the movements and tasks of the robot used. The third chapter analyzes the components on which the dimensional measurement will be performed, the set up of the robotic island and its component elements such as the vision system, the elements characterizing the cell structures and the end effector of the robot used. The fourth and fifth chapters, on the other hand, provide a descriptive overview of the designed vision bench and cart, going into detail regarding the cups and blisters where the components to be measured will be placed. Finally, the last chapter contains a description of the final layout of the robotic cell and a rough description of the programs that perform the dimensional measurement of the component and the movements of the robot, followed by some concluding remarks regarding the work done.

SOMMARIO

Nell'ambito dell'automazione industriale, la robotica collaborativa rappresenta l'ultima tecnologia del settore, nata per far fronte alle necessità di aziende e imprenditori di automatizzare grandi varietà di processi industriali, con tempistiche di set up e di programmazione particolarmente ridotte. Se in precedenza una stazione automatizzata richiedeva strutture dedicate, studi di fattibilità ed enormi investimenti, oggi i cobot offrono la possibilità di realizzare stazioni automatizzate a basso costo, vista l'ampia varietà di operazioni che possono svolgere, la possibilità di impiego a stretto contatto con gli operatori e considerati i tempi di installazione nettamente inferiori rispetto ai robot tradizionali.

Nella seguente tesi verranno descritte le fasi che hanno portato alla realizzazione di un'isola robotizzata per il controllo dimensionale dei componenti torniti, attività svolta presso l'azienda Zannini S.p.A. di Castelfidardo (AN), leader nella produzione di pezzi torniti e componenti meccanici di alta precisione destinati al settore automotive, oleodinamico ed elettromeccanico.

La tesi si articola in una prima parte introduttiva che fornisce una panoramica delle potenzialità, caratteristiche e prestazioni dei robot collaborativi nonché, a seguire, una breve descrizione dei software necessari per la progettazione e simulazione dei movimenti e task del robot utilizzato. Nel terzo capitolo si analizzano i componenti sui quali verrà effettuata la misura dimensionale, il set up dell'isola robotizzata e gli elementi che la compongono come il sistema di visione, gli elementi caratterizzanti le strutture della cella e l'end effector del robot utilizzato. Il quarto e il quinto capitolo, invece, forniscono una panoramica descrittiva del banco di visione e del carrello progettati, scendendo nel dettaglio per quanto riguarda i bicchieri e i blister dove verranno appoggiati i componenti da misurare. Nell'ultimo capitolo, infine, si trova la descrizione del layout finale della cella robotizzata e una descrizione approssimativa dei programmi che effettuano la misura dimensionale del componente e i movimenti del robot, seguiti da alcune considerazioni conclusive riguardanti il lavoro svolto.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

Fin dai suoi primi esordi, l'industria ha sempre avvertito la necessità di adottare dei sistemi d'automazione che fossero in grado di migliorare la gestione e la produttività dei prodotti; già dalla rivoluzione industriale, le industrie e gli ingegneri effettuavano sostanziosi investimenti nel campo di questa tecnologia.

Con l'avvento dell'elettronica, l'automazione industriale ha avuto una notevole evoluzione sia in termini di rendimento che di varietà di applicazioni e utilizzo. Rendere un processo automatizzato, che sia questo interessato all'ambito metalmeccanico, a quello medico o alimentare, non è solamente vantaggioso da un punto di vista economico, ma conferisce anche un prestigio e un simbolo di qualità all'impresa che lo ha adottato.

Successivamente, l'introduzione della robotica ha dato la possibilità di incrementare le potenzialità dell'automazione, permettendo di realizzare stazioni sempre più versatili e capaci di far fronte alle necessità degli imprenditori.

Ad oggi, però, i robot tradizionali presentano due principali difetti: in primis, le loro dimensioni e il loro peso costituiscono un handicap in termini di tempistiche di installazione e di messa in esercizio. In secondo luogo, essi necessitano di aree di sicurezza dedicate comprensive di sistemi di allarme e griglie di protezione, il che si traduce in un'ulteriore spesa per l'investitore.

Di fatto, il 90% dei processi automatizzati, che usufruiscono di uno o più robot tradizionali, sono per lo più dedicati all'ambito della produzione di massa o allo svolgimento di compiti impossibili per l'essere umano come, ad esempio, il trasporto e il sollevamento di lotti particolarmente pesanti o l'esecuzione di operazioni in ambienti potenzialmente nocivi per la salute degli operatori.

È quindi comprensibile come l'automatizzazione di un processo può essere economicamente vantaggiosa solo se l'operazione che deve essere svolta interessa

grandi volumi di prodotti o se l'utilizzo del robot è previsto per la realizzazione o per lo svolgimento di operazioni per prodotti di nicchia, permettendo un ammortamento della spesa in tempi medio/brevi.

Tuttavia, se in precedenza vi era il concetto della produzione di massa, oggi il mercato si è spostato verso quella che viene descritta "mass customization", ovvero la strategia di produzione di beni e servizi orientata a soddisfare i bisogni individuali dei clienti e, contemporaneamente, a preservare l'efficienza della produzione di massa, in termini di bassi costi di produzione. Nasce così la necessità di adottare soluzioni automatizzate sempre più versatili e personalizzabili, che siano capaci di far fronte a rimodulazioni e cambiamenti repentini.

La robotica collaborativa, ovvero l'ultima tecnologia introdotta nel mondo dell'automazione, ha offerto una soluzione a questo problema. Data la loro versatilità e, soprattutto, la possibilità di lavorare a stretto contatto con gli operatori, i robot collaborativi non necessitano di aree di sicurezza dedicate e permettono di realizzare stazioni automatizzate poco ingombranti, economiche e con tempi di messa in esercizio nettamente inferiori alla loro controparte tradizionale.

Dopo aver descritto più dettagliatamente le caratteristiche e le potenzialità dei cobot, nella seguente tesi viene esposto come un simile strumento può essere utilizzato in asservimento di un sistema di visione per il controllo qualità di componenti torniti, mettendo in evidenza le peculiarità di questa nuova tecnologia.

1.1 ROBOTICA COLLABORATIVA

I robot collaborativi sono robot antropomorfi con movimenti su 6 o 7 assi, progettati per rispettare specifici criteri di sicurezza, flessibilità e compattezza [1]. Sono studiati per lavorare a stretto contatto con l'operatore anche senza barriere protettive all'intorno.

Di fatto, un cobot è concepito per interagire fisicamente con l'uomo all'interno di uno spazio di lavoro.

Ciò trasmette un contrasto con la maggior parte dei robot industriali adottati fino al 2008, i quali erano progettati per operare in maniera autonoma o con una guida limitata e protetti da barriere.

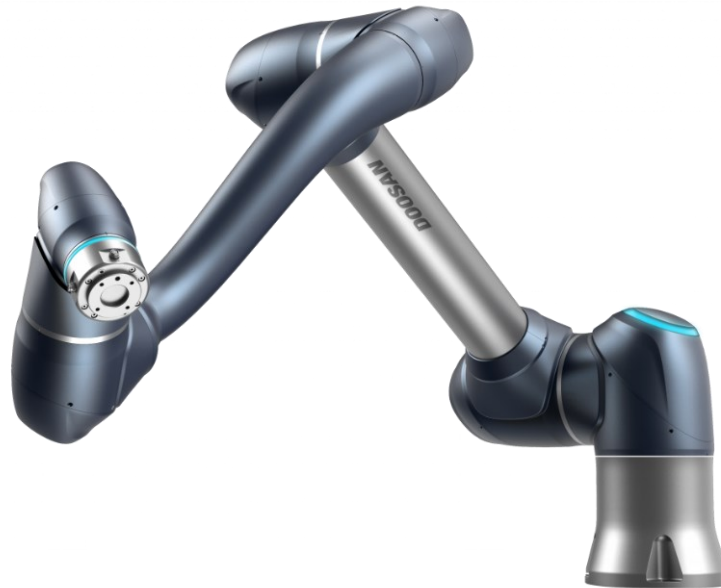


Figura 1-1 Esempio di robot collaborativo [5]

Essi sono caratterizzati dall'aver dimensioni particolarmente ridotte, nonché velocità di funzionamento decisamente minori rispetto agli standard industriali tradizionali.

Sono anche realizzati seguendo una linea esente da spigoli o corpi contundenti comprensivi di sistemi di protezione, in quanto, al fine di permettere un'adeguata collaborazione con l'operatore, non devono essere in grado di recare danni o traumi al soggetto in questione.

Le normative ISO 10218-1 e -2 definiscono 4 diversi metodi per ottenere operazioni collaborative, mentre l'ISO / TS 15066 aggiunge, in termini di Safety & Security, ulteriori linee guida e alcuni requisiti aggiuntivi [4].

1. Arresto monitorato

Un robot tradizionale viene utilizzato all'interno di una recinzione. Una persona può entrare nell'area di lavoro attraverso un'apertura (interruttore della porta, barriera fotoelettrica o soluzione di sicurezza della telecamera che identifica che una persona sta entrando). All'ingresso dell'operatore, il robot viene messo in pausa. Una

funzione di arresto di sicurezza viene utilizzata mentre la persona entra e fa il suo lavoro (ad es. carico / scarico di pezzi). Quando la persona lascia l'area di lavoro, il robot può riprendere il funzionamento automatico. I robot collaborativi, invece, non si arrestano ma semplicemente riducono la loro velocità di funzionamento.

Chiamare questo metodo collaborativo sembra un po' strano, ma gli standard lo definiscono collaborativo perché l'elettricità ai motori dei robot viene mantenuta mentre è presente una persona. La sicurezza dei cobot è tale per cui non sono previste recinzioni e la messa in pausa non deve essere programmata perché avviene in automatico.

2. Guida manuale

La guida manuale fa parte del meccanismo di funzionamento di un robot che, tipicamente, esegue il compito che gli è stato assegnato; un task che non va confuso con la programmazione manuale dei cobot.

Mentre nei robot tradizionali il programma viene compilato ad anteriori dell'installazione del robot stesso, la programmazione di un cobot non prevede alcuna compilazione del codice da parte degli utenti: basta scaricare il software funzionale ai task e impostare, in maniera intuitiva, l'iter dei vari movimenti che eseguirà il cobot (potendoli modificare quando necessario).

3. Monitoraggio della velocità

Questo metodo è simile allo "stop di sicurezza monitorato" ma, invece di mettere in pausa il robot, la procedura riduce la velocità del robot in base alla distanza tra il robot e l'operatore.

Un modo per farlo è utilizzare una telecamera che determina la distanza in modo sicuro. Un altro è invece utilizzare una pellicola sensorizzata integrata nel robot, la quale è in grado di percepire quando una persona gli è vicina così da bloccarsi prima che avvenga il contatto.

Il cobot, essendo dotato di appositi sensori, si muove mantenendo sempre una distanza di sicurezza da cose e persone, arrivando a bloccarsi e a ripartire da solo.

4. Limitazione di potenza e forza

Una caratteristica unica dei cobot è la limitazione della potenza e della forza. I cobot, infatti, sono sensibili al movimento e quindi si fermano prima di mettere a rischio l'operatore. La regolazione della velocità, della forza e della pressione, infatti, sono delle caratteristiche uniche e peculiari dei robot collaborativi.

1.1.1 DIFFERENZE TRA ROBOT TRADIZIONALI E ROBOT COLLABORATIVI

Per semplificare, le principali differenze tra i robot collaborativi e quelli tradizionali possono essere riassunte in termini di:

- flessibilità;
- collaborazione e sicurezza;
- messa in opera;
- costo.

Flessibilità

L'efficienza produttiva di un robot tradizionale si misura su grandi volumi: assicura infatti grande velocità e ripetibilità, su lotti lunghi e senza variazioni di prodotto. Ma l'automazione industriale di un robot tradizionale è rigida. La flessibilità è invece il presupposto concettuale alla base di un robot collaborativo. I cobot sono facili da spostare e da utilizzare in altri punti della catena di produzione di un'azienda. Tra l'altro, a maggior parte di questi bracci può essere montata su qualsiasi superficie, sia essa orizzontale che verticale, in quanto si tratta di strutture molto leggere e che si possono spostare con l'intervento di una sola persona. La facilità di programmazione è l'altro aspetto che rende i cobot facilmente dislocabili su attività di volta in volta diverse [2].

Collaborazione e sicurezza

Gran parte dei robot collaborativi opera senza l'ausilio di barriere di protezione intorno, a differenza dei robot tradizionali che, invece, necessitano di costose recinzioni per separare lo spazio dove operano da quello in cui agiscono le persone.

Nel concreto, un cobot è progettato per lavorare a stretto contatto con l'uomo in totale sicurezza: esso dispone di una serie di "safety native" che permettono, in fase di installazione e programmazione, di pensare direttamente il processo come un'attività suddivisa fra uomo e macchina.

Inoltre, in un cobot è possibile impostare un'ampia gamma di sensori che ne accrescono la sicurezza, come laser scanner e sistemi di visione, i quali registrano la presenza dell'operatore controllando movimenti e tempi di reazione del cobot. Infine, si immobilizzano al minimo contatto grazie a dei sensori tecnologicamente sofisticati, ed appositamente ideati per prevenire qualsiasi pericolo alle persone vicine [2].

Tuttavia, l'utilizzo dei robot in modalità collaborativa pone un vincolo riguardo la loro velocità di esecuzione. Per questioni di sicurezza, infatti, le normative impongono velocità di funzionamento ridotte, impedendo l'uso dei robot in applicazioni che siano contemporaneamente collaborative ed efficienti in termini di tempi ciclo.



Figura 1-2 Collaborazione uomo-macchina [3]

Messa in opera

I cobot rappresentano una soluzione pronta all'uso, in grado di potenziare linee produttive e processi, grazie alla loro velocità di messa in opera. Questa è data dalla somma di diversi fattori.

Da un lato, infatti, i cobot 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. Dall’altro, i cobot sono alimentati con corrente elettrica a 220 [V] di tensione e sono quindi virtualmente integrabili ovunque, anche in ambienti civili [2].

Costo

A differenza di un robot tradizionale, i cobot hanno un costo molto più basso, con un ritorno economico dell’investimento mediamente di sei mesi. Bisogna però precisare che i due sono strumenti profondamente diversi, nati in risposta a due diverse visioni di automazione industriale: mentre un robot tradizionale è in grado di assicurare un ritmo produttivo elevato ad alta ripetibilità, il cobot risponde ad un’esigenza di flessibilità e di frequenti cambiamenti del processo produttivo [2].

1.1.2 PRINCIPALI CARATTERISTICHE TECNICHE DEI COBOT

I robot collaborativi presentano molteplici caratteristiche tecniche relative alle loro capacità e prestazioni.

Di seguito sono riportate quelle più significative per agevolare la scelta del robot, a seconda delle necessità e condizioni lavorative richieste.

- **Carico utile (payload)**: si riferisce alla quantità di massa che il polso del cobot può supportare ed è espresso in chilogrammi. Mentre si potrebbe pensare che il carico utile si applichi solo al peso dei pezzi movimentati dal robot, in realtà, tale valore considera anche il peso di qualsiasi attrezzatura installata alla fine del braccio (EOAT), compresa la staffa di montaggio [6].
- **Portata (reach)**: misura della massima distanza che il robot può raggiungere quando è completamente disteso. In altre parole, definisce i limiti del suo spazio operativo e dipende dalla lunghezza complessiva del robot [7]. Solitamente è espressa in millimetri [mm].

- **Ripetibilità (repeatability)**: facoltà di un braccio robotico di arrivare esattamente allo stesso punto d'inizio dopo vari movimenti degli assi con ripetizione. Ogni volta che il robot ritorna al punto iniziale, la piccola variazione corrisponde all'errore di ripetibilità mediante il quale si classifica la precisione del robot: più è grande la ripetibilità, meno precisa è la macchina. La ripetibilità è inversamente proporzionale alla precisione [8] ed è espressa anch'essa in millimetri [mm].
- **Peso (weight)**: peso totale del robot, espresso in chilogrammi [kg], in assenza di end effector o componentistica aggiuntiva.
- **Certificazione IP**: parametro definito dallo standard internazionale IEC 60529, corrispondente allo standard europeo EN 60529 [9]. Tale parametro viene utilizzato per valutare il grado di protezione o l'efficacia di tenuta degli involucri elettrici contro l'intrusione di oggetti, acqua, polvere o contatti accidentali.
- **Velocità (speed)**: massima velocità dello spostamento nello spazio raggiunta dall'end effector (terminale), solitamente espressa in metri al secondo [m/s].
- **Temperatura di esercizio**: intervallo di temperatura ammissibile dell'ambiente locale in cui opera un dispositivo elettrico o meccanico. Il dispositivo funzionerà efficacemente all'interno di un intervallo di temperatura specificato che varia in base alla funzione del dispositivo e al contesto dell'applicazione [10]. È ovviamente espressa in gradi Celsius [°C].

1.1.3 ISPEZIONE E CONTROLLO QUALITÀ CON I COBOT

I robot collaborativi permettono di supportare gli operatori nelle più delicate operazioni fino a quelle maggiormente logoranti e ripetitive. Essi sono anche in grado di lavorare negli ambienti più difficili e i suoi principali utilizzi sono riportati di seguito [1]:

- prelievo e posizionamento;
- asservimento macchina;
- manipolazione materiale;
- pallettizzazione di precisione;
- assemblaggio industriale;

- controllo qualità;
- finitura superficiale;
- saldatura.

In particolare, l'esecuzione di tutte le operazioni appena elencate, sebbene queste possano essere svolte singolarmente dal robot, presentano particolari vantaggi se svolte in ausilio ad un operatore. Si è infatti constatato che un'applicazione gestita in tandem da un operatore e da un robot collaborativo è l'85% più produttiva di un'applicazione totalmente automatizzata o integralmente manuale, proprio per la capacità del cobot di combinare vantaggiosamente il meglio dell'effort umano e della precisione dell'automazione [1].

Focalizzandosi nell'ambito del controllo qualità, la robotica collaborativa sta iniziando ad occupare un ruolo sempre più preponderante, dato che la necessità di inserire questa fase nella catena produttiva è sempre più sentita.

In questo campo, i compiti maggiormente svolti dai cobot sono:

- asservimento a sistemi di visione per il controllo dimensionale e riconoscimento di difetti;
- applicazione ripetitiva di forze per la verifica della robustezza di un prodotto;
- scanning tridimensionale di componenti tramite sistemi di visione implementati sul polso del robot.

L'azienda Video Systems, ad esempio, ha realizzato una piattaforma, denominata Apicus, che integra robotica collaborativa, visione artificiale e intelligenza artificiale per effettuare controlli qualità sulle linee produttive delle industrie.

A detta del CEO Alessandro Liani << *Il sistema, partendo dal disegno Cad 3D del pezzo, decide come prelevarlo e come manipolarlo davanti alle telecamere per rispettare regole che gli abbiamo dato precedentemente. A questo si abbina l'intelligenza artificiale che effettua il vero e proprio controllo qualità, cercando di replicare il più possibile il giudizio che darebbe un operatore umano. [11] >>*

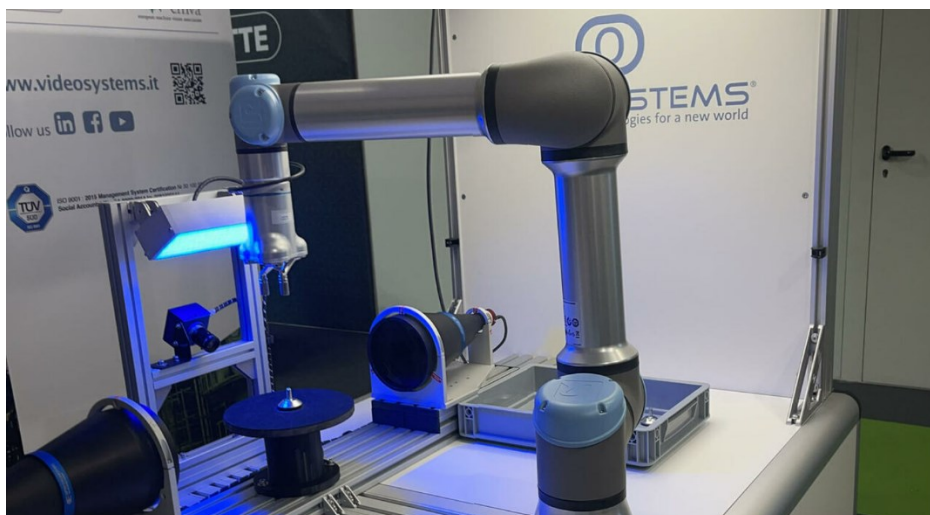


Figura 1-3 Esempio di asservimento a sistemi di visione di Video System [11]

Un ulteriore esempio, proposto dalla compagnia Aluotion, permette invece di mostrare le potenzialità dei robot collaborativi adottati per il controllo qualità mediante scansione tridimensionale. Nello specifico, la soluzione MiniCobot, mostrata nell'immagine seguente, è costituita da un robot collaborativo antropomorfo a sei assi UR equipaggiato con un sistema Comet L3D di Zeiss. Tale sistema è adatto alle misure di oggetti di piccole e medie dimensioni, inseribile in un ambiente di lavoro dove l'operatore può rimanere a contatto con il dispositivo [12].



Figura 1-4 Esempio di scanning 3D di Aluotion [12]

1.2 ROBOT UTILIZZATO

Il robot utilizzato per il progetto in esame è il robot collaborativo OMRON TM5-900, con sistema di visione integrato.

Omron è un'azienda giapponese, attiva nel settore dei componenti per l'automazione industriale, nei prodotti elettromedicali e nei componenti per l'elettronica. L'azienda, dal 2021, è entrata in affari con la Techman Robot, leader delle tecnologie di visione e della robotica collaborativa.



Figura 1-5 Techman Omron TM5-900 [15]

In particolare, la Techman Robot è stata fondata nel 2015 con l'obiettivo di migliorare il mondo del lavoro attraverso molteplici applicazioni tecnologiche. Essa ha ottenuto risultati eccezionali dopo tre anni di ingresso nel mercato, grazie al supporto di un forte gruppo di ricerca e sviluppo della sua società madre Quant Storage Inc. e anche utilizzando le massicce risorse globali di Quanta Group [14].

Tabella 1-1 Specifiche Omron TM5-900 [16]

Specifiche	TM5-900
<i>Payload [kg]</i>	4
<i>Portata [mm]</i>	900
<i>Ripetibilità [mm]</i>	± 0.05
<i>Peso [kg]</i>	22.6
<i>Certificazione IP</i>	IP54
<i>Velocità [mm/s]</i>	1.4
<i>Temperatura di esercizio [°C]</i>	0 ÷ 50
<i>Sistema di visione integrato</i>	Opzionale

Il robot è estremamente versatile e può essere utilizzato per molteplici operazioni. La sua semplicità di installazione è anche dovuta al suo peso contenuto, semplificando e velocizzando le tempistiche di messa in opera e riducendo il time to market, parametro fondamentale nelle industrie che mirano all'innovazione e al paradigma industry 4.0.

La programmazione e manovrabilità del robot sono particolarmente semplici grazie alla presenza di tre tasti presenti sulla scocca del sistema di visione. In particolare, questi sono:

- **Vision button**: se premuto durante la programmazione, permette di aprire un sottoinsieme di programmi realizzabili tramite il sistema di visione integrato quali riconoscimento pattern, riconoscimento geometrie elementari, riconoscimento qr code e tanto altro.
- **Point button**: se premuto durante la programmazione, permette di salvare le coordinate del punto nel quale il robot si trova in quell'esatto momento. Molto utile per stabilire rapidamente waypoint o punti chiave della traiettoria.
- **Free button**: se tenuto premuto durante la programmazione, permette di liberare i giunti e spostare il terminale del robot a proprio piacimento. Ovviamente è possibile scegliere se liberare tutti i giunti o solo alcuni, a discrezione dell'utente.

La telecamera a colori integrata, opzionale al momento dell'acquisto, presenta una risoluzione di 5M pixels [16]. La telecamera, in ausilio al software TMFlow, fornisce all'utente funzioni di programmazione intuitive come il riconoscimento di geometrie, l'allineamento del robot e molteplici altri task.

Si possono identificare tre diversi moduli per l'uso del sistema di visione [14]:

- **Modulo di rilevamento degli oggetti**: supporta la corrispondenza dei modelli basata sulla forma o sull'immagine, l'allineamento della posizione e il rilevamento di oggetti irregolari, per identificarli all'interno del campo visivo.
- **Modulo di miglioramento dell'immagine**: supporta l'estrazione del piano di colore e il miglioramento del contrasto, attenuazione, sogliatura, capovolgimento e morfologia dell'immagine.
- **Modulo di identificazione del codice a barre**: supporta la lettura di codici a barre/QR Code/2D DataMatrix, tramite la classificazione dei colori e la corrispondenza delle stringhe.

Un ulteriore utilizzo del sistema di visione è quello che si occupa del riconoscimento del LANDMARK, ovvero un cartoncino particolare di 50,5 x 50,5 [mm] e 2 [mm] di spessore, al quale può essere associato un sistema di riferimento [17].

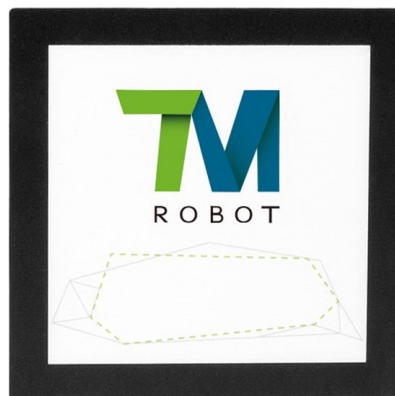


Figura 1-6 LANDMARK [17]

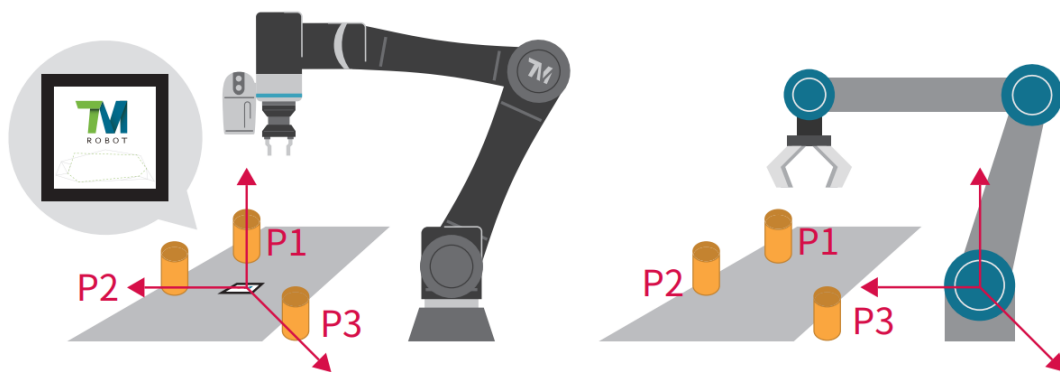
Quando il robot riconosce il LANDMARK ricalibrerà i suoi movimenti in funzione di quel determinato sistema di riferimento (SDR) e delle coordinate dei punti ad esso associati.

Questa funzione unica consente a TM Robot di scansionare il punto di riferimento e aggiornare le coordinate di tutti gli oggetti nell'area di lavoro, senza dover effettuare una nuova regolazione [14].

Questa caratteristica risulta essere particolarmente utile in quanto, se si decidesse di montare il robot su di un carrello, ad esempio, si potrà semplicemente affiancare

quest'ultimo ad una stazione e il robot, una volta riconosciuto il LANDMARK ad essa associato, inizierà a svolgere le operazioni di quella stazione seguendo tutte le coordinate associate a quel sistema di riferimento, a prescindere da come il robot è orientato.

Ciò permette di incrementare notevolmente l'autonomia del robot e la sua velocità di messa in opera, quando questo viene spostato in una nuova stazione operativa.



- Coordinate System with TM Landmark
- Coordinate System on other robots

Figura 1-7 Differenza tra LANDMARK e coordinate classiche [18]

1.3 SCOPO DELLA TESI

Il progetto è quindi finalizzato allo sviluppo e alla progettazione di una cella robotizzata per il controllo dimensionale di componenti metallici torniti. In questo caso, il robot collaborativo funge da asservimento per il sistema di visione e si occupa, principalmente, di eseguire compiti di “pick and place”, riconoscimento e presa pezzi mediante servo azionamento visivo e pallettizzazione.

La parte di controllo dimensionale del pezzo è invece lasciata al sistema di visione realizzato ad hoc per l'applicazione.

CAPITOLO 2

SOFTWARE UTILIZZATI

Per la realizzazione della cella automatizzata è stato necessario l'utilizzo di molteplici software: uno per la realizzazione del prototipo virtuale dell'isola, due per la programmazione e simulazione dei movimenti del robot e uno per effettuare il controllo dimensionale dei componenti.

Per la progettazione del modello virtuale dell'isola, la Zannini S.p.A mette a disposizione una licenza per il software Solid Edge.

Per quanto riguarda la programmazione del robot, la necessità di due software distinti è dovuta alla limitazione del software in dotazione al robot utilizzato. Quest'ultimo, sfortunatamente, non permette la visualizzazione contemporanea del robot e del resto della cella, impedendo la visualizzazione di eventuali punti di collisione tra i due durante la fase di programmazione della traiettoria. Vengono quindi utilizzati i software RoboDK e TM Flow.

Per la programmazione della misura dimensionale si è utilizzato il software sviluppato dall'azienda Createc Vision GmbH [19], con sede a Kißlegg (Germania); questa, inoltre, realizza sistemi di visione personalizzati per la propria clientela.

2.1 SOLID EDGE

Solid Edge è un portafoglio di strumenti software di facile utilizzo con costi accessibili, che consente di gestire tutti gli aspetti del processo di sviluppo prodotto, ovvero progettazione 3D, simulazione, produzione, gestione di dati e altro ancora [20].

Il software è stato sviluppato da Siemens PLM Software ed è attualmente uno dei software maggiormente utilizzati sia nelle industrie che in ambito accademico.

Nel caso in esame, questo software è stato utilizzato per progettare e assemblare virtualmente ogni singolo componente della cella per poi, a modello finito, esportare il tutto in un formato leggibile dagli altri software utilizzati.

2.2 ROBODK

L'assenza di un ambiente virtuale dove poter vedere l'ingombro del robot, nonché le effettive dimensioni della cella alla quale verrà associato, genera l'impossibilità di programmare adeguatamente la traiettoria che esso dovrà percorrere, rendendo il progettista incapace di individuare possibili punti di collisione o di singolarità del cobot.

Il software RoboDK, tuttavia, offre la possibilità di importare il file CAD, in formato "step", della cella precedentemente realizzata in Solid Edge, permettendo quindi di avere un'idea degli ingombri della stazione di misura e fornendo all'utente un'idea generale dei principali punti dello spazio che il robot dovrà percorrere.

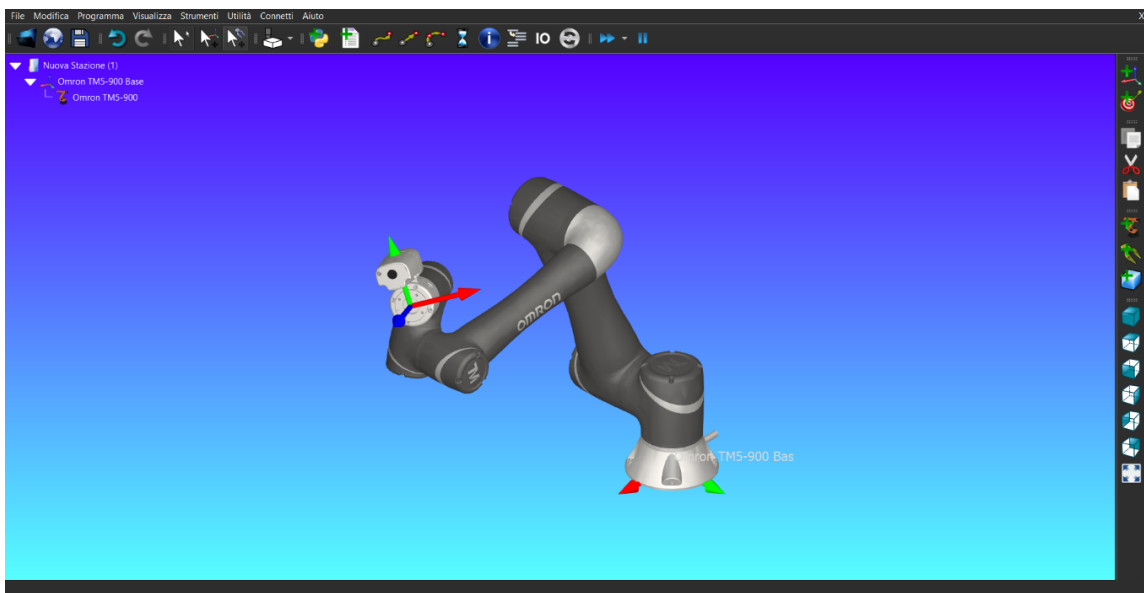


Figura 2-1 Interfaccia grafica RoboDK

Più dettagliatamente, RoboDK è un simulatore potente ed economico per la programmazione di robot industriali [13]. I suoi strumenti di simulazione e programmazione offline, infatti, consentono di programmare i robot al di fuori

dell'ambiente di produzione, eliminando i tempi di fermo causati dalla programmazione in officina.

È particolarmente semplice da utilizzare e, di fatto, non sono richieste grandi competenze di programmazione, vista anche l'intuitiva interfaccia grafica che il software mette a disposizione. È inoltre uno strumento estremamente versatile ed adatto a qualsiasi robot in commercio, data la vasta libreria di oltre 500 bracci robotici tra 50 produttori di robot.

2.3 TM FLOW

TM Flow è un software di editing di programmi robot basato sulla sequenza di operazioni di tipo flow, o flusso, che consente agli utenti di progettare un qualsiasi programma di un robot, come se fosse un flusso di lavoro [14].

È caratterizzato da un metodo di programmazione estremamente semplice, del tipo clicca e trascina, che non necessita nessun prerequisito o conoscenze di linguaggi di programmazione.



Figura 2-2 Interfaccia software TM Flow [14]

Il software, nella sezione “Editing”, mette a disposizione numerosi task che possono semplicemente essere selezionati e trascinati nel foglio di lavoro, permettendo di concatenare ogni task con delle frecce e scegliendo quindi la sequenza delle operazioni che il robot dovrà effettuare.

La sezione “Tm Component Editor” offre la possibilità di raggruppare e impacchettare diversi task in un unico gruppo, semplificando la visualizzazione del programma e rendendolo particolarmente più organizzato e intuitivo.

L’ampia versatilità di utilizzo del robot è frutto delle numerose operazioni che possono essere selezionate dal menu principale. In particolare, i principali comandi che si possono trovare sono: *point manager, move, vision, set, pause, wait, if, voice, pallet, go to, subflow, path* e tanti altri.

2.4 CREATEC VISION

Il software si presenta come un normale programma per la misura dimensionale trovabile in commercio. La sua principale caratteristica è la moltitudine di misure che possono essere effettuate. A seconda delle telecamere e ottiche utilizzate, infatti, il software mette a disposizione un’enorme varietà di task per la misura dimensionale.

Si possono individuare punti e linee in funzione della transizione chiaro-scuro dell’immagine e, di conseguenza, calcolare la distanza tra tali elementi. Ovviamente, la precisione e risoluzione della misura è fortemente dipendente dalla risoluzione delle telecamere utilizzate. Inoltre, mediante comandi preimpostati, si possono misurare diametri, filetti, smussi, conicità e verificare la presenza di trucioli nelle intercapedini dei componenti.

Successivamente, a programma terminato, il software permette di visualizzare i risultati delle misurazioni in real time, sia tramite la visualizzazione delle immagini acquisite che tramite il valore esatto della misura e della corrispettiva tolleranza.

Tuttavia, il software non è di facile programmazione rispetto alla concorrenza e richiede una minima preparazione e tempo. L’interfaccia grafica, di fatto, non è particolarmente intuitiva e la gestione dei registri associati alle telecamere richiede un’attenzione non indifferente.

CAPITOLO 3

PRINCIPALI COMPONENTI DELLA CELLA AUTOMATIZZATA

Il progetto d'esame prevede la realizzazione di una cella automatizzata per il controllo dimensionale di componenti torniti. Al fine di rendere questa cella utilizzabile in due modalità di funzionamento, quali manuale ed automatica, saranno previste due macrostrutture: banco di visione e carrello per il trasporto del robot.

Quando la stazione sarà impostata in modalità manuale, il carrello sarà assente e sarà l'operatore ad eseguire tutte le operazioni. Di fatto, egli dovrà prendere il pezzo da una scatola posizionata in una zona a lui ritenuta più opportuna e dovrà posizionarlo sul bicchiere di posaggio, montato su un supporto movimentato.

Una volta posato il pezzo, l'operatore procederà a premere il tasto di avvio del programma di misura e, a fine misurazione, dovrà recuperare il pezzo e posizionarlo nelle zone di scarico in base all'esito della misurazione.

Quando la stazione sarà invece impostata sulla modalità automatica, il carrello del robot verrà agganciato al banco di visione e procederà all'esecuzione delle stesse operazioni effettuate dall'utente in modalità manuale evitando, però, la pressione del tasto di avvio, che sarà invece sostituita da una sequenza di avvio automatico previsto dal programma della cella.

In entrambe le modalità, l'esecuzione delle operazioni è permessa dall'utilizzo di un PLC, opportunamente cablato e programmato da operatori professionisti.

La scelta dell'utilizzo delle due modalità è completamente a discrezione delle scelte dell'ufficio tecnico. Se si richiede l'utilizzo del robot in altre stazioni interne all'azienda, l'isola può comunque essere utilizzata dagli operatori.

Se, invece, gli operatori non sono disponibili, l'utilizzo del robot conferisce un'assenza di tempi morti e un utilizzo dell'isola praticamente ininterrotto, costituendo anche un ritorno economico non indifferente.

Il banco di visione è composto da alcuni componenti principali:

- struttura banco di visione;
- sistema di movimentazione del supporto pezzo;
- sistema di visione.

Il carrello dove verrà installato il robot sarà invece composto da:

- struttura carrello;
- zona di carico pezzi;
- zona di scarico pezzi.

Di seguito si fornisce una descrizione dei componenti da misurare e degli elementi che costituiscono la cella automatizzata.

3.1 COMPONENTE DA MISURARE

Nell'industria moderna, la produzione di componenti destinati a settori in cui è richiesta una precisione particolarmente elevata, anche nell'ordine dei millesimi di millimetro, comporta delle richieste sempre più stringenti sulle caratteristiche dei pezzi, come la finitura superficiale e le tolleranze dimensionali. In una lavorazione meccanica di precisione come la tornitura, la scelta di tutti i parametri di lavorazione è fondamentale e, per ottenere dei componenti di ottima qualità, bisogna far fronte anche a spese non indifferenti in termini di macchine e utensili utilizzati, nonché al materiale e successivi trattamenti.

Si capisce bene, quindi, quanto sia dispendioso e difficoltoso garantire un'elevata accuratezza e ripetibilità nella produzione di componenti torniti e di come, conseguentemente, sia necessario rendere il processo di selezione e controllo qualità il più preciso possibile, cercando di ridurre al minimo i pezzi di scarto.

I pezzi sui quali deve essere effettuato il controllo dimensionale e per i quali l'isola è stata concepita, sono dei componenti di forma cilindrica in ottone destinato al mondo dell'automotive. Il codice articolo dei prodotti è distinto in "PF5863-B7" per il componente più piccolo e in "PF5962-B6" per il componente più grande.

I pezzi presentano sostanzialmente le stesse caratteristiche, ovvero la presenza di diversi diametri interni, esterni, fori e fresature laterali. L'unica differenza tra i due sono le loro dimensioni.

Di seguito sono riportati il rendering dei componenti e il corrispondente disegno tecnico.



Figura 3-1 Rendering dello spinotto grande



Figura 3-2 Rendering dello spinotto piccolo

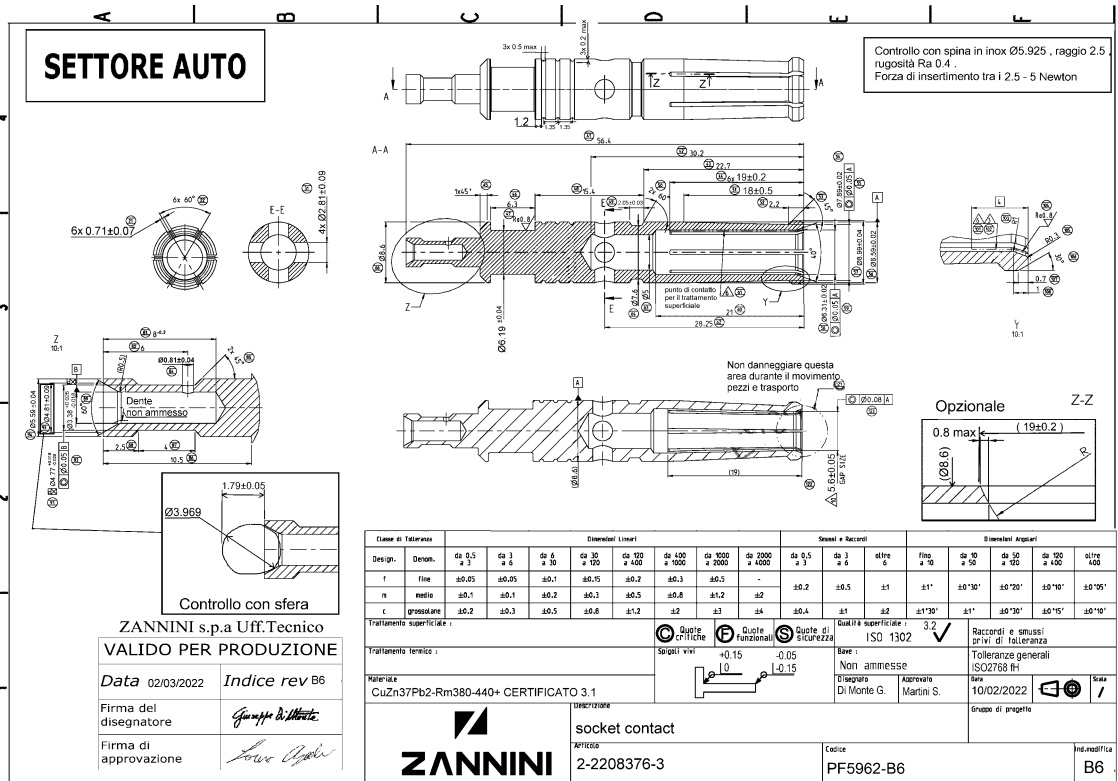


Figura 3-3 Disegno tecnico spinotto grande

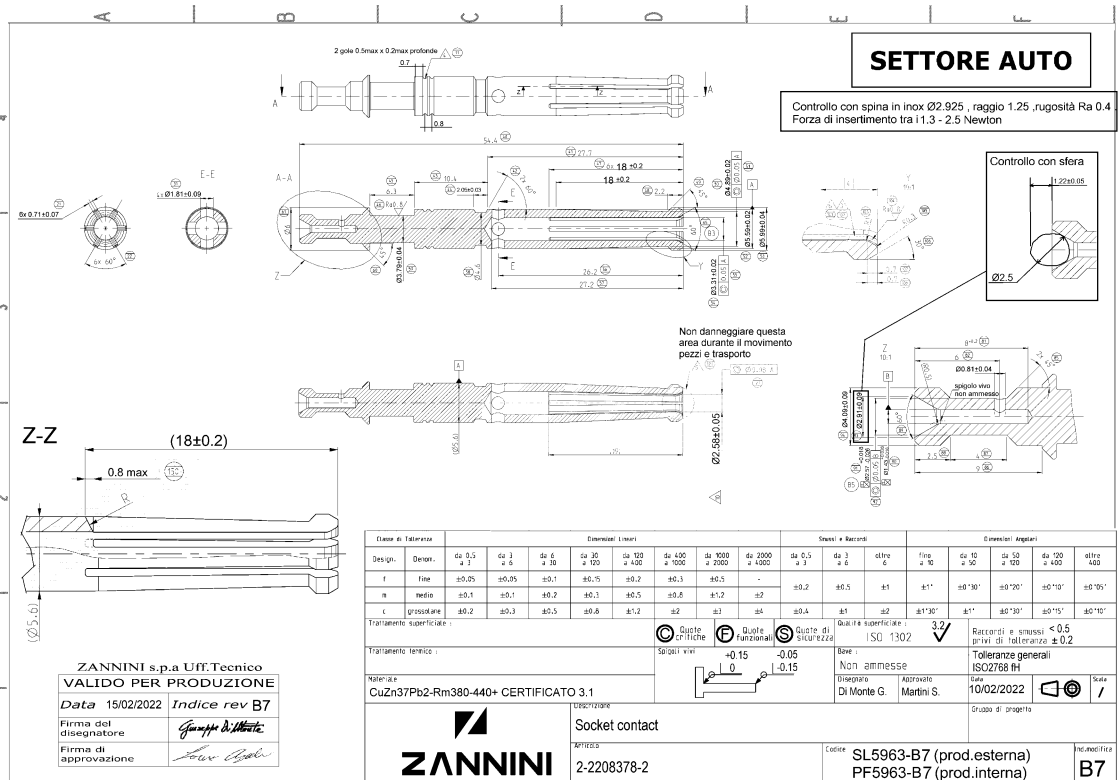


Figura 3-4 Disegno tecnico spinotto piccolo

3.2 SISTEMA DI VISIONE

Le caratteristiche dei componenti che devono essere controllate riguardano sostanzialmente tutte le lunghezze presenti e i molteplici diametri esterni, compreso il diametro interno alle fresature. Su quest'ultime è inoltre richiesto il controllo dell'assenza di truciolo al loro interno e che nessuna di queste risulti danneggiata.

Per poter effettuare tali controlli dimensionali, il sistema di visione appositamente realizzato è composto da due sistemi distinti: uno verticale ed uno orizzontale.

Rispettivamente, il sistema di visione verticale è composto da:

- camera Opto Engineering COE-050-M-USB-050-IR-C;
- obiettivo telecentrico Sill Optics S5LPJ3208;
- illuminatore anulare cvRL_43.15.20.

Il sistema di visione orizzontale è invece composto da:

- camera Opto Engineering COE-050-M-USB-050-IR-C;
- obiettivo telecentrico Opto Engineering TC23064;
- illuminatore telecentrico cvTZ_D75.

La camera con sensore CMOS utilizzata, il modello COE-050-M-USB-050-IR-C, è una telecamera ampiamente utilizzata in ambito industriale, la quale presenta una risoluzione di 2448 x 2048 [pixels], formato del sensore da 2/3" e delle dimensioni generali di 29 x 29 x 42 [mm] [21].



Figura 3-5 COE-050-M-USB-050-IR-C

Nel sistema di visione orizzontale, l'obiettivo telecentrico utilizzato è il TC23064 della Opto Engineering, con una distanza di lavoro di 181.8 [mm], un'area di inquadratura di 64.59 x 51.38 [mm x mm], se associato ad una fotocamera con sensore di 2/3" e delle dimensioni di 294 x 100 [mm] [22], con diametro della lente uscente di 100 [mm].



Figura 3-6 Obiettivo telecentrico sistema di visione orizzontale TC23064 [23]

Nel sistema di visione verticale, l'obiettivo telecentrico utilizzato è il S5LPJ3208 della Sill Optics, con una distanza di lavoro di 119.6 [mm], un'area di inquadratura di 11.4 x 8.5 [mm x mm], se associato ad una fotocamera con sensore di 2/3" e delle dimensioni di 194 x 60 [mm] [24], con diametro della lente uscente di 60 [mm].



Figura 3-7 Obiettivo telecentrico sistema di visione verticale S5LPJ3208 [25]

Entrambi i sistemi di visione sono collegati ad una console per l'acquisizione e rielaborazione delle immagini, le quali saranno consecutivamente utilizzate per la misura dimensionale tramite il software dedicato.

La necessità di utilizzare ottiche telecentriche è dovuta alla loro incapacità di distorcere l'immagine acquisita, evitando misure dimensionali errate, causate dalle classiche aberrazioni sferiche, assiali ed extra assiali tipiche delle ottiche classiche.

Ciò è dovuto alla caratteristica peculiare degli obiettivi telecentrici, i quali permettono di eliminare l'errore di parallasse degli obiettivi standard, avendo un campo visivo costante e non angolare. Conseguentemente, una lente telecentrica avrà sempre lo stesso campo visivo, a prescindere della distanza a cui viene posizionato il componente da misurare [26].

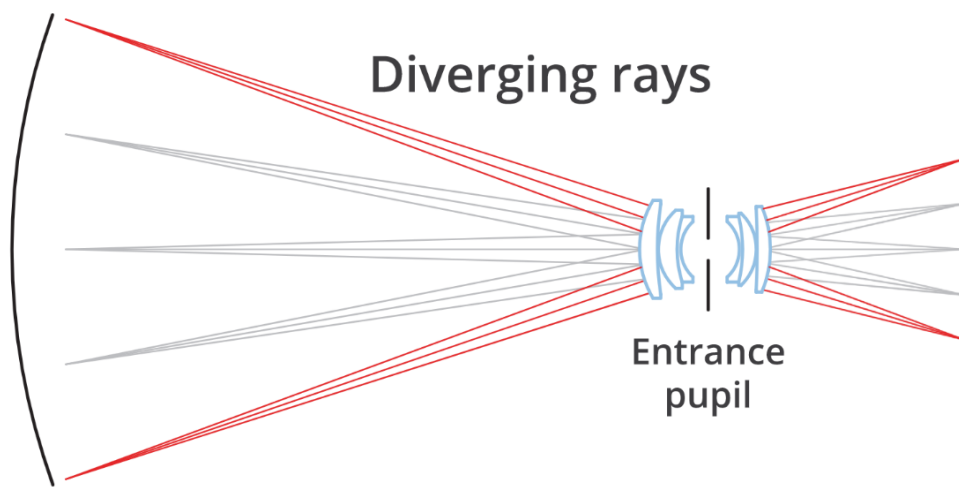


Figura 3-8 Campo visivo lente standard [27]

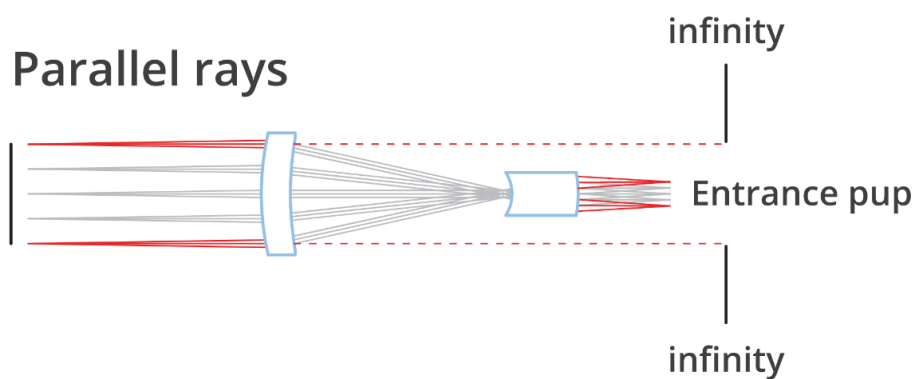


Figura 3-9 Campo visivo lente telecentrica [27]

Tuttavia, visto che il loro campo visivo è limitato dal diametro dell'ottica anteriore, maggiore è il campo visivo richiesto, dipendente dalle dimensioni del componente, maggiore saranno le dimensioni e il costo dell'ottica telecentrica.

Inoltre, dovendo effettuare una misurazione di dimensioni prevalentemente perimetrali, anche l'illuminazione gioca un ruolo importante. Associata all'ottica telecentrica si trova infatti l'illuminatore telecentrico "cvTZ_D75", anch'esso capace di indirizzare i raggi di luce, generati da un led, mediante una sequenza di lenti, con diametro di 75 [mm] e distanza di lavoro di 182 [mm]. Se i raggi di luce fossero divergenti, il componente si troverebbe un alone attorno al suo perimetro, impendendone la misura dimensionale. Gli illuminatori, come gli obiettivi telecentrici, presentano dimensioni e costi sostenuti dovuti dall'ampio campo visivo dipendente dalle dimensioni del componente.

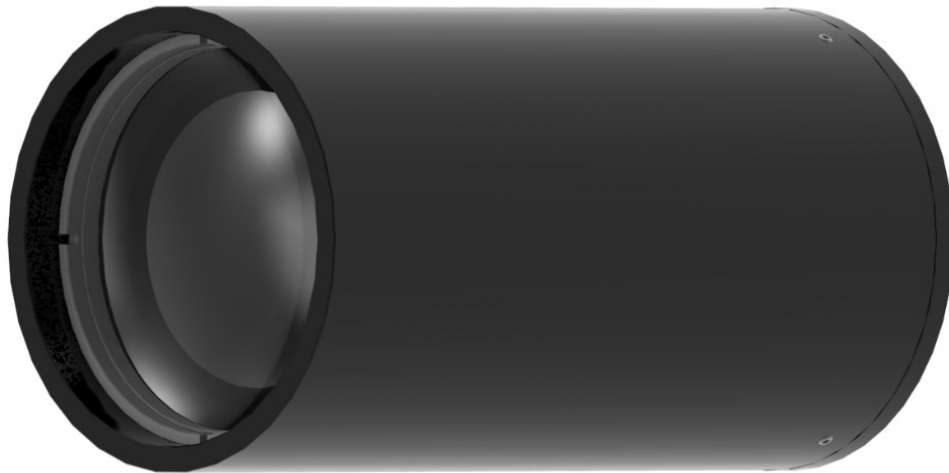


Figura 3-10 Rendering illuminatore telecentrico

La misurazione del diametro interno è invece permessa dall'utilizzo dall'illuminatore anulare "cvRL_43.15.20", capace di fornire un'illuminazione radente e diretta verso il centro del pezzo, evidenziando chiaramente i bordi corrispondenti al diametro desiderato. La sua distanza di lavoro è di 3 [mm].

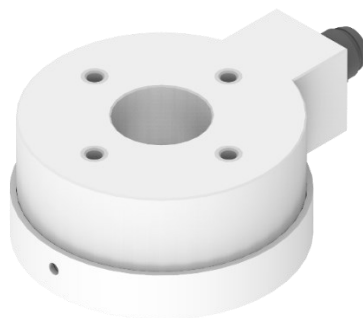


Figura 3-11 Rendering illuminatore anulare

3.3 STRUTTURE DI SOSTEGNO

Sia il banco di visione che il carrello per il trasporto del robot contengono al loro interno una struttura portante, la quale è stata realizzata utilizzando dei profili in alluminio della Item24. L'azienda, attiva sul piano internazionale con sede a Solingen, Germania, dal 1976 sviluppa, con spirito pionieristico, sistemi di componenti industriali [28].

La maggior parte dei profili utilizzati sono anodizzati e sono rappresentati da una sezione quadrata con dimensioni massime di 40 x 40 [mm], ma sono stati utilizzati anche profilati di 80 x 40 [mm] o di 80 x 80 [mm].

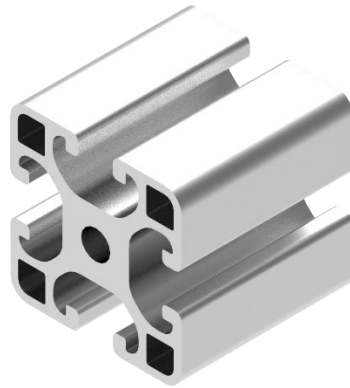


Figura 3-12 Item24 - Sezione Profilo 8 40x40

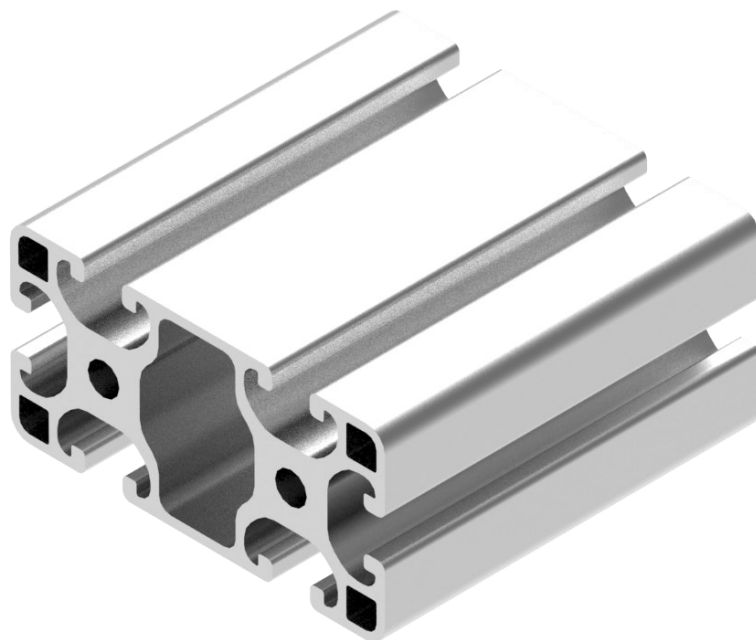


Figura 3-13 Item24 - Sezione Profilo 8 80x40

Questi profili hanno la caratteristica di essere particolarmente resistenti e relativamente leggeri, permettendo la costruzione di qualsiasi struttura in maniera rapida ed accurata, senza richiedere una successiva lavorazione delle superfici.

Ulteriori accessori utilizzati per il fissaggio e la realizzazione delle strutture sono:

- **Tasselli scorrevoli**: elementi di fissaggio che si inseriscono nelle scanalature dei profili appositamente realizzati.
- **Connettori angolari**: elementi di fissaggio esterni che permettono il collegamento di profili disposti perpendicolarmente tra loro.
- **Piastre di trasporto**: elementi di fissaggio di piedi di regolazione o ruote.
- **Piedi di livellamento**: elementi per incrementare la stabilità delle strutture e per regolare la loro altezza da terra.
- **Ruote**: elementi per sostenere le strutture e renderle capaci di spostamento con sforzi ridotti.
- **Lamiere**: elementi in acciaio di spessore 2 - 4 [mm] per la protezione sia degli elementi interni alle strutture quali cablaggi, motori e console, che per la sicurezza dell'operatore.

3.4 END EFFECTOR

Affinché un robot sia collaborativo è necessario che anche l'end effector associato sia collaborativo. Di fatto, montare una pinza o un altro elemento che possano recare danno all'utente durante l'esercizio come, ad esempio, pinze con rilievi appuntiti o contundenti, richiederà la presenza di una gabbia protettiva per l'utilizzo del robot, nonostante questo sia stato sviluppato come collaborativo.

È dunque doveroso scegliere un end effector, per la presa dei componenti, che abbia la certificazione ISO/TS15066:2016 [29].

La pinza scelta è la Schunk Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [30], sviluppata per essere montata esclusivamente sul cobot utilizzato. Le sue caratteristiche sono riportate nella tabella 3-1.

La pinza è elettrica e si integra facilmente nel sistema operativo del cobot grazie alla sua rapida e chiara installazione. L'utilizzo delle pinze elettriche, anziché di quelle pneumatiche, è preferibile vista la loro elevata ripetibilità nonché possibilità di applicazione di forze maggiori con poco ingombro.



Figura 3-14 Schunk Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [30]

In realtà, una pinza collaborativa non è altro che una classica pinza industriale la quale è stata però coperta da una struttura di plastica ricurva, particolarmente adatta a operazioni eseguite a stretto contatto con l'utente.

Inoltre, la sua struttura in gomma e priva di spigoli ne favorisce la presa, migliorando l'agilità con la quale è possibile spostare manualmente il terminale del robot.



Figura 3-15 Sezione Pinza Schunck Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [30]

Tabella 3-1 Caratteristiche Pinza Schunck Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [31]

Description		Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK
ID		1375931
General operating data		
Compatible robot		TM 5/12/14
Robot flange		Standard flange
LED strip light		integrated
Displayable colors		green, yellow, red
Integrated sensors		yes, inductive in two directions
Dimensions X x Y x Z	[mm]	93.8 x 90.2 x 123
Mechanical operating data		
Stroke per jaw	[mm]	6
Min./max. gripping force	[N]	35/140
Min./max. force per jaw	[N]	17.5/70
Recommended workpiece weight	[kg]	0.7

Max. permissible finger length	[mm]	50
Max. permissible mass per finger	[kg]	0.08
Repeat accuracy	[mm]	0.02
Closing/opening time	[s]	0.2/0.2
Weight	[kg]	0.86
Min./max. ambient temperature	[°C]	5/55
IP protection class		30
Cable connector/cable end		open wire strands
Cable length	[mm]	4000
Electrical operating data		
Nominal voltage	[V DC]	24
Nominal current	[A]	0.2
Max. current	[A]	2
Controller electronics		integrated
Communication interface		digital I/O
Number of digital I/O		4/2

Il montaggio della pinza sul robot è garantito dall'apposita flangia che, nel caso in esame, si tratta della ISO 9409-1-50-4-M6.

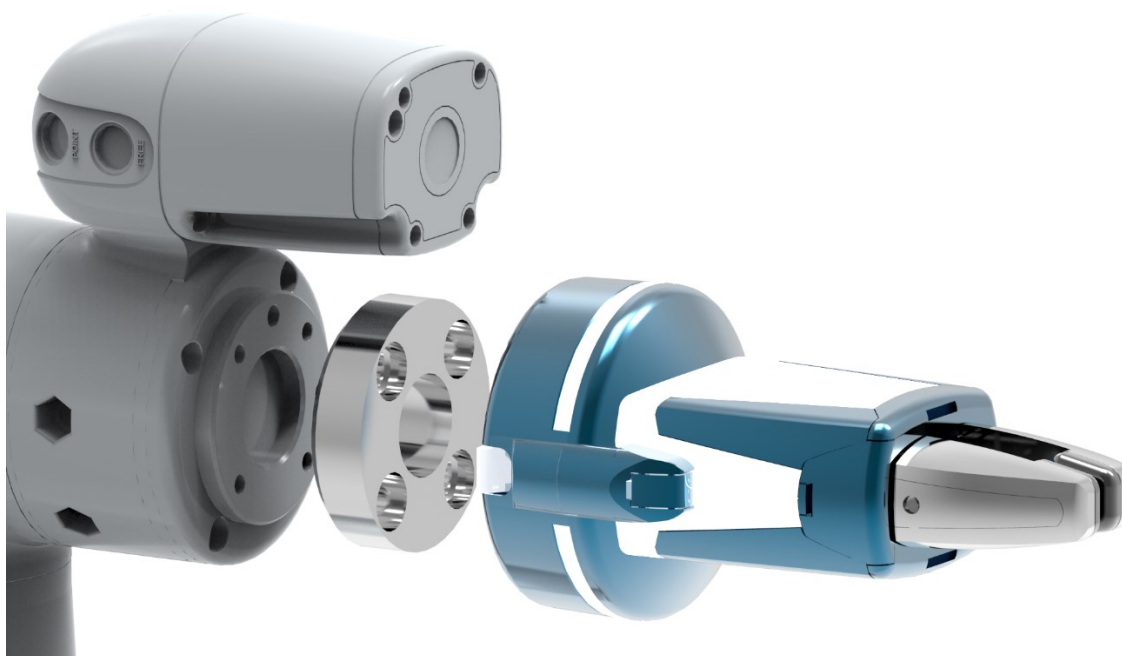


Figura 3-16 Schema di montaggio della pinza

Per il montaggio, occorre fissare la piastra adattatrice in dotazione alla parte terminale del cobot usando il materiale di fissaggio fornito. L'installazione avviene con il serraggio di quattro viti e una spina rettificata per garantire il corretto centraggio della pinza.

3.4.1 PROGETTAZIONE DITA PINZA

Insieme alla pinza selezionata, l'azienda Schunk mette in dotazione anche delle dita particolari, ovvero le AUB Co-act EGP 40/12, anch'esse con certificazione ISO/TS15066:2016 per preservare la collaboratività dell'end effector.

Tuttavia, le dita proposte risultano particolarmente ingombranti per l'applicazione, vista la necessità di prendere i pezzi su una superficie che è stata opportunamente realizzata per far fronte a problematiche di logistica e velocizzare la messa in opera della stazione.



Figura 3-17 Pianale per il posaggio dei pezzi

Come visibile dall'immagine appena mostrata, la distanza tra i pezzi è determinata da un passo di circa 11,5 [mm] a causa delle dimensioni del blister di spedizione dai quali vengono estratti i pezzi.

Date le dimensioni delle dita in dotazione, è facilmente osservabile come l'ingombro delle dita sia tale da impedire la presa dei pezzi in maniera ottimale.

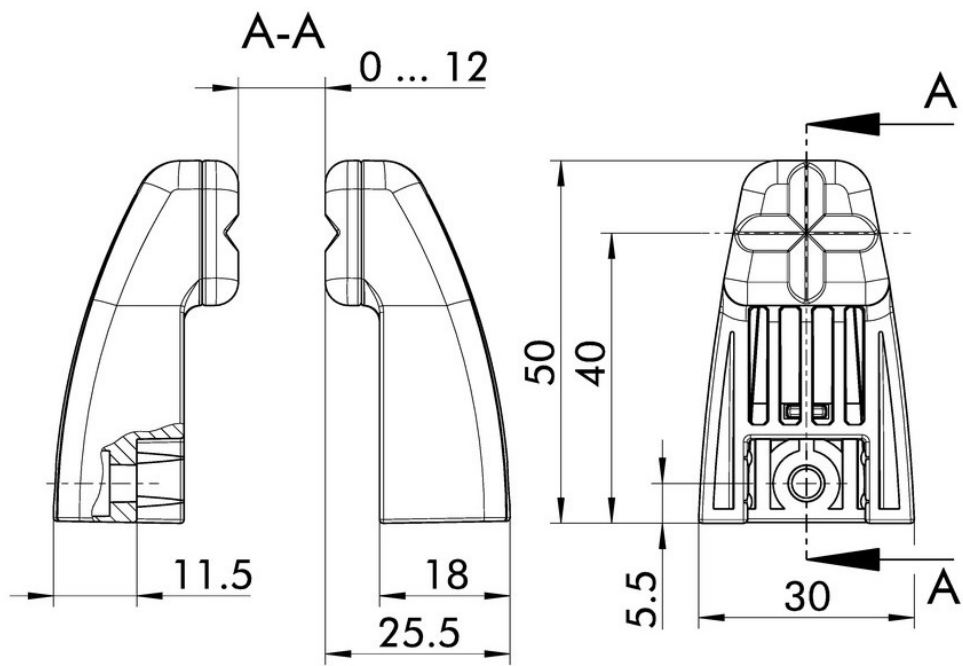


Figura 3-18 Disegno tecnico dita AUB Co-act EGP 40/12 [32]



Figura 3-19 Rendering presa pezzo con pinze in dotazione



Figura 3-20 Rendering dita pinze progettate in sede

È stato perciò necessario progettare delle dita apposite, visibili nell'immagine precedente, che garantiscono una solida presa di entrambe le tipologie di pezzi d'esame, senza incappare in problematiche di ingombri, come visibile nell'immagine sottostante.



Figura 3-21 Rendering presa pezzo con dita progettate in sede

Le dita sono state progettate prevedendo una nervatura laterale, capace sia di fornire una maggiore resistenza strutturale delle dita, che di evitare ipotetici disallineamenti durante la presa dei componenti. Inoltre, tutta la parte esterna, potenzialmente pericolosa per l'operatore, è stata opportunatamente progettata presentando raccordi e smussi di dimensioni sostenute, permettendo di mantenere la collaboratività della pinza utilizzata.

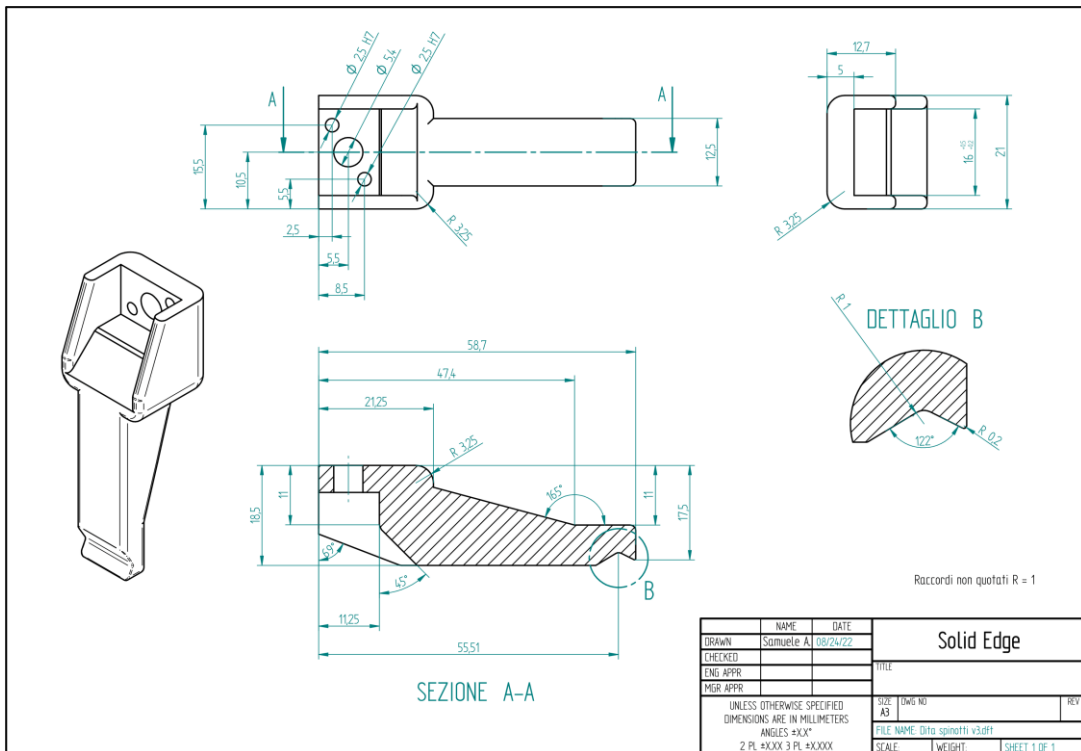


Figura 3-22 Disegno tecnico dita progettate in sede

CAPITOLO 4

BANCO DI VISIONE ASSEMBLATO

Il banco di visione presenta un pianale in alluminio sul quale sono stati opportunamente previsti fori, asole e filettature sia per l'installazione di ogni singolo componente del sistema di visione che per l'HMI.

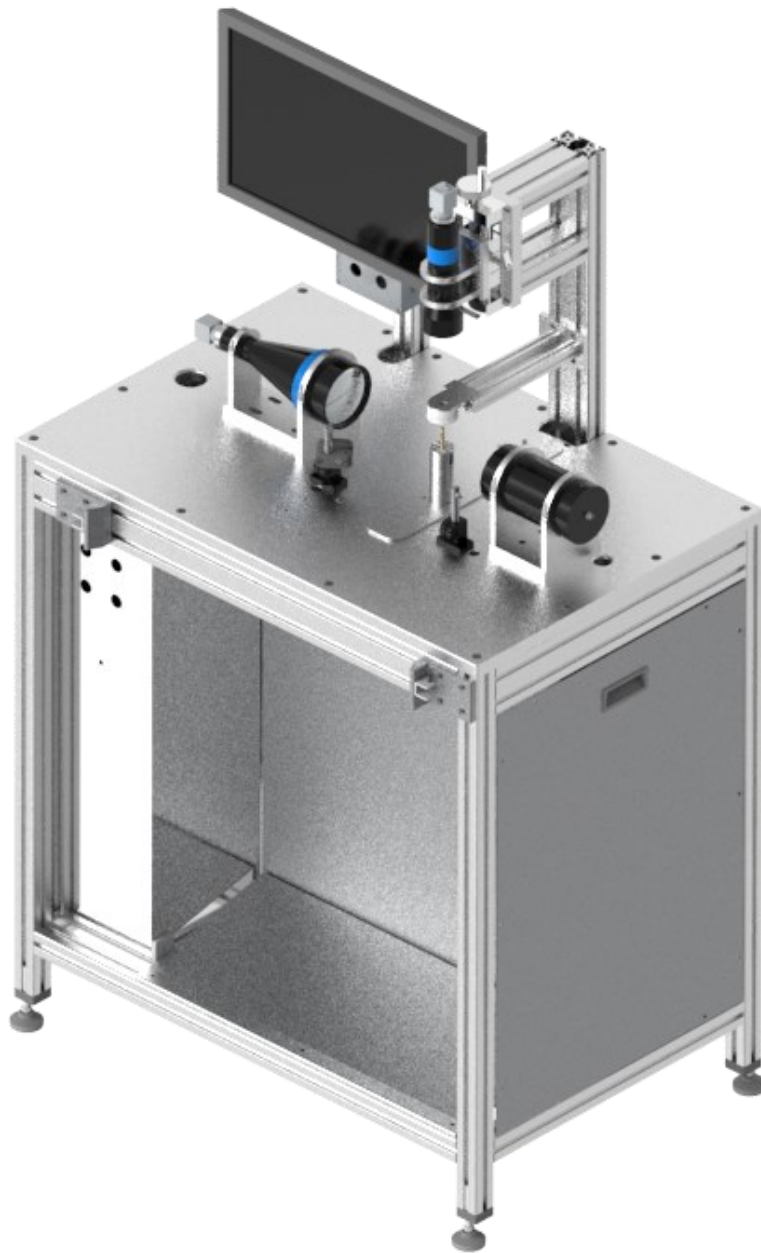


Figura 4-1 Rendering banco di visione

In generale, il banco di visione è composto da:

- struttura banco di visione;
- struttura supporto sistema di visione orizzontale;
- struttura supporto sistema di visione verticale;
- struttura sistema di posaggio pezzo;
- quadro elettrico;
- fibre ottiche;
- human machine interface (HMI).

4.1 STRUTTURA BANCO DI VISIONE

La struttura portante del banco di misurazione è composta da una combinazione di profili in alluminio della Item24 di 40 x 40 [mm] e di 80 x 40 [mm].

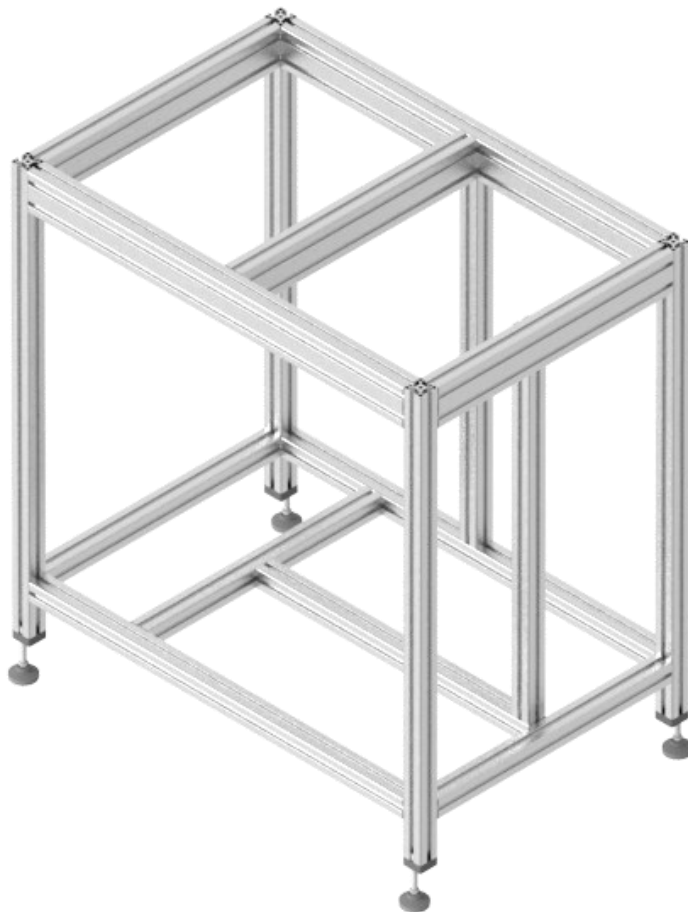


Figura 4-2 Rendering struttura banco di visione

È necessario che i profili di sezione maggiore siano posizionati nella parte superiore della struttura, in quanto soggetti a maggior sforzo tensionale, data la presenza della piastra in alluminio e di tutti gli elementi del sistema di visione, nonché tutti gli altri elementi necessari al corretto funzionamento della misurazione, quali fibre ottiche, Human Machine Interface (HMI) e strutture di supporto delle ottiche.

A fronte di una miglior ottimizzazione degli spazi, la struttura presenta una luce molto ampia sul lato sinistro che permette l'inserimento del quadro elettrico, necessario per la realizzazione di tutti i cablaggi e i sistemi di alimentazione dei componenti del banco.

Per limitare lo spreco di materiale e conseguente spesa, la struttura è stata realizzata tenendo conto di un sistema di ottimizzazione dei profili.

4.2 STRUTTURA SUPPORTO SISTEMA DI VISIONE ORIZZONTALE

La misura delle dimensioni esterne del componente è possibile attraverso l'installazione dell'ottica telecentrica, e corrispondente illuminatore, su dei supporti opportunamente progettati. Quest'ultimi sono entrambi caratterizzati da una base di appoggio, fissata al pianale tramite apposita bullonatura, e da due archetti di tenuta.

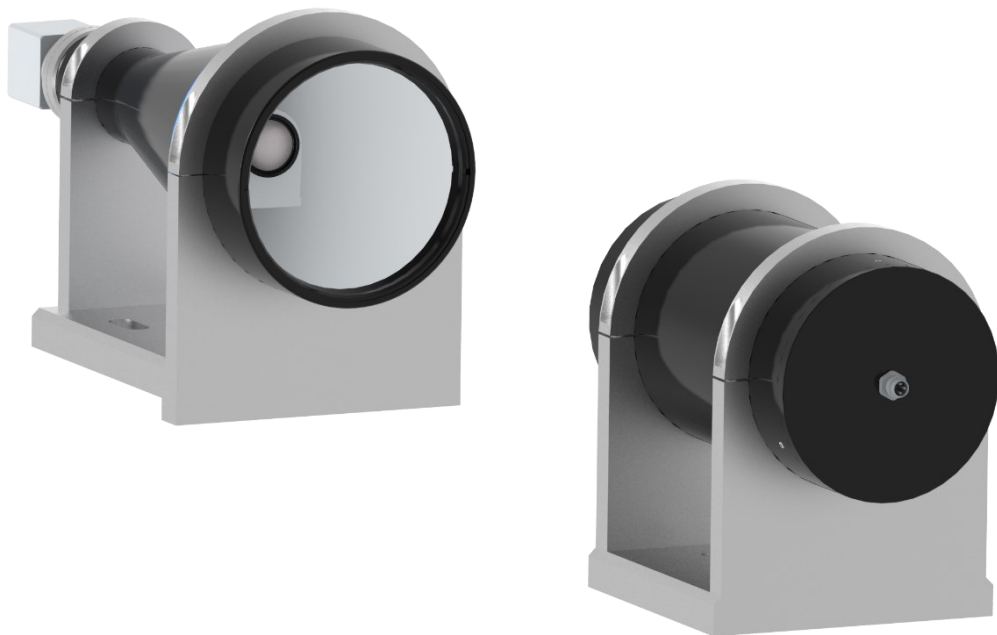


Figura 4-3 Rendering struttura supporto sistema di visione orizzontale

L'installazione dei supporti su di un pianale è reso possibile tramite dei fori e l'allineamento tra ottica e illuminatore è garantito dalla presenza di chiavette e spine rettificate, sia sulla base del supporto dell'ottica che sulla base dell'illuminatore. È inoltre opportuno prevedere delle asole, sulla base di supporto dell'ottica, per permetterne una sua corretta installazione alla distanza di funzionamento predefinita.

Nel caso in esame, l'ottica TC23064 della Opto Engineering necessita di una distanza di lavoro pari a 181.8 ± 10 [mm].

Sia gli archetti che le basi dei supporti sono stati realizzati in alluminio tramite fresatura.

4.3 STRUTTURA SUPPORTO SISTEMA DI VISIONE VERTICALE

Il sistema di visione verticale è composto da una struttura di profili della Item24 in alluminio di 80 x 40 [mm] per il sostenimento dell'ottica telecentrica e dell'illuminatore.

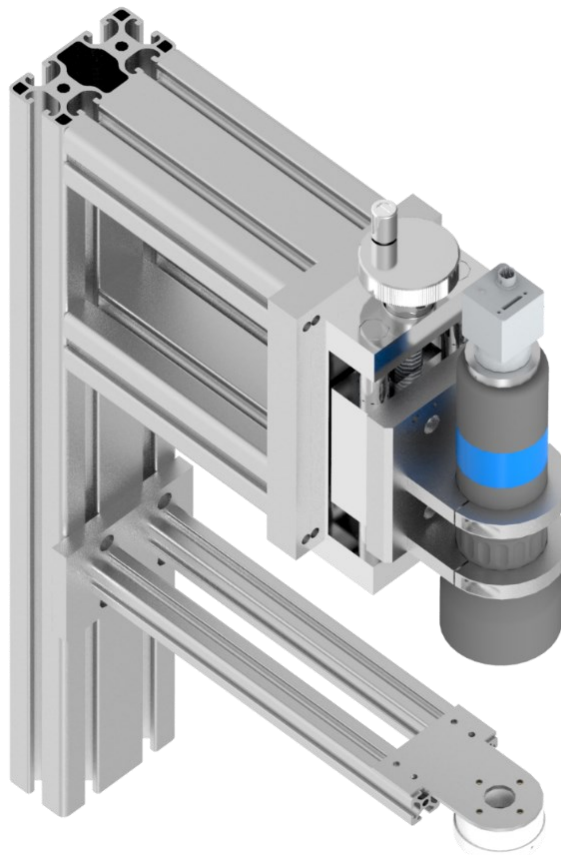


Figura 4-4 Rendering struttura supporto sistema di visione verticale

Quest'ultima presenta una distanza di lavoro di 120 ± 20 [mm] e, per praticità, il supporto dell'ottica è stato montato su una slitta regolabile, con corsa di 50 [mm], permettendo un corretto posizionamento dell'ottica anche a struttura ultimata.

L'illuminatore è invece sostenuto da una coppia di profili 20 x 20 [mm], vincolati ad una piastra per la regolazione lungo l'asse verticale, considerata la distanza di funzionamento obbligata di 3 [mm].

Anche in questo caso, il supporto dell'ottica e gli archetti di tenuta sono stati realizzati in alluminio tramite fresatura.

4.4 STRUTTURA SISTEMA DI POSAGGIO PEZZO

Al fine di permettere una corretta misurazione del pezzo, è necessario prevedere anche un sistema di posaggio.

Nel progetto in esame, quest'ultimo è composto da molteplici componenti quali:

- slitta SMC MGPA25TF-75AZ con corsa di 100 [mm] [33];
- motore Siemens 1FL6042-2AF21-1AA1 [34];
- supporto motore;
- supporto lamiera di protezione;
- supporto bicchiere poggia pezzo;
- bicchiere poggia pezzo;
- piastra di copertura.

Il sistema di movimentazione del bicchiere di posaggio del pezzo si basa su un movimento lineare della slitta e su un movimento circolare di un supporto cilindrico, montato sotto il bicchiere di posaggio.

Quando il componente da misurare viene inserito nel bicchiere e il PLC è pronto a dare inizio alla misurazione, la slitta si ritrae fino al suo inizio corsa, trascinando e allineando tutto l'assieme, in maniera tale che il pezzo sia inserito all'interno dell'area utile delle telecamere, al fine di effettuare il controllo dimensionale.

L'utilizzo del motore è legato alla necessità di ruotare il pezzo al fine di verificare l'assenza di trucioli all'interno delle fresature. Per permettere tale misurazione, il supporto sul quale è assemblato il bicchiere di posaggio è stato calettato su un motore elettrico, montato su una piastra fissata al terminale della slitta pneumatica.

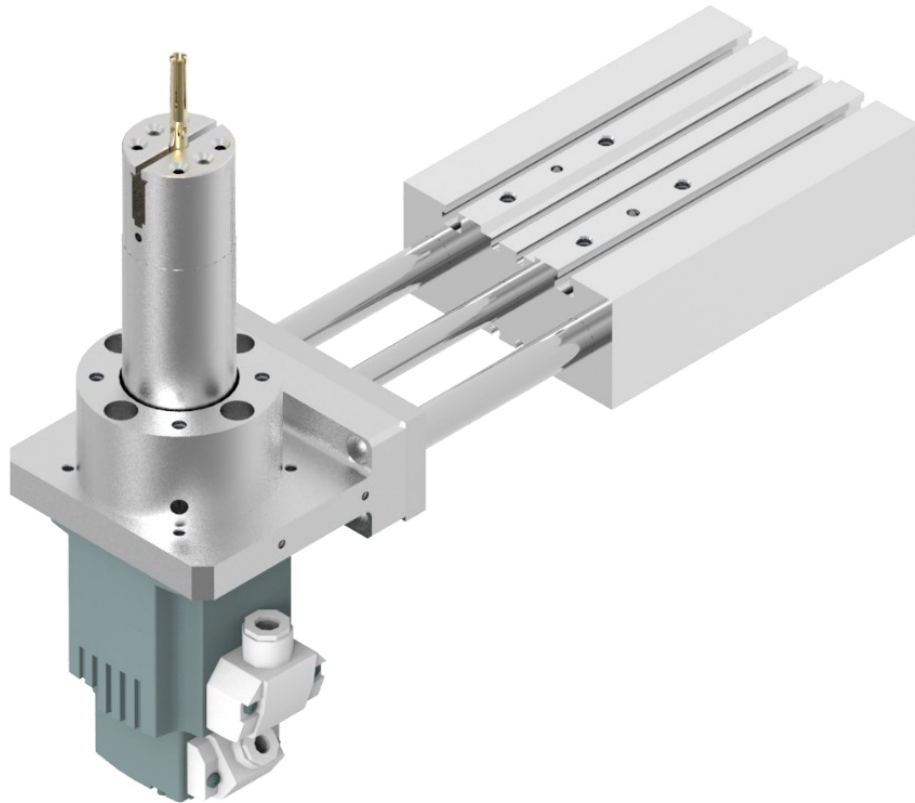


Figura 4-5 Rendering sistema spostamento posaggio pezzo

Sulla piastra sono stati inoltre ricavati dei fori per l'alloggiamento di un supporto cilindrico cavo, necessario all'installazione di una piastra di copertura del sistema di movimentazione.

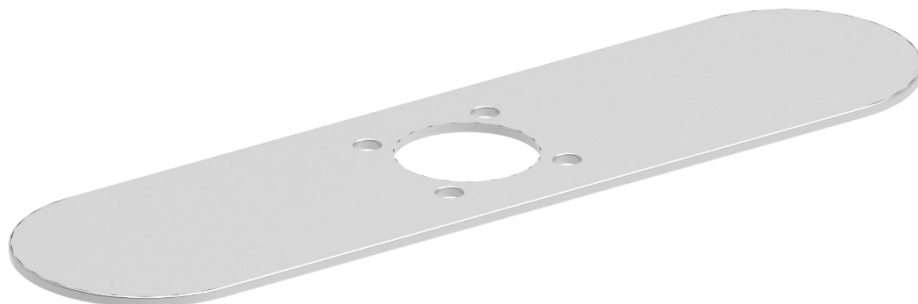


Figura 4-6 Rendering piastra di copertura

I bicchieri, sui quali verranno posizionati i pezzi, sono stati progettati tenendo conto che la misurazione delle distanze e i diametri presenti avvenga secondo acquisizione di un'immagine in retroilluminazione.

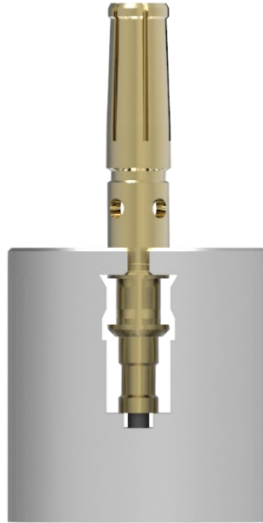


Figura 4-7 Rendering bicchiere posaggio pezzo

Di conseguenza, essi devono essere sagomati con le stesse dimensioni del componente e permettere un loro corretto alloggiamento, garantendo inevitabilmente anche una certa stabilità, viste le possibili vibrazioni che potrebbero insorgere a seguito della rotazione e traslazione di tutto il sistema.

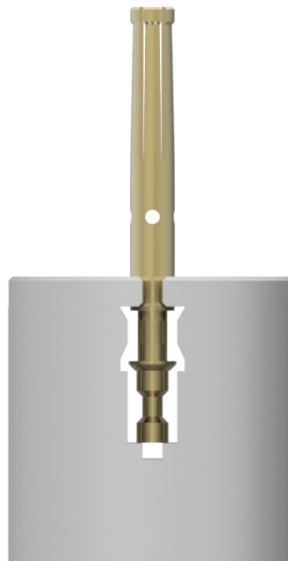


Figura 4-8 Rendering bicchiere posaggio pezzo

CAPITOLO 5

CARRELLO TRASPORTO ROBOT ASSEMBLATO

Il carrello per il trasporto del robot è una parte fondamentale della cella automatizzata.

La decisione di montare il robot su un carrello è dovuta sostanzialmente alla volontà di renderlo modulabile e utilizzabile in molteplici aree dell'azienda, permettendo di ricoprire diverse funzioni e attività, facilitando il trasporto e la velocità di messa in esercizio.

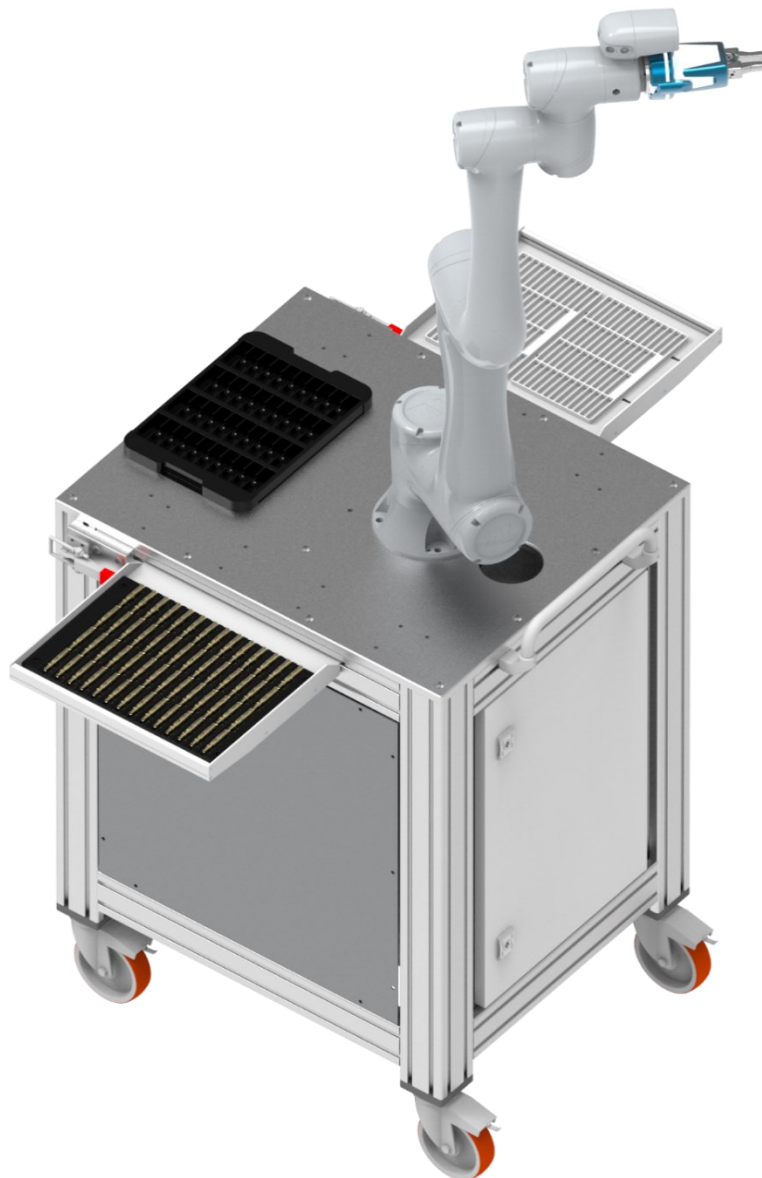


Figura 5-1 Rendering carrello per il trasporto del robot assemblato

Il carrello è composto da molteplici componenti, quali:

- struttura portante;
- robot e control box;
- banchetti per il posizionamento dei blister di carico e scarico;
- ruote;
- maniglione;
- quadro elettrico;
- lamiere di chiusura.

La piastra in alluminio, montata sulla struttura e che corrisponde al basamento di fissaggio del robot, presenta una moltitudine di fori filettati e sedi per le spine di centraggio.

Questi permettono di modificare la posizione del robot a seconda del suo utilizzo e l'installazione di ulteriori piastre con maggiore superficie utile, che potrebbero essere adottate in applicazioni diverse da quella mostrata.

Di fatto, si ricorda che il carrello è stato realizzato prevedendo molteplici utilizzi che differiscono dal progetto pilota.

5.1 STRUTTURA CARRELLO

La struttura portante del carrello per il trasporto del robot è composta da una combinazione di profili di 80 x 80 [mm] e di 80 x 40 [mm]. La scelta di utilizzare profili di dimensioni maggiori, rispetto al banco di visione, è principalmente dovuta dalla richiesta di una maggiore stabilità del carrello.

Il robot che verrà montato su di essa, infatti, svilupperà necessariamente forze inerziali durante i suoi movimenti, specie se questi avverranno con velocità sostenute.

Inoltre, la struttura presenta un'area libera da profili trasversali nella zona superiore, al fine di agevolare l'installazione del robot sulla piastra d'appoggio. Nella zona inferiore,

invece, è presente un profilo trasversale necessario al supporto del peso del box di controllo del robot.

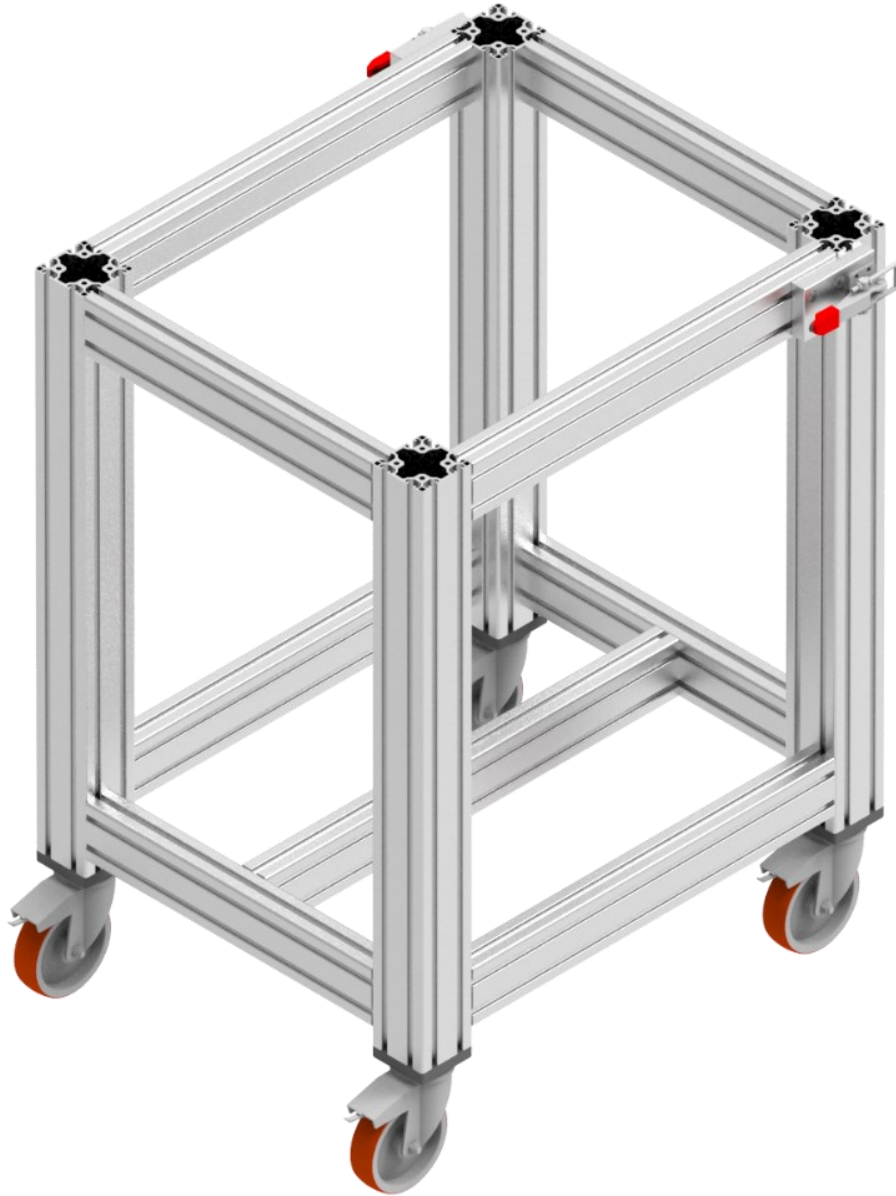


Figura 5-2 Rendering struttura del carrello per il trasporto del robot

Nel terminale inferiore dei profili verticali sono invece montate delle ruote *Elesa RE.FF-125-FBF-N* [35], di 125 [mm] di diametro con sistema di bloccaggio. La scelta di un diametro elevato è dovuta ad una miglior manovrabilità del carrello, dato l'elevato peso che questo raggiunge complessivamente.

Nella parte superiore sono invece installati dei supporti per dei sistemi di aggancio a morsetto, i quali permettono di vincolare il carrello al banco di visione e conferiscono una maggior stabilità e precisione al robot.

Anche in questo caso, per limitare lo spreco di materiale e conseguente spesa, la struttura è stata realizzata tenendo conto di un sistema di ottimizzazione dei profili.

5.2 BLISTER DI CARICO E SCARICO

I blister, per definizione, sono un tipo di confezioni precostruite e utilizzate come contenitori di piccoli oggetti. In particolare, la cella in esame richiede l'utilizzo di blister di carico e scarico particolari. Le motivazioni di questa scelta sono differenti a seconda del tipo di blister che si sta considerando.

Nel dettaglio, il blister di scarico dei componenti conformi è in plastica bianca, ottenuto tramite stampaggio in pressofusione, con dimensioni di ingombro pari a 246 x 155 x 9,5 [mm] e spessore circa 2 [mm], capace di contenere 50 componenti.

Tale blister viene direttamente fornito dal cliente dei pezzi in esame, il quale richiede che il loro confezionamento avvenga esclusivamente nel blister appena descritto.

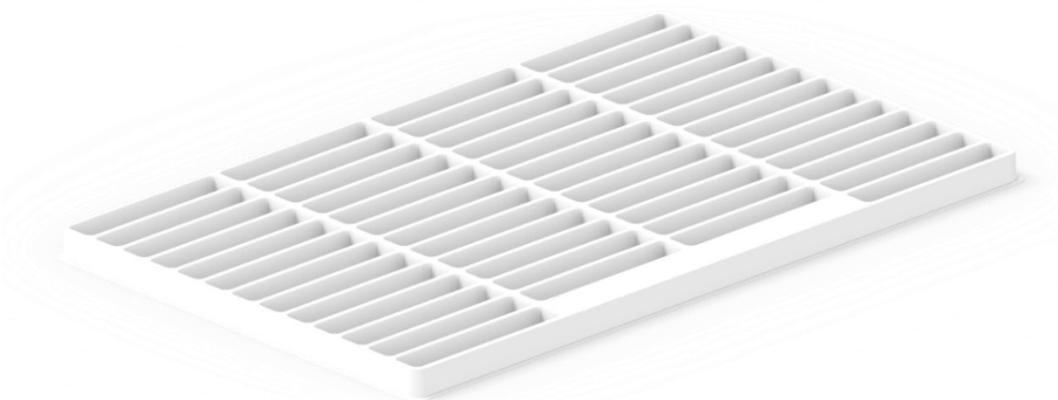


Figura 5-3 Blister di scarico pezzi conformi

D'altro canto, il blister di scarico dei componenti non conformi è direttamente fornito dalla Zannini S.p.A. e risulta essere particolarmente funzionale ed economico, adatto a

molteplici tipologie di prodotti. Anche in questo caso, tale blister è realizzato in plastica ed ottenuto per stampaggio in pressofusione, presentando uno spessore di circa 2 [mm] e delle dimensioni di ingombro di 330 x 240 x 20 [mm], con una capacità di carico di 40 pezzi.



Figura 5-4 Blister di scarico pezzi non conformi

Il blister di carico, tuttavia, è ancora in fase di miglioramento ed è prevista una sua realizzazione tramite stampaggio 3D in plastica PLA. Il primo prototipo, a differenza dei due blister appena descritti e in base a quanto accennato nei capitoli precedenti, è stato progettato internamente all'azienda per una questione di praticità.

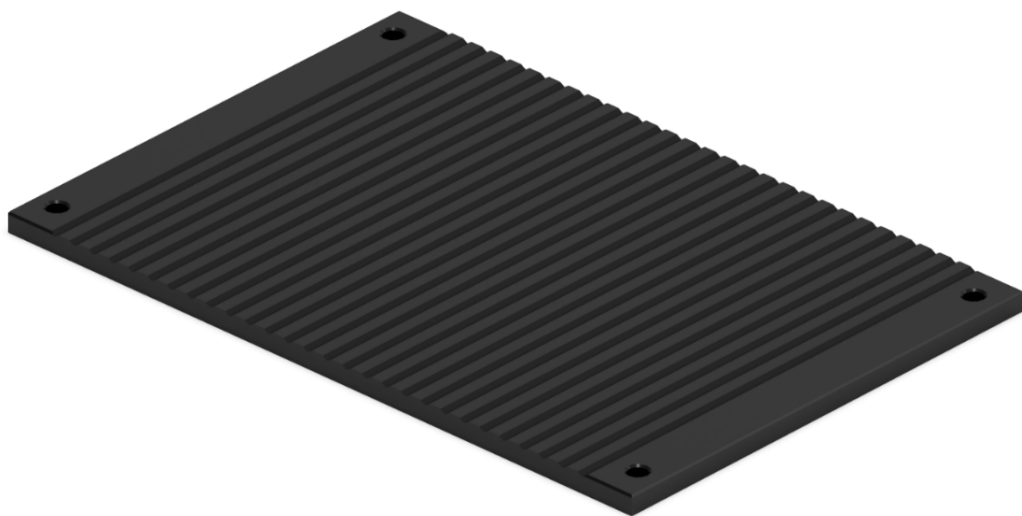


Figura 5-5 Blister di carico

Esso presenta delle scanalature particolari di forma triangolare, con dimensioni di 5 [mm] di larghezza e 2 [mm] di profondità, al fine di permettere una presa adeguata dei componenti tramite le dita precedentemente descritte.

Le sue dimensioni di ingombro sono pari a 370 x 250 x 10 [mm] mentre il colore nero utilizzato è necessario per permettere alla telecamera del robot di riconoscere e raccogliere il pezzo, visto l'elevato contrasto che si realizzerebbe tra esso e la superficie del blister.

La capacità di carico è potenzialmente di circa 108 pezzi ma, vista la necessità di posizionamento dei pezzi ad un passo di 11,5 [mm], per garantire una presa sicura dei pezzi, il blister conterrà totalmente 56 pezzi.

CAPITOLO 6

LAYOUT FINALE DELLA CELLA AUTOMATIZZATA



Figura 6-1 Rendering layout finale della cella

Il layout finale dell'isola si presenta come in figura ed è composto dall'unione tra il carrello di trasporto del robot e il banco di visione.

Come già anticipato, la possibilità di scollegare il carrello rende la stazione particolarmente versatile dal punto di vista del suo utilizzo. La presenza del robot è

necessaria al funzionamento dell'isola in modalità automatica mentre, in sua assenza, è possibile posizionare un operatore che inserisca manualmente i componenti sul sistema di visione realizzato. A fronte di questo requisito, il banco di visione è stato progettato tenendo conto anche dell'ergonomia dell'operatore, prevedendo un rialzo di appoggio per i piedi e inserendo una pulsantiera per le fasi di start e stop del ciclo di misura.

6.1 FASE DI PROGRAMMAZIONE

La fase di programmazione può essere suddivisa in tre aree distinte:

- programmazione del PLC;
- programmazione del robot;
- programmazione del sistema di visione.

Nel caso in esame, la programmazione del PLC è trascurata mentre, quella dedicata al robot e al software per la misura dimensionale, sono trattate in maniera esemplificativa.

Tuttavia, per una miglior comprensione dell'elaborato, si fornisce una breve ed esaustiva descrizione del PLC.

Un controllore logico programmabile (PLC), adibito alla gestione e al controllo dei processi industriali, è uno strumento composto da un microprocessore e dei pin di input/output, il quale controlla i segnali provenienti in ingresso dal sistema sottoposto a controllo, li elabora secondo il programma impostato dall'utente e determina conseguentemente le operazioni che gli attuatori, connessi in uscita (output), dovranno compiere [36].

Questo strumento sta alla base dell'automazione industriale, in quanto permette di rendere autonoma una sequenza di operazioni attraverso un semplice scambio di segnali. Ad esempio, a fronte di un segnale proveniente da un sensore per il riconoscimento della presenza di un pezzo, il PLC può rispondere fornendo un segnale di avvio di un nastro trasportatore o di un manipolatore per la presa del pezzo, senza richiedere l'intervento di un operatore.

Nel caso in esame, la logica di funzionamento della cella è mostrata nell'immagine seguente.

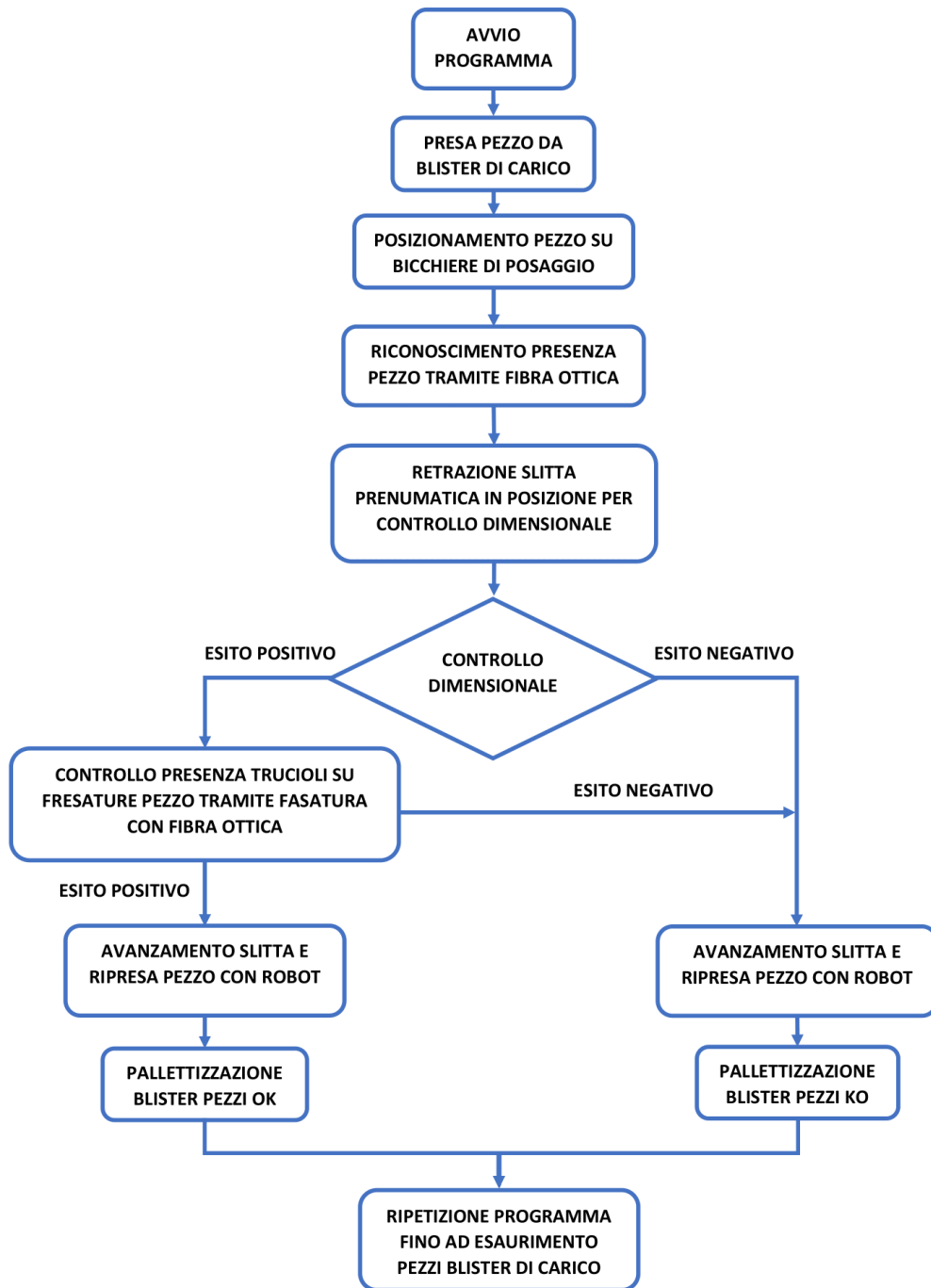


Figura 6-2 Schema generale del funzionamento della cella

In sintesi, una volta azionato il programma del robot, questo procederà alla presa del pezzo dal blister di carico e lo inserirà nel bicchiere di posaggio. La prima coppia di fibre ottiche, adibite alla funzione di “rilevamento pezzo”, fornirà un segnale di input al PLC,

indicando la presenza del pezzo e la possibilità di avviare la fase di controllo dimensionale.

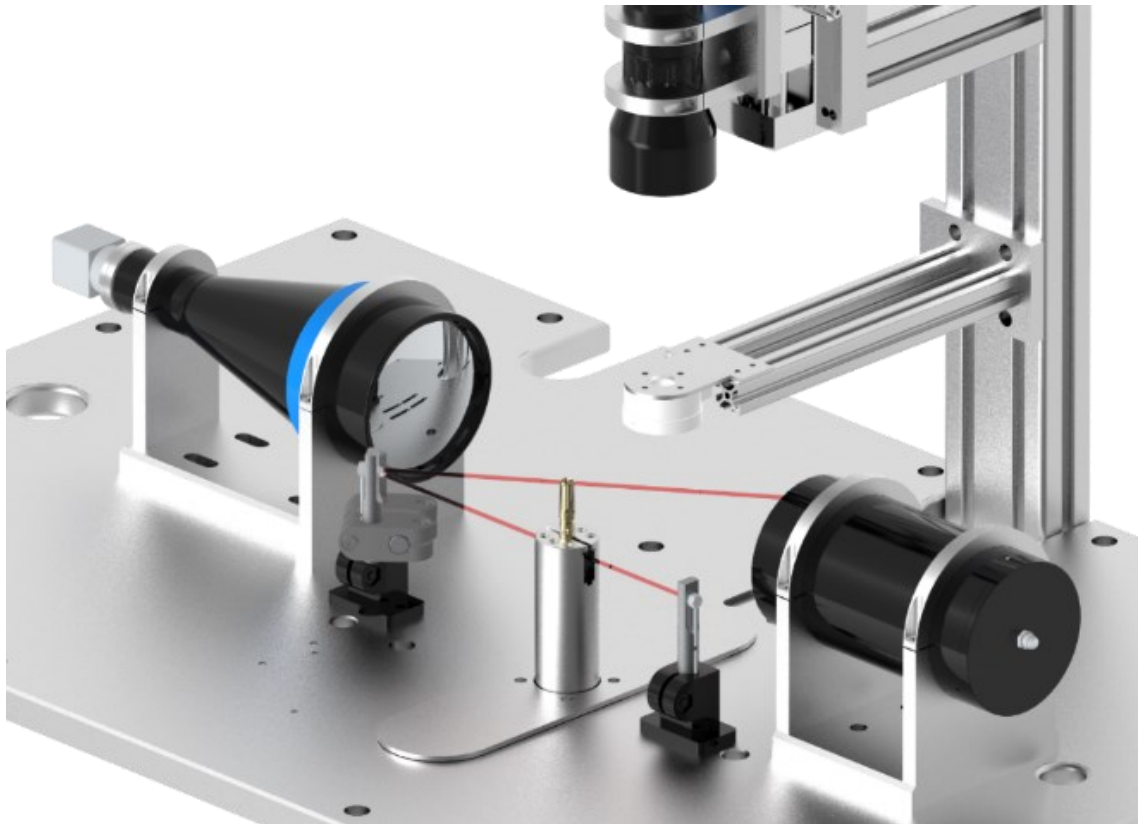


Figura 6-3 Rilevamento pezzo e slitta pneumatica a fine corsa

A questo punto, il PLC fornirà quindi un segnale alla slitta pneumatica, facendola ritrarre fino al suo inizio corsa, portando il bicchiere e il pezzo nell'area inquadrata dalle telecamere.

In questa posizione verrà scattata una foto e il software di visione procederà con il controllo dimensionale del pezzo. Se il controllo dimensionale darà esito positivo, il PLC fornirà un segnale al motore elettrico, posto sotto al supporto del pezzo, facendo ruotare quest'ultimo attorno al proprio asse, finché la seconda coppia di fibre non riconoscerà che il pezzo è orientato secondo le fresature poste nella parte terminale del pezzo.

Questa fase è chiamata "fasatura" ed è necessaria per stabilire la posizione iniziale rispetto al quale il motore dovrà ruotare progressivamente di 30 gradi, permettendo al

sistema di visione di scattare una foto ad ogni semi-rotazione, al fine di verificare la presenza o meno di trucioli all'interno delle fresature del pezzo.

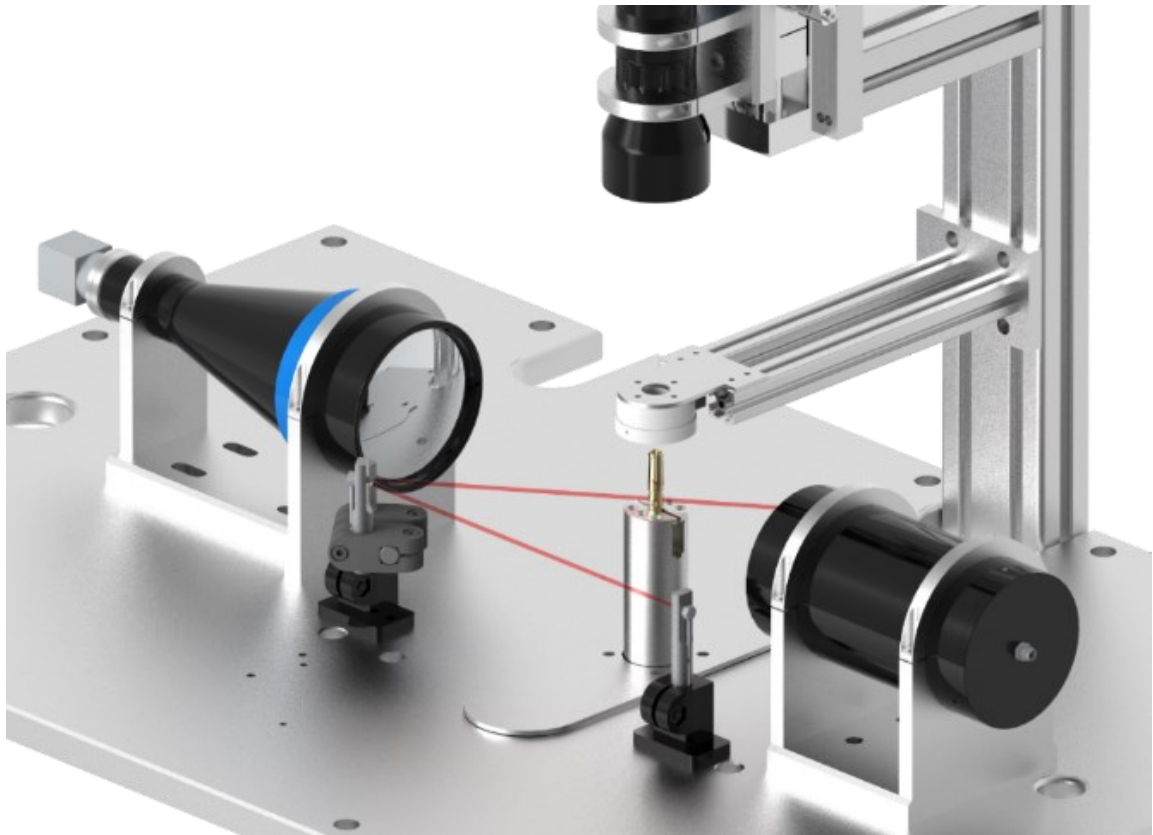


Figura 6-4 Fasatura del pezzo e slitta pneumatica a inizio corsa

Una volta controllata anche questa caratteristica e a prescindere dall'esito del controllo dimensionale, il software darà un segnale al PLC indicando la fine della fase di misura. Questa sarà seguita da uno spostamento della slitta pneumatica al suo punto precedente e dalla successiva presa del pezzo da parte del robot, il quale è rimasto in attesa di un segnale del PLC, dipendente dalla conclusione del controllo dimensionale.

6.2 PROGRAMMAZIONE ROBOT

Come già anticipato nei capitoli precedenti, la fase di programmazione del robot ha richiesto l'utilizzo del software RoboDK per poter definire una pseudo traiettoria che il robot dovrà compiere, in modo da comprendere ingombri e posizioni che potrebbero

essere potenzialmente dannose per gli operatori che lavoreranno nelle circostanze del robot. Successivamente si passa alla programmazione del robot vera e propria.

6.2.1 SIMULAZIONE IN ROBODK

A layout ultimato della cella su Solid Edge, si procede alla sua esportazione in formato “.step” e alla successiva implementazione nel software di simulazione, nel quale è già presente il formato digitale del robot comprensivo di tutte le sue caratteristiche cinematiche.

Le dimensioni del robot e della cella sono utili per comprendere quali sono i principali punti dello spazio e quale traiettoria esso dovrà percorrere. Inoltre, RoboDK permette di visualizzare lo spazio di lavoro del manipolatore che si sta utilizzando, permettendo di verificare che tutti i punti, richiesti in fase di progetto, siano raggiungibili.

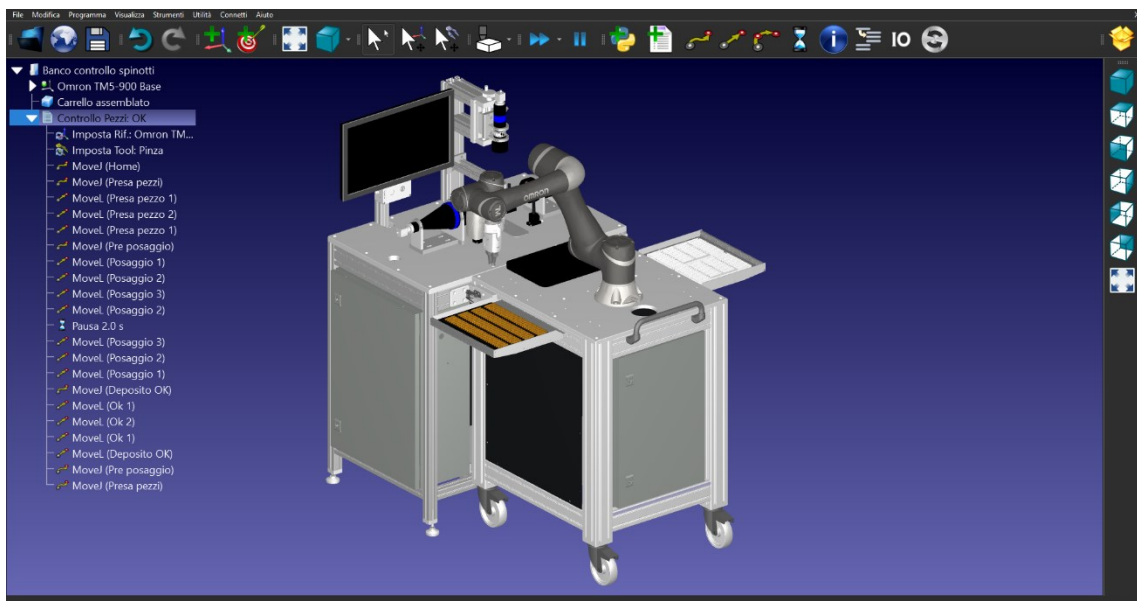


Figura 6-5 Posizione iniziale di presa pezzi

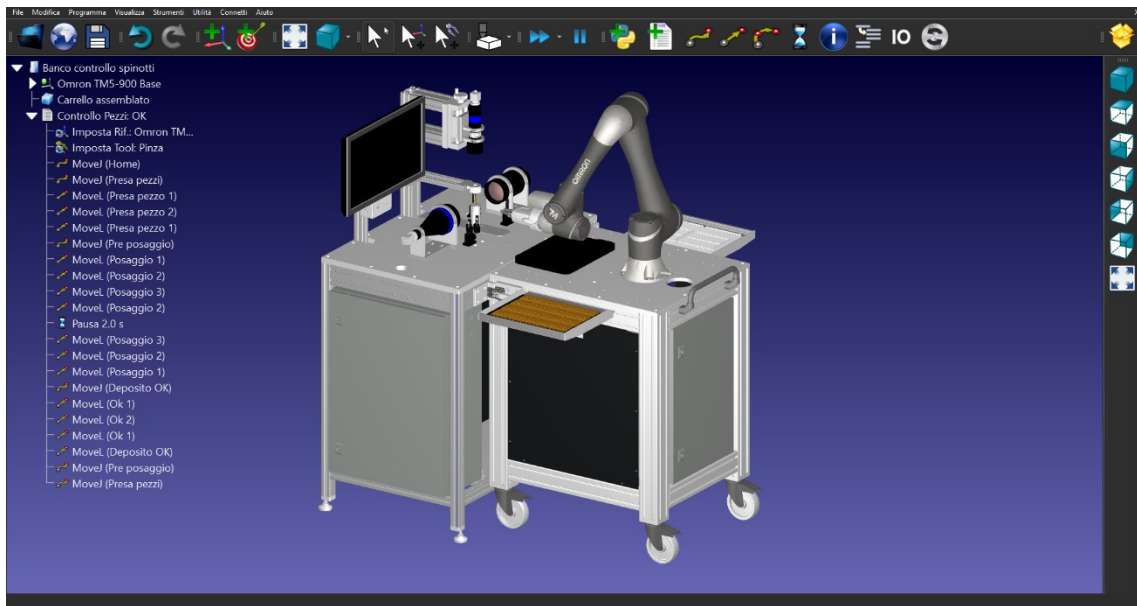


Figura 6-6 Posizione di inserimento pezzo nel terminale di misurazione

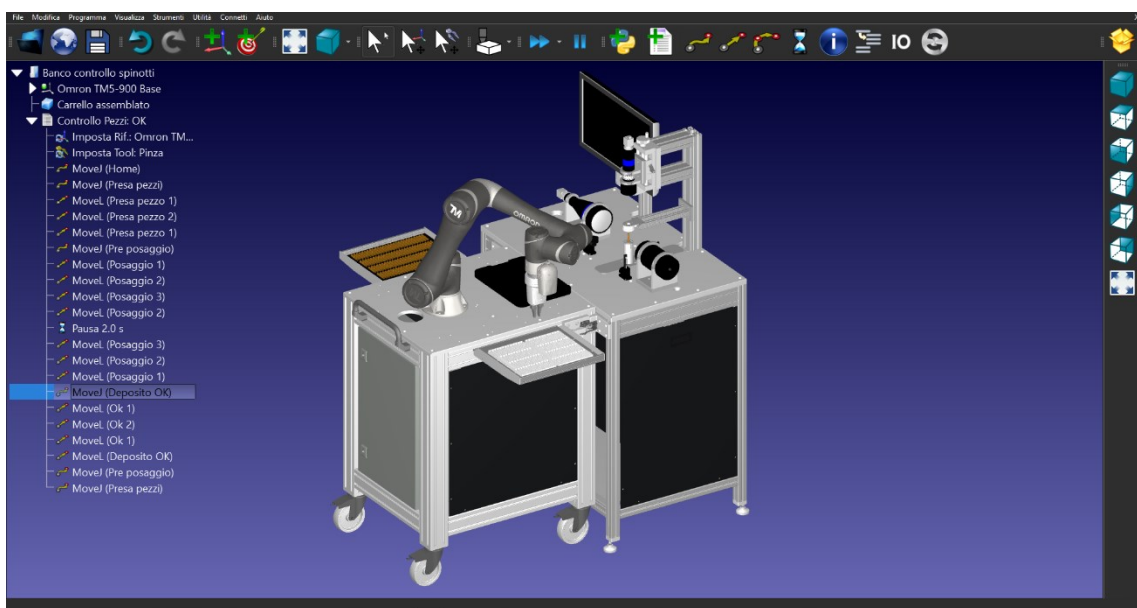


Figura 6-7 Posizione iniziale per lo scarico pezzi

Dalle immagini precedenti è possibile visualizzare le 3 posizioni scelte come riferimento per la stesura di tutto il programma del robot. Queste posizioni sono:

- posizione iniziale di presa pezzi;
- posizione di inserimento pezzo nel terminale di misurazione;
- posizione iniziale per lo scarico pezzi.

Nel software è anche possibile definire quali tipologie di traiettorie il robot può percorrere, per passare tra due punti individuati nello spazio.

Si possono identificare tre tipologie di movimento:

- movimento dei giunti;
- movimento lineare;
- movimento circolare.

Il movimento dei giunti corrisponde ad un movimento da un punto "A" ad un punto "B" in funzione delle variabili di giunto. La traiettoria descritta in questo caso assume un andamento del tutto dipendente dalle posizioni dei giunti e non è soggetto a limiti dettati dalle singolarità del robot. Di fatto, lo spostamento avviene nel modo più consona per il robot e a velocità di esercizio particolarmente elevate rischiando, però, di attraversare zone dello spazio dove potrebbero essere però presenti oggetti e/o ostacoli.

Il movimento lineare corrisponde ad un movimento da un punto "A" ad un punto "B" in funzione delle variabili dello spazio cartesiano nel quale opera il robot. La traiettoria descritta in questo caso è una retta corrispondente alla distanza minima tra i punti di riferimento. Questo tipo di movimento è particolarmente utilizzato per operazioni in cui è richiesta un'elevata precisione. Tuttavia, il movimento lineare è soggetto ai vincoli di singolarità, in quanto è possibile che la traiettoria percorsa dal robot potrebbe passare in alcuni punti dello spazio per esso irraggiungibili.

Il movimento circolare è invece una tipologia di movimento che richiede l'inserimento di tre punti di riferimento quali "A", "B" e "C", attraverso cui il robot è capace di descrivere una traiettoria circolare in funzione di un punto di partenza, di arrivo e di un punto intermedio.

A seguito della stesura di un programma di movimentazione adeguata e dopo aver verificato che i punti scelti siano adatti all'applicazione in esame, è possibile procedere alla programmazione del robot fisico tramite il software in dotazione TMFlow.

6.2.2 PROGRAMMAZIONE IN TMFLOW

Per procedere alla programmazione del robot è necessario connettere il proprio terminale al control box in dotazione, tramite una connessione di tipo ethernet.

L'interfaccia di TMFlow si apre cercando di individuare il robot associato e, una volta identificato, permette di prenderne il controllo.



Figura 6-8 Interfaccia di controllo robot TMFlow

Il software si presenta con un'interfaccia particolarmente intuitiva ma, per la realizzazione di un progetto, è necessario mettere il robot in modalità manuale.

La sezione relativa alla programmazione è accessibile tramite un'icona apposita posta sul menu di sinistra e, al suo interno, è possibile trovare una schermata bianca, adibita alla stesura del programma secondo un concetto di "mappa concettuale" mentre, sulla sinistra, sono elencati tutti i possibili task che il robot può svolgere.

Il programma parte da uno start il quale può essere associato sia alla pressione del relativo tasto presente sul telecomando in dotazione, sia ad uno dei 16 pin di I/O presenti sul control box del robot. Nel caso in esame, il segnale di input corrisponderà alla pressione del tasto meccanico di start montato sul pannello di controllo del carrello del robot.

Il programma è suddiviso in molteplici “sub flow”, ovvero schede contenenti una sotto-sequenza di task specifici, permettendo una più chiara comprensione della sequenza dei task utilizzati, e una realizzazione più precisa del programma stesso. In particolare, i subflow realizzati per il programma in esame fanno riferimento alle fasi di:

- individuazione dei piani e dei punti di riferimento;
- presa dei componenti tramite ausilio della fotocamera;
- posizionamento dei pezzi sul bicchiere di posaggio;
- rilascio dei pezzi conformi sui blister di scarico di pezzi OK;
- rilascio dei pezzi non conformi sul blister di scarico di pezzi KO.

D’altro canto, facendo riferimento alle posizioni chiave individuate durante la fase di simulazione, è possibile procedere alla determinazione di molteplici punti dello spazio, i quali verranno scelti come punti di riferimento per tutto il programma. Fortunatamente, il software permette anche di determinare il sistema di riferimento rispetto al quale descrivere questi punti.

Questa particolarità torna molto utile nel caso in esame, in quanto l’installazione del carrello al banco di visione può avvenire con un margine di errore nell’ordine dei millimetri.

Di fatto, incollando un LANDMARK [17] sul banco di visione, è possibile insegnare al robot le posizioni che esso dovrà assumere durante la fase di inserimento del pezzo sul bicchiere di posaggio, in base al sistema di riferimento individuato dal LANDMARK solidale al banco di visione stesso.

Allo stesso modo, vista la possibilità di un’installazione non troppo precisa delle sponde laterali sulle quali sono montati i blister di carico e scarico dei pezzi, TMFlow offre la possibilità di definire un qualsiasi altro piano di riferimento, utile per l’individuazione dei punti di raccolta dei pezzi, nel caso in cui questi dovessero poggiare su un piano non parallelo a quello corrispondente alla base del robot.

A seguito di queste potenzialità, per il seguente programma sono stati individuati molteplici sistemi di riferimento in aggiunta a quello corrispondente alla base del robot:

- **sistema di riferimento solidale al landmark incollato sul pianale del banco di visione:** utile all'individuazione dei punti per lo scarico e la ripresa del pezzo sul bicchiere di posaggio, per l'esecuzione del controllo dimensionale;
- **piano di riferimento corrispondente al blister di carico:** individuato tramite tre punti nello spazio corrispondenti alla posizione dei vertici dei blister, utile alla stesura dei movimenti per la presa dei pezzi, impedendo il contatto tra l'end effector e il piano;
- **piano di riferimento corrispondente ai blister di scarico:** anch'esso individuato tramite tre punti nello spazio ed utile ad una agevole pallettizzazione dei pezzi nei blister di scarico.

Di seguito è mostrata la fase di orientamento e calibrazione del robot rispetto ai sistemi di riferimento appena elencati.

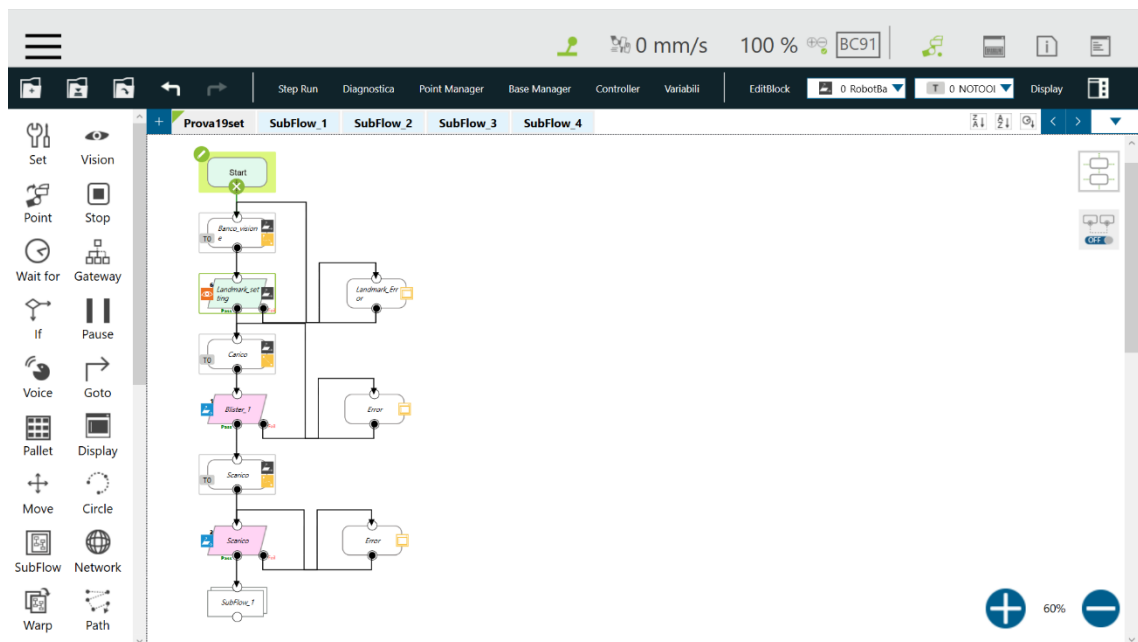


Figura 6-9 Fase di calibrazione iniziale del robot

Per l'acquisizione del sistema di riferimento associato al LANDMARK, il software offre la funzione "Landmark Alignment" integrata all'interno del task "Vision". L'utilizzo della telecamera integrata è infatti fondamentale per l'individuazione del cartoncino.

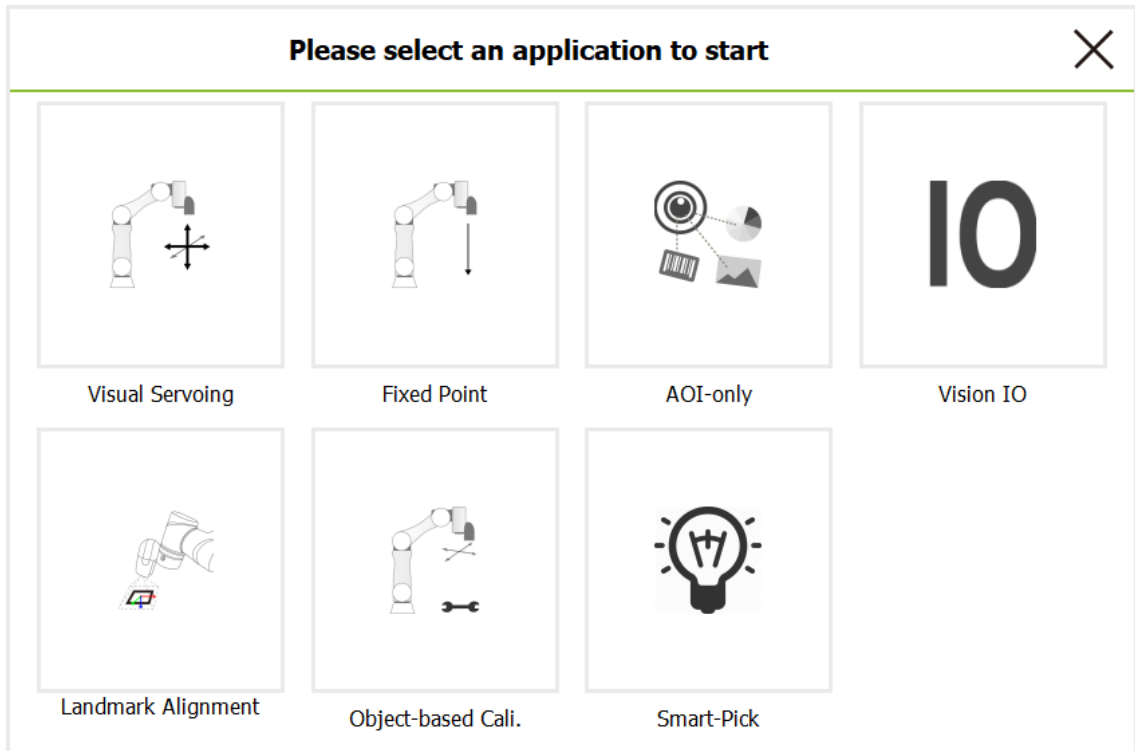


Figura 6-10 Interfaccia selezione task "Vision"

Una volta individuato il cartoncino, al sistema di riferimento creato verranno associati tutti i punti necessari per favorire l'inserimento (e l'estrazione) dei componenti, visto che queste coordinate dovranno essere sempre solidali al banco di visione.

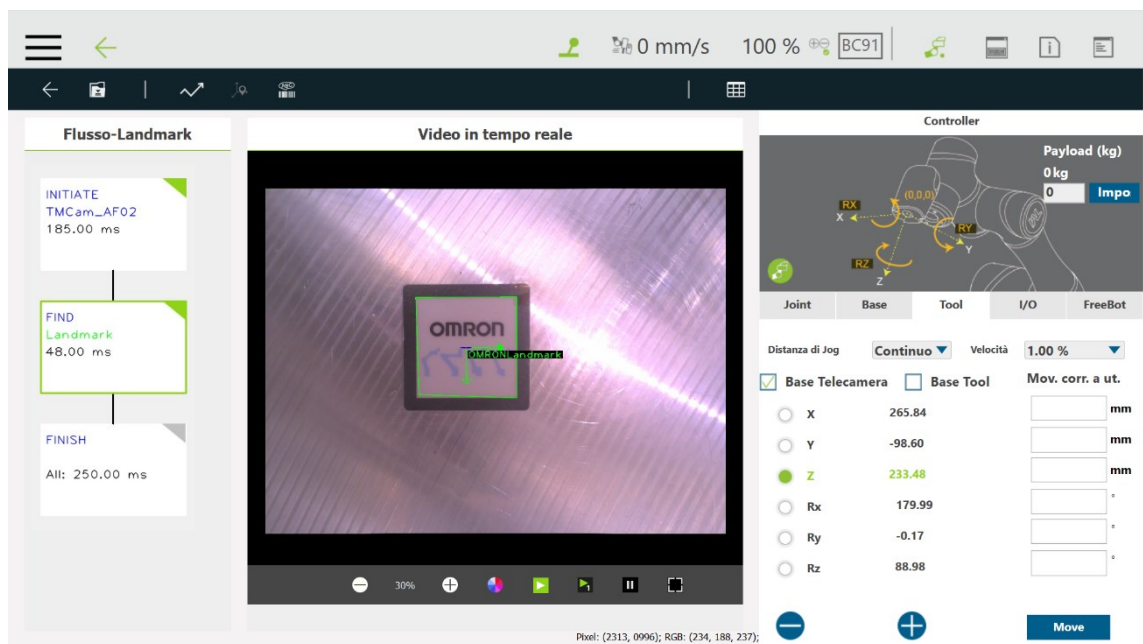


Figura 6-11 Task di riconoscimento del landmark

Per quanto riguarda la fase di presa dei pezzi, TMFlow offre la possibilità di utilizzare la fotocamera integrata per poter agevolare la loro individuazione, e conseguente prelievo, tramite un task denominato “Visual Servoing”, anch’esso contenuto all’interno del task “Vision”.

Il servo azionamento visivo consiste nello spostamento del terminale del robot, lungo un piano definito dall’utente, in funzione della corrispondenza tra l’immagine istantanea e un pattern di riferimento, utile nel caso i pezzi non dovessero disporsi secondo una sequenza specifica, ma dovessero essere posizionati in una maniera semi randomica.

La possibilità di sogliare l’immagine secondo due soli colori, bianco e nero, permette di rendere la telecamera del robot insensibile a ipotetiche fonti di illuminazione esterne, le quali potrebbero compromettere il riconoscimento dei pezzi e quindi mancare l’allineamento e la presa.

Il task è quindi composto dalle fasi di:

- posizionamento nel punto iniziale;
- sogliatura dell’immagine;
- definizione e editing del pattern di riferimento;
- servo azionamento.

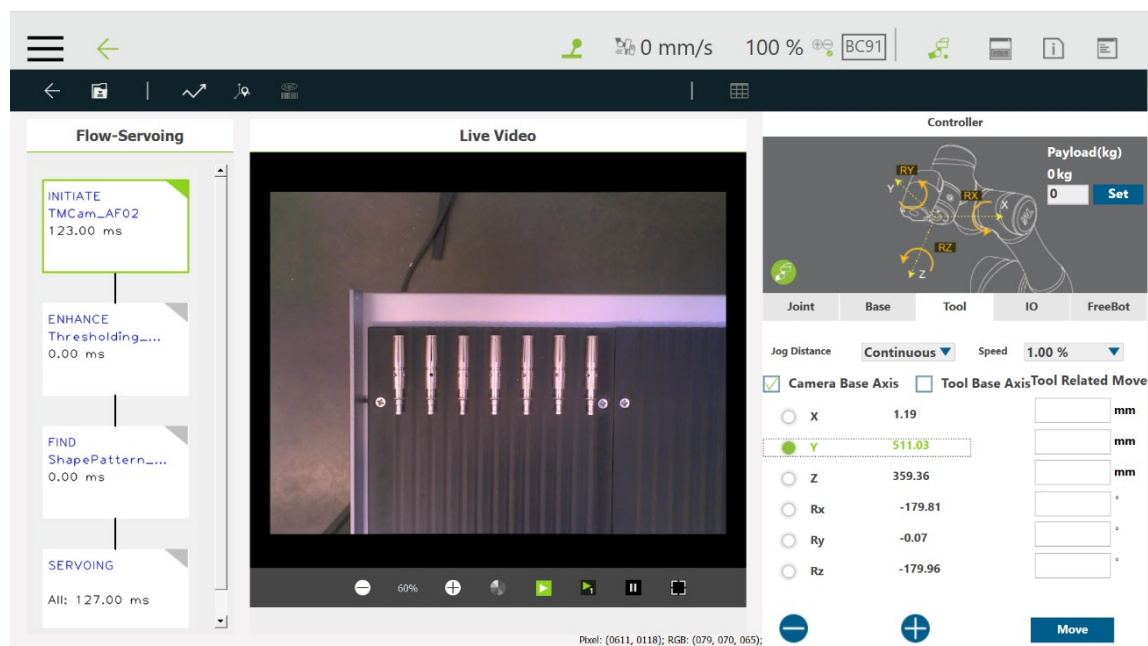


Figura 6-12 Posizionamento nel punto iniziale



Figura 6-13 Sogliatura dell'immagine e definizione del pattern di riferimento

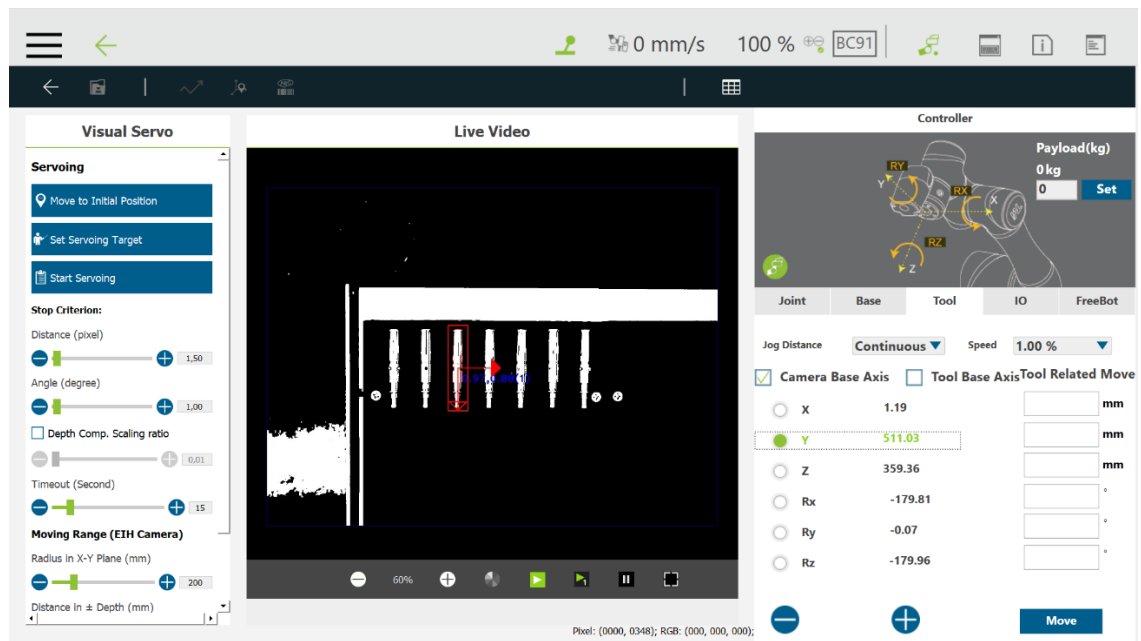


Figura 6-14 Servo azionamento del robot

Quando il task darà esito positivo, il robot proseguirà alla fase di presa del pezzo mentre, se l'esito sarà negativo, il robot si sposterà alla riga di pezzi successiva fino al termine dei blister, dove il robot fornirà un segnale di allarme corrispondente all'assenza di pezzi sul blister di carico.

Di seguito è mostrato il sub flow corrispondente alla fase di localizzazione dei pezzi.

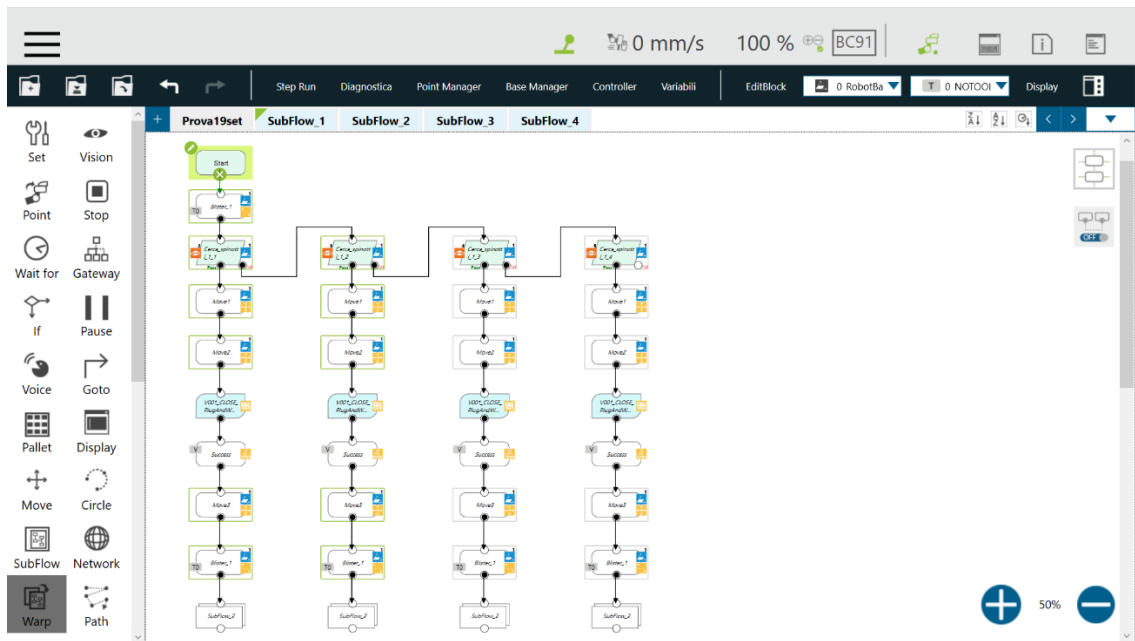


Figura 6-15 Sub flow per l'individuazione e presa dei pezzi tramite ausilio della fotocamera

L'immagine seguente mostra invece la fase di posizionamento del pezzo sul sistema di posaggio, le cui coordinate sono state stabilite rispetto al sistema di riferimento del LANDMARK solidale al banco di visione. La sequenza prevede una prima fase di posizionamento e apertura della pinza, la quale è poi seguita da una fase di attesa e due sequenze distinte per la ripresa del pezzo, in funzione dell'esito della misurazione.

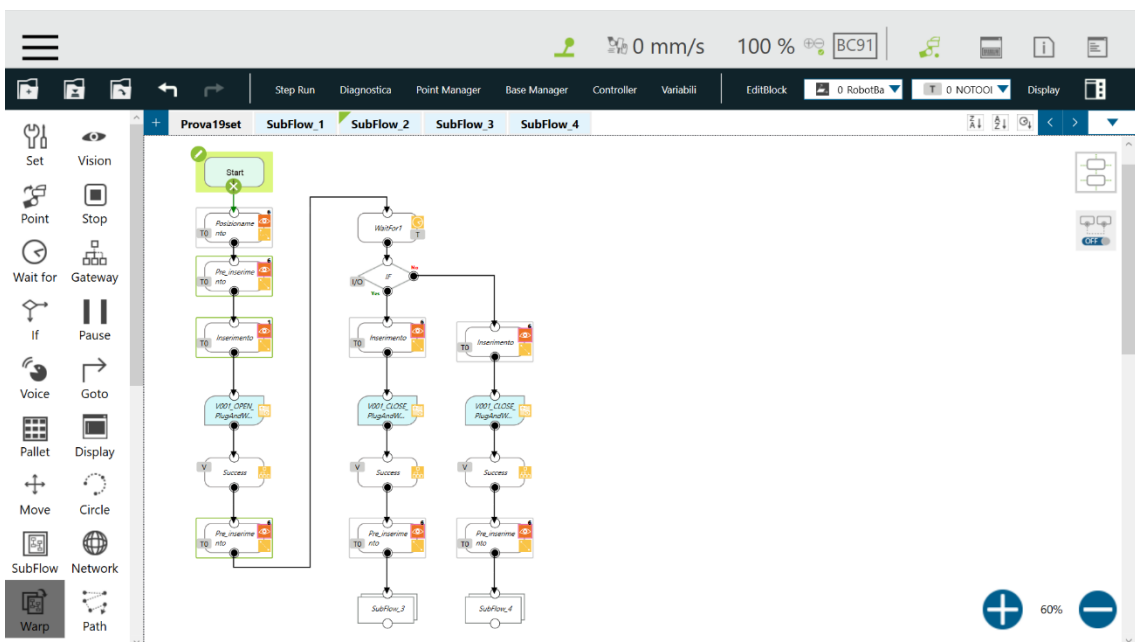


Figura 6-16 Sequenza posizionamento pezzo su sistema di posaggio

In base all'esito del controllo dimensionale, il programma si suddivide in due sequenze di pallettizzazione: una per i pezzi conformi e una per i pezzi non conformi. Le sequenze sono mostrate nelle immagini sottostanti.

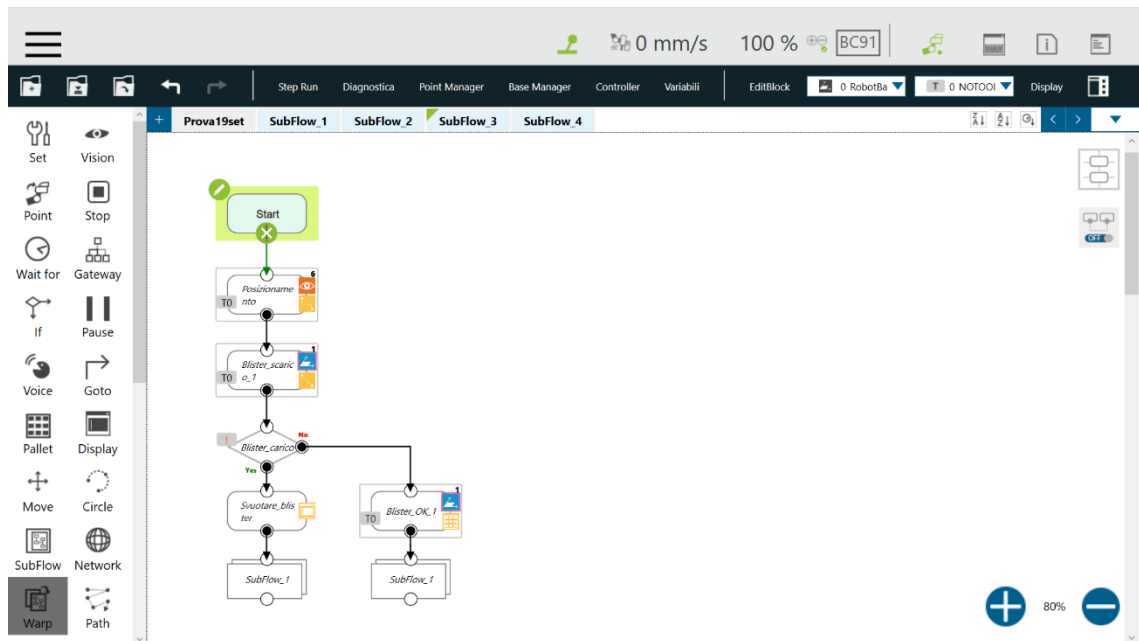


Figura 6-17 Sequenza per pallettizzazione pezzi conformi

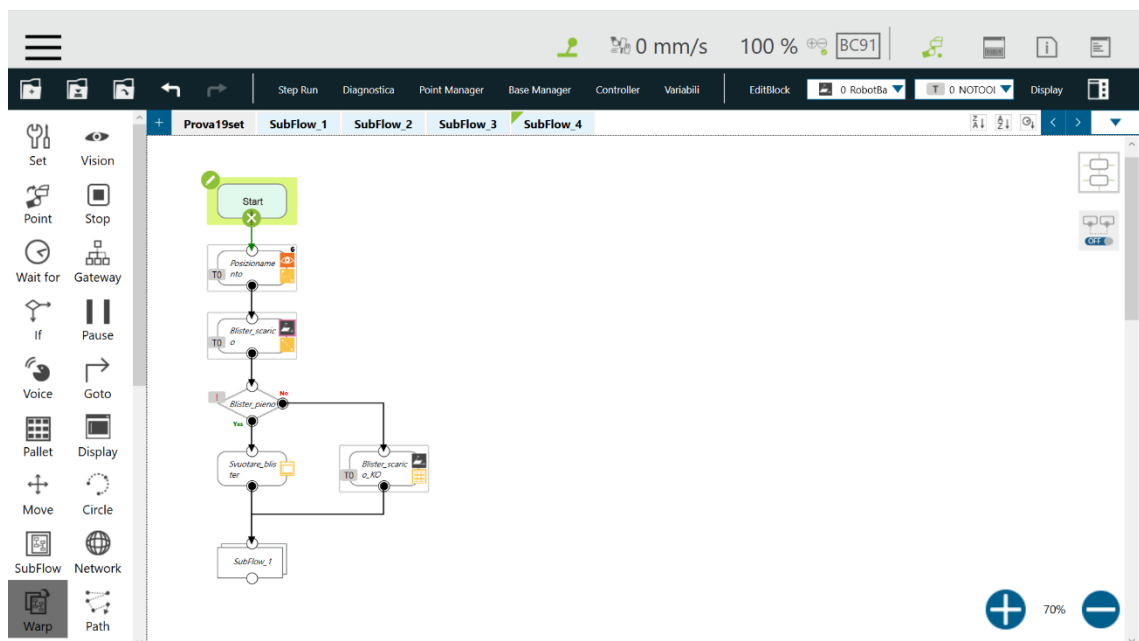


Figura 6-18 Sequenza pallettizzazione pezzi non conformi

Terminata la pallettizzazione, il programma si ripete in loop salvo riempimento dei blister, urto involontario da parte di operatori o malfunzionamenti vari della cella.

6.3 PROGRAMMAZIONE SISTEMA DI VISIONE

Come già anticipato nel capitolo 2, il software utilizzato per effettuare la misura dimensionale dei pezzi in esame è un programma realizzato ad hoc dall'azienda Createc Vision [19].

La compagnia, inoltre, mette a disposizione servizi di assistenza e programmazione da remoto. Di fatto, la stesura del programma di misurazione è stata effettuata da un operatore dell'azienda prendendo il controllo del nostro terminale tramite il software Team Viewer [37].

Affinché la misura sia veritiera e le dimensioni misurate siano contenute all'interno della tolleranza relativa, è necessario un componente che verrà identificato come "Master".

Esso si tratta di un pezzo qualsiasi, identico all'articolo che verrà poi sottoposto a controllo dimensionale, le cui dimensioni effettive sono state ricavate tramite uno strumento di misura altamente più preciso delle telecamere qui utilizzate.

La Hommel-Etamic Opticline C305, la quale permette di ottenere misure con una accuratezza nell'ordine dei decimi di micron [38], ha permesso di ricavare i valori che fungono da dimensioni di riferimento per il software di visione della cella automatizzata, permettendo di calcolare il cosiddetto "offset di misura", corrispondente allo scostamento presente tra la dimensione misurata e la dimensione effettiva del componente. La dimensione effettiva, in questo caso, è quindi considerata pari al valore misurato sulla Opticline C305.

Il calcolo dell'offset è necessario in quanto le telecamere, associate agli obiettivi telecentrici utilizzati, hanno una risoluzione e una precisione limitate ai millesimi di millimetro, senza poi considerare le distorsioni e aberrazioni ottiche che, inevitabilmente, si verificano durante l'uso di qualsiasi sistema ottico e che compromettono la precisione della misurazione.

Di seguito sono mostrate le misure effettive dei pezzi identificati come master di taratura.

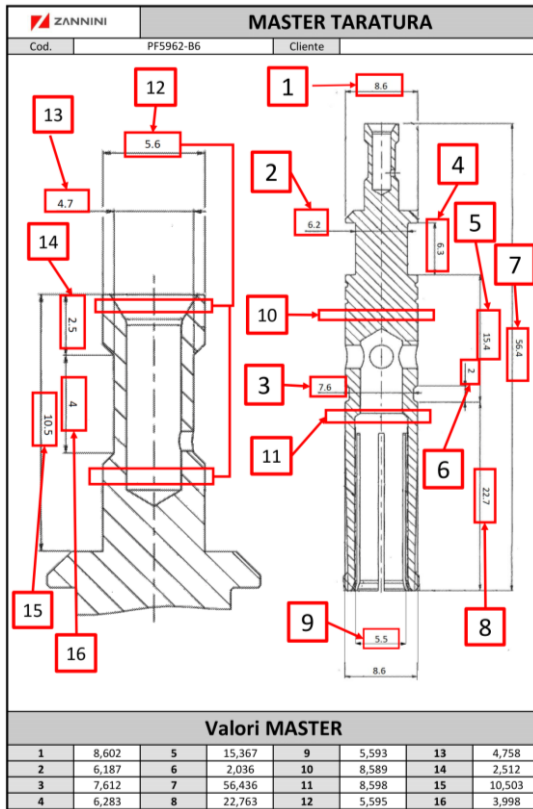


Figura 6-19 Master di taratura dell'articolo PF5962-B6

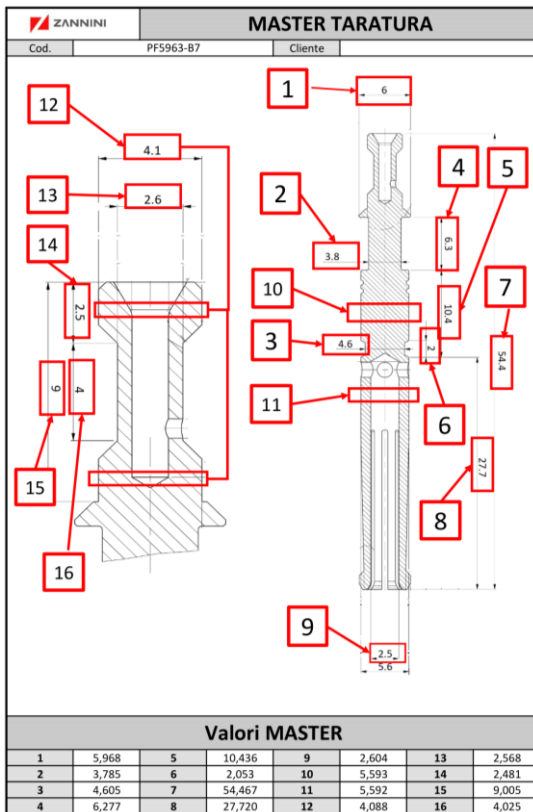


Figura 6-20 Master di taratura dell'articolo PF5863-B7

Di seguito sono invece mostrate le immagini che verranno utilizzate per effettuare il controllo dimensionale dei componenti, acquisite dalla telecamera laterale e superiore precedentemente descritte.

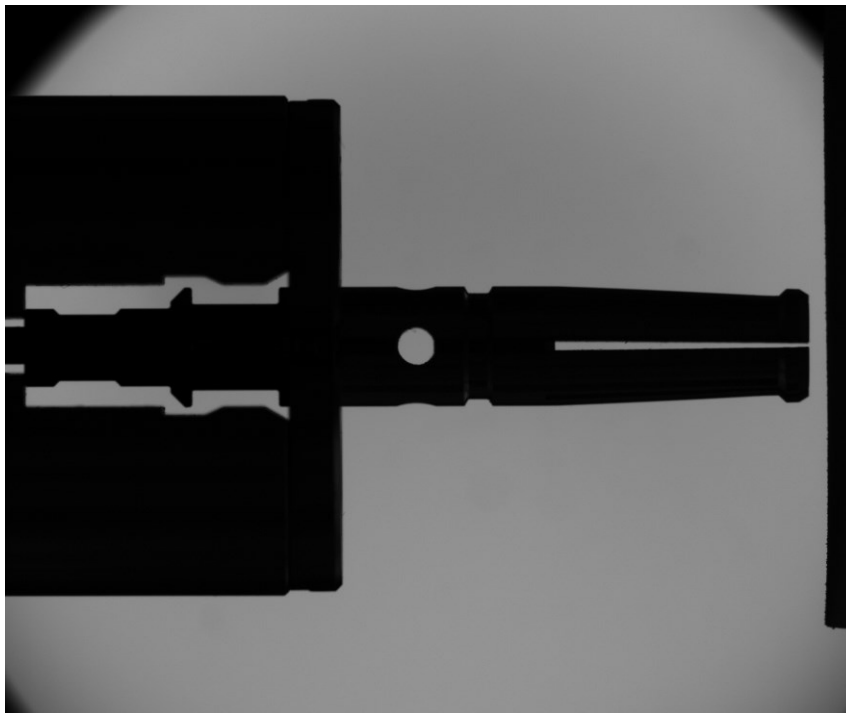


Figura 6-21 Immagine dell'articolo PF5962-B6 acquisita dalla telecamera laterale

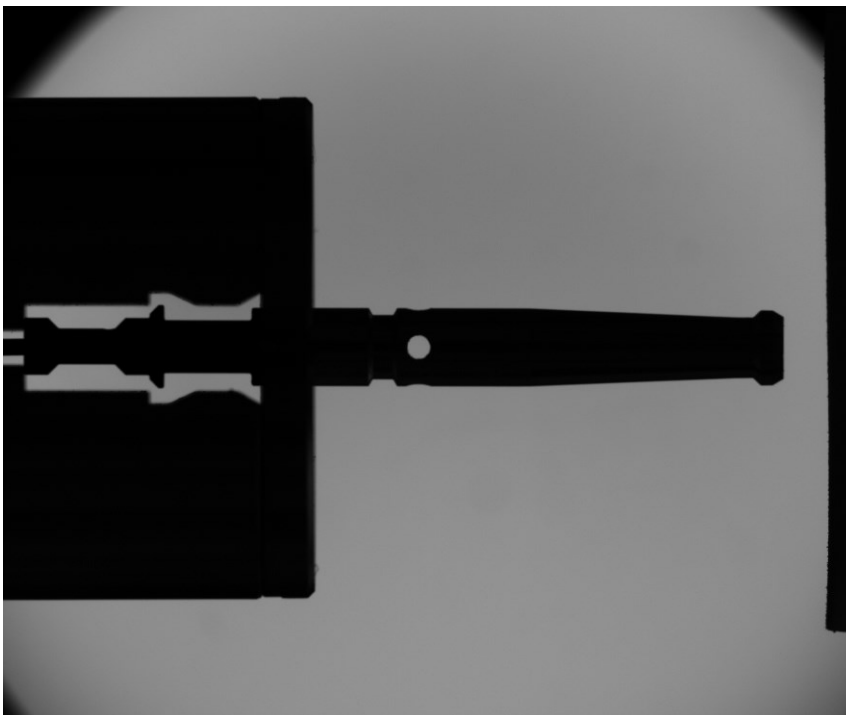


Figura 6-22 Immagine dell'articolo PF5863-B7 acquisita dalla telecamera laterale

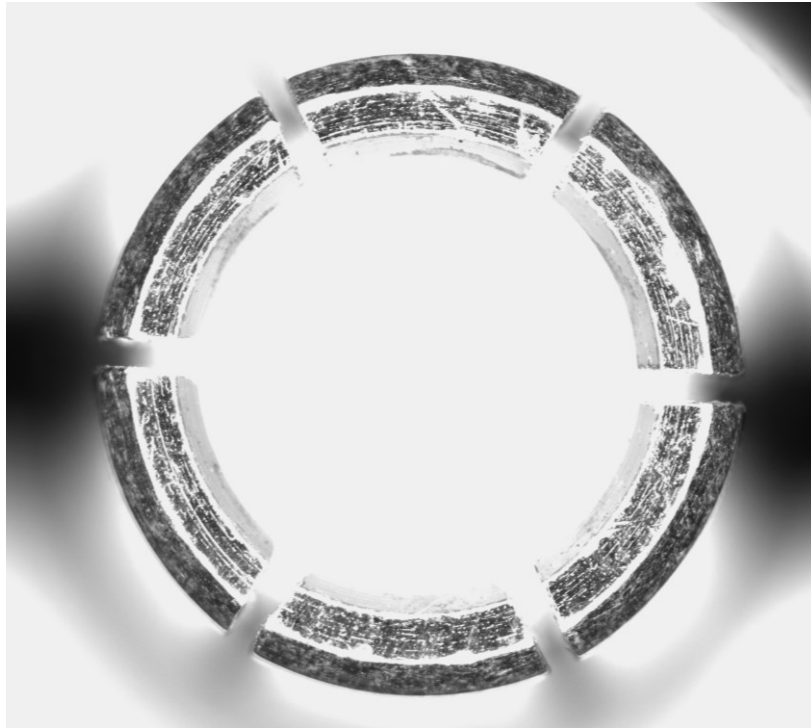


Figura 6-23 Immagine dell'articolo PF5962-B6 acquisita dalla telecamera superiore

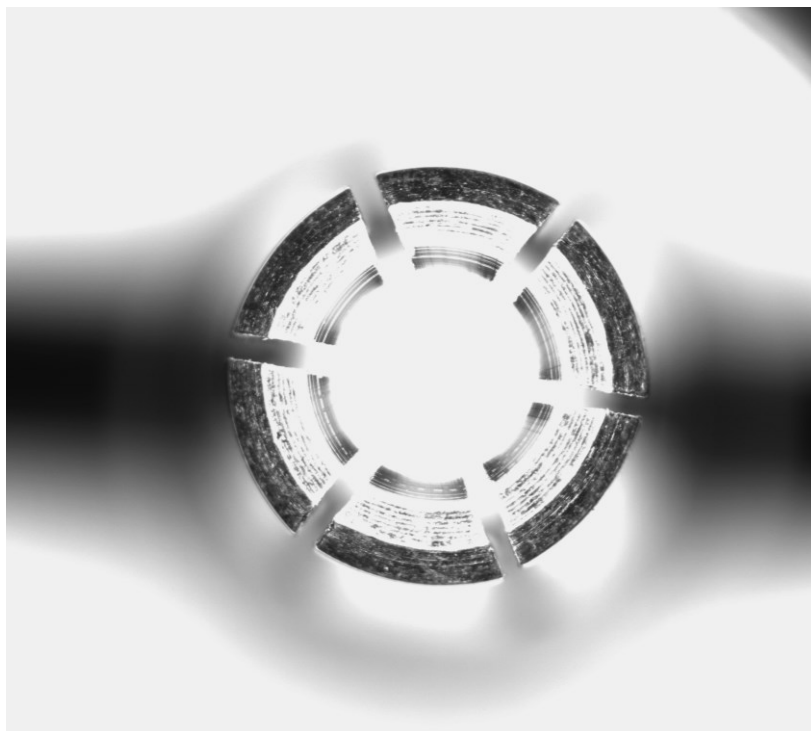


Figura 6-24 Immagine dell'articolo PF5863-B7 acquisita dalla telecamera superiore

Come visibile dalle immagini appena mostrate, l'illuminazione gioca un ruolo fondamentale per il controllo dimensionale delle misure dei componenti.

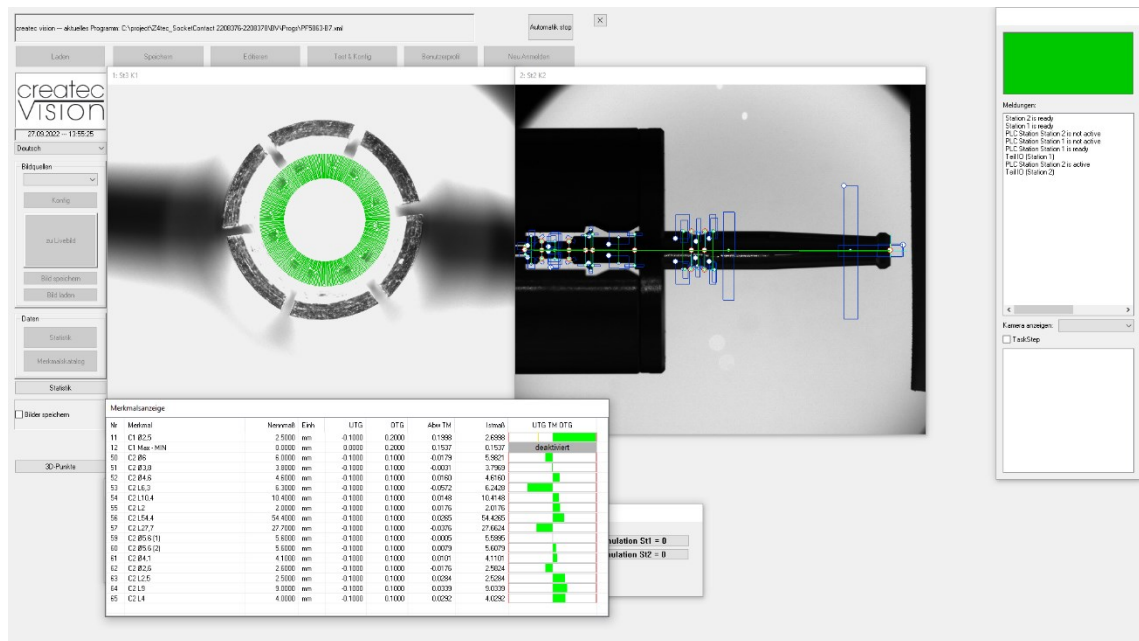


Figura 6-25 Interfaccia programma di misura dell'articolo PF5863-B7

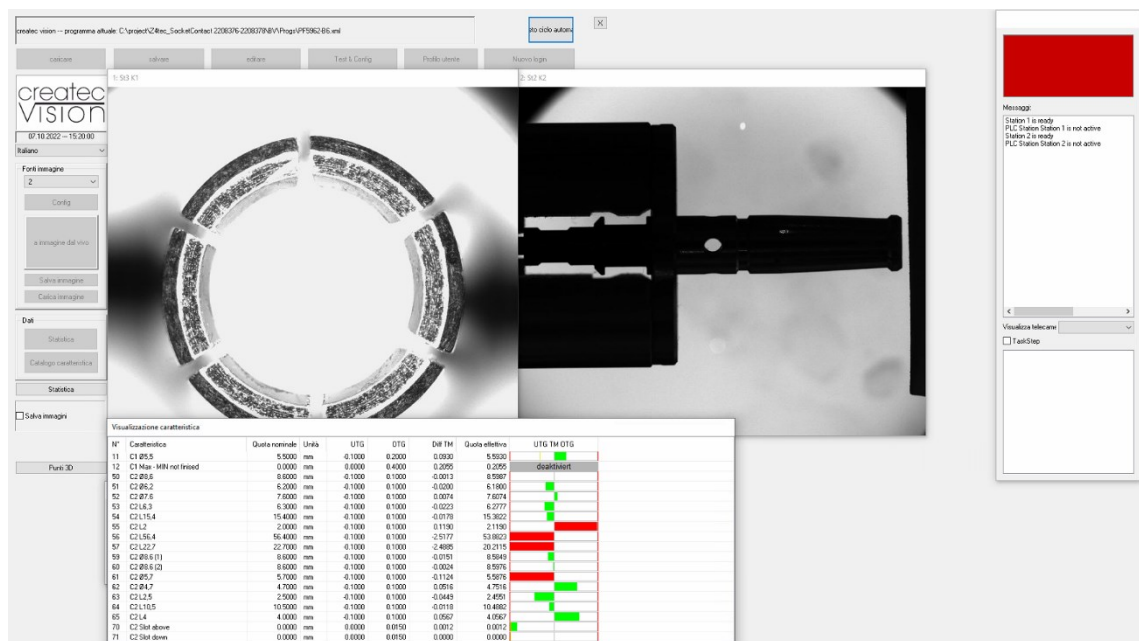


Figura 6-26 Interfaccia programma di misura dell'articolo PF5962-B6

Il programma di misura è stato realizzato in modo che, a seguito di un segnale di trigger inviato dal PLC della stazione, le telecamere procedano all'acquisizione delle due immagini sopra mostrate, le quali verranno utilizzate per effettuare le misure richieste.

Per praticità, il software permette di modificare, a proprio piacimento, il range di tolleranza di ogni quota misurata, lasciando all'operatore totale libertà sulla precisione di misurazione richiesta.

Come visibile dall'immagine corrispondente alla misura del componente PF5863-B7, la misura delle sue caratteristiche avviene secondo degli algoritmi capaci di identificare linee, punti, diametri e altre caratteristiche, corrispondenti ad una semplice transizione da pixel chiaro a pixel scuro. I pixel chiari corrisponderanno allo sfondo, mentre quelli scuri corrisponderanno al componente.

Dove è presente questa transizione, individuata tramite un'area di ricerca stabilita dall'utente, l'algoritmo stabilisce un insieme di pixel che verranno identificati, nell'immagine originale, come un punto, una linea o altre figure geometriche base.

Quest'ultime serviranno per individuare le dimensioni del componente secondo semplici algoritmi di calcolo di distanze tra due punti, distanze tra un punto e una retta, distanza tra due rette e così via.

Per facilitare l'individuazione delle zone di transizione, l'immagine viene rielaborata e sottoposta ad una sogliatura mediante la quale si stabilisce il livello di grigio limite del pixel per distinguere i pixel neri da quelli bianchi.

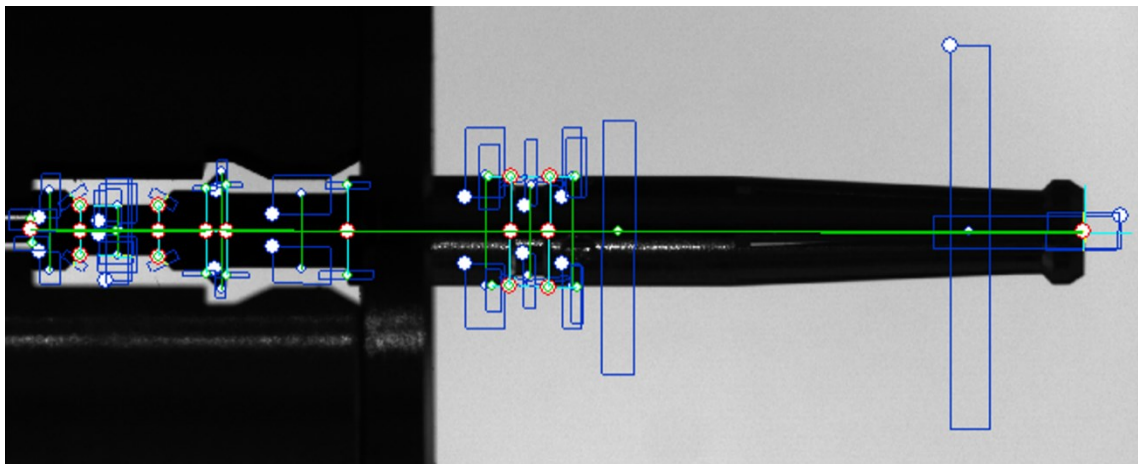


Figura 6-27 Focus sui punti e rette acquisite per la misurazione

Per la misurazione delle lunghezze dei componenti, dunque, sono stati individuati inizialmente dei punti su tutti gli estremi della geometria del pezzo. Successivamente,

tali punti sono stati utilizzati per tracciare delle rette secondo un task denominato “retta tra due punti”, corrispondenti alle variazioni dei diversi diametri che compongono il pezzo in esame. Dopo aver tracciato anche una retta corrispondente all’asse del pezzo, idealmente perpendicolare alle rette precedentemente individuate, sono stati identificati dei punti di riferimento tramite il comando “punto da intersezione tra due rette”. Saranno proprio quest’ultimi che, tramite il task “distanza tra due punti”, permetteranno di determinare le dimensioni effettive del componente, con una precisione prossima ai millesimi di millimetro.

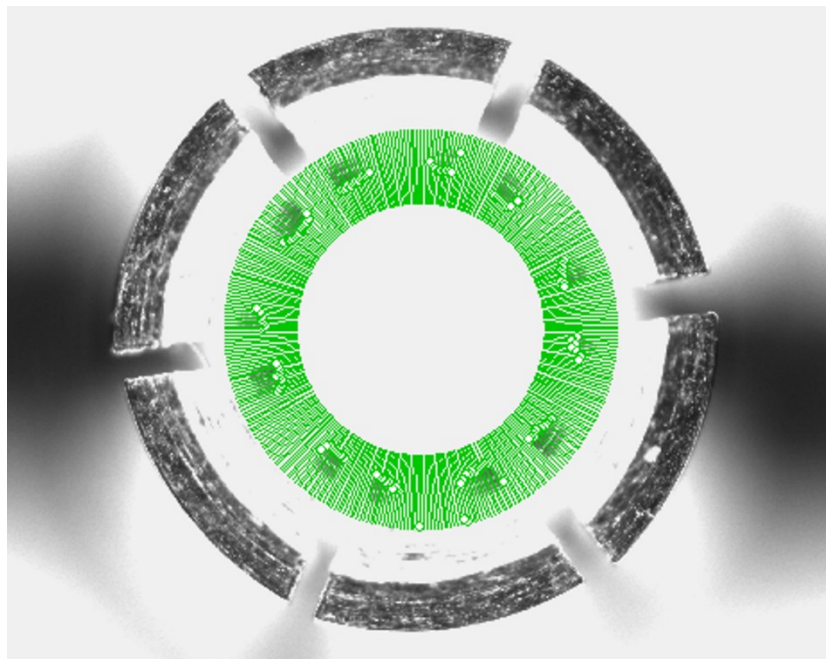


Figura 6-28 Focus sulla misurazione del diametro interno del componente

Per la misura del diametro interno del componente, invece, si utilizza un semplice task denominato “ricerca diametro” il quale, definita un’are di ricerca corrispondente ad una corona circolare, l’algoritmo va a ricercare radialmente i punti dove è presente una transizione dei pixel da chiaro a scuro.

Si ricorda che l’accuratezza delle misure ottenute è strettamente legata alla risoluzione delle telecamere utilizzate. A tal proposito, il calcolo dell’offset di misura, stabilito dalla differenza della quota effettiva e la quota misurata, risulta necessario per far fronte alla minor precisione del sistema di visione utilizzato.

Ad esempio, se la quota misurata dal sistema risulta essere pari a 10.005 [mm] e la corrispondente quota del master di taratura è pari a 10.006 [mm], l'offset che dovrà essere impostato sarà pari a 0.001 [mm]. Più il valore dell'offset è ridotto, più la misura che si sta effettuando è precisa. Tuttavia, i valori di offset accettabili per la misura in esame rientrano tra gli 0.000 e i 0.008 [mm].

Merkmalsanzeige								
Nr	Merkmal	Nennmaß	Einh	UTG	OTG	Abw TM	Istmaß	UTG TM DTG
11	C1 Ø2,5	2.5000	mm	-0.1000	0.2000	0.1998	2.6998	
12	C1 Max - MIN	0.0000	mm	0.0000	0.2000	0.1537	0.1537	deaktiviert
50	C2 Ø6	6.0000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0179	5.9821	
51	C2 Ø3,8	3.8000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0031	3.7969	
52	C2 Ø4,6	4.6000	mm	-0.1000	0.1000	0.0160	4.6160	
53	C2 L6,3	6.3000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0572	6.2428	
54	C2 L10,4	10.4000	mm	-0.1000	0.1000	0.0148	10.4148	
55	C2 L2	2.0000	mm	-0.1000	0.1000	0.0176	2.0176	
56	C2 L54,4	54.4000	mm	-0.1000	0.1000	0.0265	54.4265	
57	C2 L27,7	27.7000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0376	27.6624	
59	C2 Ø5,6 (1)	5.6000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0005	5.5995	
60	C2 Ø5,6 (2)	5.6000	mm	-0.1000	0.1000	0.0079	5.6079	
61	C2 Ø4,1	4.1000	mm	-0.1000	0.1000	0.0101	4.1101	
62	C2 Ø2,6	2.6000	mm	-0.1000	0.1000	-0.0176	2.5824	
63	C2 L2,5	2.5000	mm	-0.1000	0.1000	0.0284	2.5284	
64	C2 L9	9.0000	mm	-0.1000	0.1000	0.0339	9.0339	
65	C2 L4	4.0000	mm	-0.1000	0.1000	0.0292	4.0292	

Figura 6-29 Tabella delle misure

Infine, tutte le misurazioni ottenute sono state riportate nella tabella appena mostrata.

A sinistra è presente la descrizione della quota mentre, nella colonna centrale, sono riportate le dimensioni nominali da disegno tecnico. I valori riportati nelle colonne "UTG" e "OTG" corrispondono alle tolleranze della quota che si sta considerando, mentre le ultime due colonne forniscono i valori della dimensione effettivamente misurata e la differenza tra quest'ultima e il valore nominale della misura.

Infine, l'ultima colonna riporta un grafico che mostra, in maniera esaustiva, quanto la misura effettuata sia maggiore o minore rispetto al suo valore nominale. Se la misura rientra nel range di tolleranza stabilito, il grafico darà un esito di colore verde, altrimenti darà un esito di colore rosso. La possibilità di distinguere se una quota è maggiorata o minorata potrebbe tornare utile nel caso in cui si dovessero prendere decisioni riguardo il componente misurato. Ad esempio, se una quota risulta maggiorata, il pezzo potrebbe essere rilavorato; altrimenti, se la quota è minorata e il componente presenta meno materiale di quanto dovrebbe, dovrà essere necessariamente rottamato.

CONCLUSIONI

Al termine del lavoro appena presentato è doveroso effettuare delle considerazioni sui risultati ottenuti, rispetto agli obiettivi inizialmente prefissati in fase di progetto.

L'idea di utilizzare un robot collaborativo come asservimento al sistema di visione risulta essere efficace dal punto di vista di sicurezza e ottimizzazione degli spazi. Data l'assenza di sistemi di sicurezza come sensori di prossimità o griglie di protezione, come accade per i robot tradizionali, lo spazio richiesto dal layout completo della cella è notevolmente ridotto. L'elevato grado di collaborazione della stazione garantisce una migliore qualità del lavoro per gli operatori che la circondano e permette di evitare che quest'ultimi svolgano compiti logoranti e ripetitivi, senza poi considerare che l'utilizzo del robot permette di ottenere una precisione e un'operatività, nella manipolazione dei componenti, impensabili per l'essere umano.

Tuttavia, da un punto di vista prettamente tecnico, la stazione presenta uno svantaggio riguardante la cadenza di pezzi misurabili al minuto. Di fatto, mantenendo la velocità di movimentazione del robot all'interno dei valori previsti in modalità collaborativa, con una velocità massima di circa 180 [mm/s], il tempo ciclo richiesto per la presa del pezzo, inserimento nel sistema di posaggio, misurazione, ripresa e pallettizzazione è stimato essere prossimo ai 16 [s]. Se si aumenta la velocità d'esercizio a valori di circa 500 [mm/s], riducendo il tempo ciclo a circa 12 [s], la collaboratività dell'applicazione viene a mancare e saranno perciò necessarie precauzioni e sistemi di sicurezza dedicati. La tempistica del ciclo di misurazione è importante per avere una stima della convenienza dell'investimento ed è quindi un aspetto fondamentale per l'imprenditore che decide di adottare soluzioni automatizzate.

Per far fronte a questa problematica si potrebbero prevedere delle zone di funzionamento distinte. Ad esempio, utilizzando dei sensori di prossimità installati sul carrello del robot, si potrebbero individuare delle zone in cui, se percepita la presenza di un operatore, il robot riduce la propria velocità fino al valore preimpostato per il funzionamento in modalità collaborativa. D'altro canto, se l'area dovesse essere

sgombra, il robot potrebbe tranquillamente svolgere le sue funzioni a velocità sicuramente più sostenute. A prescindere, l'utilizzo di griglie di sicurezza non sarebbe necessario, permettendo risparmi in termini di materiali e spazio utile occupato.

Se invece si decidesse di utilizzare la cella in modalità manuale, sganciando il carrello del robot e posizionando un operatore, si è invece stimato che il tempo ciclo si riduce a circa 10 [s], dovuti per lo più alla fase di misurazione del pezzo che, da sola, richiede circa 6 [s]. È perciò doveroso considerare potenziali miglioramenti della stazione dal punto di vista del tempo di esecuzione con il robot installato.

Un ulteriore sviluppo della stazione potrebbe essere il miglioramento del blister di carico dei componenti. Al momento, la cella presenta un blister con una capacità di 56 pezzi che, considerando i tempi ciclo precedentemente descritti, il blister risulterà scarico in circa 11 – 17 [min], costringendo un operatore a ricaricare i blister di carico circa 4 volte all'ora. È semplice comprendere come la soluzione adottata non permette di raggiungere un grado di automazione particolarmente performante. Se si dovessero installare dei blister più capacitivi e portando la fase di ricarica a circa una all'ora, la stazione risulterebbe sicuramente più efficiente.

Si può quindi concludere che il punto di forza della stazione riguarda sostanzialmente il ridotto spazio necessario, la possibilità di funzionamento in entrambe le modalità (automatica e manuale) e la semplicità di programmazione del robot utilizzato. La stazione è infatti stata progettata sul concetto di flessibilità. Ad esempio, se si volesse eseguire il controllo dimensione su un componente simile a quelli mostrati, sarebbe necessario il solo cambiamento dei blister e del sistema di posaggio, senza dover rimodellare la stazione completamente da zero.

La cella, dunque, si presta bene per essere riconfigurata senza troppe modifiche o costi aggiuntivi.

APPENDICE 1

Di seguito lo script corrispondente al programma realizzato in RoboDK in linguaggio Python.

```
# RoboDK Python Intermediate file to generate robot
programs.
# Program name: ControlloPezziOK
# This file requires the post processor:
#   Omron
# to generate your robot program.
# This is a temporary file and you can delete it once you
have generated your program.
#
# Post processor documentation:
https://robodk.com/doc/en/PythonAPI/postprocessor.html

import sys
import os
sys.path.append(os.path.abspath(r"""C:/RoboDK/Posts/""")) #
temporarily add path to POSTS folder
from Omron import *
try:
    from robodk.robomath import PosePP as p
except:
    # This will be removed in future versions of RoboDK
    from robodk import PosePP as p

print('Total instructions: 17')

r = RobotPost(r"""Omron""",r"""Omron TM5-900""",6,
axes_type=['R','R','R','R','R','R'],
ip_com=r"""127.0.0.1""", api_port=20500,
prog_ptr=2264175091840, robot_ptr=2263955070944)
r.ProgStart(r"""ControlloPezziOK""")
r.RunMessage(r"""Program generated by RoboDK v5.5.1 for
Omron TM5-900 on 03/10/2022 18:01:21""",True)
r.RunMessage(r"""Using nominal kinematics.""",True)
r.setFrame(p(0,0,0,0,0,0),-1,r"""Omron TM5-900 Base""")
r.setTool(p(7.62914e-07,-2.10494,200,0,0,0),-
1,r"""Pinza""")

r.MoveJ(p(110.108,494.529,212.95,-
180,0,180),[91.4106,26.1819,64.2479,179.57,-90,-
178.589],[0,0,1])
```

```

r.MoveL(p(-30.8335,563.934,30.9759,-180,0,-
180),[105.577,39.1785,69.6474,161.174,-90,-
164.435],[0,0,1])

r.MoveL(p(-30.8335,563.934,-36.1253,-180,0,-
180),[105.577,42.8018,73.4724,153.726,-90,-
164.415],[0,0,1])

r.MoveL(p(-30.8335,563.934,30.9759,-180,0,-
180),[105.577,39.1785,69.6474,161.174,-90,-
164.435],[0,0,1])

r.MoveJ(p(281.099,-97.1169,102.032,90,0,-
180),[5.18223,0.0487902,112.562,157.389,-90,-
174.818],[0,0,1])

r.MoveL(p(636.276,-
59.079,152.759,90,0,90),[11.5456,4.74916,134.502,40.7477,-
78.444,-180],[0,0,1])

r.MoveL(p(671.276,-
59.079,152.759,90,0,90),[10.3434,9.10927,129.307,41.5846,-
79.6676,-180],[0,0,1])

r.MoveL(p(671.277,-59.0789,87.7586,90,5.15419e-
07,90),[10.3624,18.375,131.633,29.9909,-79.6277,-
180],[0,0,1])

r.MoveL(p(671.276,-
59.079,152.759,90,0,90),[10.3434,9.10927,129.307,41.5846,-
79.6676,-180],[0,0,1])

r.Pause(2000.0)

r.MoveL(p(671.277,-59.0789,87.7586,90,5.15419e-
07,90),[10.3624,18.375,131.633,29.9909,-79.6277,-
180],[0,0,1])

r.MoveL(p(671.276,-
59.079,152.759,90,0,90),[10.3434,9.10927,129.307,41.5846,-
79.6676,-180],[0,0,1])

r.MoveL(p(636.276,-
59.079,152.759,90,0,90),[11.5456,4.74916,134.502,40.7477,-
78.444,-180],[0,0,1])

r.MoveJ(p(109.571,-465.243,111.411,0,0,-180),[-
62.0446,24.0802,81.6326,164.287,-90,-152.045],[0,0,1])

```

```

r.MoveL(p(274.485,-560.412,39.8123,-0.0185101,-
0.000270697,180),[-52.7219,47.6833,53.5482,168.768,-
90.0001,-142.694],[0,0,1])

r.MoveL(p(274.486,-560.413,-33.2238,-0.0185101,-
0.000270697,180),[-52.7218,50.7772,58.4792,160.743,-90,-
142.716],[0,0,1])

r.MoveL(p(274.485,-560.412,39.8123,-0.0185101,-
0.000270697,180),[-52.7219,47.6833,53.5482,168.768,-
90.0001,-142.694],[0,0,1])

r.MoveJ(p(281.099,-97.1169,102.032,90,0,-
180),[5.18223,0.0487902,112.562,157.389,-90,-
174.818],[0,0,1])

r.ProgFinish(r""ControlloPezziOK"")
r.ProgSave(r""C:/Users/samuele/Desktop/""",r""ControlloPe
zziOK""",False,r""C:/RoboDK/Other/VSCodium/VSCodium.exe""
)
raise Exception("""Your license does not allow generating
programs with more than 50 lines of code. Upgrade your
license to unlock this feature.""")

```


APPENDICE 2

Di seguito è presentata la sequenza per il controllo dimensionale dello spinotto piccolo identificato dal codice articolo PF5863-B7.

```
////////////////////////////////////  
Task 4  
////////////////////////////////////
```

```
1:    Messen Station 1  
2:    Bsp: Kamera 1 --> variabel  
3:    KoordSys:  
4:    Kreisantastung: MP10  
5:    Kreisantastung: MP11  
6:    1-D Filter:  
7:    1-D Filter:  
8:    1-D Operator:  
9:    1D-Auswertung:  
10:   Bsp: Kamera 1 --> variabel  
11:   Kreisantastung:Ø2,5
```

```
-----  
////////////////////////////////////  
Task 5  
////////////////////////////////////
```

```
1:    Messen Station 2  
2:    Bsp: Kamera 1 --> variabel  
3:    KoordSys:  
4:    Abstand: Ø6  
5:    Abstand: Ø3,8  
6:    Abstand: Ø4,6  
7:    Abstand: Ø5,6 (1)  
8:    Abstand: Ø5,6 (2)  
9:    Abstand: Ø4,1  
10:   Abstand: Ø2,6  
11:   Helppoints for Lenght  
12:   Gerade: G1  
13:   Gerade: G2  
14:   Gerade: G3  
15:   Gerade: G4  
16:   Gerade: G5  
17:   Gerade: G6  
18:   Gerade: G7  
19:   Gerade: G8  
20:   Gerade: G9  
21:   Gerade: G10
```

22: Gerade: G11
23: Gerade: G12
24: Gerade: G13
25: Gerade: G14
26: Gerade: G15
27: Gerade: G16
28: Gerade: G17
29: Gerade: G18
30: Intersection point
31: Position: P10
32: Position: P11 G2 G4
33: Position: P12 G3 G5
34: Position: P13 G6 G4
35: Position: P14 G5 G7
36: Gerade: G20
37: Gerade: G21
38: Position: P15
39: Position: P16
40: Position: P17
41: Position: P18 G18 G9
42: Position: P19 G18 G10
43: Position: P20 G11 G13
44: Position: P21 G11 G14
45: Position: P22 G12 G15
46: Position: P23 G12 G15
47: Gerade: G22
48: Gerade: G22 P21 P23
49: Position: P24 G18 G22
50: Position: P25 G18 G23
51: Position: P26 G18 G17
52: Lenght
53: Abstand: L2,5 P10 P15
54: Abstand: L4 P15 P16
55: Abstand: L9 P10 P17
56: Abstand: L6,3 P18 P19
57: Abstand: L10,4 P19 P25
58: Abstand: L2 P24 P25
59: Abstand: L27,7 P25 P26
60: Abstand: L54,4 P10 P26
61: Control of slot
62: KoordSys:
63: Fläche: Slot above
64: KoordSys:
65: Fläche: Slot down

APPENDICE 3

Di seguito è presentata la sequenza per il controllo dimensionale dello spinotto grande identificato dal codice articolo PF5962-B6.

```
////////////////////////////////////  
Task 4  
////////////////////////////////////
```

```
1: Messen Station 1  
2: Bsp: 1 --> variabel  
3: KoordSys:  
4: Kreisantastung: MP10  
5: Kreisantastung: MP11  
6: 1-D Filter:  
7: 1-D Filter:  
8: 1-D Operator:  
9: 1D-Auswertung:  
10: Bsp: 1 --> variabel  
11: Kreisantastung:Ø5,5
```

```
-----  
////////////////////////////////////  
Task 5  
////////////////////////////////////
```

```
1: Messen Station 2  
2: Bsp: 1 --> variabel  
3: KoordSys:  
4: Abstand: Ø8,6  
5: Abstand: Ø6,2  
6: Abstand: Ø7,6  
7: Abstand: Ø8,6 (1)  
8: Abstand: Ø8,6 (2)  
9: Abstand: Ø5.7  
10: Abstand: Ø4,7  
11: Helppoints for Lenght  
12: Gerade: G1  
13: Gerade: G2  
14: Gerade: G3  
15: Gerade: G4  
16: Gerade: G5  
17: Gerade: G6  
18: Gerade: G7  
19: Gerade: G8  
20: Gerade: G9  
21: Gerade: G10
```

22: Gerade: G11
23: Gerade: G12
24: Gerade: G13
25: Gerade: G14
26: Gerade: G15
27: Gerade: G16
28: Gerade: G17
29: Gerade: G18
30: Intersection point
31: Position: P10
32: Position: P11 G2 G4
33: Position: P12 G3 G5
34: Position: P13 G6 G4
35: Position: P14 G5 G7
36: Gerade: G20
37: Gerade: G21
38: Position: P15
39: Position: P16
40: Position: P17
41: Position: P18 G18 G9
42: Position: P19 G18 G10
43: Position: P20 G11 G13
44: Position: P21 G11 G14
45: Position: P22 G12 G15
46: Position: P23 G12 G15
47: Gerade: G22
48: Gerade: G22 P21 P23
49: Position: P24 G18 G22
50: Position: P25 G18 G23
51: Position: P26 G18 G17
52: Lenght
53: Abstand: L2,5 P10 P15
54: Abstand: L4 P15 P16
55: Abstand: L10,5 P10 P17
56: Abstand: L6,3 P18 P19
57: Abstand: L15,4 P19 P25
58: Abstand: L2 P24 P25
59: Abstand: L22,7 P25 P26
60: Abstand: L56,4 P10 P26
61: Control of slot
62: KoordSys:
63: Fläche: Slot above
64: KoordSys:
65: Fläche: Slot down

INDICE FIGURE E TABELLE

Figura 1-1 Esempio di robot collaborativo [5]	10
Figura 1-2 Collaborazione uomo-macchina [3].....	13
Figura 1-3 Esempio di asservimento a sistemi di visione di Video System [11]	17
Figura 1-4 Esempio di scanning 3D di Aluotion [12].....	17
Figura 1-5 Techman Omron TM5-900 [15]	18
Figura 1-6 LANDMARK [17]	20
Figura 1-7 Differenza tra LANDMARK e coordinate classiche [16].....	21
Figura 2-1 Interfaccia grafica RoboDK	23
Figura 2-2 Interfaccia software TM Flow [14].....	24
Figura 3-1 Rendering dello spinotto grande	28
Figura 3-2 Rendering dello spinotto piccolo.....	28
Figura 3-3 Disegno tecnico spinotto grande.....	29
Figura 3-4 Disegno tecnico spinotto piccolo.....	29
Figura 3-5 COE-050-M-USB-050-IR-C.....	30
Figura 3-6 Obiettivo telecentrico sistema di visione orizzontale TC23064 [23].....	31
Figura 3-7 Obiettivo telecentrico sistema di visione verticale S5LPJ3208 [25]	31
Figura 3-8 Campo visivo lente standard [27]	32
Figura 3-9 Campo visivo lente telecentrica [27]	32
Figura 3-10 Rendering illuminatore telecentrico.....	33
Figura 3-11 Rendering illuminatore anulare.....	33
Figura 3-12 Item24 - Sezione Profilo 8 40x40.....	34
Figura 3-13 Item24 - Sezione Profilo 8 80x40.....	34
Figura 3-14 Schunk Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [30]	36
Figura 3-15 Sezione Pinza Schunck Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [30]	37
Figura 3-16 Schema di montaggio della pinza	38
Figura 3-17 Pianale per il posaggio dei pezzi	39
Figura 3-18 Disegno tecnico dita AUB Co-act EGP 40/12 [32].....	40
Figura 3-19 Rendering presa pezzo con pinze in dotazione	40

Figura 3-20 Rendering dita pinze progettate in sede	41
Figura 3-21 Rendering presa pezzo con dita progettate in sede.....	41
Figura 3-22 Disegno tecnico dita progettate in sede.....	42
Figura 4-1 Rendering banco di visione.....	43
Figura 4-2 Rendering struttura banco di visione	44
Figura 4-3 Rendering struttura supporto sistema di visione orizzontale	45
Figura 4-4 Rendering struttura supporto sistema di visione verticale	46
Figura 4-5 Rendering sistema spostamento posaggio pezzo	48
Figura 4-6 Rendering piastra di copertura.....	48
Figura 4-7 Rendering bicchiere posaggio pezzo	49
Figura 4-8 Rendering bicchiere posaggio pezzo	49
Figura 5-1 Rendering carrello per il trasporto del robot assemblato	50
Figura 5-2 Rendering struttura del carrello per il trasporto del robot.....	52
Figura 5-3 Blister di scarico pezzi conformi	53
Figura 5-4 Blister di scarico pezzi non conformi	54
Figura 5-5 Blister di carico	54
Figura 6-1 Rendering layout finale della cella	56
Figura 6-2 Schema generale del funzionamento della cella.....	58
Figura 6-3 Rilevamento pezzo e slitta pneumatica a fine corsa	59
Figura 6-4 Fasatura del pezzo e slitta pneumatica a inizio corsa	60
Figura 6-5 Posizione iniziale di presa pezzi	61
Figura 6-6 Posizione di inserimento pezzo nel terminale di misurazione	62
Figura 6-7 Posizione iniziale per lo scarico pezzi	62
Figura 6-8 Interfaccia di controllo robot TMFlow.....	64
Figura 6-9 Fase di calibrazione iniziale del robot.....	66
Figura 6-10 Interfaccia selezione task "Vision"	67
Figura 6-11 Task di riconoscimento del landmark.....	67
Figura 6-12 Posizionamento nel punto iniziale.....	68
Figura 6-13 Sogliatura dell'immagine e definizione del pattern di riferimento.....	69
Figura 6-14 Servo azionamento del robot	69

Figura 6-15 Sub flow per l'individuazione e presa dei pezzi tramite ausilio della fotocamera.....	70
Figura 6-16 Sequenza posizionamento pezzo su sistema di posaggio	70
Figura 6-17 Sequenza per pallettizzazione pezzi conformi	71
Figura 6-18 Sequenza pallettizzazione pezzi non conformi.....	71
Figura 6-19 Master di taratura dell'articolo PF5962-B6	73
Figura 6-20 Master di taratura dell'articolo PF5863-B7	73
Figura 6-21 Immagine dell'articolo PF5962-B6 acquisita dalla telecamera laterale	74
Figura 6-22 Immagine dell'articolo PF5863-B7 acquisita dalla telecamera laterale	74
Figura 6-23 Immagine dell'articolo PF5962-B6 acquisita dalla telecamera superiore...	75
Figura 6-24 Immagine dell'articolo PF5863-B7 acquisita dalla telecamera superiore...	75
Figura 6-25 Interfaccia programma di misura dell'articolo PF5863-B7.....	76
Figura 6-26 Interfaccia programma di misura dell'articolo PF5962-B6.....	76
Figura 6-27 Focus sui punti e rette acquisite per la misurazione	77
Figura 6-28 Focus sulla misurazione del diametro interno del componente	78
Figura 6-29 Tabella delle misure.....	79
Tabella 1-1 Specifiche Omron TM5-900 [16].....	19
Tabella 3-1 Caratteristiche Pinza Schunck Co-act EGP-C 40-N-N-TMEK [31]	37

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] <https://www.universal-robots.com/it/robot-collaborativi-o-cobot-cosa-sono-la-guida-definitiva/#:~:text=I%20robot%20collaborativi%20sono%20robot,da%20Universal%20Robots%20nel%202008>
- [2] <http://www.nexman.it/2019/10/05/robot-cobot-quali-differenze/>
- [3] <https://www.nexman.it/2019/12/19/puo-un-cobot-aiutare-la-mia-azienda/>
- [4] <https://www.tenenga.it/robot-collaborativi-cobot-modelli-applicazioni-vantaggi/>
- [5] <https://www.homberger-robotica.com/prodotti/robot-collaborativi/>
- [6] <https://robotsdoneright.com/Articles/robotic-payload.html#:~:text=A%20robot's%20payload%20capacity%20refers,integrated%20with%20the%20robot%20wrist.>
- [7] <https://www.automate.org/editorials/what-s-the-best-reach-for-an-industrial-robot#:~:text=What%20is%20a%20Robot's%20Reach%3F,measure%20of%20the%20robot's%20workspace.>
- [8] <https://www.eurobots.it/notizie-robots/limportanza-della-precisione-e-della-ripetibilita-nellautomazione-industriale/>
- [9] <https://www.linak.it/divisioni/techline/tech-trends/grado-di-protezione-ip/>
- [10] https://wblog.wiki/it/Operating_temperature
- [11] https://www.ilgazzettino.it/nordest/udine/robot_sostituisce_l_uomo_controllo_qualita_video_systems-6649676.html?refresh_ce
- [12] <https://www.automazionenews.it/la-robotica-collaborativa-e-il-controllo-qualita-nel-processo-produttivo/>
- [13] <https://www.automate.org/companies/robodk>
- [14] <https://www.tm-robot.com/en/tm-robot/>
- [15] <https://www.ramcoi.com/itemdetail/RT6-1101300>
- [16] <https://assets.alliedelec.com/v1604318244/Datasheets/a0a3fe173fa3048e4f589ec1424f3bc1.pdf>
- [17] <https://www.tm-robot.com/de/produkt/tm-landmark/>

- [18] <https://accu-techusa.com/wp-content/uploads/2021/03/TM-Robot-Catalog-21B18EN.pdf>
- [19] <https://createcvision.de/Home>
- [20] <https://www.engineering.it/solid-edge/>
- [21] https://www.opto-e.it/repository/COE-U%20series/Datasheets/COE-050-M-USB-050-IR-C_EN_v02.pdf
- [22] https://www.opto-e.it/repository/TC%20series/Datasheets/TC23064_EN_v01.pdf
- [23] <https://www.opto-e.it/prodotti/obiettivo-telecentrico-per-sensori-matrici-TC23064>
- [24] <https://www.stemmer-imaging.com/media/uploads/optics/14/145435-SILL-TZM-3208-077-C.pdf>
- [25] <https://www.stemmer-imaging.com/en/products/series/sill-optics-td-series/>
- [26] Slide del Corso Sistemi di Misura e Visione, Univpm, Docente Paolo Castellini, A.A 2021/2022
- [27] <https://www.opto-e.it/risorse/tutorial-ottiche-telecentriche>
- [28] https://welcome.item24.it/item-siamo-noi?utm_campaign=brand&utm_form=525202257764&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=CjwKCAjwo_KXBhAaEiwA2RZ8hOfbuWFR8146GNuBA50on5wPNZn0nn7kuCNSUOxG7WKXHYEwumkDIhoC8BUQAvD_BwE
- [29] <https://www.iso.org/standard/62996.html>
- [30] https://schunk.com/it_it/sistemi-di-presa/product/77947-1375931-co-act-egp-c-40-n-n-tmek/
- [31] <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0025169.PDF>
- [32] https://schunk.com/it_it/sistemi-di-presa/seriesaccessory/griffa-superiore-aub-co-act-egp/product/65895-1401285-aub-co-act-egp-40-12/
- [33] https://smc-static-resources-prd.s3.eu-central-1.amazonaws.com/products/datasheet/gen/DS_MGPA25TF-75AZ_it_IT.pdf
- [34] <https://docs.rs-online.com/3d1d/A700000007587743.pdf>
- [35] <https://www.elesa.com/it/elesab2bstoreit/Ruote-industriali--Ruote-con-supporto-in-acciaio--REFF-FBF-N?singlesku=451186#listtype=search&term=451186>

[36] Slide del Corso Smart Factories, Univpm, Docente Giovanni Mazzuto, A.A 2021/2022

[37] <https://www.teamviewer.com/it/>

[38] <http://agil-technologies.com/wp>

[content/uploads/2017/04/OPTICLINE_10064365_04_2016_en.pdf](http://agil-technologies.com/wp-content/uploads/2017/04/OPTICLINE_10064365_04_2016_en.pdf)

RINGRAZIAMENTI

In primo luogo, vorrei ringraziare la mia famiglia per avermi dato il supporto necessario durante tutti e cinque gli anni di sudi, portando pazienza e sopportando momenti difficili che si sono sviluppati durante questo percorso.

Vorrei poi ringraziare Serena per avermi dato conforto e fiducia, supportandomi attivamente e regalandomi momenti di tranquillità ogni volta che ne avevo bisogno.

Ringrazio i miei compagni di corso Lorenzo, Ilaria, Sofia, Giovanni, Elisa, Dino e Valentina con i quali ho condiviso pomeriggi di studio e preparazione per gli esami affrontati insieme. Senza il lavoro di squadra che abbiamo adottato, questo risultato avrebbe sicuramente tardato ad arrivare.

Ringrazio poi tutta la mia compagnia: Bianca, Spado, Notti, Cioxe, Edoardo, Checco, Bisu, Menga, Damiano, Andrea, Alfio, Elia, Frnaceso, Ele F, Ele C, Sara, Gloria, Elisa e Camilla. Tutti loro hanno contribuito a rendere questi anni pieni di momenti di estrema spensieratezza e divertimento, grazie di cuore a tutti voi.

Un affettuoso ringraziamento va alle mie cugine Marta e Jennifer, che dall'inizio di questo percorso mi hanno spinto a dare il massimo in ogni circostanza e hanno creduto nelle mie capacità.

Ci tengo poi a ringraziare il prof. Giacomo Palmieri, l'ing. Saverio Zitti, Stefano Zannini e Marco Zannini per avermi dato la possibilità di svolgere il tirocinio presso l'azienda Zannini di Castelfidardo. Questa esperienza mi ha permesso di acquisire una quantità di competenze e skill che sempre mi aiuteranno per affrontare qualsiasi sfida il lavoro mi riserverà.

Un grande ringraziamento vai poi al team di Z4tec: Lorenzo, Vito, Fabio, Francesco, Filippo e Paolo, i quali mi hanno accolto nei loro progetti con grande entusiasmo e hanno cercato di trasferirmi più conoscenze possibili durante il tempo passato insieme.

Parte di questo traguardo è anche merito vostro, infinite grazie.