

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica



**Sviluppo di un sistema di controllo qualità basato su
robot e sistemi di visione telecentrica**

**Development of a quality control system based on robots and
telecentric vision systems**

Relatore:

Prof. Paolo Castellini

Candidato:

Davide Nizzola

Anno Accademico 2021-2022

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Scopo della tesi	1
1.2	Scelta tecnologie di misura	2
1.3	Descrizione strumenti di misura	4
1.4	Controllo automatico	10
2	Materiali	13
2.1	Dispositivi Hardware	13
2.1.1	Robot	13
2.1.2	Camera	15
2.1.3	Ottica	18
2.1.4	Illuminazione	23
2.2	Sistema di misura	24
2.3	Ambiente di sviluppo software	26
2.3.1	Labview	26
2.3.2	NI Measurement & Automation Explorer (NI-MAX)	31
2.3.3	MATLAB	32
3	Metodi	35
3.1	Configurazione sistema	35
3.1.1	Configurazione robot	36

3.1.2	Configurazione sistema ottico e di elaborazione dati	39
3.2	Descrizione del programma LabVIEW	41
3.2.1	Raggiungimento Punti	41
3.2.2	Acquisizione immagini	42
3.2.3	Elaborazione immagini	43
4	Risultati	45
	Bibliografia	47

Elenco delle figure

1.1	Componente meccanico	3
1.2	Differenza illuminazione su fori	7
1.3	Schema montaggio RingLight	8
1.4	Gruppo ottico	10
1.5	Diagramma configurazione Robot	12
2.1	Robot DENSO	14
2.2	Specifiche robot DENSO	14
2.3	Sensore CMOS	16
2.4	Telecamera mvBlueFOX3-2	17
2.5	Specifiche telecamera mvBlueFOX3-2	17
2.6	Esempio alterazione fattore di ingrandimento	19
2.7	Percorso raggi luminosi telecentrico	20
2.8	Differenze distorsione tra obiettivi	22
2.9	Obiettivo telecentrico	22
2.10	Specifiche obiettivo telecentrico	23
2.11	Ring Led	23
2.12	Specifiche Ring Led	24
2.13	Sistema di misura	25
2.14	Front Panel	28
2.15	Nodi e collegamenti	29
2.16	Icona e connettore	30

2.17	Interfaccia NI-MAX	31
2.18	Script node MATLAB	33
3.1	Sistemi di riferimento del robot	36
3.2	Percorso eseguito dal robot	37
3.3	Coordinate posizione punti di misurazione	38
3.4	Foglio di calibrazione	39
3.5	Driver software IMAQ.dx	42
3.6	Sub-VI Matlabcode	44
4.1	Interfaccia ottenuta	45
4.2	Circonferenza calcolo diametro	46

1. Introduzione

1.1 Scopo della tesi

Il fine della tesi seguente consiste nel descrivere lo studio svolto durante l'esperienza di tirocinio all'interno del Dip. Ing. Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche con il professore Paolo Castellini e la dottoranda Silvia Discepolo.

Lo scopo consiste nello sviluppo di un sistema automatico di controllo qualità per componenti meccanici pensato per un ambiente industriale automatizzato mediante robot. Il sistema deve essere in grado di determinare autonomamente le dimensioni e coordinate di specifici fori presenti su un componente meccanico.

La tecnologia scelta per l'esecuzione delle prove è basata sull'utilizzo di un sistema di visione industriale composto da una telecamera dotata di obiettivo telecentrico montata su un robot antropomorfo. La gestione dei movimenti del sistema mediante robot e l'elaborazione delle immagini è affidata al software Labview, il quale mediante le capacità di calcolo del codice MATLAB, garantisce le misurazioni richieste per la verifica del componente. I risultati ottenuti verranno infine confrontati con i dati di progetto per verificare che le tolleranze geometriche e dimensionali siano rispettate al fine di completare il processo di controllo qualità.

1.2 Scelta tecnologie di misura

Parlando di Industria 4.0, ovvero dell'ultima rivoluzione industriale in atto e di automazione dei processi, le industrie attuali hanno dimostrato un elevato potenziale di sviluppo per l'incremento della produttività, la riduzione dello spreco, il miglioramento della qualità dei prodotti e la riduzione dei costi di gestione. All'interno dei moderni ambienti di produzione, a seconda dell'applicazione, il metodo di misura ottimale vede spesso la sovrapposizione della tecnologia ottica a quella tattile. Nella maggior parte dei processi di misura ottici, grazie all'elevata densità possibile dei punti di misura, vengono generati e visualizzati già ad oggi grandissime quantità di dati e di conseguenza è possibile tendere ai modelli virtuali invece che a quelli classici. Circa l'80% delle applicazioni di sistemi di visione industriale sono relative al controllo di qualità. Le tecniche di acquisizione possono essere sia bidimensionali 2D (surface inspection) che tridimensionali 3D (completeness inspection). La completeness inspection, controllo di completezza, è una delle applicazioni basilari della visione artificiale. Si tratta di identificare l'oggetto, verificarne la presenza di parti, individuare componenti difettose e, talvolta, stimare posizione e caratteristiche di una componente nel caso di queste ultime sono di comune utilizzo scanner laser per misurazioni 3D. Le tecniche 3D permettono l'individuazione di informazioni addizionali rispetto alle classiche tecniche 2D come, ad esempio, la determinazione della profondità di un oggetto, le misurazioni di componenti dello stesso colore oppure non rigide. Le più comuni tecniche 2D hanno una maggiore velocità e semplicità dell'intero sistema limitando lo studio alla superficie interessata. I sistemi di visione industriali 2D sono composti da elementi hardware e software che permettono l'acquisizione e successivamente l'elaborazione delle immagini.

Un sistema di visione industriale è generalmente composto da:

- Telecamere digitali;
- Lenti ed ottiche;
- Calcolatore con sistema di elaborazione immagini;

Di conseguenza, consiste in un evoluto sistema di elaborazione attivo di immagini, capace di interpretarne il contenuto ed estrapolarne informazioni utili. Inoltre, altra caratteristica fondamentale riguarda la ridotta dimensione e peso dell'intero sistema di misura che si presta molto bene ad applicazioni robotiche e di utilizzo in linea di produzione.

Data la natura geometrica delle componenti in studio, ovvero di forma semplice e rigida, la scelta dell'utilizzo di un sistema di visione 2D è risultata la scelta migliore: la planarità dell'oggetto permette uno studio di *surface inspection*, volto alla determinazione e verifica di caratteristiche geometriche e dimensionali di fori presenti sul componente. Nello specifico, le misurazioni del componente richieste riguardano: il calcolo del diametro e la determinazione della posizione di fori del componente (fig.1.1), i quali dovranno rispettare le corrispettive specifiche di progetto. Di seguito viene riportato il disegno 3D della zona di interesse del componente, sia in versione integrale che con vista dall'alto:

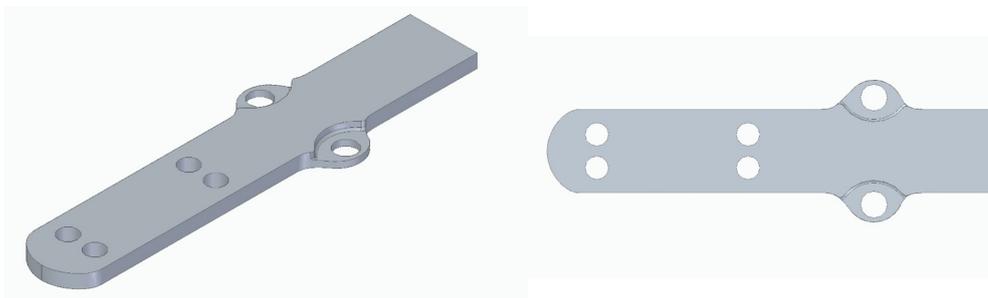


Figura 1.1: Componente meccanico

Determinata la tecnologia secondo il quale sarà svolto il controllo, altra caratteristica fondamentale da definire è la modalità secondo la quale quest'ultima riuscirà a verificare la conformità di ogni foro in maniera autonoma. La scelta ottimale per ottenere un buon risultato in termini di velocità di misurazione e qualità di quest'ultima è stato quello di utilizzare un robot antropomorfo, capace di raggiungere ogni foro rispettando le caratteristiche fondamentali del sistema visivo.

1.3 Descrizione strumenti di misura

L'intero processo di misurazione, come già anticipato in precedenza, è incentrato su sistemi di visione artificiale. Un sistema di visione artificiale è basato su componenti ottiche in cui, mediante opportune operazioni di elaborazione di immagine, permette il riconoscimento di determinate caratteristiche dell'immagine utili a processi di controllo. Le componenti fondamentali di un sistema di visione sono:

- Sensore;
- Lenti;
- Illuminatore;
- Elaborazione immagini;

Sensore Il sensore è l'elemento principale dell'intero sistema di acquisizione in quanto è grazie a quest'ultimo che viene prodotta l'immagine digitale. In base al tipo di sensore, l'immagine può assumere una rappresentazione 2D oppure di un volume da 3D. Il ruolo del sensore è di convertire la luce, sia nello spettro visibile che al di fuori di esso (infrarosso, ultravioletto, raggi X, ecc..) in un'immagine digitale formata da pixel.

Nel caso in studio, l'acquisizione avviene all'interno dello spettro visibile mediante l'utilizzo di una telecamera digitale, nello specifico di una mvBlueFOX3-2 prodotta dalla MATRIX VISION (fig.2.4).

La telecamera possiede buone capacità di acquisizione e un'ottima risoluzione mantenendo un ingombro non elevato, ottimo per il nostro caso. La connessione con il calcolatore è affidata ad una connessione USB3, che permette la trasmissione dell'elevato numero di informazioni (dati) prodotto dalla telecamera.

Il solo utilizzo della telecamera, semplicemente con il proprio sensore, non è sufficiente per poter ottenere immagini di qualità adatte alle misurazioni. Infatti, vengono a mancare caratteristiche come luminosità, contrasto e bassa distorsione. La soluzione a tale problema risiede nell'utilizzo di obiettivi, ovvero componenti aggiuntivi volti alla modifica del percorso che la luce compie prima di arrivare al sensore della telecamera.

Obiettivo: Il compito dell'obiettivo è quello di catturare l'immagine e presentarla al sensore della telecamera sotto forma di luce. Durante lo studio svolto, la scelta dell'obiettivo è stato il processo fondamentale che ha richiesto più tempo e risorse. La determinazione dell'obiettivo esatto, determina la qualità delle immagini, sceglierne uno adatto alle caratteristiche dell'intero sistema di acquisizione ne preclude la fedeltà geometrica dell'immagine e la qualità delle misurazioni.

In merito alla scelta dell'obiettivo, la scelta iniziale riguardava l'utilizzo di obiettivi standard ma a seguito di varie prove utilizzando differenti obiettivi, il risultato non risultava soddisfacente in quanto la qualità delle immagini non restava costante ma variava lungo i vari punti di misura. La necessità di possedere un sistema affidabile richiede l'uniformazione della qualità delle

immagini e di conseguenza delle acquisizioni.

La soluzione scelta riguarda l'utilizzo di un obiettivo telecentrico, che a differenza delle classiche lenti standard, oltre a mantenere una messa a fuoco più costante, permette di acquisire immagini dalla migliore qualità, particolarmente adatte alle misurazioni riguardanti il controllo dimensionale.

La tecnologia con cui questi ultimi sono costruiti permette di ottenere una distorsione pressoché nulla, un elevato contrasto e una riduzione degli effetti prospettici dovuti ad un ipotetico posizionamento impreciso. Essenzialmente, mediante l'utilizzo di un obiettivo telecentrico, l'immagine acquisita risulta piatta il più possibile; caratteristica fondamentale per le misurazioni sul diametro dei fori. Nei fori, trattandosi di cilindri cavi, la fedeltà della riproduzione geometrica dell'immagine dipende molto dalla prospettiva che all'interno delle immagini ne modifica le dimensioni reali circonferenziali.

L'obiettivo telecentrico scelto è della OPTO ENGINEERING nello specifico il modello TC23036, un obiettivo telecentrico perfettamente compatibile per la telecamera precedentemente scelta. Caratteristica molto importante nell'ambito delle misurazioni meccaniche è l'illuminazione, necessaria per ottenere un'ulteriore qualità della misurazione mettendo in risalto le differenze presenti sugli oggetti studiati.

Illuminazione: In merito all'illuminazione adottata, anche quest'ultima è un fattore importante per lo sviluppo del nostro sistema, in quanto un sensore come già detto crea immagini analizzando la luce riflessa di un oggetto, non analizzando l'oggetto stesso. Una determinata illuminazione può modificare l'aspetto dell'immagine, nascondendo alcune caratteristiche oppure accentuandone altre.

Il nostro obiettivo è quello di ottenere immagini di fori passanti, ovvero in cui il foro attraversa completamente il componente meccanico. Di conseguenza, le tipologie di illuminazione da poter adottare consistevano in due differenti soluzioni:

- **Illuminazione del basso:** l'illuminazione avviene dalla parte inferiore del pezzo, con conseguente illuminazione della cavità del foro con superficie superiore scura
- **Illuminazione dall'alto:** illuminazione avviene dalla parte superiore del pezzo, definendo la cavità mediante superficie superiore illuminata e cavità del foro scura.

Di seguito due immagini che rappresentano le differenze, a sinistra l'illuminazione dal basso mentre a destra riguarda illuminazione dall'alto:

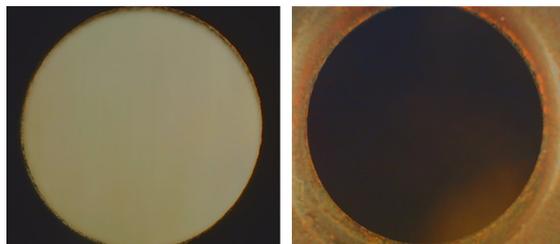


Figura 1.2: Differenza illuminazione su fori

La soluzione finale adottata per il nostro sistema ricade nell'illuminazione dall'alto in quanto quest'ultima, a seguito di prove sperimentali, garantisce risultati migliori per le operazioni di elaborazione immagine. Adottando tale tipologia di illuminazione, il dispositivo utilizzato nel sistema di visione è composto da un ring-led della MetaBright modello MB-RL201-W-24D.

La scelta di un illuminatore ad anello è dovuta all'uniformità del fascio luminoso che riesce a garantire una superficie illuminata uniformemente

eliminando quasi totalmente la presenza di ombre.

Di seguito una rappresentazione sulla modalità di montaggio:

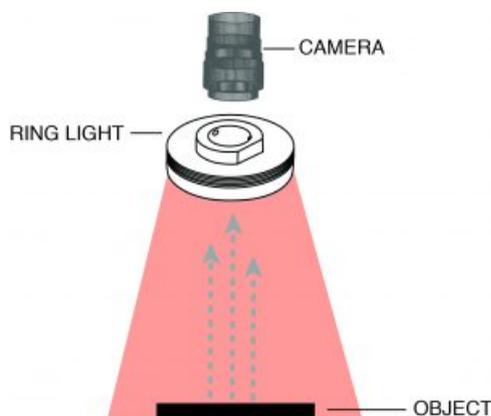


Figura 1.3: Schema montaggio RingLight

Elaborazione immagini: Ultima componente del sistema di visione riguarda quella legata all'elaborazione delle immagini, ovvero nella processazione delle immagini acquisite dall'intero gruppo hardware del sistema per ricavarne le grandezze richieste. Il processo di elaborazione immagini può essere integrato all'interno del sistema di visione oppure subordinato ad un calcolatore. L'interfacciamento tra calcolatore e telecamera avviene mediante connessione diretta oppure tramite schede di acquisizione immagini, dove successivamente, grazie ad appositi software compatibili si prosegue con l'elaborazione dell'immagine. La possibilità di utilizzare un PC permette lo sviluppo di codici ad hoc usando linguaggi conosciuti e ben supportati come Visual C/C++, Visual Basic, Java oppure ambienti di programmazione grafica.

Nel caso di sistemi semplici e poco costosi come il nostro, l'elaborazione delle immagini avviene appunto mediante calcolatore con un software di programmazione grafica. Il software scelto per il nostro sistema è Labview, programma funzionale e di facile programmazione, molto utilizzato in ambito

accademico e industriale nello sviluppo di sistemi automatici di test e misurazione. La sua poliedricità permette di interfacciarsi con l'intero sistema di misura: a partire dal robot fino all'elaborazione delle immagini. Come anticipato, il movimento del robot è gestito dal programma, mediante apposite librerie di cui successivamente verrà specificato il funzionamento.

Per quanto riguarda l'algoritmo di elaborazione delle immagini, quest'ultimo è subordinato ad uno specifico script MATLAB il quale, opportunamente richiamato all'interno del software Labview garantisce il calcolo delle grandezze richieste. La scelta di utilizzare una funzione MATLAB richiamata all'interno dello script integrato in una VI appositamente creata, è dovuta al fatto che quest'ultima soluzione garantisce una migliore capacità di identificazione dei fori sull'immagine.

Naturalmente non è l'unica opzione disponibile infatti sono presenti diverse utility che permettono di eseguire la medesima operazione come NI-Vision ad esempio, un software proprietario della National Instruments, casa madre del software Labview che permette di creare VI specifiche per determinate operazioni di calcolo compresa quella di individuazione e misurazione di circonferenze.

Durante l'utilizzo di quest'ultima opzione, scelta inizialmente per i miei sistemi, si è rivelata poco robusta e inaffidabile in quanto l'algoritmo che gestisce l'intero sistema non possiede una buona tolleranza in termini di capacità di esecuzione del processo di calcolo dei fori. Infatti, la processazione dell'immagine è legata al perfetto centraggio del foro all'interno dell'immagine; tale caratteristica non è adatta agli scopi del sistema da noi utilizzato in quanto trattandosi di un sistema di controllo qualità, il sistema deve essere in grado di eseguire le operazioni di identificazione e misurazione delle componenti

anche se queste ultime presentano un elevato discostamento dalle specifiche di progetto al fine di ritenere tale componente idoneo oppure non idoneo. Per tali motivazioni, la scelta è ricaduta sull'utilizzo dello script MATLAB. L'intero sistema di visione assemblato è supportato da una staffa la quale collega l'assieme al robot oltre che supportare il montaggio dei componenti singoli tra loro. In basso allegata un'immagine:



Figura 1.4: Gruppo ottico

1.4 Controllo automatico

La possibilità di automatizzare il controllo visivo di un prodotto rende l'operazione veloce, ripetibile ed oggettiva non soggetta quindi ad errori di distrazione. In questo modo si possono aumentare i ritmi produttivi e ridurre le risorse di tempo e di personale impiegate nella verifica dei pezzi limitandosi a gestire solamente i casi di effettiva presenza di difetti. Di conseguenza, il controllo di qualità automatizzato migliora l'attendibilità delle misurazioni di ispezione, e inoltre ha vantaggi riguardo la riduzione dei costi globali del processo automatizzato.

L'automazione del processo, come già anticipatamente introdotto, è affidata ad un Robot antropomorfo a 6-assi della DENSO Robotics ovvero il modello VS-6577 GM-B. Questa tipologia di robot è la più utilizzata nelle applicazioni robotiche industriali in quanto il loro design garantisce la massima flessibilità di impiego. Come suggerisce il nome, questa tipologia di macchine ricordano fattezze umane, infatti, il robot può essere descritto definendo le varie componenti come giunture e un polso, ovvero l'estremità del robot dove viene applicato il dispositivo (*tool*) che conferisce specifiche capacità al robot (nel nostro caso del sistema di controllo visivo). I robot sono utilizzati per un tipo di automazione industriale progettata per riprodurre alcune caratteristiche del movimento umano, così da sostituirlo nel proprio lavoro per alcune mansioni nelle catene di montaggio.

Le caratteristiche principali che determinano la scelta di un robot antropomorfo sono:

- **Payload (portata al polso):** indica il peso massimo degli oggetti manipolabili con il robot;
- **Reach (sbraccio del robot):** indica l'area di lavoro entro la quale il robot riesce ad operare.

Sulla base dello sbraccio, infatti, deve essere definita l'interazione con il sistema di utilizzo; dato importante all'interno di un sistema di misura industriale. Tale dato è utilizzato nella valutazione degli ingombri che l'intero sistema automatizzato avrà all'interno dell'azienda.

Il robot di conseguenza può essere definito come un dispositivo che può essere opportunamente configurato e istruito per l'esecuzione di determinate operazioni. Per garantire questo, si utilizza un controller, nel nostro caso di un RC7M della DENSO Robotics, il quale può essere paragonato alla mente umana che da

informazioni sui movimenti per il corpo.

Il controllo del robot può avvenire:

- **Manualmente:** mediante “Teach Pendants” ovvero un sistema di controllo simile ad un telecomando che permette di programmare il robot;
- **Autonomamente:** attraverso software capaci di interagire con il controller.

Il Teach pendants è un dispositivo fisico facente parte del sistema di controllo del robot che può essere utilizzato per programmare manualmente il robot definendone le caratteristiche base come velocità e la modalità di movimento (*Cartesiana* oppure *Joint*) oltre che sviluppare programmi completi di gestione del robot. Nel nostro caso il Teach pendants è stato utilizzato per settare i parametri del robot come la velocità di movimento, il sistema di riferimento da utilizzare e l'esecuzione di movimenti manuali in alcuni casi di interesse. Per le operazioni di automazione del processo di misura e di conseguenza quanto concerne la programmazione del movimento è stato utilizzato anche qui Labview, programma anticipatamente introdotto, il quale mediante specifiche librerie permette il controllo del robot.

Di seguito uno schema della configurazione del sistema automatico:

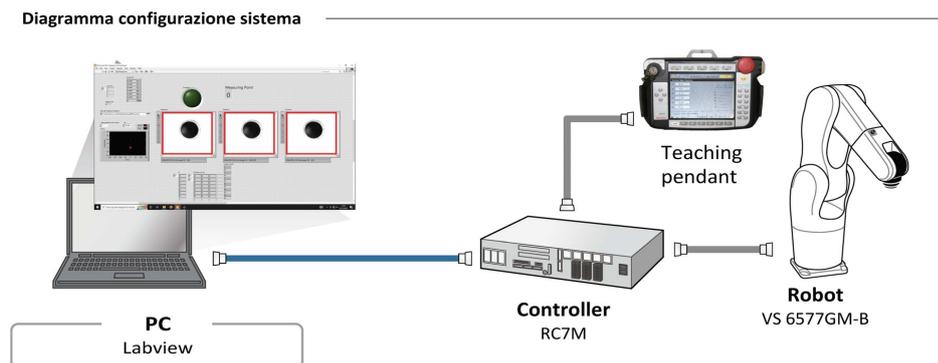


Figura 1.5: Diagramma configurazione Robot

2. Materiali

2.1 Dispositivi Hardware

La possibilità di ottenere un sistema dalle buone qualità dei risultati è legata alla determinazione accurata degli strumenti necessari. La scelta delle componenti dell'intero sistema è legata alle caratteristiche intrinseche del problema da risolvere e dalla qualità richiesta da parte del sistema. Di seguito verranno descritte le principali componentistiche fisiche del sistema di misura, indicandone le caratteristiche fisiche e descrivendone il principio di funzionamento.

2.1.1 Robot

L'automazione dell'intero processo di misura è affidata ad un robot antropomorfo a 6-assi della DENSO Robotics, nello specifico al modello VS-6577 GM-B (fig.2.2). La serie VS 6577 offre un'elevata velocità e potenza di lavoro restando in un corpo compatto. Inoltre, la possibilità di essere integrato con diverse tipologie di dispositivi garantisce la capacità di utilizzo in vari contesti applicativi.



Figura 2.1: Robot DENSO

Le cui caratteristiche principali provenienti dal proprio Data-sheet:

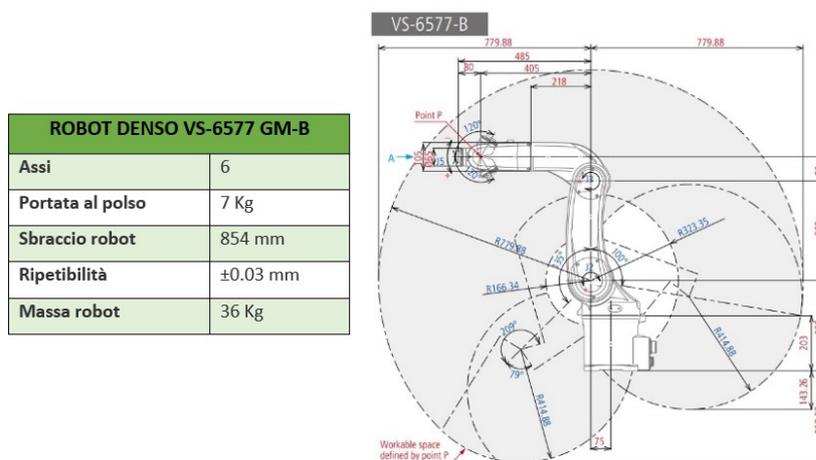


Figura 2.2: Specifiche robot DENSO

2.1.2 Camera

La funzione delle telecamere industriali è quella di catturare l'immagine proiettata sul sensore attraverso una lente, trasferirla mediante un'interfaccia di comunicazione ad un PC e successivamente memorizzarla per essere semplicemente visualizzata oppure per eseguire operazioni di elaborazione. Una telecamera può essere schematizzata in tre macro-blocchi:

- Sensore;
- Elettronica di pilotaggio e di eventuale conversione;
- Interfaccia di comunicazione.

I sensori delle telecamere moderne sono per lo più di tipo CMOS, ovvero costruiti secondo una specifica tecnologia in cui ogni singolo pixel è composto da materiale sensibile alla luce (*fotosensibile*) che converte la luce (*fotoni*) in segnali elettrici (*elettroni*). In base alla modalità di esposizione alla luce dei pixel, i sensori CMOS possono essere di due tipologie:

- Rolling Shutter;
- Global Shutter.

Nella prima tipologia, l'acquisizione viene regolata da un controllo dell'esposizione tale per cui una finestra di integrazione si muove lungo le righe oppure tra le colonne del sensore attivando parzialmente l'acquisizione delle immagini. Mentre nella tipologia Global Shutter, l'attivazione all'esposizione alla luce dei pixel è attivata allo stesso tempo. Quest'ultima soluzione risulta particolarmente adatta ad utilizzi industriali in quanto in condizioni in cui le immagini devono essere acquisite in tempi brevi risulta essere vincente.

Un'elettronica di contorno successivamente si occupa di lavorare i segnali provenienti da ogni singolo pixel e convertirli in un'immagine digitale bilanciando disturbo, sensibilità e dinamica. Il trasferimento al computer avviene mediante un'interfaccia, attraverso porte gigabit ethernet oppure seguendo lo standard USB3. Quest'ultima ha una capacità di trasmissione maggiore rispetto alla prima, infatti, è la più utilizzata nelle telecamere di recente concezione data la necessità di trasmettere l'elevata quantità di informazioni acquisite. Infatti, in ambiente industriale, la risoluzione delle telecamere può arrivare fino a 80 Megapixel e il numero di immagini acquisite al secondo può spingersi fino ad alcune centinaia utilizzando l'intero sensore e fino ad alcune migliaia selezionando una regione (ROI) del sensore.

Le telecamere con sensore CMOS garantiscono una risoluzione elevata, ovvero vi è un'elevata quantità di informazioni acquisite; questo assicura una maggiore presenza di dettagli nell'immagine, caratteristica essenziale per applicazioni in sistemi di misurazione ottica. Di seguito è rappresentato un sensore CMOS:

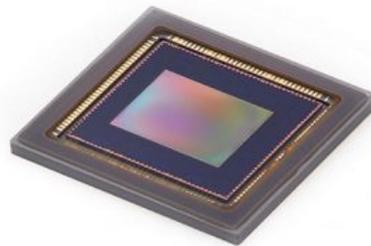


Figura 2.3: Sensore CMOS

Nel nostro sistema, come telecamera è stata utilizzata una mvBlueFOX3-2051G USB3 prodotta dalla MATRIX VISION (fig.2.4) composta da un sensore CMOS SONY-IMX250 di interfaccia di comunicazione USB3 capace di un elevato trasferimento di informazioni.

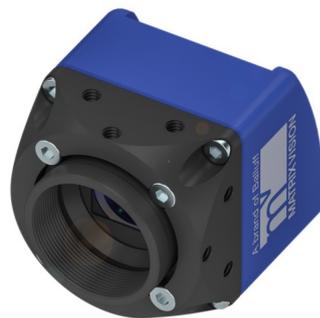


Figura 2.4: Telecamera mvBlueFOX3-2

Essendo una telecamera ad alta risoluzione, si presta molto bene all'utilizzo per misurazioni in applicazioni industriali. Inoltre, utilizzando il Global Shutter come sistema di acquisizione, è particolarmente adatta ad acquisizioni di immagini in movimento. Le aree di applicazione più comuni sono: l'identificazione ottica, le ispezioni per il controllo qualità e la misurazione di oggetti.

Di seguito le caratteristiche del sensore:

Specifiche del sensore		
Megapixel		5.1
Risoluzione		2592 x 1944
Formato del sensore		2/3"
Area attiva	(mm)	11.0
Dimensione del pixel	(μm)	3.45
Modello del sensore		IMX250
Tipo di sensore		CMOS
Shutter		Global
Croma		Mono

Figura 2.5: Specifiche telecamera mvBlueFOX3-2

La MATRIX VISION distribuisce inoltre mvIMPACT, una libreria completa che fornisce algoritmi ad alte prestazioni per la computer vision. La libreria supporta linguaggi C, C++, VisualBasic.NET della Microsoft e linguaggi di programma-

zione grafica quali Labview. mvIMPACT integra un gran numero di funzioni per l'acquisizione, l'elaborazione e l'estrazione di informazioni dalle immagini. Mediante tale libreria avviene la comunicazione calcolatore-telecamera, per le operazioni di trasferimento dati e calibrazione del sensore.

2.1.3 Ottica

La determinazione dell'ottica per un sistema di controllo visuale è un'operazione molto importante se non fondamentale per ottenere un risultato ottimale di misurazione. Un obiettivo fotografico è un dispositivo ottico che permette di convogliare in modo adeguato la luce sul sensore della fotocamera e garantire una cattura di immagini ottimale. È composto da una o più lenti, disposte internamente in diversi gruppi secondo regole e proporzioni dettate dalle leggi dell'ottica.

Le comuni ottiche entocentriche hanno un impiego limitato per applicazioni di misura in quanto non garantiscono una buona affidabilità delle immagini, in particolare generano:

- Alterazione del fattore di ingrandimento;
- Distorsione dell'immagine;
- Errori prospettici;
- Bassa risoluzione di immagine;
- Incertezza su porzione di bordi.

Gli obiettivi telecentrici sono in grado di ridurre o addirittura neutralizzare tali problemi, ottenendo immagini ad alto contrasto e distorsione pressoché nulla per misurazioni di precisione di parti meccaniche neutralizzando inoltre effetti prospettici

dovuti a un posizionamento impreciso o da una geometria dalla tridimensionalità pronunciata.

Per questo motivo sono diventati un componente chiave per le applicazioni di misura ad alta precisione. Di seguito verranno identificate le differenze tra obiettivi standard ed ottiche telecentriche analizzandone le caratteristiche fondamentali di quest'ultimi:

Alterazioni del fattore di ingrandimento

Il processo di misura mediante visione artificiale richiede una perfetta corrispondenza tra immagine acquisita e dimensioni reali dell'oggetto non dipendendo dalle variazioni di distanza che intercorrono tra pezzo e ottica.

Le ottiche tradizionali (entocentriche) forniscono ingrandimenti diversi in base alla distanza tra oggetto e obiettivo, di conseguenza, la dimensione dell'immagine cambia quasi proporzionalmente variando la distanza. Di seguito un esempio evidente di variazione di dimensioni date dalla distanza differente tra i componenti:



Figura 2.6: Esempio alterazione fattore di ingrandimento

Usando un'ottica telecentrica invece, l'immagine rimane inalterata fino a che l'oggetto si muove entro una determinata distanza chiamata “profondità di campo” o “distanza telecentrica”. Questo è dovuto dal particolare percorso

dei raggi luminosi “raggi principali” (fig.2.7) che rimangono paralleli all’asse ottico del sistema e poi raccolti dall’obiettivo.

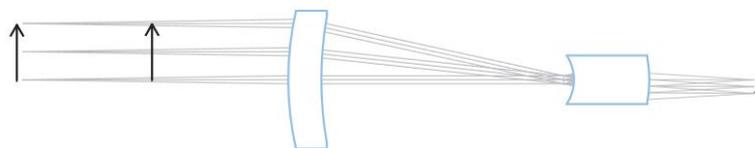


Figura 2.7: Percorso raggi luminosi telecentrico

Gli obiettivi telecentrici, forniscono una proiezione ortografica, ovvero l’ingrandimento è lo stesso indipendentemente dalla distanza tra l’oggetto e l’obiettivo. La grandezza che può generare variazioni è definita come “inclinazione telecentrica”, ovvero l’angolo che definisce l’errore di misura dovuto allo scostamento dell’oggetto, qualunque sia la sua posizione, dai raggi ottici principali paralleli all’asse del sistema.

Data la particolare direzionalità, un obiettivo telecentrico deve garantire un’apertura anteriore grande almeno quanto la dimensione maggiore dell’oggetto, risultando di conseguenza in termini di ingombro più grandi e pesanti delle comuni ottiche.

Distorsione ridotta: La presenza di distorsione rappresenta uno dei fattori più limitanti nella precisione di una misura in quanto la differenza anche di un solo pixel tra figura reale e quella acquisita può essere significativa. La distorsione è definita come la differenza percentuale tra la distanza "D" di un punto dal centro dell’immagine e la stessa distanza "d" misurata in un’ideale immagine priva di distorsione. Può essere interpretata come la deviazione tra le dimensioni acquisite di un oggetto e quelle reali.

$$distorsione = \frac{d - D}{d} \times 100$$

Le comuni ottiche presentano valori di distorsione che vanno da alcune unità percentuali a varie decine, rendendo difficile effettuare misurazioni precise; Gli obiettivi telecentrici presentano normalmente un grado di distorsione molto basso, attorno allo 0.1%; può portare ad errori di misurazione di circa un pixel utilizzando una telecamera ad alta risoluzione, quantità più che accettabile per i nostri studi. È comunque raccomandato mantenere un preciso allineamento perpendicolare tra lente e oggetto per evitare effetti di distorsione simmetrica non assiale.

Riduzione degli errori prospettici:

Usando ottiche comuni per acquisire immagini di oggetti 3D (cioè non completamente piatti), aumentando la distanza dall'obiettivo gli oggetti risultano di dimensioni differenti; ne consegue che inquadrando oggetti di una certa profondità come ad esempio cilindri cavi, le estremità superiori e inferiori appariranno di dimensioni differenti. In questo caso, l'immagine acquisita risulterà composta da due cerchi concentrici di diametro differente nonostante abbiano il medesimo diametro.

Utilizzando una lente telecentrica invece, le due estremità circolari appariranno perfettamente coincidenti. Tale effetto è dovuto al percorso ottico della luce, in quanto nel caso delle ottiche standard, ogni informazione parallela all'asse ottico principale viene riportata sulla direzione del piano sensore mediante ribaltamento. Gli obiettivi telecentrici, possedendo un altro metodo di proiezione, eliminano tale problema prospettico riportando entro uno specifico range le informazioni parallelamente all'asse ottico.

Di seguito un'immagine che ne illustra le differenze di funzionamento:

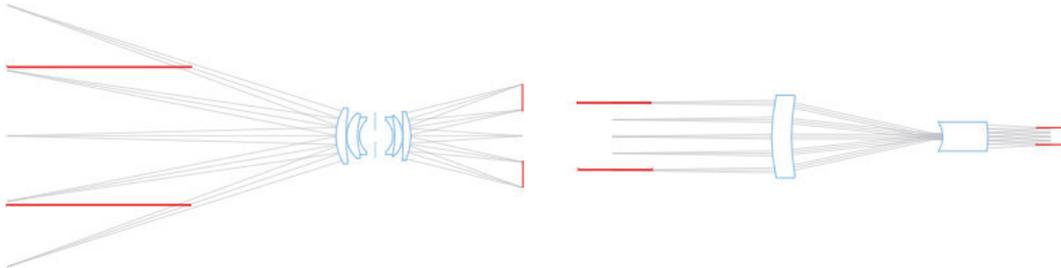


Figura 2.8: Differenze distorsione tra obiettivi

Una lente telecentrica si può riassumere in un comportamento di corrispondenza 2D-2D dal momento che la profondità dell'oggetto non viene visualizzata. Corrisponde alla condizione ideale per ispezionare e misurare i profili di un oggetto.

La scelta dell'obiettivo per il nostro sistema è un TC23036 della OPTO ENGINEERING, componente particolarmente adatto per sistemi di misurazione visivi e perfettamente compatibile con sensori ad alta risoluzione da 2/3" come il nostro mvBlueFOX3-2.



Figura 2.9: Obiettivo telecentrico

SPECIFICHE OTTICHE PRINCIPALI		
Ingrandimento	(x)	0.243
Cerchio immagine	(mm)	11.0
Massima dimensione sensore		2/3"
2/3" (1)	(mm × mm)	34.98 x 29.18
Distanza di lavoro (2)	(mm)	102.5

Figura 2.10: Specifiche obiettivo telecentrico

1-Campo di vista lato oggetto (mm x mm)

2-Distanza di lavoro: distanza tra il frontale delle meccaniche e l'oggetto $\pm 3\%$ del valore nominale per garantire massima risoluzione e minima distorsione

2.1.4 Illuminazione

Per garantire un'illuminazione adatta per la zona di interesse in termini di luminosità e definizione dell'immagine, si è provvisto il sistema di un Ring-led della MetaBright™ Ring Lights modello MB-RL201-W-24D



Figura 2.11: Ring Led

Il prodotto è composto da LEDs che garantiscono un'illuminazione omogenea ad alta intensità senza la presenza di ombre per un largo spettro. Il dispositivo è pro-

gettato appositamente per essere utilizzato in applicazioni in cui è richiesta un'illuminazione frontale, una soluzione economica e di elevata flessibilità applicativa. Di seguito alcune caratteristiche fondamentali:

GENERAL SPECIFICATIONS	
Power Source:	24VDC \pm 5%
Cable (Standard):	10-foot cable with flying leads
Housing:	Black Anodized Aluminum
Ambient Temp:	-20°C to 40°C
Lifetime Expectancy:	75,000 hours (except UV)

Figura 2.12: Specifiche Ring Led

2.2 Sistema di misura

Di fondamentale importanza è la definizione del sistema di misura, ovvero di come sono collegati e interfacciati gli elementi che compongono l'intero sistema. Ricapitolando, gli elementi fondamentali che lo compongono sono:

- Componente meccanico;
- Robot;
- Sistema di Visione.

Trattandosi di un sistema sviluppato per operare all'interno di un sistema industriale di produzione in serie, la definizione del setup di misura può essere basata sul componente oggetto delle misurazioni e svilupparne nell'intorno il sistema più adatto allo scopo.

L'idea è stata quella di sviluppare un sistema a piano di appoggio fisso in cui il raggiungimento dei punti di interesse per le misurazioni avviene mediante robot.

Il componente meccanico è appoggiato su un banco di lavoro fisso in cui il componente meccanico risulta ancorato al banco di lavoro, permettendo di definire in modo accurato e di precisione i movimenti del robot. Quest'ultimo, montato a soffitto mediante una struttura propria, ha completa libertà di movimento lungo il piano. Data la corrispettiva posizione ortogonale tra il piano e robot, garantire una perpendicolarità tra obiettivo e il foro, caratteristica fondamentale per acquisizioni con obiettivo telecentrico, è di facile ottenimento.

L'intero gruppo visivo è assemblato e montato su robot mediante una staffa appositamente realizzata mediante collegamento bullonato. Il cablaggio per il collegamento della telecamera al calcolatore e per l'alimentazione dell'illuminatore led è opportunamente ancorato alla struttura per impedirne l'intralcio con i movimenti del robot.

Di seguito un'immagine dell'intero sistema di misura.



Figura 2.13: Sistema di misura

2.3 Ambiente di sviluppo software

L'utilizzo di un'ambiente di lavoro software per la gestione dell'intero sistema è necessario per rendere le operazioni completamente automatiche. L'intero processo è incentrato sull'utilizzo della piattaforma di progettazione Labview, quest'ultima garantisce la gestione dei movimenti del robot e l'elaborazione delle immagini acquisite. In merito all'elaborazione delle immagini, viene utilizzato il linguaggio di programmazione MATLAB in cui mediante apposita funzione richiamata all'interno di Labview permette il calcolo delle grandezze richieste. Di seguito verranno descritte le caratteristiche fondamentali dei due ambienti di sviluppo software:

2.3.1 Labview

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench = *Piattaforma per lo Sviluppo di Strumenti Virtuali da Laboratorio*) è il cuore di una piattaforma di progettazione pensata appositamente per lo sviluppo di sistemi automatici di test, di misura e controllo, largamente usato nei laboratori di ricerca e nell'industria per realizzare sistemi di acquisizione e analisi dati.

LabVIEW fornisce un ambiente di programmazione di tipo grafico ad oggetti denominato "G language", il quale consente di realizzare programmi in forma di diagrammi a blocchi. Inoltre, mette a disposizione del programmatore una serie di librerie di funzioni che possono essere richiamate ed utilizzate all'interno dei programmi: le librerie comprendono funzioni di uso comune (funzioni aritmetiche e statistiche) e funzioni specializzate per l'acquisizione ed elaborazione di segnali interfacciandosi con diverse tipologie di strumenti come sensori, telecamere e altri. Viene inoltre offerta la possibilità di integrare ed utilizzare segmenti di software di altro tipo (MATLAB).

L'ambiente di sviluppo consente di costruire programmi, i quali prendono il nome di strumenti virtuali (*Virtual Instrument*, VI).

Un *Virtual Instrument* permette l'interazione tra calcolatore e strumentazione fornendo contemporaneamente all'utente un opportuno pannello frontale grafico per il dialogo con il VI stesso. In questo modo l'utente interagisce con un nuovo dispositivo (*Instrument*), costituito da calcolatore, interfacce e strumenti il quale presenta una realtà (*Virtual*) diversa dai singoli oggetti fisici che compongono il sistema stesso. Un VI è composto da tre parti fondamentali:

- Front Panel (Pannello frontale);
- Block Diagram (Diagramma a blocchi funzionale);
- Icon/connector (Icona/connettore).

Front panel: finestra che rappresenta l'interfaccia utente di un VI. Nel pannello frontale trovano posto tutti i controllori e gli indicatori dello strumento virtuale. Il controllore è una variabile in ingresso che può essere modificata agendo sul pannello frontale che modifica valori all'interno del programma. Un indicatore corrisponde ad una variabile in uscita il cui valore può essere modificato dal programma e non dall'utente; corrisponde all'output dei valori calcolati.

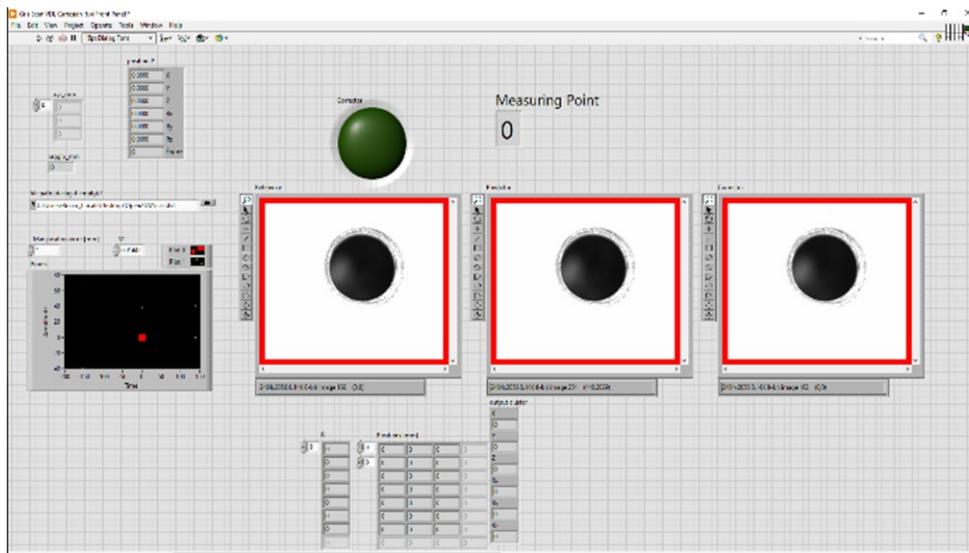


Figura 2.14: Front Panel

Block diagram: il Block Diagram (diagramma a blocchi) contiene il codice sorgente, in linguaggio G, di un VI. Pur presentandosi in forma grafica diversa, il diagramma a blocchi presenta possibilità di programmazione analoghe a quelle offerte da un comune linguaggio di programmazione del tipo text-based (case, for, while e sequence).

Il block diagram contiene due tipi di elementi fondamentali:

- **Nodi:** sono gli elementi di elaborazione elementare;
- **Collegamenti:** uniscono i nodi e permettono lo scambio di informazioni.

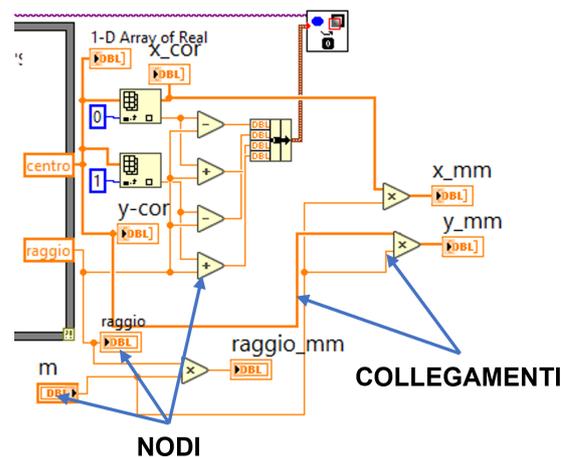


Figura 2.15: Nodi e collegamenti

Nel Block Diagram si considerano nodi gli elementi terminali ai quali si collegano i fili: collegando tra di loro i nodi del block diagram, è possibile far eseguire al VI la funzione desiderata.

Icona/Connettore L'icona è un simbolo grafico di piccole dimensioni che rappresenta simbolicamente il VI stesso e che permette di trasformare il programma in un oggetto. Quando un VI è impiegato all'interno di un altro programma, prende il nome di sub-VI e può essere collegato agli altri nodi del block diagram.

Il connettore fissa la corrispondenza tra l'area dell'icona agli elementi di input/output del pannello frontale associato al sub-VI.

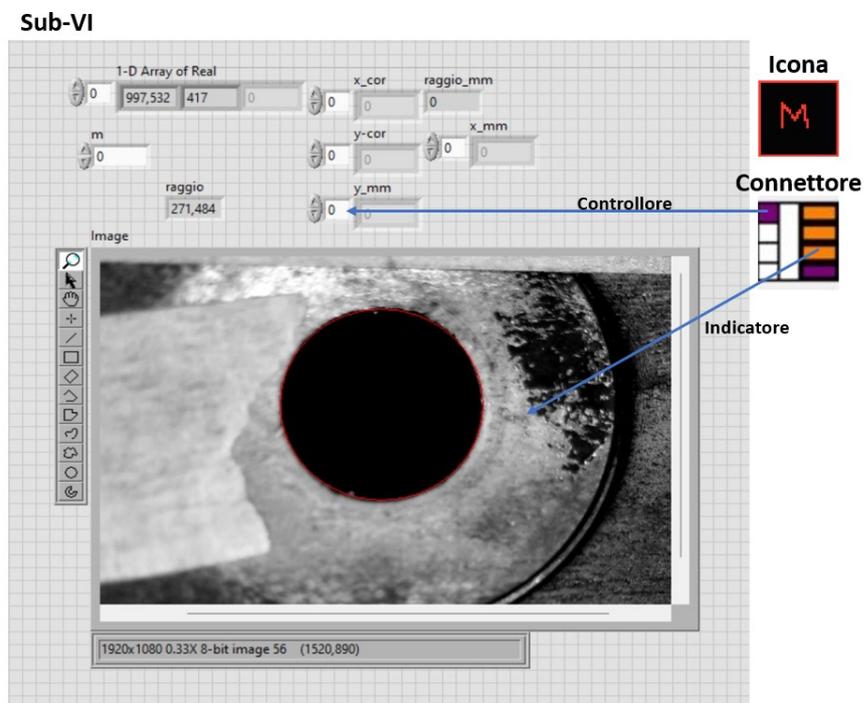


Figura 2.16: Icona e connettore

2.3.2 NI Measurement & Automation Explorer (NI-MAX)

Data la necessità di configurazione delle componenti hardware del mio sistema, è richiesto l'utilizzo di un software che possa soddisfare tali esigenze. Nel nostro caso, tali configurazioni riguardano il sistema di visione in particolare la telecamera.

NI-MAX è un software che permette la configurazione degli strumenti connessi al computer utilizzati per le operazioni di misurazione. Nel caso del nostro sistema di acquisizione (DAQ), permette la modifica dei parametri di sistema di visione mediante l'utilizzo di drivers come NI-VISA, NI-DAQmx etc.

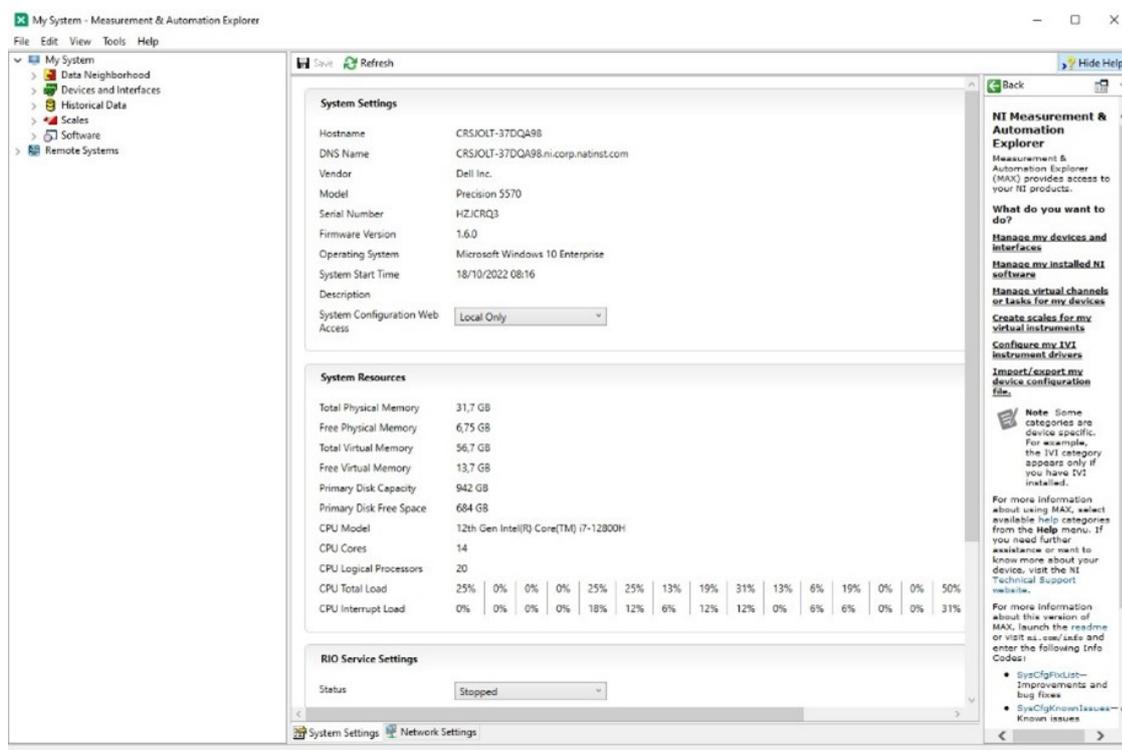


Figura 2.17: Interfaccia NI-MAX

Con NI-MAX, ricapitolando, è possibile:

- Configurare il proprio sistema hardware e software;
- Esportare/Importare la configurazione del sistema;
- Eseguire diagnostica del sistema;
- Visualizzare dispositivi e strumenti connessi al sistema e relativi software.

La configurazione della telecamera viene salvata e memorizzata all'interno del programma per poi venire caricata nella fase di inizializzazione della medesima all'interno del programma principale.

2.3.3 MATLAB

Matlab, il cui nome sta per mat(rix) lab(oratory), è sia un linguaggio di programmazione interpretato (non si compila) che un ambiente grafico di lavoro; entrambi gli aspetti sono molto integrati tra loro così da fornire un supporto potente e intuitivo per il calcolo numerico. È sviluppato dalla MathWorks, utilizza numerose librerie di calcolo (in particolar modo di algebra lineare) ed è considerato uno standard in ambienti universitari e professionali, in particolar modo nell'ambito ingegneristico volto all'analisi di dati, lo sviluppo di algoritmi e la creazione di modelli. L'origine del nome deriva dal fatto che Matlab lavora fondamentalmente su matrici nelle loro varie forme, il software inoltre è corredato da una famiglia di soluzioni specifiche per varie applicazioni denominate Toolbox. Si tratta di insiemi di funzioni MATLAB aggiuntive che estendono l'ambiente di lavoro per risolvere categorie di problemi specifiche come ad esempio l'elaborazione immagini. Tale linguaggio di programmazione può essere utilizzato mediante l'installazione di un'ambiente di sviluppo proprietario disponibile per varie piattaforme come

Windows e Macintosh oppure mediante il software MATLAB script server. L'utilizzo del software MATLAB script server permette a linguaggi di programmazione esterni compatibili di richiamare l'esecuzione di funzioni MATLAB al loro interno. Nel caso di Labview, tale operazione può essere eseguita richiamando gli "script nodes MATLAB" ovvero server in cui possono essere eseguiti script in linguaggio MATLAB all'interno di Labview.

Per implementare gli script nodes MATLAB, LabVIEW utilizza la tecnologia ActiveX disponibile solo su Windows. Di seguito un esempio di uno script node MATLAB:

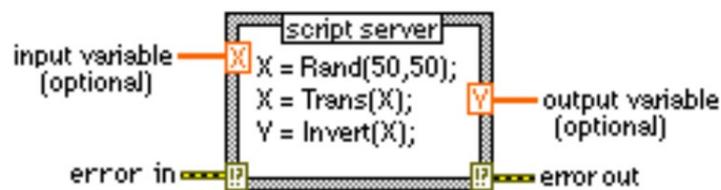


Figura 2.18: Script node MATLAB

3. Metodi

Dopo aver illustrato i principali componenti che compongono il sistema di misura ci si accinge a descrivere come questi sono collegati a formare l'intero sistema di misura per ottenere i risultati finali.

Le operazioni svolte durante lo studio possono essere divise in macrocategorie:

- Configurazione sistema;
- Movimentazione del sistema;
- Elaborazione immagini;
- Presentazione dei risultati.

3.1 Configurazione sistema

La qualità e l'affidabilità delle misurazioni per un sistema di visione industriale dipendono fortemente dall'accuratezza posta nella fase di configurazione. Come configurazione si intende la definizione dei parametri fondamentali del sistema di misura affinché esso fornisca un'acquisizione di dati affidabile e precisa.

3.1.1 Configurazione robot

La configurazione del robot riguarda la definizione delle caratteristiche di funzionamento che deve possedere per completare l'intero processo di verifica. Tra le caratteristiche principali c'è la regolazione della velocità dei movimenti e la scelta del sistema di riferimento del robot.

Entrambi le operazioni di configurazione sono eseguite mediante l'utilizzo del Teach pendant, ovvero il dispositivo precedentemente introdotto che permette la programmazione manuale del robot. Il settaggio della velocità di movimento è fattore determinante nell'ottenimento di un sistema che risulti sufficientemente rapido nello svolgere le operazioni di misurazione.

In merito alla definizione del sistema di riferimento del robot, sono disponibili due diverse tipologie: la prima, chiamata *Tool Mode*, basa l'intero movimento su un sistema di riferimento fisso sul tool, ovvero rispetto alla componente del robot in cui è presente il sistema di visione ottica. La seconda tipologia, *X-Y mode* basa il funzionamento su un sistema di riferimento fisso legato all'intera struttura del robot. Di seguito allegate le due differenti tipologie:

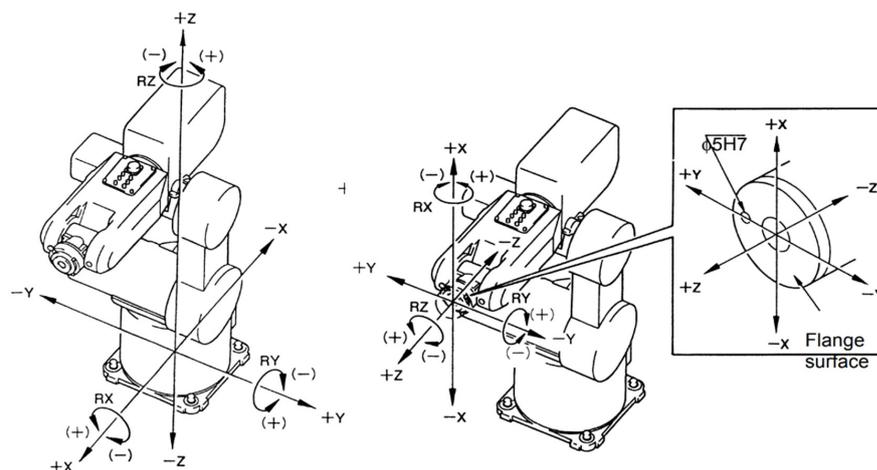


Figura 3.1: Sistemi di riferimento del robot

La modalità scelta nel nostro caso è la X-Y mode in quanto si presta meglio all'esecuzione dei movimenti impartiti dal codice. Nella definizione del sistema di riferimento, bisogna determinare il punto dal quale il robot dovrà iniziare le proprie operazioni di movimento, ovvero il "punto HOME". La definizione del punto di partenza è determinante nella scelta del percorso che il robot dovrà eseguire, questa dipende dalle caratteristiche del componente da analizzare e del setup di misura. Nel nostro caso, in base alla tipologia di componenti da analizzare, la soluzione migliore è quella di definire un movimento planare lungo l'intera superficie superiore del pezzo integrando quest'ultimo con movimenti ortogonali rispetto al piano d'appoggio solo per due punti specifici (dalla figura 3.2) ovvero per i fori 5 e 6. Le caratteristiche da rispettare durante il movimento riguardano la definizione della distanza tra obiettivo e foro e successivamente il centraggio del foro all'interno dell'immagine. Per quanto riguarda la distanza telecentrica, questa non deve superare un determinato valore, in quanto deve ricadere all'interno di un range definito dalle specifiche dell'obiettivo telecentrico utilizzato. Di seguito è illustrato il percorso completo determinato:

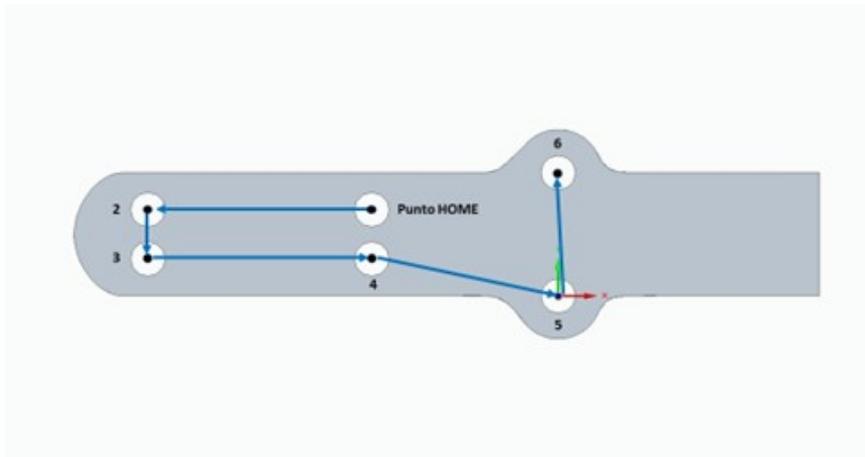


Figura 3.2: Percorso eseguito dal robot

I punti 5 e 6 (fare riferimento alla figura 3D 1.1) rispetto agli altri punti non

condividono lo stesso piano di giacenza, di conseguenza il sistema dovrà, successivamente l'acquisizione del punto 4, ridurre la distanza obiettivo-pezzo variando le coordinate lungo l'asse ortogonale. Come già anticipato in precedenza, l'intera movimentazione è gestita dal software LabVIEW mediante apposite librerie fornite dalla DENSO Robotics, ovvero le DENSO Robot Library che permettono la comunicazione tra calcolatore (Labview) e robot (Controller). Il codice riceve in ingresso la mappa di coordinate di ogni punto, quest'ultima viene comunicata al controller del robot che successivamente provvede a tradurre l'informazione ricevuta in linguaggio macchina per far eseguire al robot il movimento specifico. L'insieme di coordinate è riferito ad ogni asse del robot ovvero le prime 3 riguardanti le direzioni x-y-z mentre le altre 3 riguardanti le rotazioni su questi ultimi: Rx-Ry-Rz:



File	Modifica	Visualizza			
x	y	z	Rx	Ry	Rz
0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0
140	40	0	0	0	0
0	38	0	0	0	0
-154	68	38	0	0	0
-154	-40	38	0	0	0

Figura 3.3: Coordinate posizione punti di misurazione

3.1.2 Configurazione sistema ottico e di elaborazione dati

La calibrazione del sistema ottico formato da telecamera e obiettivo telecentrico è effettuata utilizzando il software NI-Max che permette di settare valori come contrasto, tempo di esposizione e luminosità oltre che mostrare in tempo reale l'immagine catturata dal sensore. Parametro fondamentale del sistema ottico da configurare riguarda la determinazione della “distanza telecentrica” ovvero il campo operativo dell'obiettivo telecentrico entro il quale garantisce le sue performance basandosi sul valore specificato all'interno del proprio data sheet. Il regolamento avviene in maniera sperimentale valutando la distanza ottimale foro-obiettivo acquisendo immagini di prova e variando l'altezza fino ad ottenere l'immagine della qualità desiderata. Il fine dell'acquisizione delle immagini è quello di poter effettuare un'elaborazione postuma sulle acquisizioni per determinare le dimensioni e il centro dei fori in millimetri. Per garantire questo è necessario che venga definito un fattore di conversione che leghi il valore di un singolo pixel con la lunghezza effettiva del pezzo reale. Tale processo è eseguito utilizzando un foglio di calibrazione come il seguente:

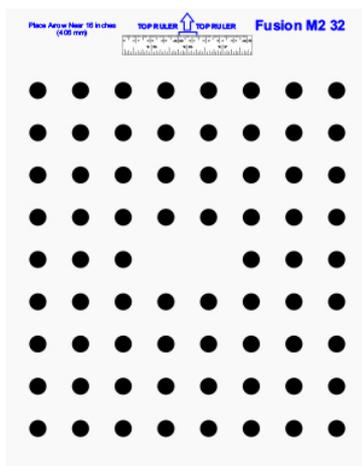


Figura 3.4: Foglio di calibrazione

L'operazione consiste nell'acquisire un'immagine prova del foglio di calibrazione mediante NI-Max, calcolare i pixel che corrispondono alla distanza tra due punti specifici dell'immagine per poi completare con la misurazione della medesima distanza mediante apposito strumento di misura di lunghezza. Avendo ottenuto tali valori, il fattore di conversione viene ottenuto mediante semplice proporzione. Il seguente fattore di conversione successivamente viene utilizzato dall'algoritmo di elaborazione immagine per permettere di convertire i risultati delle misurazioni nella grandezza di misura desiderata [mm].

3.2 Descrizione del programma LabVIEW

Le operazioni svolte dal software LabVIEW definite mediante il codice proprietario di programmazione grafica possono essere divise in più fasi, di seguito mediante una spiegazione non troppo specifica ne verranno descritte le caratteristiche principali.

3.2.1 Raggiungimento Punti

La prima operazione importante riguarda la gestione totale del robot e dei suoi movimenti gestendo l'accensione, lo spegnimento e tutte le operazioni necessarie per lo spostamento lungo il componente. L'interfacciamento e la gestione del software con il Robot è consentita dall'utilizzo di apposite librerie proprietarie della casa madre (DENSO Robotics). L'inizio del programma riguarda l'inizializzazione della comunicazione con il robot e la sua accensione. Il codice memorizza la configurazione iniziale del robot (punto HOME) e ne conserva le coordinate per permettere a quest'ultimo di tornare in posizione iniziale al termine delle varie misurazioni. La configurazione iniziale, come precedentemente introdotto, è determinata manualmente posizionando il robot sul punto 0 di misurazione. Successivamente avviene il caricamento delle coordinate dei punti per le misurazioni, un file .txt contenente tali dati è richiamato all'interno del programma descrivendone i movimenti che il robot dovrà eseguire. L'intera gestione del movimento avviene mediante apposite VI proprietarie del robot. Dopo il caricamento delle coordinate avviene lo spostamento del robot, il quale a seguito del raggiungimento degli opportuni punti di interesse provvederà all'acquisizione delle immagini mediante il driver software IMAQdx. Al termine dell'intero processo di acquisizione e di elaborazione delle immagini, il robot torna alla posizione iniziale memorizzata in precedenza dove infine avviene lo spegnimento del motore.

3.2.2 Acquisizione immagini

Per quanto riguarda l'acquisizione di immagini, il driver software utilizzato è IMAQdx, quest'ultimo fornisce un set di VI che insieme a driver specifici, permette la comunicazione tra Labview e la telecamera.

VI utilizzate:

- **IMAQ_create.vi:** crea una porzione di memoria temporanea per un'immagine
- **IMAQdx Open Camera.vi:** inizializza la camera definita in NI-MAX;
- **IMAQdx Snap2.vi:** configura, avvia e acquisisce una cattura singola dell'immagine.

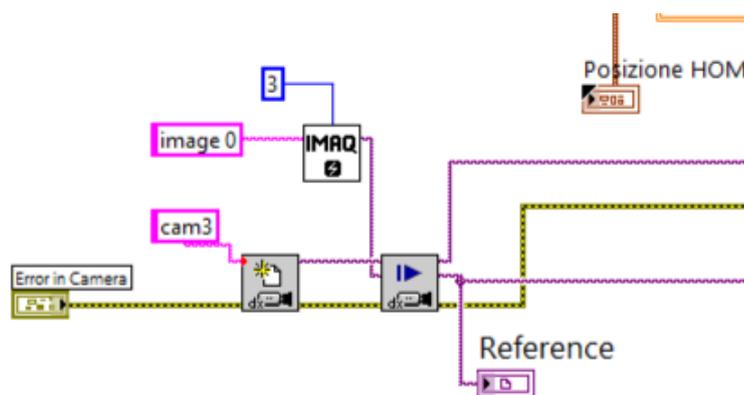


Figura 3.5: Driver software IMAQdx

La telecamera mediante IMAQdx Open Camera, che riceve in ingresso il nome della telecamera, viene inizializzata caricando la configurazione impostata durante la fase di configurazione. Attraverso IMAQ avviene la creazione dell'allocatione di memoria in cui verrà salvata l'immagine poi comunicata all'IMAQdx Snap2.

Quest'ultimo acquisisce l'immagine e la carica all'interno dell'allocazione di memoria precedentemente creata. L'immagine salvata viene poi inviata al sistema di elaborazione il quale provvederà al calcolo delle opportune grandezze richieste.

3.2.3 Elaborazione immagini

L'elaborazione delle immagini è affidata ad una specifica sub-VI (matlab-code.vi) creata appositamente per contenere ed eseguire lo script MATLAB. In ingresso la sub-Vi riceve l'immagine acquisita dalla telecamera e in uscita il valore del raggio e le coordinate del foro in [mm].

La funzione MATLAB inclusa nello script è la "imfindcircle" definita nel seguente modo:

```
[centers,radii,metric] = imfindcircles(A,radiusRange, ObjectPolarity)
```

A (Input image): specifica la tipologia di immagine su cui la funzione deve lavorare indicandone la tipologia tra RGB, scala di grigi e immagine binaria;

radiusRange: intervallo di raggi per gli oggetti circolari che si desidera rilevare specificato come vettore di 2 elementi di numeri interi positivi della forma [rmin rmax], dove rmin è inferiore a rmax.

ObjectPolarity: caratteristica addizionale riguardante l'immagine che specifica la condizione in cui si trova l'oggetto circolare all'interno dell'immagine: "dark" l'oggetto circolare è più scuro rispetto al resto dell'immagine oppure 'bright' in cui il cerchio è più luminoso dell'immagine stessa.

La funzione utilizza un algoritmo il cui funzionamento si basa sull'utilizzo della tecnica "Circle Hough Transform (CHT)", una tecnica di estrazione usata nell'elaborazione delle immagini digitali la cui funzione è di trovare cerchi nelle immagini.

L'utilizzo di tale algoritmo viene scelto per la sua robustezza in presenza di rumore e illuminazione precaria nelle immagini.

In merito ai valori scelti per il nostro sistema, di seguito è presente un'immagine della sub-Vi utilizzata. In merito alla funzione, è stato impostato come valore di input un'immagine RGB in quanto il sistema riceve in ingresso un'immagine a colori mentre come valore che riguarda il range dei raggi da calcolare, il vettore impostato è di $[400,500]$ proporzionato alle dimensioni dei fori in esame. Infine, come caratteristica aggiuntiva, data la tipologia di illuminazione garantita dal sistema di ottico, è stato impostato il valore 'dark' nel campo delle opzioni aggiuntive dato che illuminando l'immagine dalla parte superiore del foro, il cerchio risulterà più scuro rispetto alla superficie del componente.

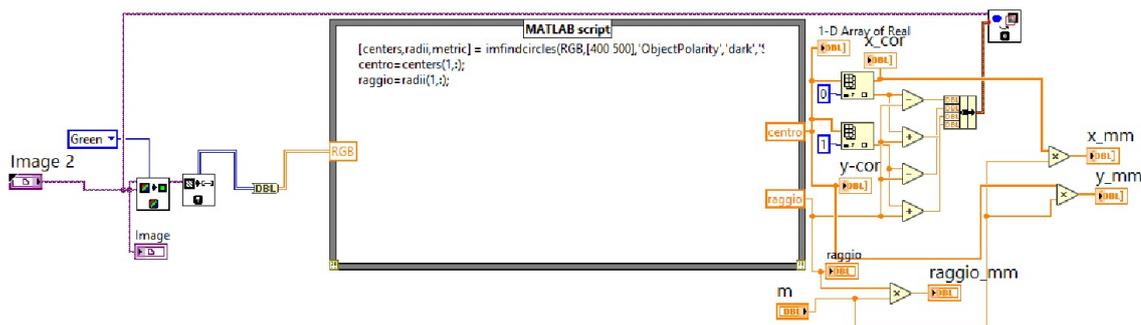


Figura 3.6: Sub-VI Matlabcode

4. Risultati

L'interfaccia uomo-macchina è garantita dall'utilizzo dell'interfaccia qui presente (fig.4.1): mediante l'utilizzo del software Labview, utilizzando il Front Panel è stato creato un pannello di controllo dell'intero sistema di misura in cui vengono impostate e visualizzate le principali caratteristiche dal sistema.

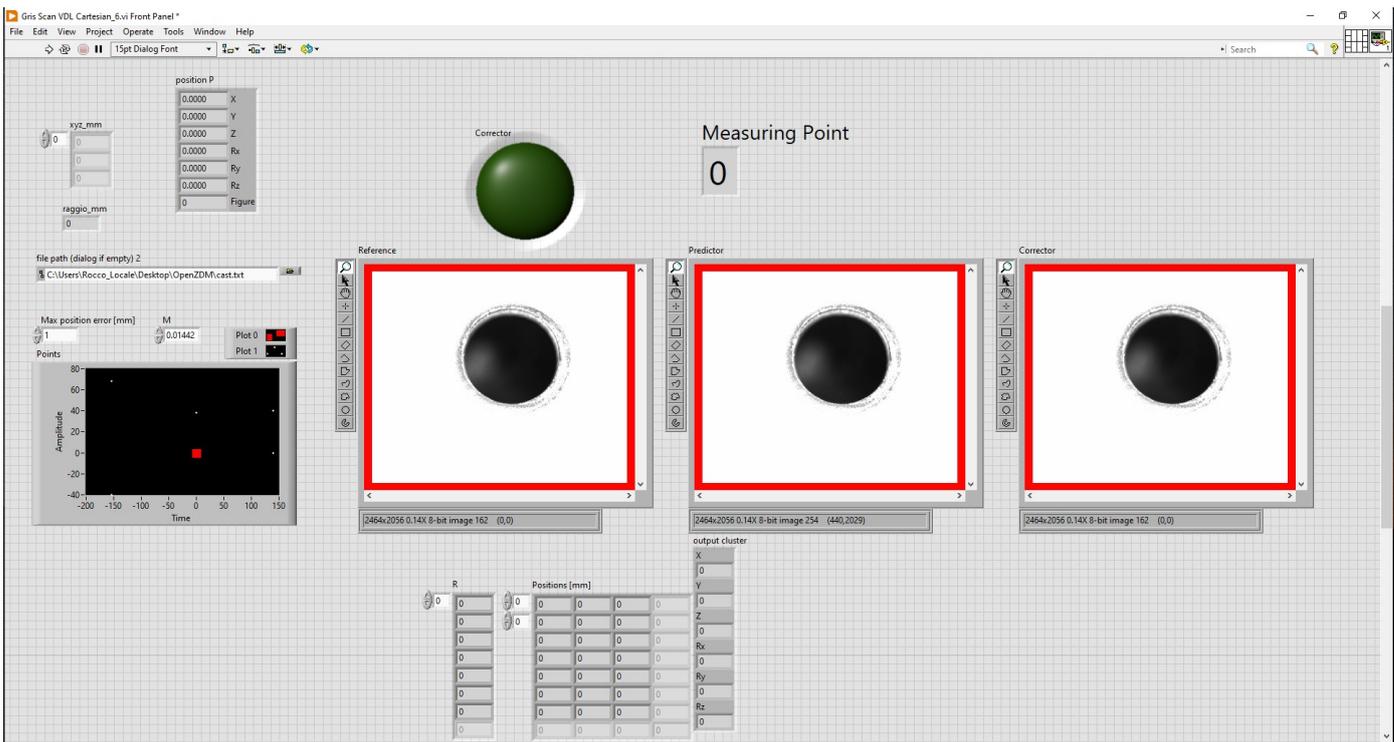


Figura 4.1: Interfaccia ottenuta

Come si può notare sulla sinistra, mediante appositi indicatori vengono visualizzate le coordinate legate alla posizione del robot e la disposizione dei punti di misurazione nel piano di lavoro. I controllori presenti vengono utilizzati per:

- Inserire fattore di conversione indicato con “m”;
- Caricare file coordinate dei punti di misura in formato “.txt”;
- Inserire errore massimo;

Sull’interfaccia sono presenti tre immagini, le quali rappresentano rispettivamente: la reference ovvero l’immagine su cui il sistema di elaborazione sta lavorando, il predictor che consiste in una prima approssimazione del calcolo diametro mentre nell’ultimo è indicata l’immagine definitiva con il rispettivo cerchio identificato al termine del calcolo. Il sistema di elaborazione identifica il foro e lo indica sull’indicatore mediante una sovrapposizione di una circonferenza di colore rosso sull’immagine acquisita come indicato nell’immagine 4.2:

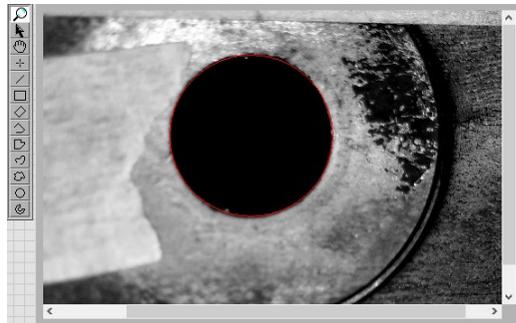


Figura 4.2: Circonferenza calcolo diametro

Nella parte inferiore dell’interfaccia, mediante appositi indicatori, vengono mostrati i risultati ottenuti dal processo di elaborazione di immagini. In particolare, sono presenti i valori delle coordinate dei fori misurati e i corrispettivi raggi di tutti i 6 fori del componente. Questi ultimi verranno successivamente confrontati con le caratteristiche di progetto per ultimare il processo di controllo qualità.

Bibliografia

- [1] *6-Axis Robots VS-6556/VS-6577*. URL: <https://www.densorobotics-europe.com/product-overview/products/5-and-6-axis-robots/vs-6556-6577>.
- [2] Daniele Alberton. “Sistema di visione industriale per il controllo qualità in 3D”. Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova, 2010/2011. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.12608/14533>.
- [3] COGNEX. *INTRODUZIONE ALLA VISIONE INDUSTRIALE*. URL: <https://www.azzaliettronica.it/wp-content/uploads/2018/09/Guida-Introduttiva-Visione-Artificiale.pdf>.
- [4] OPTO ENGINEERING. *Introduzione alle ottiche telecentriche*. –. URL: <https://www.opto-e.com/it/resources/tutorials/telecentric-lenses-tutorial>.
- [5] DENSO WAVE INCORPORATED. *BEGINNER GUIDE*. URL: http://www.cs.cmu.edu/~./RoboticManipulation/handouts/denso/V_beg.pdf.
- [6] MetaBright™ Ring Lights. *Data Sheet*. URL: https://www.metaphase-tech.com/wp-content/uploads/2018/04/MB-RL_PDS_4-3-2018.pdf.

- [7] M.Bertocco. *Introduzione a LabVIEW*. URL: <https://people.na.infn.it/~garufi/didattica/CorsoAcq/CorsoSpadaccini/SITO/bertocchi.pdf>.
- [8] *MATLAB script*. URL: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/gmath/matlab_script_node.html.
- [9] *Telecamere*. URL: <https://www.imagesspa.it/telecamere/#:~:text=La%5C%20funzione%5C%20delle%5C%20telecamere%5C%20industriali,delle%5C%20misure%5C%20o%5C%20delle%5C%20analisi..>
- [10] *Telecamere serie mvBlueFOX3-2*. -. URL: <https://www.opto-e.com/it/prodotti/mvbluefox3-2-series/RT-mvBF3-2051G>.
- [11] *What is NI Measurement and Automation Explorer (NI MAX)*. URL: <https://www.ni.com/it-it/support/documentation/supplemental/21/what-is-ni-measurement---automation-explorer--ni-max--.html>.
- [12] Wikipedia. *Sistema di visione artificiale* — *Wikipedia, L'enciclopedia libera*. [Online; in data 31-gennaio-2023]. 2018. URL: http://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_di_visione_artificiale/&oldid=100473412.