

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica
LM-33

Studio di fattibilità di una stazione per il controllo qualità in linea di produzione mediante visione

**Feasibility study of a station for quality control on the
production line by means of vision**

Tedi di Laurea di:
ALESSIO MORGONI

Relatore:
Prof. NICOLA PAONE

Correlatore:
Ing. MASSIMO NATALINI

Alla mia famiglia per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso;

Al prof Paone per la disponibilità e per la professionalità fornita;

Alla Plast 2000 in particolare a Massimo per il suo sostegno nell'affrontare questo lavoro;

A Gloria per avermi supportato e sopportato;

A tutti i miei amici più cari con i quali ho condiviso momenti fantastici in questi ultimi cinque anni;

A me perché ci ho sempre creduto soprattutto nei momenti più difficili.

Sommario

Introduzione	5
1.1 Presentazione dell'azienda	7
1.2 Descrizione del problema	9
1.3 Le condizioni al contorno.....	18
Il sistema di visione.....	19
2.1 Architettura di un sistema di visione	20
2.1.1 Ottica.....	20
2.1.2 L'illuminatore	28
2.1.3 Fotocamera	31
2.2 Caso studio	32
Attrezzatura utilizzata	33
3.1 Ottica.....	33
3.2 Illuminatore.....	35
3.3 Fotocamera	38
Software	42
4.1 Generalità.....	42
4.2 Algoritmi sviluppati.....	43
4.2.1 Algoritmo Acquastop	50
4.2.2 Algoritmo Ghiera Nera	68
4.2.3 Algoritmo Ghiera Bianca	77
Test effettuati.....	80
5.1 Performance algoritmo Acquastop	81
5.2 Performance algoritmo Ghiera	89
Conclusioni	100
6.1 Considerazioni finali	100
6.2 Possibili sviluppi.....	103

Capitolo 1

Introduzione

In un mondo che si sta globalizzando caratterizzato da tempi e spazi sempre più ristretti e confini che scompaiono, il commercio e lo scambio diventano attività strategiche e fondamentali che assumono un ruolo centrale nel mercato globale sempre più competitivo. Il cliente è colui che domina il mercato scegliendo un prodotto generalmente in base al suo prezzo ed alla sua qualità. Non a caso, infatti, vengono definiti entrambi due pilastri aziendali per raggiungere ma soprattutto per mantenere il successo nel proprio mercato. Il controllo qualità ha un ruolo centrale nella catena di produzione, è infatti nella qualità e nella certezza della stessa che risiede, per molti settori produttivi, il vero valore aggiunto del prodotto. Purtroppo, molto spesso vengono ignorati in fase di progettazione della produzione i costi derivanti da una non corretta gestione del controllo della qualità nella creazione di un articolo. La qualità del prodotto si nota quando essa viene a mancare e le conseguenze sono una serie di costi nascosti che possono pesare in maniera significativa al bilancio aziendale, essi sono i cosiddetti costi della non qualità (Cost of Poor Quality, COPQ).

Successivamente poi con l'avvento dell'Industry 4.0 i dati hanno acquisito un ruolo centrale in ogni campo della produzione e la qualità non è esclusa da esso. Con la facilità di accesso dei dati gestiti dall'IoT (Industrial Internet of Things) è possibile avere la visione integrale della produzione in tempo reale. Questo approccio può essere utilizzato anche per il controllo di qualità della produzione, tanto che si ipotizza un probabile cambio di paradigma nel prossimo futuro. Infatti, con l'analisi dei dati raccolti si potrà, in molti casi, effettuare controlli di qualità sul 100% della produzione, minimizzando gli approcci basati su statistica e campioni per i test in laboratorio. La mole di dati proveniente dalla produzione consentirà, se adeguatamente gestita, un'elaborazione ed un'analisi che puntino non solo ad individuare i pezzi difettosi, ma a determinare le cause scatenanti le non conformità in modo da poter agire tempestivamente sulla fonte della perdita della qualità del prodotto. Proprio su questo tema si basa la presente tesi sviluppata in collaborazione con lo stabilimento della Plast 2000 s.r.l. a Recanati dedicato alla realizzazione di prodotti stampati. Il lavoro realizzato durante l'attività di tirocinio è uno studio di fattibilità, nell'ambito del controllo di qualità attraverso un sistema di visione in linea produttiva di alcuni articoli stampati ad iniezione plastica. Lo studio comprende le analisi preliminari del problema, passando alla definizione degli strumenti adatti a tale scopo e gli algoritmi sviluppati, fino al test in laboratorio.

1.1 Presentazione dell'azienda

La Plast 2000 s.r.l. è un'azienda del territorio recanatese che progetta e costruisce stampi dal 1980.



Figura 1: Stabilimento Plast 2000 s.r.l.

Si occupa principalmente di subfornitura di articoli tecnici di materiale termoplastico stampati ad iniezione, producendo parti per tutti i settori come articoli per motori elettrici Figura 2 (a), parti per serrature e chiusure Figura 2 (b), cosmetica e personal care Figura 2 (c), elementi di piping Figura 2 (d) ed anche parti per applicazione medica Figura 2 (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2: Alcuni articoli prodotti da Plast 2000 s.r.l.

I servizi messi a disposizione del cliente copre l'intero di ciclo di produzione. L'ufficio tecnico interno trasforma i disegni del cliente in uno studio di fattibilità del concept, passando per la prototipazione del prodotto realizzando prototipi sia estetici che funzionali avvalendosi anche di tecnologie come l'additive manufacturing e ciò consente di valutare le caratteristiche del nuovo prodotto e sviluppare la sua industrializzazione fino alla omologazione. Si realizzano stampi attraverso l'officina interna per tutte le famiglie di polimeri termoplastici, anche in bi-materia occupandosi dello sviluppo di tutte le attrezzature fino al collaudo e l'avvio della produzione. La produzione dei componenti è delegata al reparto dello stampaggio che dispone di presse da 7 fino a 650 tonnellate che permette di produrre una vasta gamma di articoli di varie forme e dimensioni, alcune presse sono adatte allo stampaggio di articoli a parete sottile con tempi ciclo inferiore ai tre secondi, altre invece sono specializzate nello stampaggio di pezzi piccoli di alta precisione (7 g) ed infine ci sono macchine adibite al co-stampaggio di vario tipo. Prima della realizzazione del prodotto finito, si fornisce una preserie al cliente, che consente di valutare la funzionalità e resa estetica per affrontare qualsiasi variazione quando necessaria in tempi brevi. Le specifiche dei prodotti realizzati sono un must aziendale, il quale è anche assicurato dal sistema di gestione del controllo della qualità che ha permesso di conseguire la certificazione ISO 9001:2015. Il laboratorio metrologico interno supporta tutte le fasi del processo di produzione, dall'analisi delle materie prime in ingresso al controllo dimensionale del prodotto finito. Oltre alla strumentazione di base si dispone di macchine CMM (Coordinate Measuring Machine) con tastatore con un campo di misura fino a 900 mm, macchine ottiche VMM (Vision Measuring Machine), equilibratrice per rotori fino a 15 kg e la Melt Flow Machine per l'analisi delle materie prime. I punti di forza aziendali sono costituiti da un notevole livello tecnologico in continua evoluzione e da una continua e costante formazione degli operatori di ciascun settore, peculiarità che permettono di soddisfare richieste professionali molto varie con rapidità ed un grado di qualità decisamente alto.

1.2 Descrizione del problema

Prima di illustrare le specifiche del sistema è opportuno definire quali sono i prodotti a cui si fa riferimento e perché il sistema è stato pensato proprio per questi articoli. Tra di essi si possono trovare elementi di bloccaggio a tenuta come la guarnizione costampata di gomma chiamata Acquastop costituita da Santoprene (polimero termoplastico elastomero vulcanizzato, la parte nera degli oggetti nella Figura 3) e Polipropilene al 40% FV (Polipropilene polimero termoplastico caricato per il 40% da fibre di vetro, la parte bianca degli oggetti della Figura 3), la tavola tecnica è riportata in fondo al capitolo.



Figura 3: Elemento co-stampato Acquastop

Sono particolari che vengono utilizzati nel settore degli elettrodomestici in cui vengono richiesti prodotti di alta qualità che rispondono alle specifiche concordate con il cliente, le quali possono essere come in questo caso sia puramente estetiche come possibili mancanze di materiale, deformazioni molto pronunciate che possono comprometterlo oppure specifiche funzionali. Il controllo dimensionale, quindi, diventa d'obbligo per consentire il corretto uso dell'articolo, le quote da controllare possono essere visibili sia nel piano di controllo che nella tavola tecnica. Le mancanze o deformazioni dei due materiali co-stampati sono le principali cause di difetto rilevate dall'azienda soprattutto per la parte in gomma, essi possono essere anche essere notevoli come illustrato nell'immagine che segue.

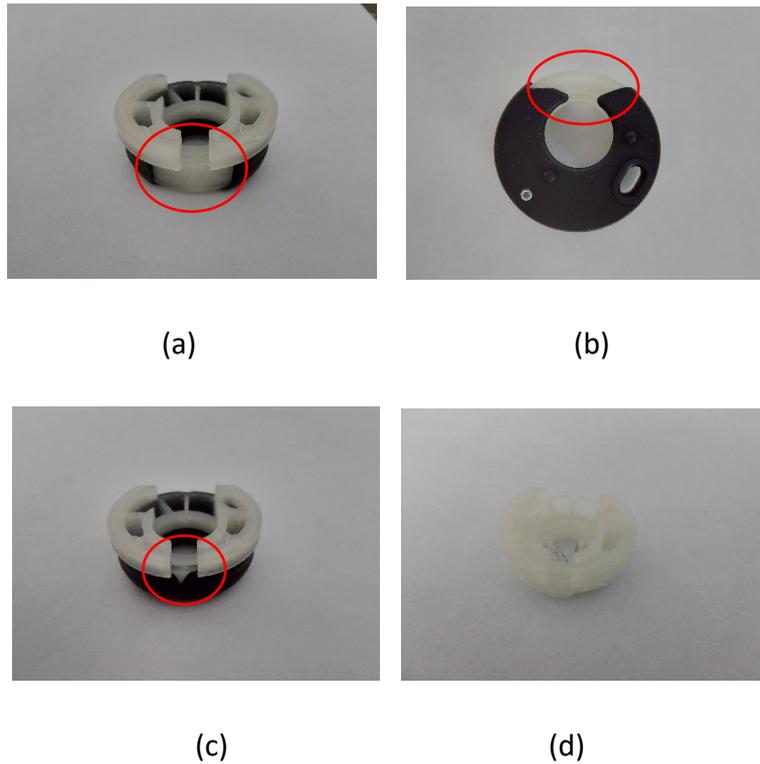


Figura 4: Difetti Acquastop

Nella Figura 4 possiamo vedere difetti di mancanza della gomma di diversa entità. La Figura 4 (b) mostra la mancanza della gomma in corrispondenza del foro centrale. La Figura 4 (c) illustra una mancanza della gomma che, anche se di minore entità, è molto importante nella funzionalità dell'oggetto perché così permetterebbe il passaggio del flusso di liquido in quell'area. La Figura 4 (d) indica invece una completa assenza della gomma.

Un'altra categoria di articoli è la famiglia dei componenti per i prodotti di cosmetica, che sono illustrati nell'immagine seguente chiamate Ghiera.



Figura 5: Ghiera

Per questa famiglia invece è molto importante che i componenti non presentino bave sia nella parte inferiore sia nel foro centrale, sporco o macchie di grasso, olio o macchie causate dal liquido di raffreddamento della pressa, inoltre non devono essere presenti delle mancanze di materiale. L'immagine seguente mostra degli esempi per i precedenti difetti presentati.



Figura 6: Difetti Ghiera

Risulta quindi particolarmente importante nell'interesse aziendale controllare l'estetica di questi prodotti, nel quale entreremo nel merito successivamente. Sono riportati di seguito sia le tavole tecniche ma anche i piani di controllo per tutti i componenti citati.

CONTROL PLAN											
PLST 2000		Control Plan Number		0		Original Date		Revision Date:			
www.plast2000.it		Plan Type		<input type="checkbox"/> Prototype <input type="checkbox"/> Pre-launch <input checked="" type="checkbox"/> Production				Rev. N°:		2	
Part/ process number	Process name / Operation Description	Machine, Device, jig, Tools, for MFG.	Characteristics			Methods			Reaction Plan		
			No.	Part Characteristics	Process Characteristics	Special Char. Class	Part / Process Specification / Tolerance	Evaluation/ Measurement Technique		Respon- sibility	
				Sample		Control Method					
				Size	Freq.						
10	Raw material receipt		1	DOT quantity matching check			VIS	MAG	1/BATCH		01
			1	Check Raw Material as specifications			ODL-DB	ATT	IP		02
			2	Check correct setting of Process Parameters			SPP	ATT	IP		02
			3	Check correct ancillary equipment functioning			SPP	ATT	IP		02
			4	Visual inspection (lack of material)			VIS	CQ	IP		02
			5	Dimension $2,5 \pm 0,15$ mm			VMM	CQ	IP		02
			6	Dimension $4,7 (+0,07/-0,05)$ mm			VMM	CQ	IP		02
20	Process Set Up	Injection moulding machine	7	Diameter $\phi 10,6 (+0,-0,2)$ mm			VMM	CQ	IP		02
			4	See details in phase 20			VIS	CQ	1 SHOT/WORK SHIFT		02
30	Injection Moulding	Injection moulding machine	5,6,7	See details in phase 20			TMP	CQ	1 SHOT/WORK SHIFT		02

Figura 8: Piano di controllo dispositivo Acquastop

PIANO DI CONTROLLO COMPONENTE

Descrizione: **GHIERA**

Codice: _____

• = Caratteristica che ha subito variazione in questa revisione.

data: _____

Classificazione dei Difetti:	CR = CRITICO	MA = MAGGIORE	MI = MINORE
	AQL 0,25	AQL 0,65	AQL 4
NORME UNI ISO 2889/1			

REF.	ESTETICO	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A	Bava verticale foro	MI	PROIETTORE	/	0,2
B	Bava orizzontale foro	MA	PROIETTORE	/	0,1
C	Bava verticale fondo interno	MI	PROIETTORE	/	0,2
D	Bava orizzontale chiusura interna	MI	PROIETTORE	/	0,15
E	Bava verticale chiusura inferiore	MI	PROIETTORE	/	0,2
F	Bava punto d'iniezione	MA	PROIETTORE	/	0,5
G					
H					
I					
J					
REF.	DIMENSIONALE	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A1	Diam. foro passaggio erogatore	MA	TAMPONE PNP	15,2 +0,1/-0	15,2 ±0,1
B1	Diam. sottosquadro aggancio corpo	CR	TAMPONE PNP	24,4 +0/-0,1	24,4 +0/-0,18
C1	Altezza totale	MI	CALIBRO	21,7 ±0,1	
D1	Diam. esterno inferiore	CR	CALIBRO/PROIETTORE	30,8 ±0,1	
E1	Diam. cresta filetto	MA	CALIBRO	25,55 +0,15/-0	25,55 +0,15/-0
F1	Diam. fondo filetto	MA	CALIBRO	27,95 ±0,1	
G1	Diam. duomo	MI	CALIBRO	28,2 +0,15/-0	28,2 +0,17/-0
H1	Diam. sede flangia corpo	MA	COMPARATORE PER INTERNI	25,6 +0/-0,1	25,6 +0,15/-0,1
I1					
J1					
REF.	FINIZIONALE	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A2	Controllo rotazione	CR	09T004	/	non ammesso bloccaggio della ghiera
B2					
C2					
D2					
E2					
F2					
G2					
H2					
I2					
J2					
ASPETTI GENERALI					
1)	Mancanza materiale	MA	VISIVO	/	DM. ACCETTABILE (*)
2)	Sporco olio/grasso	CR	VISIVO	/	
3)	Corpi estranei	MI	VISIVO	/	
4)	Maschere nel materiale	CR	VISIVO	/	
5)					
6)					
7)					
8)					
9)					
10)					

NOTE: (*) Ammessa per piccoli tratti sulla filettatura

Preparato _____

Approvato _____

Visto _____

EX
Codice: _____

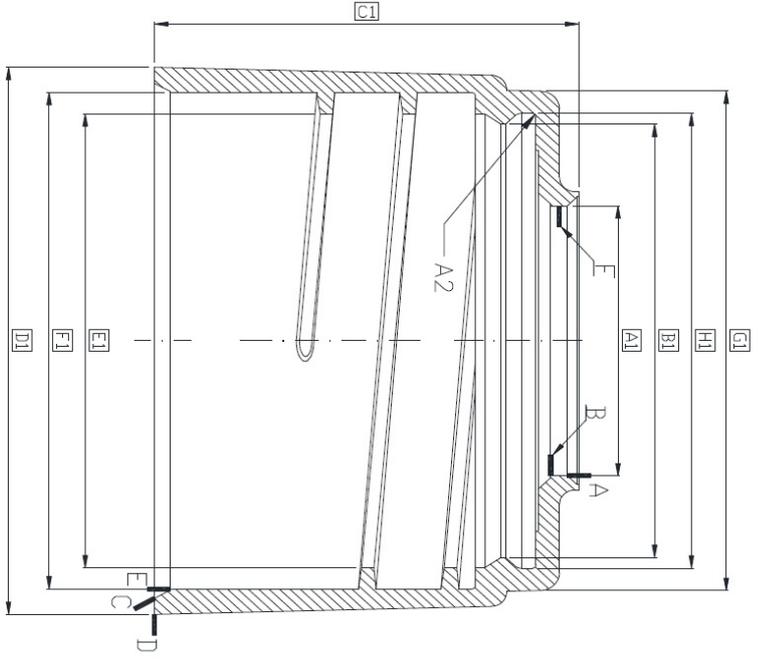


Figura 10: Piano di controllo Ghiera bianca

PIANO di CONTROLLO COMPONENTE

Descrizione: _____

Codice: _____

data: _____

* = Caratteristica che ha subito variazione in questa revisione.

Classificazione dei Difetti:		CR =	NORME UNI ISO 2859/1		MI =
		CRITICO	MA =	MAGGIORE	MINORE
		AQL	AQL	0,25	AQL
				0,65	4
RF.	ESTETICO	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A	Bava verticale foro	MI	PROIETTORE	/	0,2
B	Bava orizzontale foro	MA	PROIETTORE	/	0,1
C	Bava verticale bordo inferiore	MI	PROIETTORE	/	0,2
D	Bava orizzontale chiusura stampo	MI	PROIETTORE	/	0,15
E	Bava verticale chiusura inferiore	MI	PROIETTORE	/	0,2
F	Bava punto d'ineleone	MA	PROIETTORE	/	0,5
G					
H					
I					
J					
RF.	DIMENSIONALE	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A1	Diámetro foro passaggio erogatore	MI	TAMPONE PNP	15,2 +0,1/-0	15,2 +0,12/-0 (**)
B1	Diámetro sottosquadro aggancio corpo	CR	TAMPONE PNP	20,75 +0,-0,1	20,75 ±0,1
C1	Altezza totale	MI	CALIBRO	19,6 ±0,1	(**)
D1	Diámetro esterno inferiore	MI	CALIBRO/PROIETTORE	27,2 +0,1/-0	27,2 +0,2/-0,1
E1	Diámetro cresta filetto	MA	CALIBRO	22,05 ±0,1	
F1	Diámetro fondo filetto	MA	CALIBRO	24,15 ±0,1	
G1	Diámetro diuomo	MA	CALIBRO	24,6 +0,15/-0	24,6 +0,24/-0
H1	Diámetro sede flangia corpo	MA	COMPARATORE PER INTERNI	22 +0,1/-0	22 +0,15/-0
I1					
RF.	FUNZIONALE	AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
A2					
B2					
C2					
D2					
E2					
F2					
G2					
H2					
I2					
J2					
ASPETTI GENERALI		AQL	STRUMENTO	DIMENSIONE	DM. ACCETTABILE
1)	Mancaenza materiale	MA	VISIVO	/	(*)
2)	Sporco olii/ grasso	CR	VISIVO	/	
3)	Corpi estranei	MI	VISIVO	/	
4)	Macchie nel materiale	CR	VISIVO	/	
5)					
6)					
7)					
8)					

NOTE:

(*) Ammessa per piccoli tratti sulla filettatura

(**) per lo stampo 9047/32 la dimensione è derogata fino a 19,35 fino a prossima manutenzione della stampo

(***) solo su gli stampi a canale integrale (9047/912/3/911/4) la misura può essere accettata fino ad un minimo di 15,14mm misurato con strumento di misurazione ottico (smart scope)

Preparato

Approvato

Viso

Rappresentazione indicativa: per la esatta caratterizzazione di geometria e forma si veda il relativo disegno tecnico del componente.

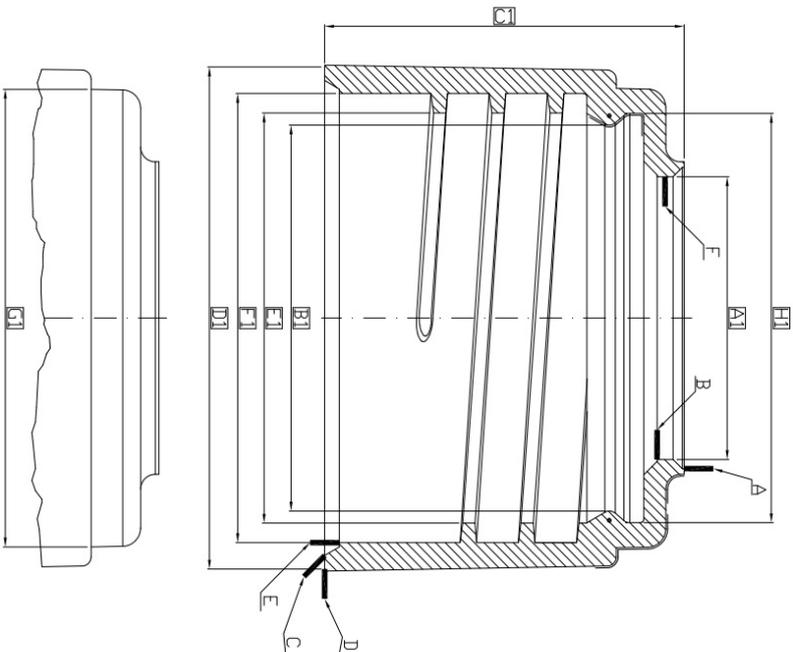


Figura 12: Piano di Controllo Ghiera Nera

1.3 Le condizioni al contorno

L'idea di andare a studiare una stazione per il controllo qualità per gli oggetti illustrati nel paragrafo precedente è giustificata per tre motivi principali: sono articoli che mediamente vengono prodotti circa 8 mesi ogni anno in modo continuato per il prodotto costampato mentre gli altri prodotti mediamente 6 mesi all'anno. Vista sia l'elevata richiesta da parte del cliente in termini di volume di produzione ma anche qualitativo, è fisiologico visto che ci troviamo in condizione reale che i prodotti non saranno al 100% conformi a tutte le specifiche. Sia per minimizzare le non conformità che aumenterebbero le spese aziendali, che per evitare l'intervento umano nel controllo comportando un alleggerimento del carico di lavoro per l'operatore del controllo qualità e sostituire il tutto studiando un possibile controllo del 100% degli articoli prodotti in modo automatico incrementando quasi all'unità la probabilità che un pezzo difettoso venga considerato conforme.

È stato pensato ad un sistema in grado di vedere gli articoli, catturare un'immagine ed in tempo reale processarla andando a definire le specifiche di controllo per l'ispezione e verificare l'adeguatezza del prodotto. Si è pensato appunto ad un sistema di visione integrato con la produzione che fosse in grado di localizzare e catturare l'immagine dell'oggetto quando esso si trova nella sua prossimità ed in tempo reale elaborare l'immagine controllando il 100% dei pezzi.

Capitolo 2

Il sistema di visione

La visione artificiale è una disciplina che comprende le tecnologie e i metodi di imaging per eseguire le analisi ed ispezioni in varie applicazioni come la verifica, misurazione per il controllo del processo. Ogni componente in un sistema di visione è di fondamentale importanza per svolgere il compito previsto, ed esso comprende elementi come l'ottica, l'illuminazione, le telecamere ed il software. Quando si pensa ad un sistema di visione è importante trovare il giusto equilibrio tra prestazioni e costi per ottenere il miglior risultato per l'applicazione desiderata. Solitamente sono pensati con un impatto immediato in un processo produttivo, infatti, essi vengono definiti sistemi in tempo reale. Essi possono fare diverse cose come la misurazione, identificazione, smistamento, lettura di codici e riconoscimento dei caratteri.

L'architettura di un sistema di visione è fortemente correlata all'applicazione nella quale si intende integrare. Sono caratterizzati da operazioni fondamentali: l'acquisizione immagine è il primo e più importante compito, solitamente realizzata per mezzo di un sistema fotosensibile. L'immagine può essere costruita come un 2D tradizionale, un set

di punti 3D o come una sequenza di immagini. In questa fase si può configurare numerosi parametri come l'attivazione dell'immagine, il tempo di esposizione della fotocamera e la geometria dell'illuminatore e così via. L'estrazione delle caratteristiche è la fase in cui vengono estrapolate le caratteristiche specifiche come linee, bordi, angoli e le regioni di interesse (ROI, Region on Interest).

Nella fase di Rilevamento/Segmentazione invece si deve scegliere cosa si deve estrarre e quali sono le informazioni che sono state raccolte precedentemente e quali devono essere trasmesse per ulteriori elaborazioni. Nell'elaborazione ad alto livello l'input a questo punto consiste in un insieme ristretto di dati e lo scopo di questo passaggio è classificare oggetti o caratteristiche dell'oggetto in una classe particolare, verificare che l'input abbia le specifiche richieste dal modello della classe di riferimento e misurare/stimare/calcolare i parametri specifici come posizione o le dimensioni delle caratteristiche dell'oggetto.

2.1 Architettura di un sistema di visione

Come già detto in precedenza un sistema di visione è formato dall'ottica, l'illuminatore e fotocamera. A seguire entriamo nel merito di questi argomenti.

2.1.1 Ottica

Lo scopo fondamentale di una lente di qualsiasi tipologia è quella di raccogliere la luce diffusa da un oggetto e ricrearne l'immagine su un sensore sensibile alla luce (solitamente basato sulla tecnologia CCD o CMOS). La scelta dell'ottica è calibrata in base all'area da riprendere cioè l'area totale che può essere visualizzata dall'obiettivo e visualizzata poi sul sensore della fotocamera che in gergo tecnico viene definita "il campo di visione (FoV, Field of View)", lo spessore dell'oggetto o delle caratteristiche di interesse definito come "profondità di campo (DoF, Distance of View)" e la distanza

obiettivo-oggetto si chiama “distanza di lavoro (WD, Work Distance)”, l’ottica dipende anche dalla dimensione del sensore cioè dalla dimensione dell’area attiva del sensore della fotocamera che può essere calcolata moltiplicando la dimensione dei pixel per la risoluzione del sensore, dall’ingrandimento cioè dal rapporto tra la dimensione del sensore e FoV, dalla risoluzione cioè la distanza tra due punti che possono essere distinti come punti separati, dipende da tipo di luce ed anche dal tipo di ottica. Le caratteristiche principali della maggior parte dei sistemi ottici possono essere calcolate con pochi parametri al netto di qualche approssimazione. La cosiddetta approssimazione parassiale (cioè la semplificazione del calcolo di un percorso di un raggio di luce) richiede che vengano presi in considerazione solamente i raggi che entrano nel sistema ottico a piccoli angoli rispetto all’asse ottico. La lente sottile richiede che lo spessore della lente sia inferiore ai raggi di curvatura delle superfici delle lenti ignorando così gli effetti ottici per via dello spessore delle lenti stesse e considerando che l’oggetto e lo spazio dell’immagine si trovino inglobati nel fluido aria. Attraverso questa approssimazione si ottiene la seguente formula chiamata Equazione di Newton o formula dell’ottico:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

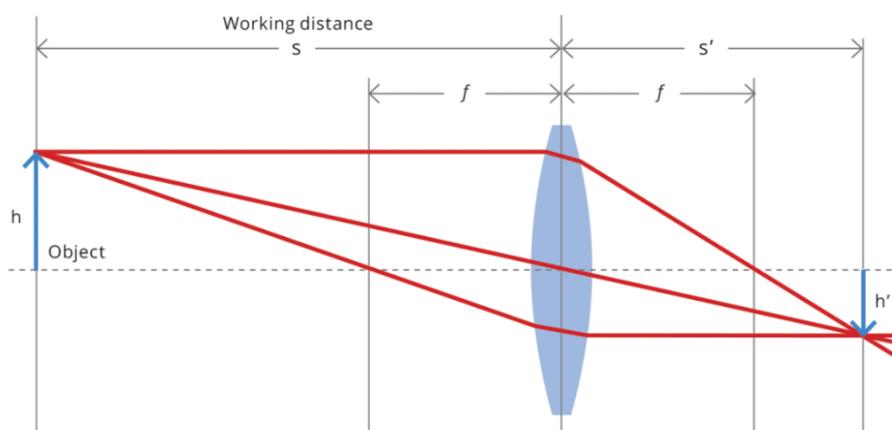


Figura 13: Formazione di immagini

La formula viene concretizzata dallo schema di Figura 13 il quale rappresenta proprio lo schema di base per la formazione delle immagini. Essa è una misura di quanto fortemente il sistema converge o diverge i raggi di luce. Se i raggi collimati convergono in un punto fisico, la lente si dice positiva (convessa), mentre se i raggi divergono il punto focale è virtuale e la lente si dice negativa (concava). Tutte le ottiche utilizzate nelle applicazioni di visione artificiale sono complessivamente positive, ovvero focalizzano la luce in entrata sul piano del sensore. Per i sistemi ottici utilizzati nella visione artificiale, in cui i raggi riflessi da un oggetto lontano sono focalizzati sul piano del sensore, la lunghezza focale può essere vista anche come misura di quanta area viene ripresa sul sensore (Field of View): maggiore è la lunghezza focale, minore è il FoV e viceversa.

L'ingrandimento M invece di un'ottica descrive il rapporto tra l'immagine (h') e la dimensione dell'oggetto (h).

$$M = \frac{h'}{h}$$

Ogni sistema ottico è caratterizzato da un fermo del diaframma, che determina la quantità di luce che lo attraversa. Per un dato diametro di apertura d e lunghezza focale f possiamo calcolare il numero F dell'ottica:

$$F/\# = \frac{f}{d}$$

I numeri F tipici sono $F/1.0$, $F/1.4$, $F/2$, $F/2.8$, $F/4$, $F/5.6$, $F/8$, $F/11$, $F/16$, $F/22$, ecc. Ogni incremento del numero riduce la luce in entrata del 50%.

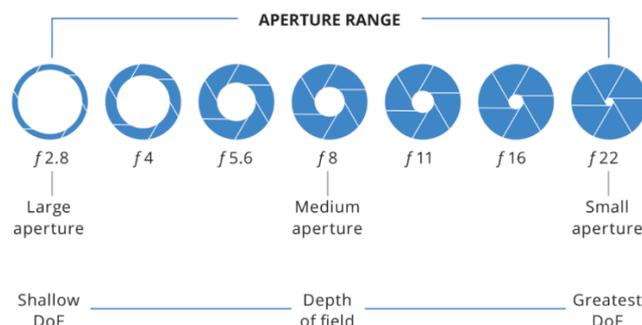


Figura 14: Livelli chiusura/apertura del diaframma

Il numero F influisce sulla profondità di campo dell'ottica (DoF), ovvero l'intervallo tra la posizione più vicina e quella più lontana in cui un oggetto è accettabile a fuoco. La profondità di campo è un concetto piuttosto fuorviante perché fisicamente esiste uno e un solo piano nello spazio degli oggetti che è coniugato al piano del sensore. Tuttavia, tenendo conto della diffrazione, dell'aberrazione (fenomeni che con consentono un funzionamento in ambiente ideale dell'ottica) e della dimensione dei pixel, possiamo definire una "distanza di messa a fuoco accettabile" dal piano coniugato dell'immagine, sulla base di criteri soggettivi. Ad esempio, per un dato obiettivo, la distanza di messa a fuoco accettabile per un'applicazione di misurazione di precisione che richiede un'immagine molto nitida è inferiore rispetto a un'applicazione di ispezione visiva grossolana. Un valore del numero F comune è F/8 poiché aperture più piccole potrebbero dar luogo a limitazioni di diffrazione, mentre obiettivi con aperture più grandi sono più colpiti dalle aberrazioni ottiche e dalla distorsione.

Difetti e aberrazioni ottiche, insieme alla diffrazione, contribuiscono al degrado della qualità dell'immagine. Un modo efficiente per valutare la qualità dell'immagine è calcolare il contrasto, ovvero la differenza di luminanza che rende distinguibile un oggetto e la sua rappresentazione nell'immagine o su un display. Matematicamente, il contrasto è definito come:

$$C = \frac{i_{0_{max}} - i_{0_{min}}}{i_{0_{max}} + i_{0_{min}}}$$

dove I_{max} (I_{min}) è la luminanza più alta (minima). In un'immagine digitale, "luminanza" è un valore che va da 0 (nero) a un valore massimo a seconda della profondità del colore (numero di bit utilizzati per descrivere la luminosità di ciascun colore). Per le immagini tipiche a 8 bit (in scala di grigi, per semplicità), questo valore è $2^8 - 1 = 255$, poiché questo è il numero di combinazioni (contando dalla stringa 'nero' zero) che si possono ottenere con 8 sequenze di bit, assumendo 0-1 valori per ciascuna.

La qualità dell'immagine di un sistema ottico è solitamente espressa dalla sua funzione di trasferimento (TF). TF descrive la capacità di un obiettivo di risolvere le caratteristiche,

correlando le informazioni spaziali nello spazio dell'oggetto (di solito espresse in coppie di linee per millimetro) al contrasto ottenuto nell'immagine.

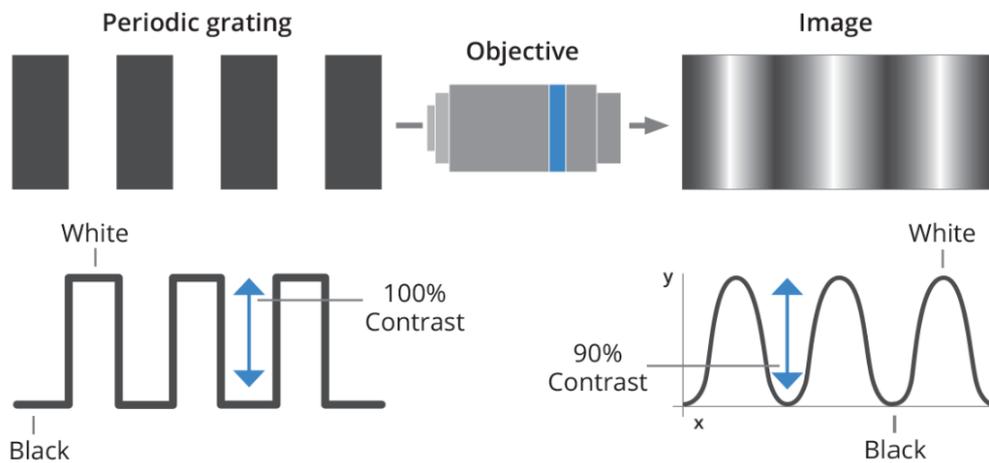


Figura 15: MTF Modulation Transfer Function

Bisogna tuttavia introdurre due parametri molto importanti il MTF (Modulation Transfer Function) ed il CTF (Contrast Transfer Function), il CTF esprime la risposta del contrasto dell'obiettivo quando viene ripreso un "modello quadrato" (stile scacchiera); questo parametro è il più utile per valutare la nitidezza dei bordi per applicazioni di misura. D'altra parte, MTF è la risposta di contrasto ottenuta durante l'imaging di un pattern sinusoidale in cui i livelli di grigio variano da 0 a 255; questo valore è più difficile da convertire in qualsiasi parametro utile per le applicazioni di visione artificiale. La risoluzione di un obiettivo è tipicamente espressa dal suo MTF (modulation transfer function), che mostra la risposta dell'obiettivo quando viene ripreso un pattern sinusoidale. I sistemi di visione artificiale non possono risolvere in modo affidabile caratteristiche con contrasto molto basso. Conviene quindi scegliere una frequenza limite corrispondente al 20% di contrasto che comunque garantisce un'accettabile prestazione della lente. Per quanto riguarda la risoluzione un criterio comunemente accettato è quello di Rayleigh, che è connesso al concetto di limite di risoluzione. Quando un'onda incontra un ostacolo, ad esempio attraversa un'apertura, si verifica la diffrazione. La diffrazione nell'ottica è una conseguenza fisica della natura

ondulatoria della luce, con conseguenti effetti di interferenza che modificano il modello di intensità del fronte d'onda in ingresso. Poiché ogni obiettivo è caratterizzato da un diaframma, la qualità dell'immagine sarà influenzata dalla diffrazione, a seconda dell'apertura dell'obiettivo: un oggetto puntiforme verrà ripreso correttamente sul sensore fino a quando la sua immagine non raggiunge una dimensione limite; qualsiasi cosa più piccola sembrerà avere la stessa immagine di un disco con un certo diametro che dipende dall'obiettivo $F/\#$ e dalla lunghezza d'onda della luce. Questa area circolare è chiamata disco di Airy, avendo un raggio di:

$$r = 1,22 * \lambda * \frac{f}{d}$$

dove λ è la lunghezza d'onda della luce, f è la lunghezza focale dell'obiettivo, d è il diametro dell'apertura e f/d è il numero F dell'obiettivo.



Figura 16: Disco di Airy

Considerando due oggetti vicini, l'idea è che la diffrazione delle immagini di entrambi gli oggetti aumenti al punto che non è più possibile vederli come separati. Il criterio di Rayleigh afferma che due oggetti non sono distinguibili quando i picchi dei loro schemi di diffrazione sono più vicini del raggio di Airy. Per questo motivo l'ottica deve essere opportunamente abbinata al sensore e viceversa. È importante ricordare che il limite di risoluzione effettivo non è dato solo dall' $F/\#$ dell'obiettivo e dalla lunghezza d'onda, ma dipende anche dalle aberrazioni dell'obiettivo: quindi, la frequenza spaziale reale di cui tenere conto è quella descritta dall'MTF curve della lente desiderata.

Si possono trovare differenti tipologie di ottiche in commercio, ad esempio ci sono le telecentriche le quali hanno la caratteristica di essere ottiche che raccolgono fasci luminosi collimati cioè raccolgono quei fasci luminosi che sono paralleli all'asse ottico eliminando tutti gli errori prospettici del caso. In questo modo l'ingrandimento di un obiettivo telecentrico è indipendente dalla posizione dell'oggetto. Questa loro peculiarità li rendono perfettamente adatti alle applicazioni di misurazione dove le deformazioni di prospettiva possono portare ad errore. La loro morfologia costringe l'elemento anteriore all'obiettivo ad essere al massimo grande quanto il campo visivo desiderato rendendo inadeguati gli oggetti più grandi dell'obiettivo stesso.

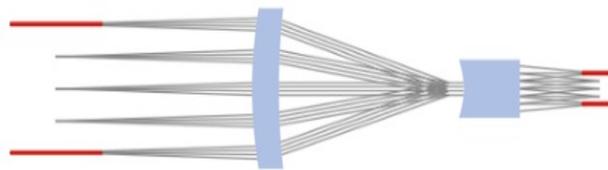
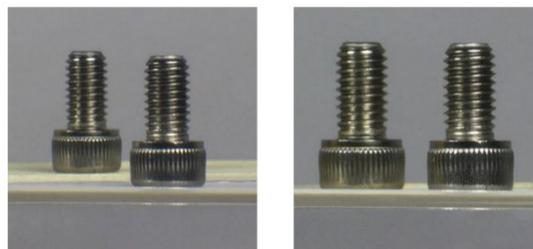


Figura 17: Schema lente telecentrica



(a)

(b)

Figura 18: Immagini con lente standard e telecentrica

La Figura 18 mostra la differenza tra ottiche comuni (entocentriche) Figura 18 (a) e lenti telecentriche Figura 18 (b).

Un'altra famiglia di ottiche sono le lenti a focale fissa chiamate entocentriche, ovvero raccolgono raggi divergenti dall'asse ottico. Gli obiettivi a lunghezza focale fissa sono ottici comunemente utilizzati nella visione artificiale, essendo prodotti convenienti che si adattano molto bene ad applicazioni standard. Gli obiettivi a focale fissa sono economici e versatili, ma non sono adatti a tutte le applicazioni. Di solito introducono errori prospettici significativi con distorsioni geometriche incompatibili con le applicazioni di misurazione di precisione in campo industriale. Inoltre, il diaframma e la messa a fuoco regolabili manualmente introducono alcuni giochi meccanici, il che rende questi obiettivi non ideali per applicazioni che richiedono impostazioni molto coerenti e ripetibili.

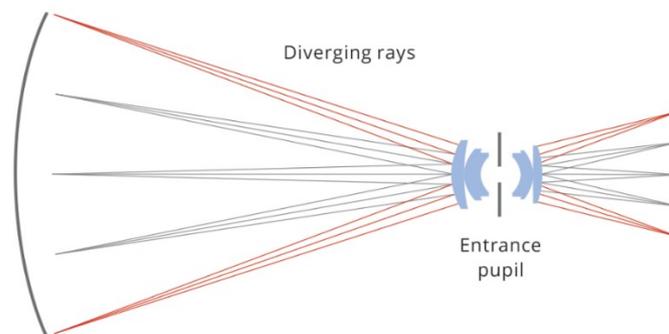


Figura 19: Schema lente entocentrica

Una famiglia molto importante di ottiche sono quelle chiamate a 360° dette anche pericentriche, trovano campo nelle applicazioni di visione artificiale dove viene richiesta una visione completa della superficie di un oggetto sia nella parte superiore ma anche nella parte laterale. La maggior parte degli oggetti cilindrici come bottiglie e contenitori ma anche molte parti meccaniche richiedono un'ispezione completa sia per rilevare graffi, impurità o per leggere codici a barre. La categoria delle ottiche a 360° comprende diverse soluzioni ottiche che catturano i raggi divergenti dall'oggetto, così da visualizzare non solo la superficie dell'oggetto davanti all'obiettivo ma anche la superficie laterale

dell'oggetto. L'immagine seguente illustra il principio di funzionamento applicato a una lente pericentrica (PC).

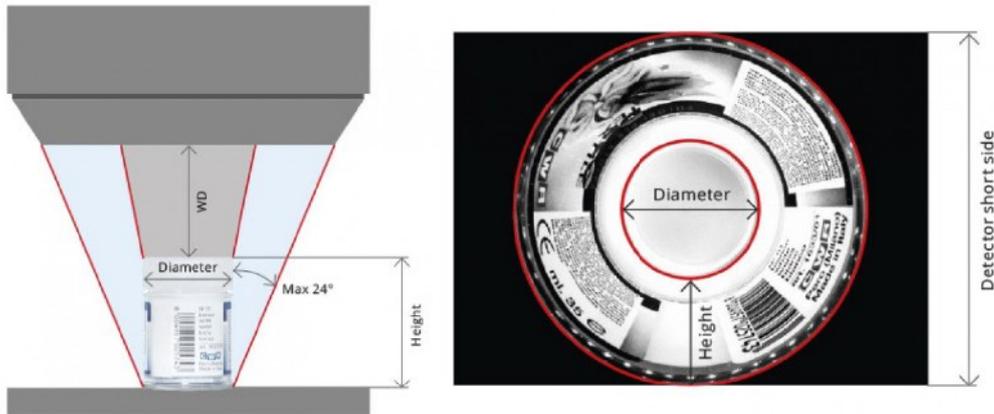


Figura 20: Funzionamento lente pericentrica

2.1.2 L'illuminatore

Nella visione artificiale, la luce è principalmente caratterizzata dalla sua lunghezza d'onda, che è generalmente espressa in nm (nanometri). Fondamentalmente la luce è una radiazione elettromagnetica all'interno di una certa porzione dello spettro elettromagnetico: essa può essere quasi monocromatica (il che significa che è caratterizzata da una banda di lunghezze d'onda stretta, cioè con un unico colore) o bianca (distribuita nello spettro visibile, cioè contiene tutti i colori).

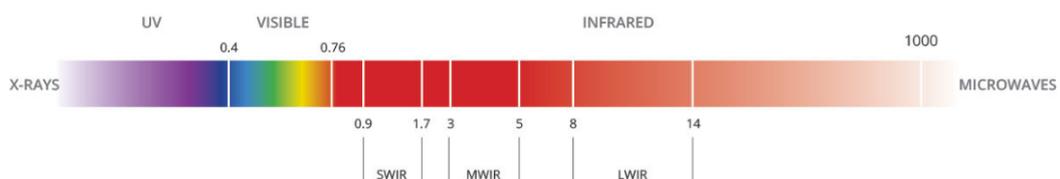


Figura 21: Spettro elettromagnetico

La luce visibile all'occhio umano ha lunghezze d'onda nell'intervallo 400-700 nm, comprese tra l'infrarosso (con lunghezze d'onda maggiori) e l'ultravioletto (con lunghezze d'onda più corte). Fondamentalmente la luce interagisce con i materiali e può essere riflessa, trasmessa o assorbita. Inoltre, quando la luce viaggia attraverso mezzi diversi, si rifrange, cioè cambia direzione. La quantità di rifrazione è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda della luce; cioè i raggi di luce viola vengono detti più piegati di quelli rossi. Ciò significa che la luce con lunghezze d'onda piccole si disperde più facilmente della luce con lunghezze d'onda più grandi quando colpisce una superficie ed è quindi, in generale, più adatta per applicazioni di ispezione di superfici. Infatti, se idealmente consideriamo la lunghezza d'onda come l'unico parametro da considerare dall'elenco precedente, la luce blu è consigliata per applicazioni come l'ispezione dei graffi mentre lunghezze d'onda più lunghe come la luce rossa sono più adatte per valorizzare la silhouette di materiali trasparenti.

Ci sono tre differenti tipologie di sorgenti luminose che costituiscono gli illuminatori: le lampade a incandescenza, le lampade fluorescenti e le luci a led.

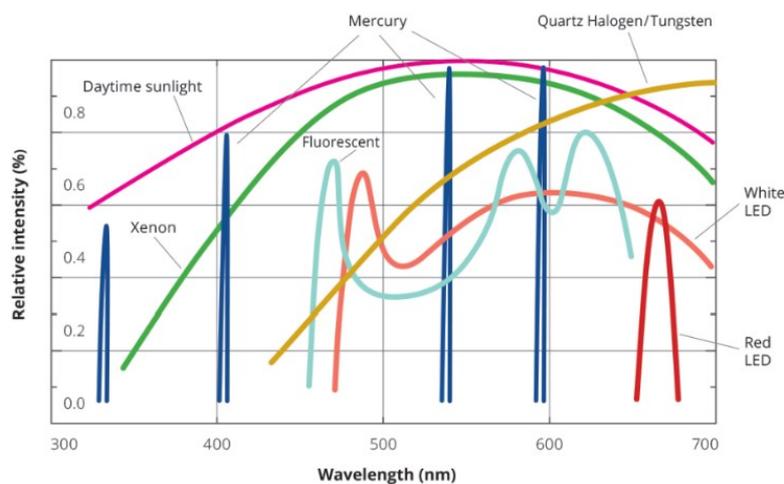


Figura 22: Intensità delle sorgenti luminose

Le lampade a incandescenza sono i famosi bulbi di vetro riempiti con gas inerte a bassa pressione (solitamente argon) in cui un sottile filo metallico (tungsteno) viene riscaldato ad alte temperature facendo passare una corrente elettrica attraverso di esso. Il metallo

incandescente emette luce su un ampio spettro che va da 400 nm fino all'IR. Il risultato è una luce bianca e calda (corrispondente a una temperatura di 2870 K) con una notevole quantità di calore generata.

Le lampade fluorescenti sono tubi a vuoto in cui la luce UV viene prima prodotta (mediante l'interazione tra vapori di mercurio ed elettroni altamente energetici prodotti da un catodo) e poi viene adsorbita dalle pareti del tubo, rivestite con materiale fluorescente e fosforescente. Le pareti, quindi, riemettono la luce su uno spettro che copre nuovamente l'intera gamma visibile, fornendo una sorgente di luce bianca "più fredda".

I LED (Light Emitting Diodes) producono luce attraverso l'annichilazione di una coppia elettrone-lacuna in una giunzione positiva/negativa di un chip semiconduttore. La luce prodotta da un LED dipende dai materiali utilizzati nel chip ed è caratterizzata da uno spettro ristretto, cioè quasi monocromatica, ma esistono due modi per produrre la luce led bianca: si può combinare più led monocromatici (il rosso, il verde ed il blu) per creare un sistema RGB, oppure attraverso un'applicazione di un rivestimento al fosforo giallo sopra il led con una lunghezza d'onda corta ottenendo la luce bianca somma del blu e del giallo.

I LED possono essere anche facilmente pilotati in regime di impulsi (on/off) e possono essere accesi e spenti in sequenza, accendendoli solo quando necessario. La modalità pulsata presenta numerosi vantaggi come l'estensione della vita del led, la riduzione della dissipazione della potenza e la riduzione del riscaldamento di generazione. Esiste la modalità pulsata in cui il led viene acceso e poi spento dopo un certo tempo e la modalità strobo dove i led possono essere pilotati ad intensità superiori rispetto a quelli nominali dichiarati dal costruttore ma per un tempo limitato.

2.1.3 Fotocamera

Una fotocamera è un dispositivo di telerilevamento in grado di acquisire e archiviare o trasmettere immagini. La luce viene raccolta e focalizzata attraverso un sistema ottico su una superficie sensibile (sensore) che converte l'intensità e la frequenza della radiazione elettromagnetica in informazione, attraverso processi chimici o elettronici. La tecnologia delle fotocamere è notevolmente migliorata negli ultimi decenni, dallo sviluppo del Charge Coupled Device (CCD) e, più recentemente, della tecnologia CMOS. I precedenti sistemi standard, come le telecamere a tubo a vuoto, sono stati sospesi. I miglioramenti nella risoluzione dell'immagine e nella velocità di acquisizione hanno ovviamente migliorato anche la qualità e la velocità delle telecamere per la visione artificiale. Nella visione artificiale vengono utilizzate due gruppi di telecamere: quelle a scansione di area dette anche telecamere a matrice e quelle a scansione lineare, i primi sono più semplici e tecnicamente meno impegnativi ed acquisiscono immagini 2D utilizzando i pixel mentre i secondi sono utilizzati con un unico array di pixel.

Una delle caratteristiche più importanti di una telecamera è la dimensione detta anche formato del sensore, esso indica le dimensioni appunto ed il suo fattore di forma espresso in pollici o frazioni di pollici. Un'altra caratteristica importante di un sensore è la risoluzione spaziale cioè il numero degli elementi attivi cioè i pixel contenuti nell'area del sensore stesso. Maggiore è la risoluzione e minore sarà la dimensione del pixel e di conseguenza avremo un'immagine con un dettaglio più preciso. I sensori possono anche avere dimensioni uguali ma differente risoluzione, tuttavia, i pixel più piccoli non sempre sono ideali perché sono meno sensibili alla luce e generano molto rumore, infatti, l'obiettivo e la dimensione del pixel devono essere opportunamente abbinati.

CMOS e CCD sono le due tecnologie più importanti e comuni per il mercato dei sensori di immagine. I primi è possibile ottenere frame rate più elevati grazie allo schema di lettura più semplice ed è possibile definire la regione di interesse (ROI) da acquisire. Questo schema di lettura ha lo svantaggio di sfruttare un rumore più elevato, dovuto ai transistor di lettura in ciascun pixel e al cosiddetto rumore a pattern fisso: una non omogeneità nell'immagine dovuta ai disallineamenti tra i diversi circuiti dei pixel.

Per i secondi invece essendo un dispositivo a pixel passivi (cioè senza elettronica a livello di pixel) l'efficienza quantistica è molto alta: questo è un vantaggio in applicazioni dove la luce è piuttosto scarsa. Inoltre, poiché l'elettronica è la stessa per tutti i pixel (o, almeno, per i pixel della stessa colonna), si può ottenere un'elevata uniformità dei pixel. D'altra parte, il trasferimento della carica è piuttosto lento, risultando in un frame rate basso (tipicamente <20fps) e la tecnologia per i sensori CCD non è standard, rendendoli piuttosto costosi.

2.2 Caso studio

Durante il lavoro di tesi si poneva il problema di come andare ad affrontare il controllo di qualità per gli articoli descritti nei capitoli iniziali. Le attrezzature ed il software utilizzati per lo studio e i test in laboratorio sono stati svolti grazie ad una collaborazione con la Opto-Engineering, un'azienda italiana che sviluppa e commercializza componenti di imaging. La trattazione seguirà parlando delle attrezzature utilizzate per questo studio di fattibilità ed il loro significato basandosi sulla letteratura espressa nelle pagine precedenti.

Capitolo 3

Attrezzatura utilizzata

3.1 Ottica

Per quanto riguarda l'ottica, vista la tipologia di applicazione e il tipo di componente in esame il quale richiede un controllo globale per tutti e tre gli articoli in oggetto si è scelta una ottica di tipo pericentrica. Questo tipo di ottica, infatti, è in grado di raccogliere i raggi che provengono sia dalla parte superiore dell'oggetto ma anche dalla parte laterale, le cosiddette ottiche a 360° spiegate in precedenza. Vista anche la differente altezza tra i prodotti si cercava anche un'ottica in grado di avere anche una certa flessibilità di utilizzo. L'obiettivo scelto per questa applicazione è il PC23030XS della Opto Engineering.



Figura 23: Obiettivo PC23030XS

Quest'ottica pericentrica in grado di ispezionare in modo completo oggetti fino a 60mm di diametro. I principali vantaggi di questa ottica sono molteplici, infatti, non c'è necessità di alcun software di corrispondenza dell'immagini perché esse non sono segmentate, non ha nessun effetto prospettico e le parti ispezionate possono passare senza ostacoli nella parte sottostante dell'obiettivo, ma soprattutto con una singola immagine si può acquisire particolari che con le altre tipologie di ottiche serviva un sistema con più ottiche in serie, questo è uno dei grandi vantaggi delle pericentriche. Sia il campo di visione ma anche le specifiche di questa ottica non sono come le altre ottiche che si basano sulle diagonali e quindi su figure rettangolari. Ricordando il funzionamento con l'immagine seguente.

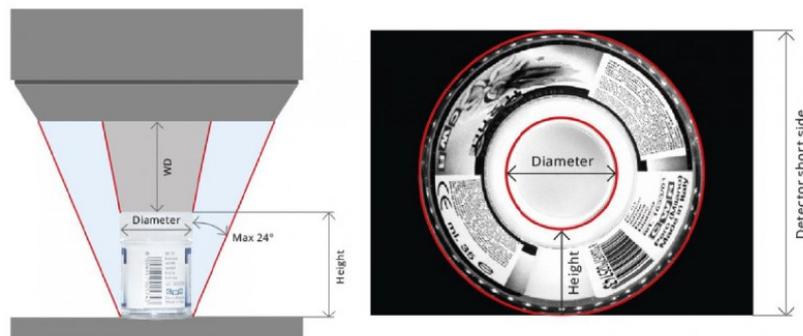


Figura 24: Funzionamento ottica pericentrica

Si può comprendere quindi come le dimensioni importanti per questo tipo di applicazione sono il diametro e l'altezza dell'oggetto, mentre il campo di visione può variare da un minimo di 15mm x 5mm fino ad un massimo di 55mm x 12mm. Si ha anche una forchetta di azione per quanto riguarda la Work Distance che va da un minimo di 20mm fino ad un massimo di 80mm.

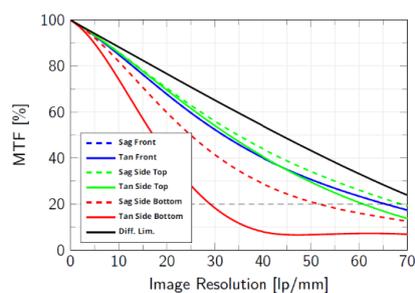


Figura 25: MTF ottica PC

Nella Figura 25 si può notare come varia la percentuale di MTF in base alla risoluzione dell'immagine espresse in coppie di linee per mm di un oggetto con diametro 30mm ed altezza 20mm per lunghezze d'onda che variano dai 486 nm ai 656 nm.

Inoltre, l'ottica è compatibile con sensori di 2/3".

Di seguito la Figura 26 illustra le dimensioni dei sensori più comuni nelle fotocamere digitali.

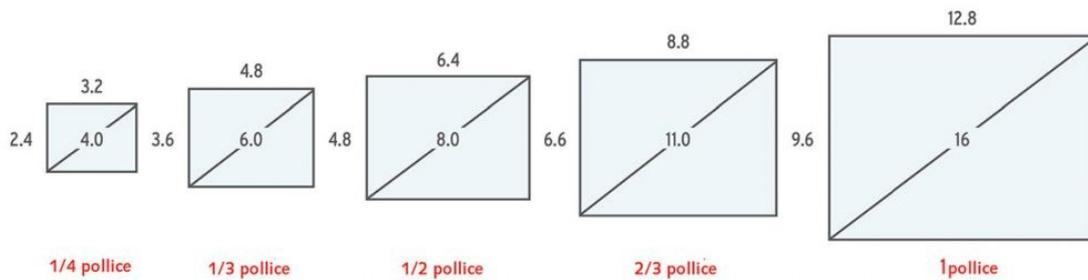


Figura 26: Dimensioni sensori standard

3.2 Illuminatore

Sono stati scelti due illuminatori sempre marchiati Opto-Engineering, uno per l'Acquastop ed un altro per le due Ghiere. I due illuminatori scelti sono:

1. LTBC054054-W
2. LTRN210W20

Il primo è un illuminatore back-light a led bianco pensato per l'articolo Acquastop.



Figura 27: Illuminatore Back-light LTBC054054-W

È tuttavia caratterizzato da un andamento dello spettro di emissione in base alla lunghezza d'onda come descritto dalla Figura 28.

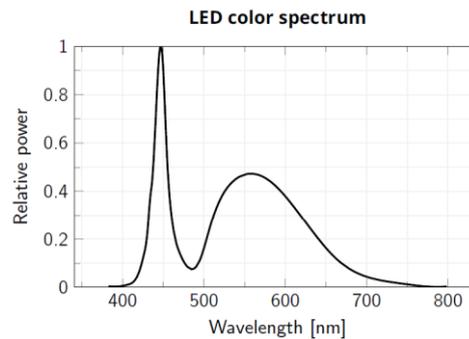


Figura 28: Spettro di emissione illuminatore back-light

Si osserva un picco di intensità che arriva quasi all'unità in un'intorno di 450 nm, inoltre emette una luce bianca fredda a 6300K adatta negli ambienti industriali. Permette l'illuminazione di un'area di 54,5 mm x 54,5 mm cioè un campo illuminato maggiore rispetto alla dimensione del FOV (campo di visione) interessato della telecamera. Questo permette di posizionare la scena dentro il campo di illuminazione ma soprattutto di posizionarla dove si ha una emissione massima di luce al fine di minimizzare il disturbo da fonti luminose esterne, essa non è omogenea in tutta la superficie come illustrato dall'immagine sottostante ma la dimensione dell'area e del nostro oggetto in questione garantisce la corretta posizione per l'analisi.

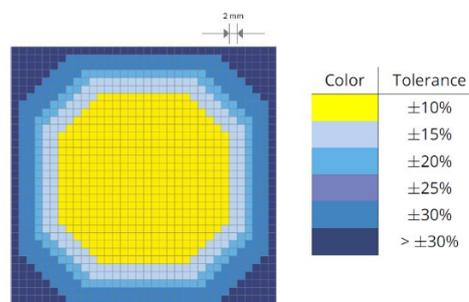


Figura 29: Intensità luminosa superficiale illuminatore back-light

Il secondo tipo di illuminatore invece è invece ad anello led ed è stato pensato per essere applicato in esercizio insieme al back-light per l'ispezione dell'Acquastop e singolarmente per l'ispezione delle Ghiera, esso è pensato per lavorare insieme alle ottiche 360° dette anche pericentriche.



Figura 30: Illuminatore ad anello LTRN210W20

Esso ha un diametro interno pari a 116,5 mm di tipo obliquo. Questo modello come il back-light emette luce bianca fredda a 6300 K con un angolo di emissione pari a 20°. Di seguito viene riportato il l'architettura di lavoro di questo tipo di illuminatore.

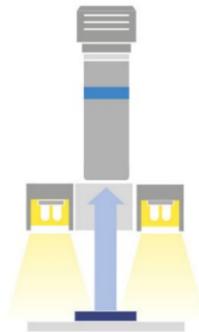


Figura 31: Principio di funzionamento illuminatore ad anello

3.3 Fotocamera

La fotocamera scelta per questa applicazione è la COE-050-M-POE-050-IR-C marcata Opto-Engineering.



Figura 32: Fotocamera COE-050-M-POE-050-IR-C

Questa fotocamera ha un sensore di $2/3''$, va precisato che questo tipo di sensore è la dimensione massima ammissibile per l'ottica scelta, per sfruttare al massimo la capacità del sensore. Questo è dimostrato sapendo che i sensori da $2/3''$ hanno delle dimensioni di lunghezza pari a 8,8 mm e di altezza pari a 6,6 mm, visto che la telecamera ha una dimensione dell'immagine pari a 6,6 mm quindi il sensore adatto è proprio quello da $2/3''$ in quanto scegliere un sensore più piccolo e quindi con una dimensione minima più piccola di 6,6 mm avrebbe fatto perdere delle informazioni di ispezione dell'articolo sottostante che comprometterebbe tutto lo studio, mentre scegliere un sensore con una dimensione minimo maggiore di 6,6 mm comporterebbe un inutilizzo improprio del sensore rispetto all'applicazione in esame, oltre ad un costo maggiore ingiustificabile. Come già detto abbiamo un sensore di $2/3''$ di tipo CMOS, Global Shutter (adatto per le campionature in velocità perché vengono campionati tutti i pixel contemporaneamente a differenza del Rolling Shutter). Ogni pixel ha dimensione $3,45 \mu\text{m} \times 3,45 \mu\text{m}$ con risoluzione 2448×2048 . La telecamera in questione inoltre è monocromatica ed è in grado di acquisire con una velocità massima di 23,5 foto/s.

Ha un'efficienza che varia in base alla lunghezza d'onda illustrato nella Figura 33 sottostante.

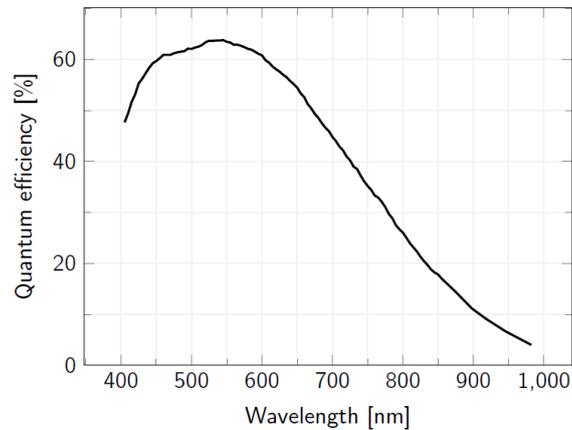


Figura 33: Efficienza fotocamera

Con un picco di efficienza nell'intorno dei 450 e 500 nm in linea con l'andamento di intensità dell'illuminatore.

Tuttavia, su uno dei tre articoli è stata richiesta una misura dimensionale ed è opportuno discutere, visti i dati tecnici messi a disposizione ed illustrati in questo capitolo, se queste attrezzature sono adatte ad una misura metrologica anche in relazione con la Normativa ISO 14253-1. La norma in questione tratta il tema delle metodologie per ottenere misure con valori attesi che abbiamo un livello di incertezza adeguato rispetto ai requisiti del sistema. La conformità implica il rispetto delle specifiche, che avviene attraverso la misura che è sempre affetta di incertezza, infatti, può anche essere espressa come segue $X = X_m \pm U$ (il risultato della misurazione = valore della misurazione \pm l'incertezza di misura definita dallo strumento utilizzato). L'importanza dell'incertezza può essere compresa pensando ad una misura al limite della tolleranza come nell'immagine che segue.

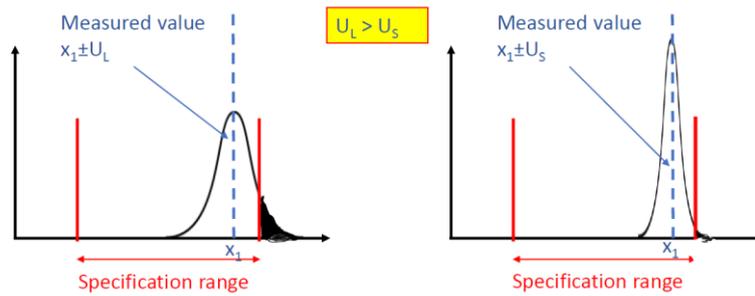


Figura 34: Incertezza di misura

Nella Figura 33 si può vedere com'è importante il fattore dell'incertezza, il quale può portare anche ad avere un intervallo di probabilità di misura che si trova fuori dal range di tolleranza. In un disegno tecnico, in fase di progettazione, i termini "in specifica" e "fuori specifica" designano delle aree individuate dalle linee LSL (lower specification limit) e USL (upper specification limit) esse però in fase di produzione o nel controllo qualità sono alterate dalla presenza dell'incertezza di misura. In particolare, l'incertezza di misura diminuiscono le zone di conformità e quelle della non conformità.

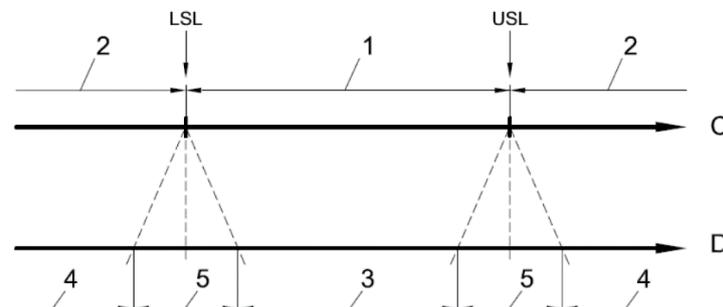


Figura 35: Zone di Conformità e NonConformità

In Figura 34 si possono distinguere diverse zone importanti, per entrare nel concreto del tema troviamo la retta C che rappresenta la fase della progettazione cioè dove vengono definite le specifiche con i rispettivi LSL USL, la retta D rappresenta la fase di verifica quindi la fase del controllo qualità dove necessariamente entra in gioco anche l'incertezza di misura dello strumento utilizzato che viene definita dall'area 5. L'area 1 e l'area 2 sono rispettivamente la zona di specifica e la zona fuori la specifica. Le aree 3 e

4 invece sono rispettivamente le aree, in sede di controllo qualità, di conformità e di non conformità, le quali come si può notare sono entrambi minori rispetto alle zone precedentemente definite in sede di progettazione. Infatti, se la misura ricade all'interno dell'area 3 può essere classificata come conforme, se si trova all'interno dell'area 4 viene definita come non conforme. Se invece ci troviamo nel caso in cui la misura si trova nell'area 5 ci troviamo in un intervallo di ambiguità dove la conformità e la non conformità rispetto alla specifica non possono essere provate. Nei contesti industriali, infatti, la scelta dell'incertezza rispetto all'intervallo di tolleranza è una decisione che varia rispetto al contesto ed alle politiche aziendali. Molto spesso si opta per rapporti di $U/T = 1/3$ $1/5$ $1/10$ i quali definiscono per la zona 3 il 33% 60% 80% della zona di tolleranza cioè rispetto alla zona 1 di Figura 34. In base al rapporto U/T , inoltre, si scelgono anche la tipologia di strumento che si dovrà utilizzare per quel tipo di specifica per ottimizzare la strategia di misura. Nel capitolo successivo si entrerà nel merito di questi argomenti in relazione al caso studio.

Capitolo 4

Software

4.1 Generalità

Il software utilizzato è FabImage con un ambiente grafico di Figura 36, un ambiente di programmazione visiva della Opto Engineering che si basa sui flussi di dati provenienti dalle immagini da ispezionare, il quale consente all'utente di creare algoritmi altamente personalizzati per i sistemi di visione industriale. È una soluzione completa in quanto permette di creare anche delle interfacce utente grafiche (HMI). La libreria è completa di strumenti di analisi di immagini che includono tools come l'elaborazione delle immagini, analisi blob, analisi del contorno, corrispondenza dei modelli, misurazioni 2D.

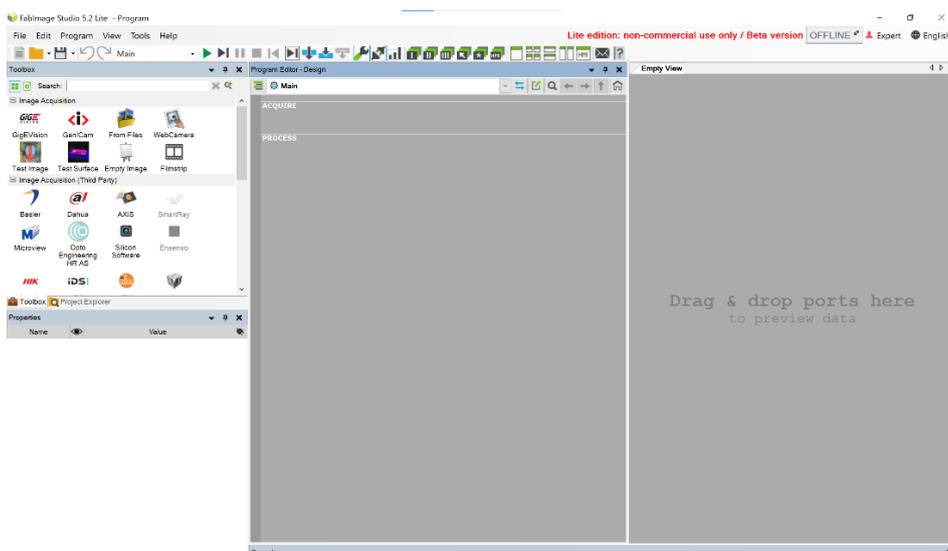


Figura 36: Schermata home FabImage

In riferimento alla Figura 36, in alto troviamo il menu principale e la cosiddetta toolbar dove si possono trovare tutte le principali azioni da fare e quelle più comuni. Nella parte di sinistra troviamo la toolbox con sotto le proprietà, il primo è un catalogo con tutti i possibili strumenti da utilizzare del software mentre nel campo delle proprietà vengono impostati i parametri degli strumenti stessi. Nella colonna centrale troviamo l'Editor di programma cioè l'area all'interno del quale vengono posizionati tutti i tools collegati tra loro per creare i programmi. Questa sezione è composta da due parti la prima in alto è la zona di acquisizione dove vengono caricate le immagini da elaborare, la parte inferiore invece è la zona di processo dove vengono messi i tools di calcolo ed analisi. Nella parte destra è presente il pannello dell'anteprima dei dati cioè dove vengono mostrati i risultati grafici dell'esecuzione del programma stesso.

4.2 Algoritmi sviluppati

Nella creazione del programma si sono affrontati concetti tecnici di analisi di immagine come gli algoritmi di matching, il kernel, rilevamento dei bordi, segmentazione e soglia, analisi blob, i quali verranno spiegati di seguito:

- Algoritmi di matching:

essi sono molto utili nella corrispondenza di modelli di immagini quando vengono utilizzati per il riconoscimento di parti dell'immagine oppure anche per la localizzazione delle parti nell'immagine indipendentemente dal loro orientamento e dalla scala delle stesse. Per queste tecniche ci sono due macrofamiglie di algoritmi: i Pattern Matching che ricercano un template predefinito ed il Geometric Matching che ricerca le primitive geometriche. Per quanto riguarda la prima famiglia dei Pattern Matching l'idea è quella di andare a definire un template cioè una parte dell'immagine ricercarla all'interno dell'immagine stessa andando a definire la posizione della ricerca, l'orientamento, la scala ed infine definire un punteggio minimo per la corrispondenza. Per una ricerca di un template in un'immagine l'algoritmo

consiste nel far scorrere il template sull'immagine da analizzare al fine di stimare in ogni posizione la similarità tra il template e l'immagine corrente.

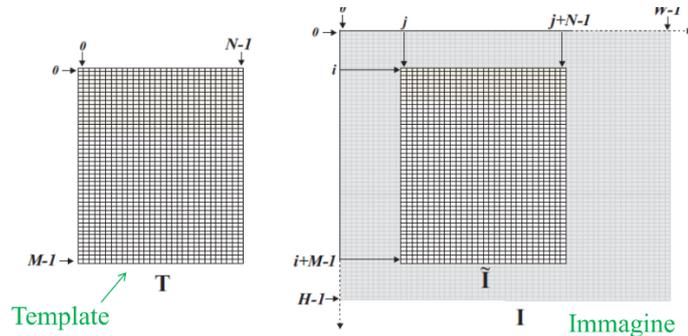


Figura 37: Algoritmi di matching

La corrispondenza viene verificata attraverso una funzione S che può essere calcolata in diversi modi o con la formula SAD o SSD.

$$S_{SAD}(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{(u,v) \in T} |t(u, v) - I(u + i, v + j)|$$

$$S_{SSD}(i, j) = \frac{1}{n} \sum_{(u,v) \in T} [t(u, v) - I(u + i, v + j)]^2$$

con $n=(u,v)$ = numero di pixel del template.

Se c'è corrispondenza perfetta $SAD=SSD=0$, altrimenti si cerca il valore minimo e se tale è sopra una certa soglia di punteggio di corrispondenza allora sarà verificato. Bisogna però tenere in considerazione alcuni aspetti. Il metodo SAD si preferisce molto spesso se si intende risparmiare risorse di calcolo. Il metodo SSD risulta molto più oneroso in termini di risorse adoperate ma anche in termini di tempo di elaborazione. La probabilità che un matching sia sbagliato decresce in proporzione all'aumentare delle dimensioni della finestra del template ed il risultato è anche più attendibile, guarda Figura 37. Piccole dimensioni del template aumenta la possibilità dell'individuazione ma aumenta anche la probabilità di falsi accoppiamenti.

Per una velocità maggiore di elaborazione vengono molto spesso utilizzati algoritmi chiamati Pyramidal Matching, essi si basano su piramidi di immagini. I pixel delle immagini campionate vengono gestite a piramidi.

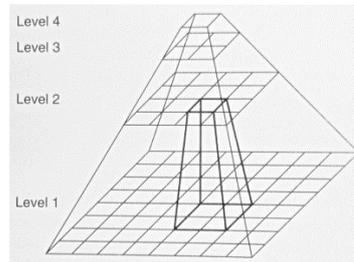


Figura 38: Pyramidal Matching

La strategia di ricerca si sviluppa andando ad effettuare il primo matching al livello più alto della piramide, essa è stata pensata in modo tale da andare a ridurre il numero di pixel per ogni livello di 4 volte quindi il calcolo si velocizzerà di 16 volte. Una volta rilevato la corrispondenza nel livello più alto si scende andando solamente a ricercare nell'intorno del pixel che hanno avuto esito positivo nel livello precedente, arrivando così fino al livello più basso. Mentre per quanto riguarda il Geometric Matching, esso ricerca primitive geometriche che possono essere punti, bordi o forme geometriche curvilinee, il processo è formato dall'apprendimento (estrazione di curve cioè andare a trovare i punti che formano i bordi dell'oggetto, estrazione delle caratteristiche cioè rappresentare i parametri delle linee trovate e rappresentazione delle relazioni spaziali tra esse cioè creare una struttura che definisce le posizioni reciproche tra le caratteristiche precedentemente estratte) e l'ispezione (estrazione delle curve, caratteristiche, matching di corrispondenza delle caratteristiche, del template).

La ricerca delle primitive avviene attraverso la trasformata di Hough che permette di andare a rappresentare le linee geometriche tramite i parametri che le descrivono. Considerando ad esempio una retta $y=mx+q$ identifica una coppia di parametri (m,n) nello spazio dei parametri la retta è descritta da un punto, al contrario un punto (x,y) è rappresentato nello spazio dei parametri da una retta

$n=-mx+y$, ogni punto di questa retta rappresenta i parametri (m,n) di una delle infinite rette del fascio passante per (x,y) nello spazio di partenza. Due punti appartenenti alla stessa retta corrispondono nello spazio dei parametri a due rette la cui intersezione ci fornisce i parametri (m,n) della retta, come in Figura 39.

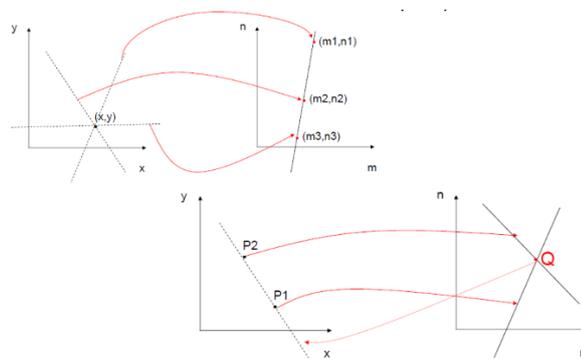


Figura 39: Trasformata di Hough

Qui che nasce l'idea di base di Hough cioè trasformare tutti i punti dei bordi nel piano $x-y$ nello spazio dei parametri e ricercare i punti dove si incrociano il maggior numero delle linee, quei punti definiscono i parametri delle rette che interpolano i punti dei bordi.

- Il kernel:

i kernel sono dei filtri spaziali che operano nel dominio dello spazio, essi sono operatori che generano un valore nuovo di intensità del pixel in funzione dei valori di intensità di pixel adiacenti allo stesso. Essi servono per ridurre il rumore della scena, identificare i bordi in varie direzioni, mettere in risalto i dettagli (filtri passa alto) o eliminarli (filtri passa basso). All'intensità luminosa di ogni pixel viene applicata una funzione come segue.

$$P_{i,j} = f(P_{i,j}; P_{i-1,j}; P_{i,j-1}; P_{i+1,j}; \dots)$$

Dove $P_{i,j}$ rappresenta l'intensità del pixel originario, mentre gli altri rappresentano le intensità dei pixel adiacenti in ogni direzione. Il kernel chiamata

anche maschera o convoluzioni viene applicato su ogni pixel dell'immagine in maniera sequenziale.

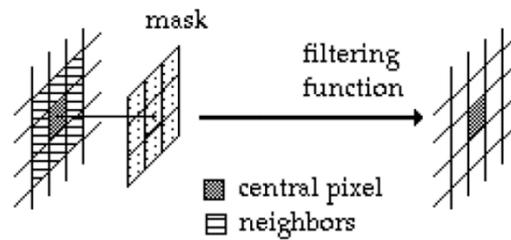


Figura 40: Kernel

Ha una struttura spaziale 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, aumentando la dimensione del kernel diminuisce la risoluzione spaziale. I filtri possono essere lineari o non lineari, per evidenziare i dettagli o per eliminarli. Un esempio di applicazione del filtro kernel è dato dall'immagine che segue.

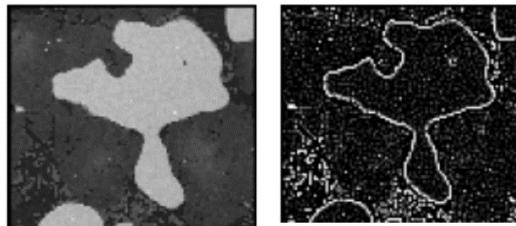


Figura 41: Applicazione filtro kernel

- Rilevamento dei bordi:

i bordi sono delle aree in un'immagine in cui l'intensità dei pixel variano improvvisamente. Ed il loro rilevamento si esegue a step. Analizziamo innanzitutto l'immagine che segue.

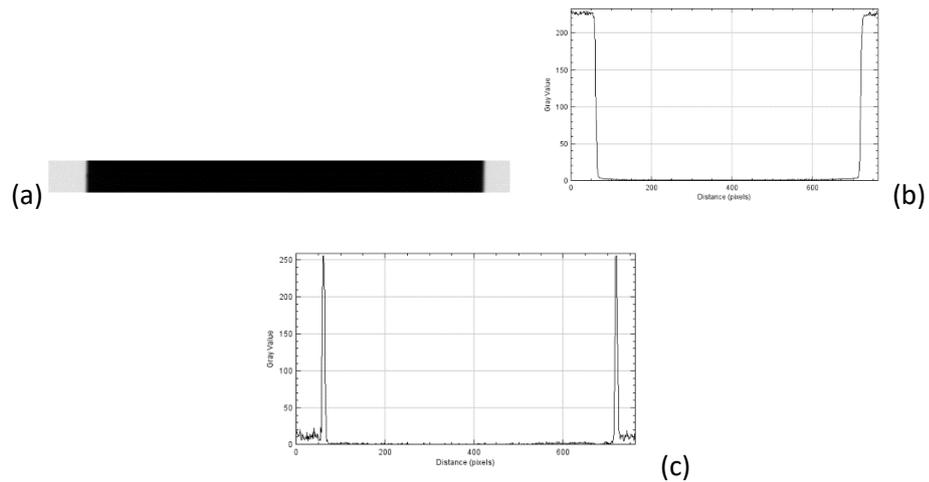


Figura 42: Rilevamento dei bordi

La Figura 42 (b) rappresenta il grafico dell'intensità dei valori della Figura 42 (a) applicando un filtro Sobel lungo x cioè fondamentalmente un filtro che effettua il riconoscimento dei contorni in base alla repentina variazione dell'intensità dei pixel si ottiene il grafico in Figura 42 (c) dove gli spigoli sono identificati convenzionalmente come i punti di massimo locali nel grafico. Quindi per rilevare i bordi sono necessari un filtro derivato ed uno strumento per identificare i valori massimi nell'immagine calcolata. Per quest'ultima operazione si utilizza un filtro chiamato Canny cioè un filtro che ricerca un gradiente della luminosità dell'immagine. Oltre a sopprimere i punti che non rappresentano un valore massimo locale, l'algoritmo esegue una procedura denominata soglia con isteresi. Vengono definite due soglie, una bassa e una alta, che in ogni punto vengono confrontate con il gradiente. Verrà sicuramente accettato un punto con pendenza superiore alla soglia superiore, un punto con pendenza inferiore alla soglia inferiore sarà rifiutato. Un punto con pendenza tra le due soglie è accettato solo se è già stato accettato il primo punto confinante. Al termine di questo passaggio si ottiene un'immagine binaria, in cui ogni pixel è contrassegnato come appartenente o non appartenente a un bordo.

- Segmentazione e soglia:

La segmentazione di un'immagine è il processo di divisione in regioni significative per evidenziare alcune parti e renderle più facili da analizzare. Un semplice metodo di segmentazione è il cosiddetto Thresholding, in cui l'immagine viene divisa in base all'intensità dei pixel. Il pixel dell'immagine risultante è un valore (impostato) diverso da zero solo se il pixel corrispondente dell'immagine di partenza è al di sopra di una certa soglia.



Figura 43: Segmentazione e soglia

- Analisi blob:

I BLOB sono gruppi di pixel in un'immagine con alcune proprietà condivise (ad esempio, il valore della scala di grigi). Qualsiasi analisi blob inizia identificando queste aree nell'immagine utilizzando strumenti chiamati rilevatori di blob. L'analisi blob trasforma l'immagine in un insieme di immagini binarie, se esse sono in scala di grigi viene eseguita una soglia, mentre se l'immagine è a colori ogni area verrà sogliata in modo indipendente. Quindi le aree sono identificate in ogni immagine binaria come in Figura 44.

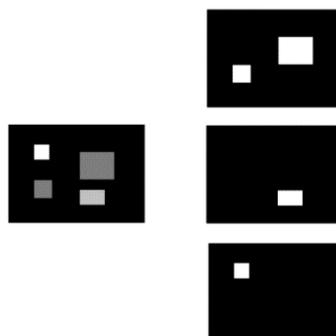


Figura 44: Analisi blob

Una volta identificati, i blob possono essere analizzati calcolando la posizione, il perimetro, l'area, la circolarità, la convessità.

In questa sezione si entra poi nel dettaglio degli algoritmi di ispezione dell'immagine prima per l'articolo in esame di Figura 3, e successivamente poi si discuterà degli articoli di Figura 4.

4.2.1 Algoritmo Acquastop

Il primo algoritmo di programmazione che andremo a trattare è quello relativo al dispositivo Acquastop. Le richieste per questo articolo co-stampato era quello di verificare l'integrità di entrambi i materiali evidenziando le eventuali mancanze o bave, e fare un'analisi dimensionali per le quote presenti nel piano di controllo. L'idea per la stesura di questo algoritmo è stata quella di dividerlo in step. Inizialmente si caricano in macchina le immagini scattate in laboratorio con le attrezzature discusse nel capitolo precedente. Il programma lavora in sequenza immagine per immagine, quindi, è stato opportuno localizzare in un primo momento l'oggetto all'interno dell'immagine scattata per poi andare ad ispezionare le aree sensibili e di interesse dell'azienda, e solo successivamente passare al controllo dimensionale. Di seguito viene riportato l'intero algoritmo creato per la guarnizione co-stampata.

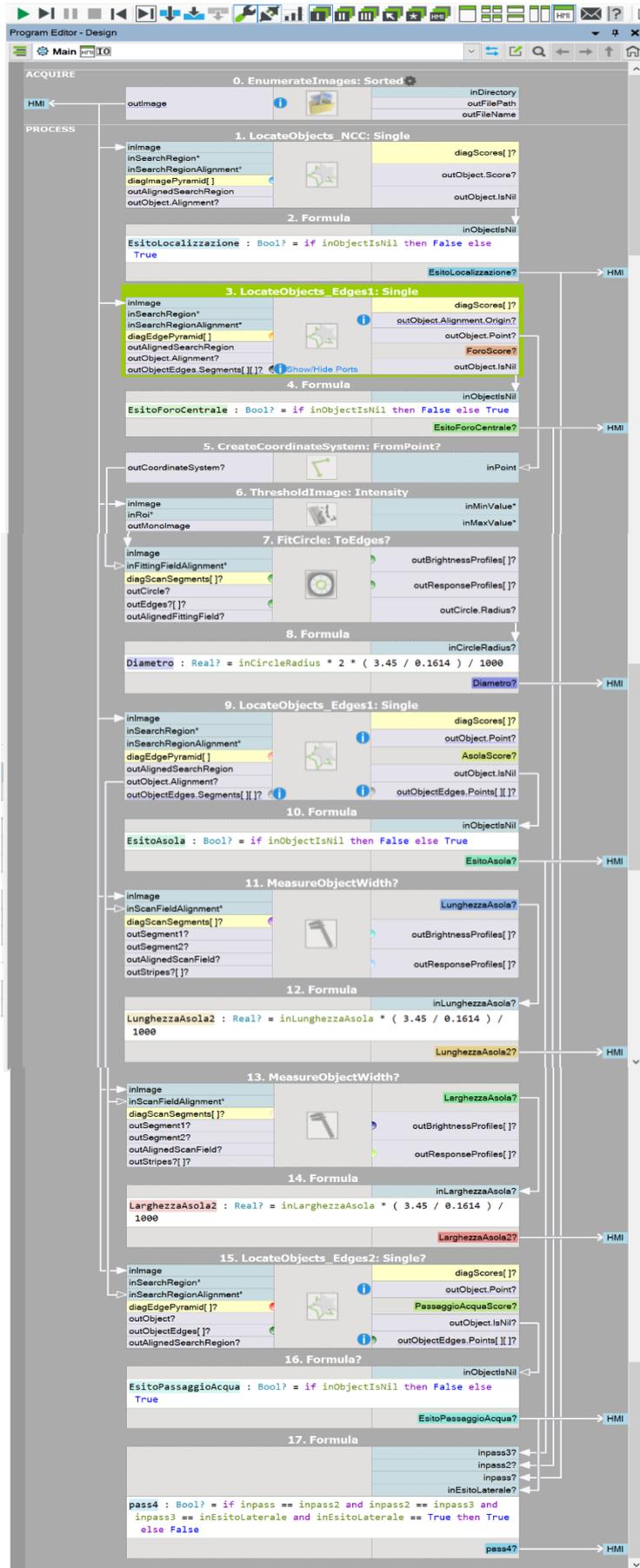


Figura 45: Algoritmo Acquastop

La trattazione seguente seguirà l'ordine di lavoro e con cui è stato creato l'algoritmo stesso. Per ogni step si entrerà anche nel merito delle operazioni fatte a livello di elaborazione immagine per rendere la trattazione semplice a qualsiasi lettore.

Una volta scattate, le immagini in laboratorio sono state salvate in una cartella nel computer di calcolo, la quale viene richiamata dall'algoritmo come mostrato nella Figura 46.

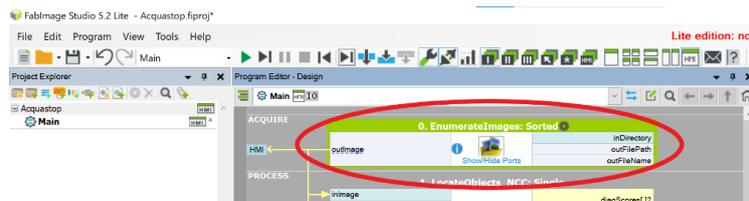


Figura 46: Caricamento immagini Acquastop

Il filtro EnumerateImages esegue la scansione dei file nella cartella tramite la voce InDirectory del filtro nella parte destra dello stesso ed il tool restituisce le immagini iterate in modo consecutivo. Di seguito si riporta un esempio di immagine del dispositivo Acquastop.

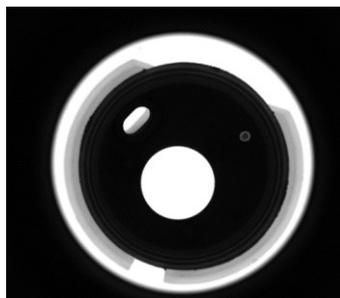


Figura 47: Articolo Acquastop

L'immagine letta e scansionata in output viene collegata al filtro di Localizzazione LocateObjects_NCC, il quale, dato un template di riferimento, cerca nell'immagine la geometria.

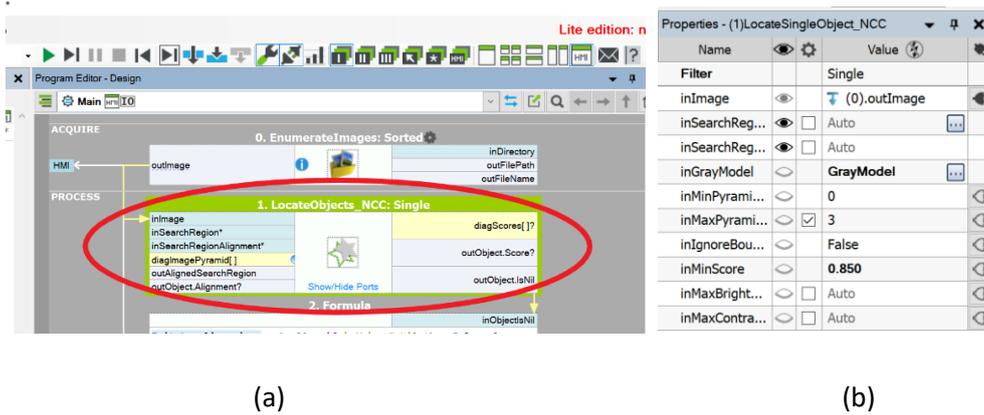


Figura 48: Filtro di Localizzazione

Il filtro richiede come input l'immagine su cui lavorare, l'immagine o la regione dell'immagine (ROI) da cercare ed i vari parametri da settare di Figura 48 (b) che vedremo in seguito.

Una volta collegato l'immagine in output del filtro precedente come input per il Localizzatore ed entrando all'interno di esso troviamo due fasi illustrate nell'immagine che segue.

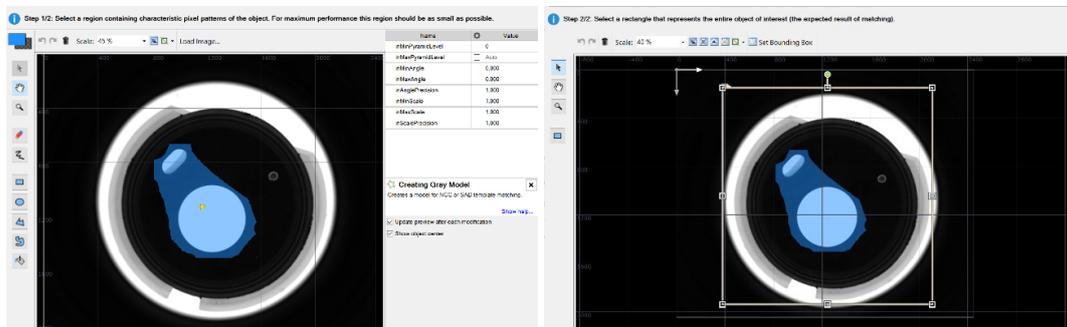


Figura 49: Setup filtro Localizzatore

Nella prima fase si carica l'immagine che si vuole prendere come riferimento e si seleziona la ROI per la localizzazione. In questo caso non è stata selezionata tutta l'immagine per due motivi principali: il primo perché essendo un filtro per la localizzazione non serve tutta l'immagine in quanto basterebbe localizzare due elementi principali del template e di conseguenza se soddisfatta questa ipotesi viene localizzato l'oggetto ma anche perché andare a considerare tutta l'immagine richiederebbe

un'elaborazione di dati enorme, ma anche il tempo di calcolo sarebbe troppo elevato. Per questi motivi nella ROI sono state incluse l'asola ed il foro centrale. Proseguendo nel settaggio del filtro, nella seconda fase si seleziona un rettangolo che rappresenta l'intero oggetto di interesse dove ci si aspetta il risultato del matching. Questo filtro analizza delle correlazioni normalizzate tra i valori dei pixel tra l'immagine sotto ed il template di predefinito, per questa correlazione estrapola dei valori normalizzati che vanno da -1 ad 1. Questo si può notare tra le proprietà del filtro in Figura 48 (b). Sono stati settati dei valori di punteggio minimo pari a 0,85 cioè significa che tutte le correlazioni sotto lo 0,85 vengono scartati e considerati come "Non conformi", mentre le correlazioni maggiori si considerano accettabili per questo primo filtro. Una volta localizzato l'oggetto la programmazione prosegue con lo studio del bordo del foro centrale utilizzando lo strumento LocateObjects_Edges1.

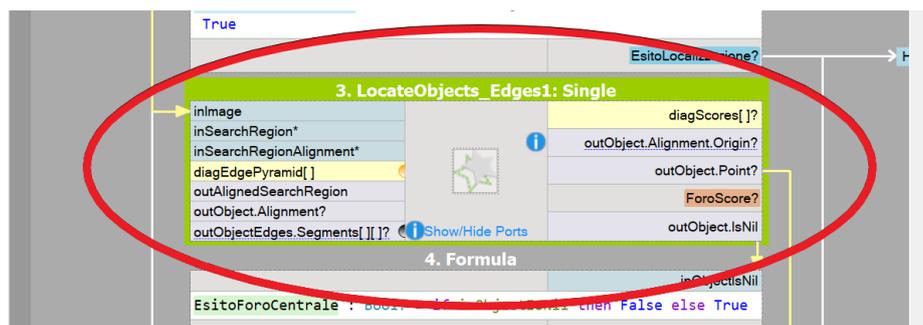


Figura 50: Filtro Bordo Foro Centrale

In questo caso si trova una corrispondenza con un modello predefinito andando a confrontare i bordi dell'area dell'oggetto in questione. Si confronta il modello definito in inEdgeModel con l'immagine in input inImage, la regione inSearchRegion limita l'area di ricerca in modo che solo in questa regione possono essere presenti i bordi degli oggetti cercati, in questo caso ovviamente è stato considerato come modello il bordo del foro centrale di un articolo esente da difetti come template. Il tempo di calcolo del filtro dipende dalle dimensioni del modello, dalle dimensioni dell'immagine in input, dalla regione dove avviene la ricerca della corrispondenza ma anche dal inMinScore che rappresenta la soglia di punteggio, in base al suo valore alcuni calcoli parziali sono

sufficienti per scartare delle immagini. Essendo un filtro a piramide solamente il livello più alto della piramide viene ricercato in modo esauriente ed i potenziali candidati alla conformità per questo filtro vengono successivamente convalidati nei livelli inferiori della piramide stessa. Sono stati imposti tre livelli di piramide. Ovviamente maggiore sarà inMinScore e minore sarà il tempo di elaborazione per il filtro perché meno candidati saranno valutati ai livelli inferiori e saranno scartati già dal primo livello. Nelle proprietà del filtro è stato inserito il valore di 10 su inEdgeThreshold che definisce la soglia minima dei bordi per l'abbinamento con il modello, si consiglia infatti di aumentarlo quando si notano dei rumori nei bordi dell'immagine con lo sfondo. Inoltre, come valore di punteggio minimo nella voce inMinScore è stato inserito 0,95, cioè il punteggio minimo per l'accettazione su ogni livello piramidale. Questo è uno dei filtri che ispeziona e rileva uno dei difetti principale e più frequenti dell'articolo cioè quello della deformazione del foro centrale, questo giustifica l'impostazione della soglia minima al 95%.

Una volta superato il filtro del bordo del foro centrale si passa all'ispezione dell'asola.

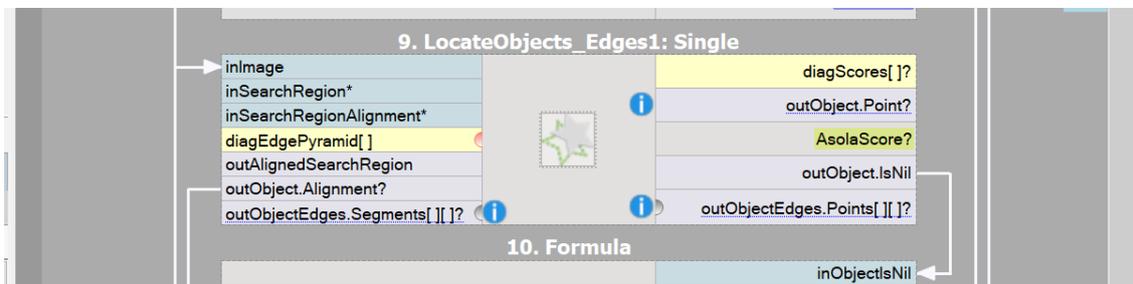


Figura 51: Filtro localizzazione Asola

Il filtro utilizzato in questo caso è lo stesso del precedente ma in questo caso si evidenzia la regione del template dove vi è l'asola.

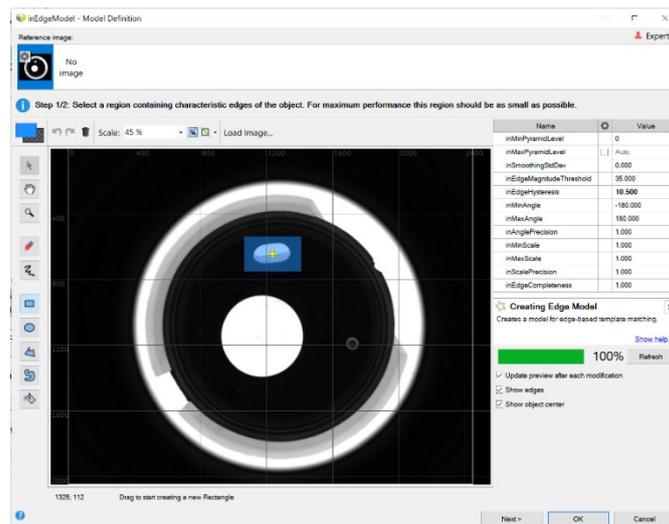


Figura 52: Setup filtro ispezione Asola

Anche in questo caso si sono impostati tre livelli per il filtro piramidale ed anche lo stesso valore del inEdgeThreshold del precedente. Per il valore minimo accettabile invece è stato inserito 0,7 perché l'asola sia in termini di bave o deformazioni risultano veramente molto bassi, nonostante ciò, è stato ritenuto utile inserire un filtro per monitorare quest'area per garantire comunque lo scopo funzionale della stessa.

Questo strumento ha anche una funzione strategica per l'ultimo filtro di corrispondenza ossia quello per il passaggio dell'acqua. Esso è il filtro di correlazione dei bordi come i precedenti ma focalizza lo studio in un'aria piuttosto ambigua, dove la gomma alle volte manca altre invece si ha un eccesso di materiale. La zona di interesse si trova in un'area verso il bordo esterno dell'oggetto con una geometria particolare e sicuramente più complessa rispetto alle altre due geometrie ricercate come l'asola ed il foro centrale, considerando che l'oggetto ispezionato non si troverà sicuramente nella stessa posizione ed orientamento dell'oggetto del template è opportuno che la ricerca del bordo dell'area evidenziata possa anche essere individuato con un'eventuale rotazione del componente. Sebbene è stato sia definito nei parametri del filtro inserendo il minimo e massimo angolo possibile, è stato reso molto più snello con un collegamento tra la posizione in output dell'asola con l'input della posizione di riferimento per la regione in

esame. In questo modo si consente e si facilita l'elaborazione dei dati perché nel caso in cui l'oggetto dovrebbe ruotare e l'asola si sposta dalla posizione del template. Di conseguenza, funge da punto di riferimento per l'ispezione dell'area del passaggio dell'acqua facilitando dunque la verifica di tale bordo. Nell'immagine che segue mostra il filtro citato.

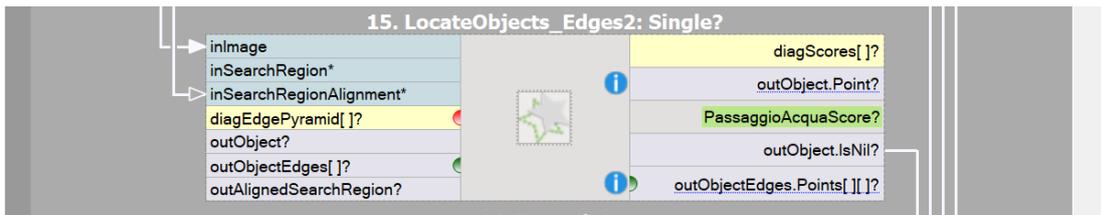


Figura 53: Filtro Passaggio Acqua

Il bordo in esame si trova in corrispondenza di una fenditura del polipropilene dove molto spesso si ha la presenza del difetto, come si può facilmente vedere dalla Figura 54 che segue e come anche descritto in precedenza non è una geometria intuitiva e facile da individuare. In questo caso è stato impostato un Threshold nei bordi in quest'area pari a 35 per garantire l'uniformità ed omogeneità per una selezione completa e senza punti di discontinuità del bordo ricercato.

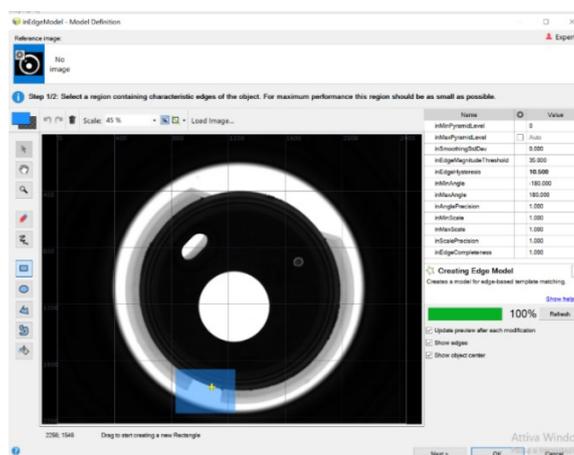


Figura 54: Setup filtro Passaggio Acqua

Nelle proprietà del filtro questa volta sono stati scelti i sempre 3 livelli piramidali del filtro con un punteggio minimo di 0,85 di conformità.

Completata la parte dell'integrità estetica dell'oggetto, ora si entra nel merito dell'analisi dimensionale del particolare. È bene dire che l'ottica indicata non è la più adatta per queste applicazioni dimensionali per via delle varie distorsioni che l'ottica pericentrica potrebbe avere vista la sua funzionalità e visto che il suo fuoco si concentra in un piano dello spazio e che tutte le forme fuori dal fuoco verranno leggermente deformate. In questo caso il fuoco è stato posizionato nel piano superiore dell'oggetto regolando manualmente la lente, visto che le dimensioni da controllare si trovavano tutte nello stesso piano e per come è stato posizionato l'oggetto si trovavano tutte in quello superiore; quindi, si è deciso di collocarlo in quella zona. Le dimensioni da controllare in relazione anche con il piano di controllo sono tre e riguardano il diametro del foro centrale, e le dimensioni di massima dell'asola cioè lunghezza e larghezza. Per il foro centrale l'idea è stata quella di partire dai dati che si aveva dal filtro LocateObjects_Edge1 del foro stesso, si è pensato quindi di creare un sistema di coordinate nel punto centrale del bordo del cerchio evidenziato del filtro. In corrispondenza di quel bordo andare a creare i punti che formano la geometria stessa e con essa andare a calcolare il suo diametro. Per questa operazione i blocchi di programma creati sono i seguenti.

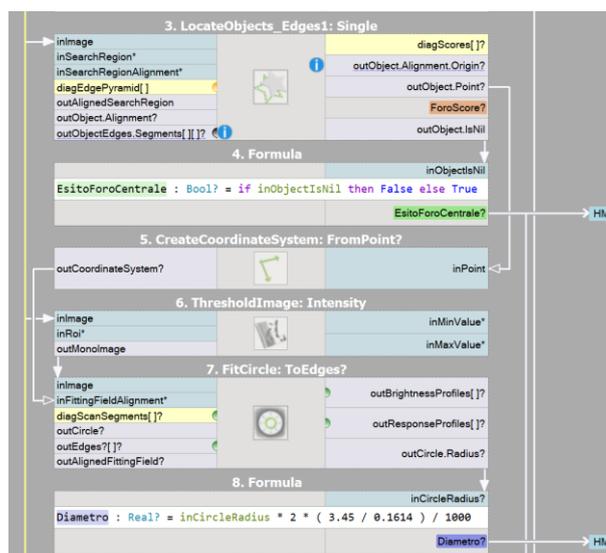


Figura 55: Programma analisi dimensionale Acquastop

Come si nota dalla Figura 55 il filtro CreateCoordinateSystem crea appunto un sistema di coordinate prendendo in input il centro del cerchio del bordo elaborato del filtro di base precedentemente discusso. Per creare poi i punti sul bordo è stato necessario andare a mettere una soglia nell'immagine cioè andare a dividere l'immagine in base all'intensità del pixel. Inserendo lo strumento ThresholdImage si va a binarizzare l'immagine, si è scelto il metodo ad intensità che è consigliato quando l'immagine è illuminata in modo costante ed uniforme. Questo filtro ha come input l'immagine che viene caricata dalla cartella delle istantanee effettuate, la ROI in cui viene considerata l'intera immagine e come valore di minimo di soglia a 128 mentre come valore massimo ha 255. Il risultato ottenuto è mostrato dall'immagine seguente.

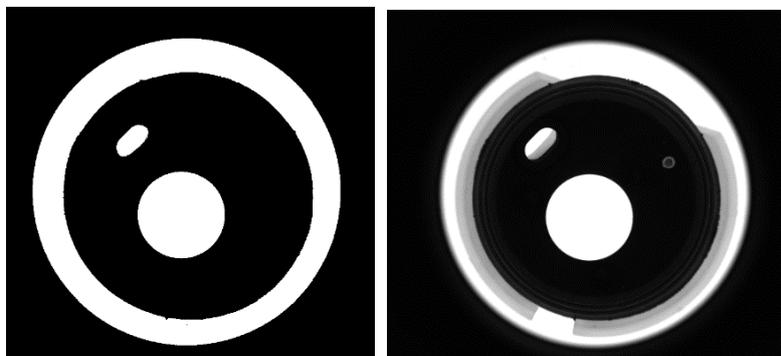


Figura 56: Threshold Acquastop

Il risultato mostra come tutti i pixel vengono trasformati al valore massimo o al valore minimo a seconda dell'intervallo impostato. I pixel con un'intensità inferiore al livello 128 di grigio vengono considerati come 0. Così l'immagine viene binarizzata e viene anche aumentato il contrasto andando ad eliminare tutti quei livelli di grigio intermedi. Per creare poi i punti nel bordo del cerchio centrale, si usa il filtro FitCircle, il quale rileva un oggetto circolare o un foro conoscendo in anticipo la sua posizione anche in modo approssimativo, il rilevamento avviene con delle scansioni e trova il cerchio in base al contrasto dei vari pixel. Al filtro viene dato come input l'immagine sogliata, la quale viene collegato anche il sistema di coordinate che identifica il punto centrale da dove inizia la scansione per il rilevamento del cerchio, per facilitare questo lavoro viene anche definita l'area dove il cerchio verrà cercato, ovviamente è stata resa solidale con il

sistema di coordinate quindi quando quest'ultimo si sposta con il movimento dell'oggetto, di conseguenza, anche l'area di ricerca dove ci si aspetta di trovare il bordo circolare varierà. Di seguito, l'immagine mostra il settaggio di tale area nell'immagine sogliata.

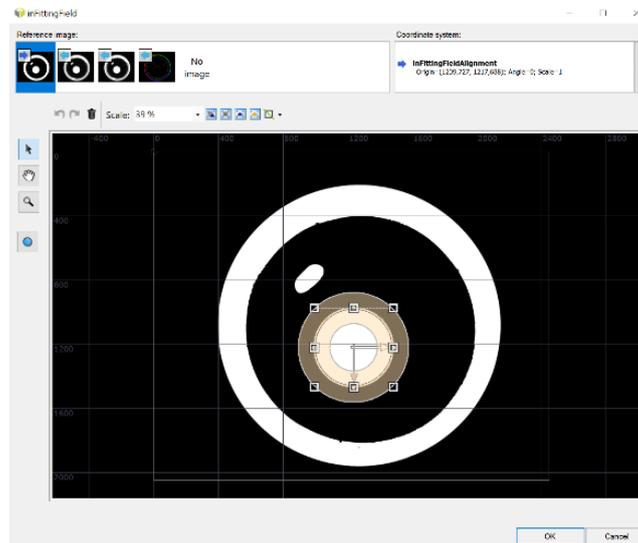


Figura 57: Setup filtro FitCircle

Il filtro effettua delle scansioni sulle intensità dei pixel ed inserisce dei punti quando appunto questa intensità cambia, ecco l'importanza di aver messo uno strumento di sogliatura dell'immagine prima di esso. Nelle varie proprietà del filtro sono stati impostati dei parametri per ottimizzare il lavoro e tra di esse troviamo il numero di punti che verranno ricercati per stimare la posizione del cerchio impostato a 50, la larghezza in pixel del campo per ogni scansione pari a 5, per il bordo di transizione è stato inserito BrightToDark perché dall'immagine di soglia mostrata in precedenza la scansione parte dal centro del sistema di coordinate e diverge in modo omogeneo verso l'esterno. L'immagine mostra la forma grafica di ciò che è stato discusso.



Figura 58: Risultato filtro FitCircle

Aggiungendo nelle voci di output del filtro il valore del raggio del cerchio si ha la possibilità di estrapolare il dato del raggio in pixel, moltiplicandolo per due si ha la misura del diametro sempre espresso in pixel. Tuttavia, si è aggiunta per l'analisi dimensionale una formula nel programma, la quale permette di convertire il dato dai pixel a mm. La formula in questione è la seguente.

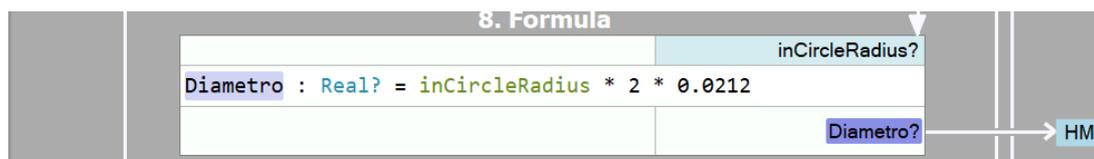


Figura 59: Formula per il Diametro del Foro Centrale

Effettuare la conversione non è semplice e richiede conoscenza delle attrezzature che si sta usando. Per far ciò si richiama i principali dati necessari per tale conversione: il diametro dell'immagine pari a 6,6 mm, la dimensione del pixel è pari a 3,45 µm, avendo scelto l'ottica pericentrica PC23030XS il campo di visione si può variare tra 15 mm x 5 mm fino a 55 mm x 12 mm, l'ottica è stata posizionata con un diametro del campo di visione pari a 26,3 mm e dall'altezza pari a 8 mm, questi sono elementi noti quando si regola dell'ottica avendo posizionato il piano della messa a fuoco nella parte alta dell'oggetto. Per effettuare la conversione considerando la misura che estrapola il sistema in pixel bisogna moltiplicarla per il rapporto:

$$\frac{\text{Dimensione del pixel}}{\text{Ingrandimento}}$$

L'ingrandimento è prodotto dal rapporto tra la dimensione dell'immagine ed il campo di visione, la dimensione dell'immagine sapendo che proietta una figura del diametro di 6,6 calcolando l'area si ha un valore di $34,12 \text{ mm}^2$, il campo di visione invece ha un'area di $210,19 \text{ mm}^2$.

Questi dati di partenza comportano un ingrandimento pari a 0,1628. Conoscendo l'ingrandimento si può andare a calcolare il rapporto nella forma sopra illustrata (facendo la conversione da micron a millimetri per la dimensione del pixel in modo tale da relazionare la stessa unità di misura) che ammonta a 0,0212. Quest'ultimo valore è il coefficiente moltiplicativo per questo setup di attrezzature per questo articolo. Per questa geometria dal piano di controllo di Figura 8 si può notare che la quota nominale è pari a 10,6 con una tolleranza pari a $+0/-0,2$ che determina un intervallo che va dai 10,4 fino ai 10,6.

Per la quota in oggetto, ricollegandosi ai temi trattati di Figura 34, possiamo definire un intervallo di tolleranza pari a 0,2 e considerando una incertezza di misura nel piano oggetto pari al rapporto trovato di 0,0212 abbiamo un rapporto di U/T pari a 0,106 circa pari a 1/10, il quale garantisce la bontà dello strumento la misurazione in discussione.

L'analisi dimensionale dell'asola consiste invece di andare a verificare la dimensione di massima della stessa, in relazione con il piano di controllo, in modo specifico di andare a controllare la quota di lunghezza e di larghezza. La Figura 60 che segue illustra il programma a blocchi per l'ispezione ed il controllo dimensionale dell'Asola.

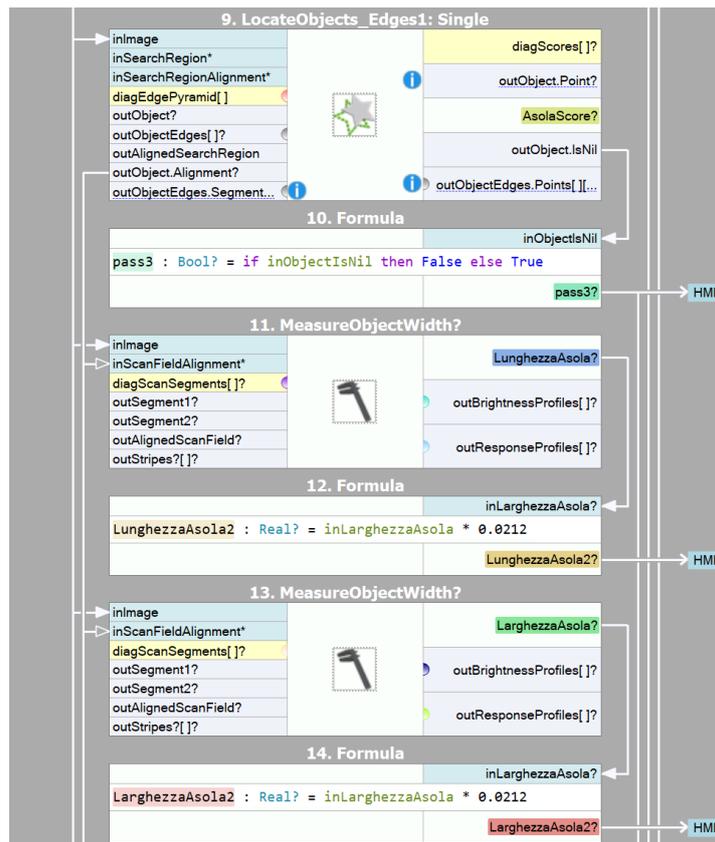


Figura 60: Programma analisi dimensionale Asola

Per entrambi i casi è stato utilizzato un filtro chiamato MeasureObjectWidth il quale rileva la lunghezza di un oggetto utilizzando una scansione a strisce. Esso esegue una serie di scansioni lungo i segmenti di scansioni definiti dall'utente, i punti ottenuti vengono utilizzati per calcolare due segmenti paralleli. Avendo poi le larghezze delle strisce e la direzione dei segmenti adattati la larghezza dell'oggetto può essere calcolato ad esempio considerando il valore massimo, il minimo, la media, la mediana.

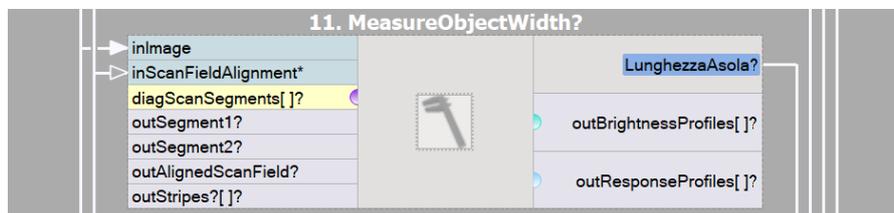


Figura 61: Filtro MeasureObjectWidth

Il filtro si compone come illustrato nell'immagine precedente. Viene inserito in input l'immagine da analizzare in inImage, nella voce inferiore invece viene definito

dall'utente nel template il vettore direzione e l'area dove effettuare le scansioni come illustrato nell'immagine seguente.

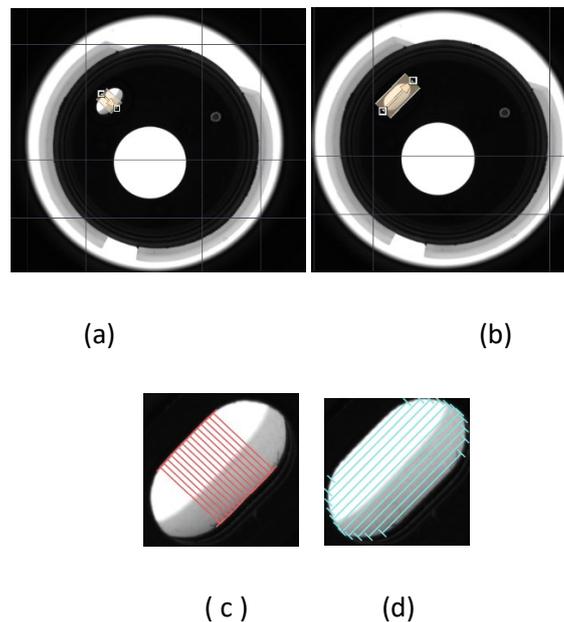


Figura 62: Aree di scansione Asola

Si nota nella Figura 62 (a) la scansione per la larghezza dell'asola mentre nella Figura 62 (b) l'area per la scansione della lunghezza, mentre le Figure 62 (c) e (d) mostrano le strisce di scansioni per le due componenti dell'asola. Per entrambi i casi si è optato per considerare un numero di scansioni pari a 15 andando poi ad estrapolare in output il valore massimo per ogni area di scansione. Il valore in uscita è il pixel, il quale con l'inserimento della formula di conversione di cui abbiamo parlato precedentemente si avrà il valore in millimetri. Esso dovrà necessariamente essere, in relazione al piano di controllo, per la lunghezza deve essere compreso tra 4,65 e 4,77 avendo una quota di riferimento di $4,7 + 0,07 / - 0,05$, esso definisce un intervallo pari a 0,12 e considerando la risoluzione sul piano oggetto pari a 0,0212 comportano un rapporto U/T pari a 0,176, valore che si trova all'interno del range di bontà come stabilito dalla norma ISO 14253. Per quanto riguarda la larghezza il valore dovrà essere all'interno del range che va dai 2,35 ai 2,65 avendo una quota da rispettare pari a $2,5 \pm 0,15$. Con questi dati si può definire un intervallo di tolleranza pari a 0,3 e considerando una incertezza di misura nel piano oggetto pari al rapporto trovato di 0,0212 abbiamo un rapporto di U/T pari a 0,07,

ben oltre il valore 1/10 che rappresenta un valore ottimo, il quale garantisce la bontà dello strumento e della misurazione in discussione.

Completato il programma dell'Acquastop si è avuta la necessità di andare a vedere in modo chiaro e conciso gli output di questo sistema, sia per gli eventuali esiti dell'ispezione visiva estetica nelle varie aree di interesse citate in precedenza ma anche per quando riguarda i valori di output nel controllo dimensionale. In FabImage si ha anche la possibilità di costruire un'area chiamata HMI Human-Machine-Interface cioè un ambiente grafico per l'utente finale. In esso si possono inserire elementi come caselle di controllo, anteprime di immagini ed indicatori. Per collegare valori dal programma al HMI si effettua una sorta di drag and drop tra la voce nel programma e la casella nell'interfaccia, si può anche notare i vari collegamenti tra programma e HMI nella Figura 45 nella parte sinistra e destra. Per l'Acquastop lo HMI è stato pensato in modo tale da avere sempre chiara l'immagine sottostante che si sta scansionando, che cambia continuamente in base appunto alla sequenza delle stesse, poi si ha una sezione in cui si visualizzano gli esiti dei vari controlli dimensionali ma anche quelli estetici. Per quest'ultima parte del programma sono stati inseriti delle formule specifiche per ogni singolo Filtro di ispezione per avere in uscita un valore che sia Pass o Fail. La formula in questione è la seguente.

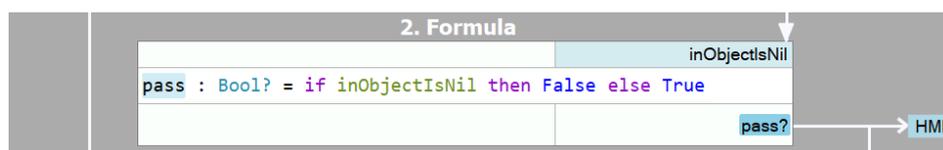


Figura 63: Formula Fail o Pass

A modo di esempio è stata riportata la formula per il filtro di Localizzazione iniziale ma le formule per gli altri filtri hanno la stessa logica e funzione. In input si ha la voce inObjectIsNil del filtro di riferimento, il quale porta con sé un valore Booleano, identificato dal fatto che il filtro ha un valore nullo ed esso può essere o vero o falso. L'idea della formula è proprio quella di andare a collegare questo valore booleano nella HMI, se la voce inObjectIsNil ha un valore False allora in output della formula avrò True. Questo perché se la voce relativa al fatto che l'oggetto del filtro sia nullo è falsa significa

necessariamente che il filtro ha un valore accettabile e quindi è stato verificato. Questo è stato fatto per tutti i filtri di ispezione singolarmente ma si è anche inserito una finestra che converge tutti gli esiti in un'unica voce finale in cui viene definito se il pezzo è OK o KO, per far ciò è stato utilizzato un operatore logico AND all'interno di una formula. La formula in questione è la seguente.

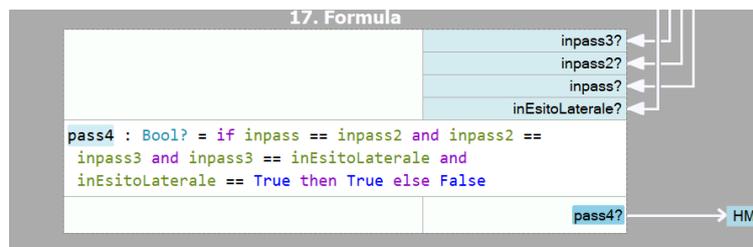
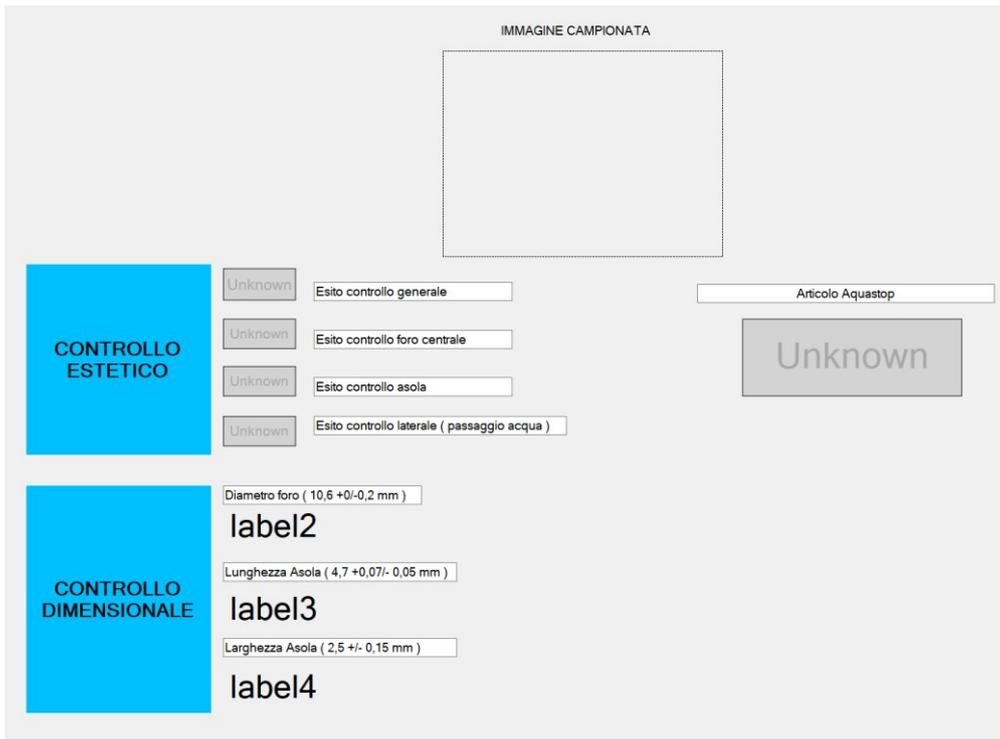


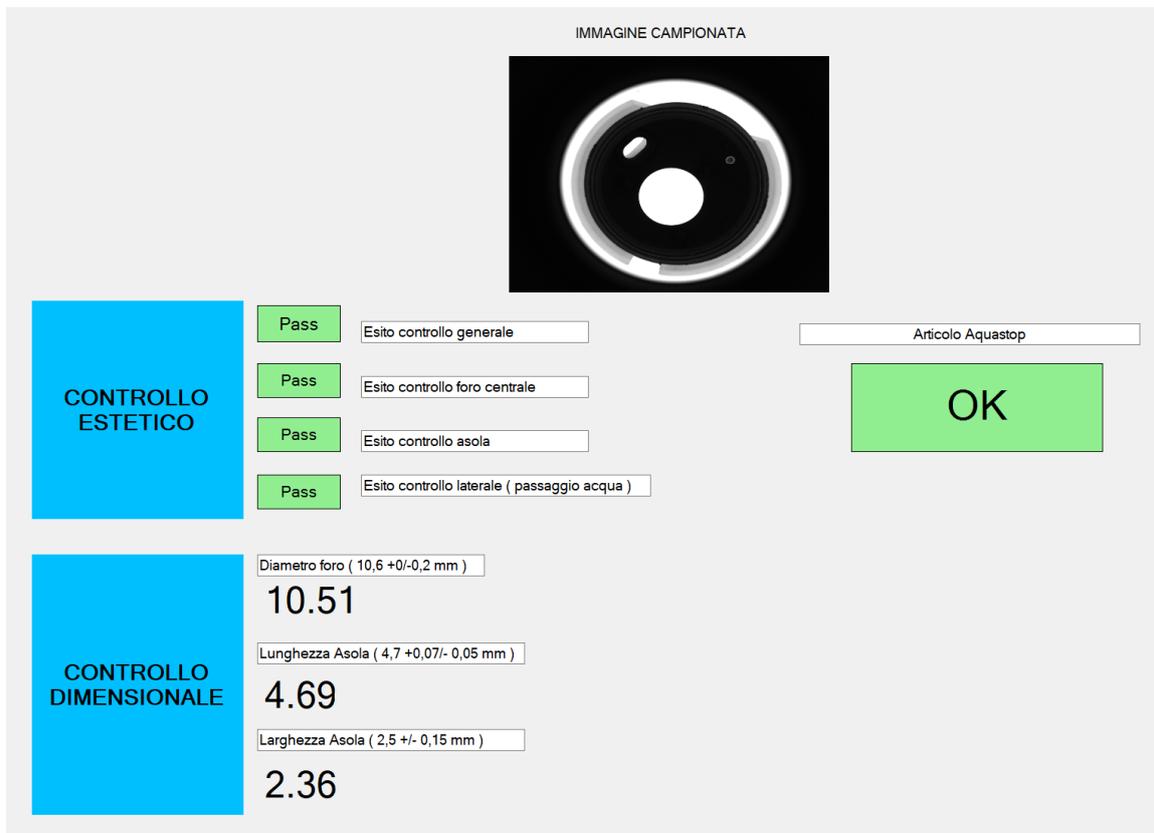
Figura 64: Formula operatore logico AND

Si sono raggruppati e relazionati tra loro attraverso l'operatore AND tutti gli esiti dei filtri in un'unica formula, facendo sì che avremo in output OK solo se tutti gli esiti sono OK in caso contrario avremo KO.

Nella Figura 65 (a) si può notare la HMI grezza e senza valori mentre nella Figura 65 (b) una HMI completa in ispezione. Nei prossimi capitoli verranno discusse le performance e gli esiti dei vari programmi attraverso proprio queste interfacce HMI.



(a)



(b)

Figura 65: HMI Acquastop

4.2.2 Algoritmo Ghiera Nera

Il secondo algoritmo di programmazione che andremo a trattare è quello relativo alla famiglia delle Ghiera. Per lo studio si è lavorato con due articoli simili ma con colori opposti, infatti, una ghiera è nera mentre l'altra è bianca, e questo aspetto estetico in visione non va trattato allo stesso modo, anzi come vedremo in seguito si sono utilizzati parametri differenti per gestire e soddisfare le richieste aziendali. Per questi articoli si sono verificate le integrità dei materiali evidenziando le eventuali mancanze o bave. L'idea per la stesura di questo algoritmo è stata quella di dividerlo in step. Inizialmente si caricano in macchina le immagini scattate in laboratorio con le attrezzature discusse nei capitoli precedenti. Il programma lavora poi in sequenza, immagine per immagine; quindi, è stato opportuno localizzare in un primo momento l'oggetto all'interno dell'immagine scattata per poi andare ad ispezionare le aree sensibili e di interesse dell'azienda, controllando quindi l'integrità estetica. Di seguito viene riportato l'intero algoritmo creato per la Ghiera Nera.

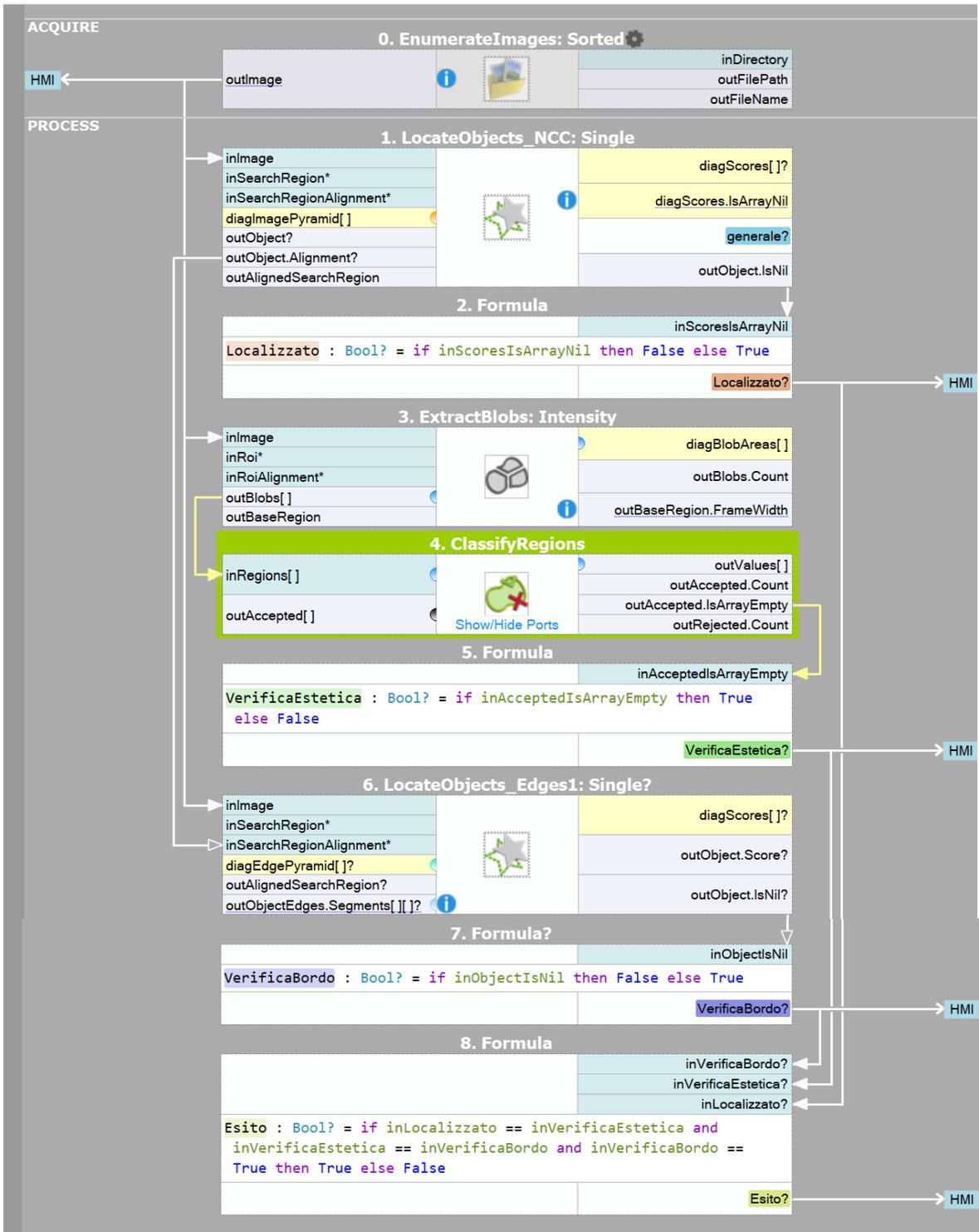


Figura 66: Algoritmo Ghiera Nera

L'algoritmo come anche accennato in precedenza effettua il controllo estetico dell'articolo ed è diviso in tre punti principali. Si inizia con la localizzazione dell'oggetto per passare poi al controllo estetico della ghiera che comprende sia la parte superiore sia la parte laterale della stessa, poi si effettua il controllo del bordo inferiore nella sua integrità geometrica e di forma.

Nella parte di Acquisizione si è inserito il filtro EnumerateImages che ha il compito di caricare le immagini da una cartella del computer attraverso la voce InDirectory simulando tutte le immagini che la telecamera scatterà in tempo reale nella linea produttiva.

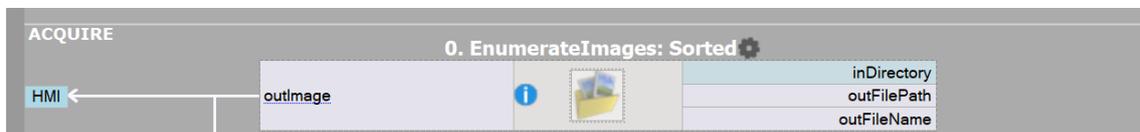


Figura 67: EnumerateImages Ghiera Nera

Da questo filtro si collega l'output outImage con tutti i numerosi input dei filtri che seguiranno, questo per andare appunto a collegare l'immagine che viene continuamente cambiata in modo sequenziale con i filtri di elaborazione. Un esempio di immagine che viene caricata è la seguente.

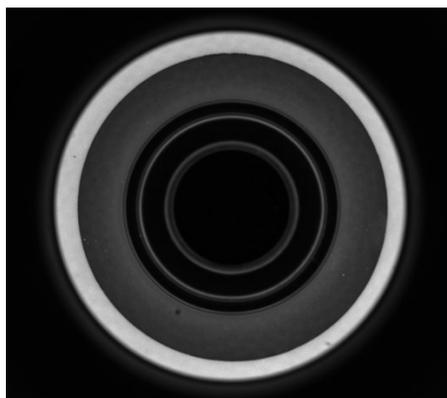


Figura 68: Articolo Ghiera Nera

L'immagine una volta letta e scansionata viene data in input al filtro di Localizzazione che segue LocateObjects_NCC, il quale, dato un template di riferimento, cerca nell'immagine l'oggetto o la geometria.

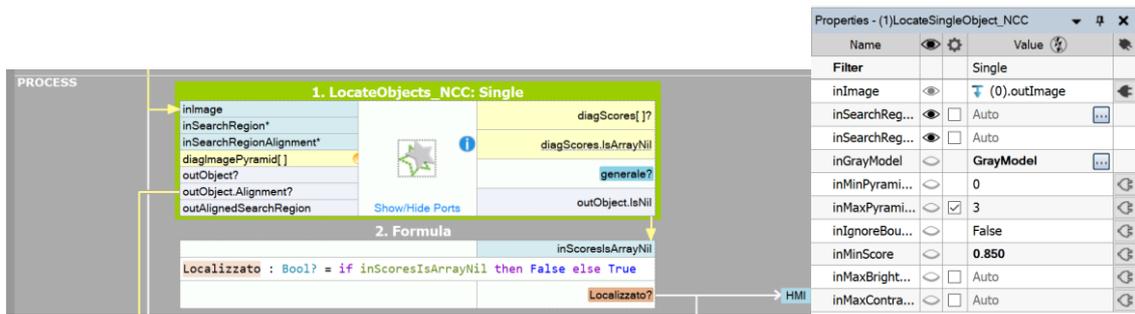


Figura 69: Filtro Localizzazione Ghiera Nera

Il filtro di localizzazione è la stessa tipologia di filtro usato anche per l'articolo precedente, sono stati utilizzati in questo caso tre livelli massimi di corrispondenza del matching essendo un filtro piramidale ed il punteggio minimo è stato settato a 0,85. Per quanto riguarda invece l'area per il riconoscimento è stata definita la zona centrale, essendo un articolo con un'immagine perfettamente simmetrica considerando l'asse del foro centrale per riconoscere l'oggetto è sufficiente definire e localizzare quella geometria. L'area in questione è illustrata nell'immagine seguente.

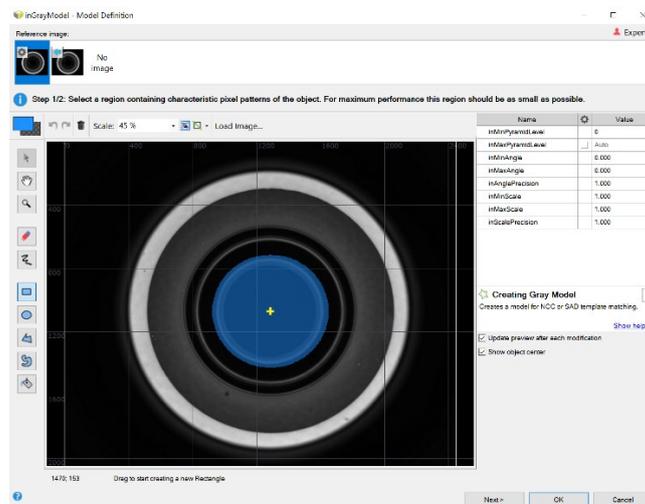


Figura 70: Setup filtro di localizzazione

Una volta completato e settato il filtro per la localizzazione la programmazione si sposta sull'ispezione estetica dell'articolo, anche in questo caso si evidenzia il vantaggio di aver utilizzato l'ottica pericentrica per l'ispezione, infatti, con essa si può ispezionare tutta la parte esterna solamente con un'immagine. Per le Ghiera la richiesta aziendale è stata quella di andare ad individuare tutte quelle macchie o sporco che possono andare a danneggiare l'integrità estetica delle stesse. L'idea per l'ispezione si basa sul controllo

sia della base superiore sia della parete laterale andando a classificare l'immagine in regioni chiamate Blob in base alla loro intensità dei pixel (concetti discussi nel capitolo 4.2) per poi classificarle e verificare se si trattano di difetti. L'immagine che segue illustra lo schema a blocchi.

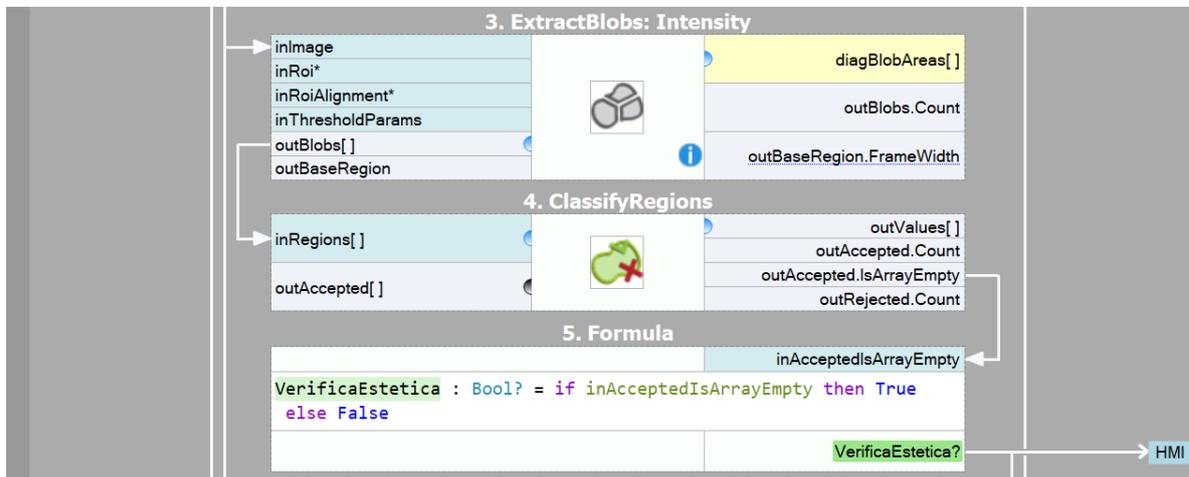


Figura 71: Difetti estetici schema a blocchi

Nella Figura 71 in alto si può vedere il filtro ExtractBlobs_Intensity il quale segmenta l'immagine in blob in base al valore di soglia impostato. In input nella voce inImage viene collegata l'immagine in modo sequenziale all'interno della cartella del computer. Il filtro richiede alcuni parametri da definire come la ROI in cui andare a fare la ricerca e definire le aree e per questo è stata definita tutta l'area disponibile dell'oggetto. Sotto la voce inTresholdParams sono stati introdotti due parametri: la polarità cioè se i blob sono più scuri o più chiari dello sfondo, in questo caso sono più luminosi, infatti, è stata selezionata la voce Bright, ed il numero di soglia cioè la differenza tra il valore del pixel minimo tra un blob e lo sfondo stimato, è stato utilizzato 128 valutato anche in modo empirico basato su prove effettuate.

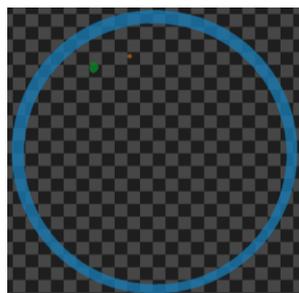


Figura 72: Blob analisi Ghiera Nera

Oltre alle macchie bianche si riescono anche a sezionare parti dell'immagine in aree in cui si hanno delle macchie grigie, questo garantisce una individuazione del difetto a 360° infatti molto spesso in produzione il difetto come macchie o sporco ha diverse tonalità di colore e non solo bianco. Il risultato blob in output del filtro ExtractBlobs_Intensity viene inviato come input al filtro ClassifyRegions nella voce inRegions[] per la loro classificazione infatti esso divide una matrice in regioni in base alla funzione ed all'intervallo selezionati. Nel filtro per quando riguarda la caratteristica da calcolare è stata definita l'area delle zone evidenziate, così si va a calcolare il numero dei pixel all'interno della regione classificata. Le aree da considerare possono essere definite all'interno di un range, il quale è stato così settato un valore minimo di 25 pixel e un massimo di 50000 pixel. Rispetto all'area per la divisione dei blob non ci si è solamente focalizzati all'area interna dell'oggetto ma anche all'area esterna in modo tale da avere tutto l'oggetto in analisi anche se esso si dovrà spostare all'interno dell'area di lavoro come molto spesso accade in ambito produttivo. Nelle immagini scattate il pezzo è stato posizionato sotto l'obiettivo manualmente quindi si è stata regolata la posizione del centro dell'oggetto ma in produzione non sarà così quindi ecco perché è stata considerata anche l'area fuori all'oggetto, è bene quindi fare queste considerazioni in uno studio di fattibilità come la fattispecie. Tornando ai valori del range per la selezione dei blob di interesse essi hanno una natura basata su prove e sperimentazioni fatti in accordo con l'ufficio tecnico della Plast2000. In seguito, alcune immagini che mostrano i valori delle aree di diverse immagini analizzate dell'articolo.

	outValues		outValues
0	355322.000	0	344820.000
1	7.000	1	242.000
2	1.000	2	13.000
3	2.000	3	10.000
4	1.000	4	68.000
5	1.000	5	9.000
6	2.000	6	7.000
7	14.000	7	1.000
8	2.000		

	outValues		outValues
0	344855.000	0	344811.000
1	9.000	1	519.000
2	7.000	2	32.000
3	1.000	3	34.000
		4	9.000
		5	7.000
		6	1.000

	outValues		outValues
0	344820.000	0	344820.000
1	547.000	1	32.000
2	2542.000	2	34.000
3	9.000	3	9.000
4	7.000	4	7.000
5	1.000	5	1.000

Figura 73: Aree Blob Ghiera Nera

Come si può facilmente notare nelle immagini di Figura 73 c'è una ripetizione del primo valore, il quale corrisponde al valore dell'area della parte esterna dell'oggetto che appunto come si è già spiegato è stata considerata per la movimentazione dello spesso in linea produttiva. Si notano anche altre ripetizioni di aree di entità minori vicine all'unità che corrispondono ad aree create durante la segmentazione per il rumore o per la sfocatura dell'immagine stessa soprattutto nella parte esterna. Al netto di queste costanti aree nominate tutte le altre corrispondono alla natura del difetto presenti negli articoli ispezionati. Questo giustifica l'entità dei valori di soglia definiti in precedenza. Nella Figura 71 si nota come la bontà dell'oggetto viene definita dalla voce `outAccepted.IsArrayEmpty` definisce se l'intervallo espresso in precedenza durante la classificazione è vuoto o meno. Nel caso lo fosse significa che non c'è nessun'area all'interno del range di ispezione, il che fa intuire che non si hanno macchie nell'articolo corrente e che quindi è esente dal difetto estetico e questo sarà collegato con l'HMI di questo articolo che vedremo inseguito.

Completata la parte relativa all'ispezione estetica l'algoritmo termina con la verifica dell'integrità del bordo esterno inferiore della Ghiera, il quale viene verificato con il filtro piramidale a tre livelli già descritto `LocateObjects_Edge1` come illustrato nell'immagine seguente.

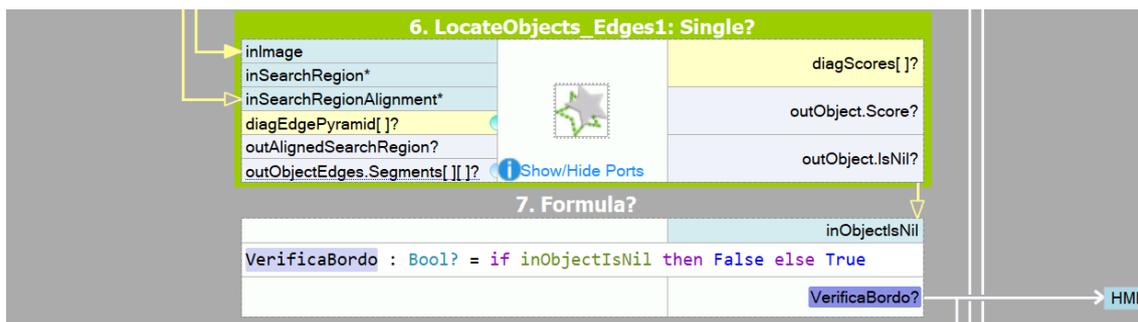


Figura 74: Filtro `LocateObject_Edge1` Ghiera Nera

Il filtro ha come input le immagini in sequenza nella cartella del computer e l'allineamento in base al punto centrale all'area ricercata per la localizzazione dell'oggetto. Per effettuare la verifica del bordo si è selezionata nel template di riferimento la zona di interesse come mostrato nell'immagine che segue.

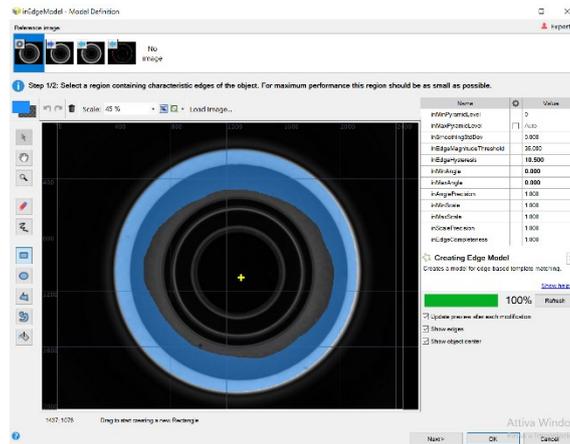


Figura 75: Setup filtro LocateObject_Edge1 Ghiera Nera

In questo caso è stato inserito un punteggio minimo di conformità pari a 0,9. Come nel caso dell'articolo precedente anche in questo caso si è avuta la necessità di andare a riassumere tutte le ispezioni all'interno di una interfaccia utente HMI, la quale è stata composta come segue.

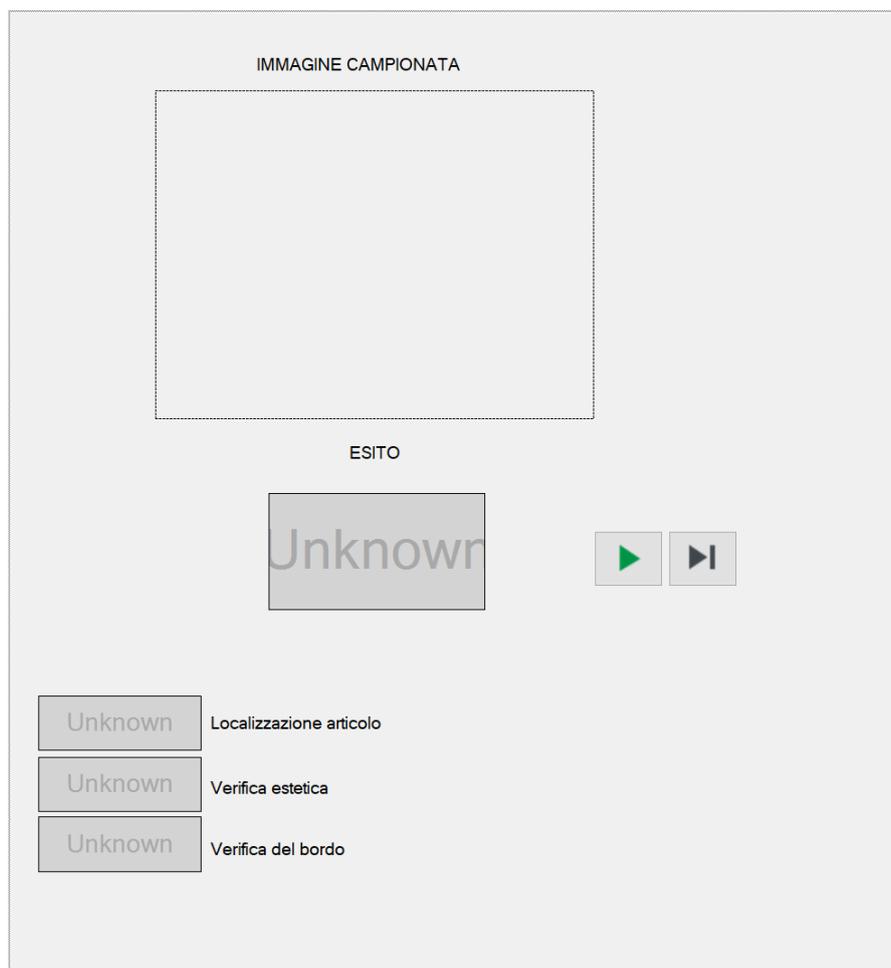


Figura 76: HMI Ghiera Nera grezza

Per la costruzione della stessa si può osservare la parte sinistra e destra del programma di Figura 66 con le voci ed i collegamenti dell'interfaccia HMI. Come si può notare si ha la possibilità di vedere l'immagine dell'oggetto che si sta ispezionando in quel momento. Si hanno le tre voci degli esiti principali prese singolarmente ma anche l'esito generale generato dalla convergenza delle tre attraverso la congiunzione logica definita dall'operatore AND tramite l'ottavo blocco di programma di Figura 66.

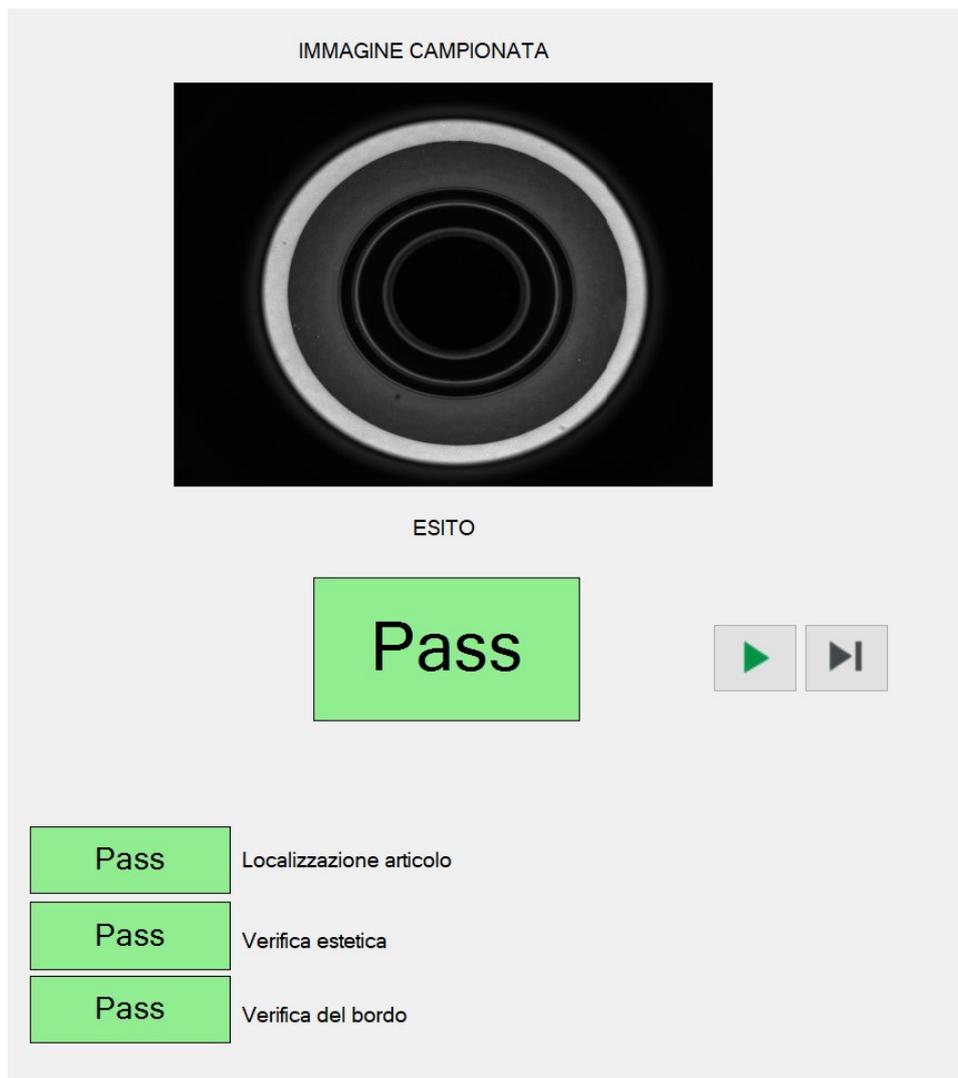


Figura 77: HMI Ghiera Nera esempio

Nel capitolo 5 poi verranno discusse le performance di questo algoritmo.

4.2.3 Algoritmo Ghiera Bianca

Il terzo algoritmo di programmazione che andremo a trattare è quello relativo alla Ghiera di colore bianco che per comodità è stata chiamata "Ghiera Bianca". Come vedremo in seguito si sono utilizzati in linea generale la stessa idea di elaborazione immagine ma con parametri differenti per gestire e soddisfare le richieste aziendali. Per questi articoli si è verificato l'integrità dei materiali evidenziando le eventuali mancanze o bave. Di seguito viene riportato l'intero algoritmo creato per la Ghiera Bianca.

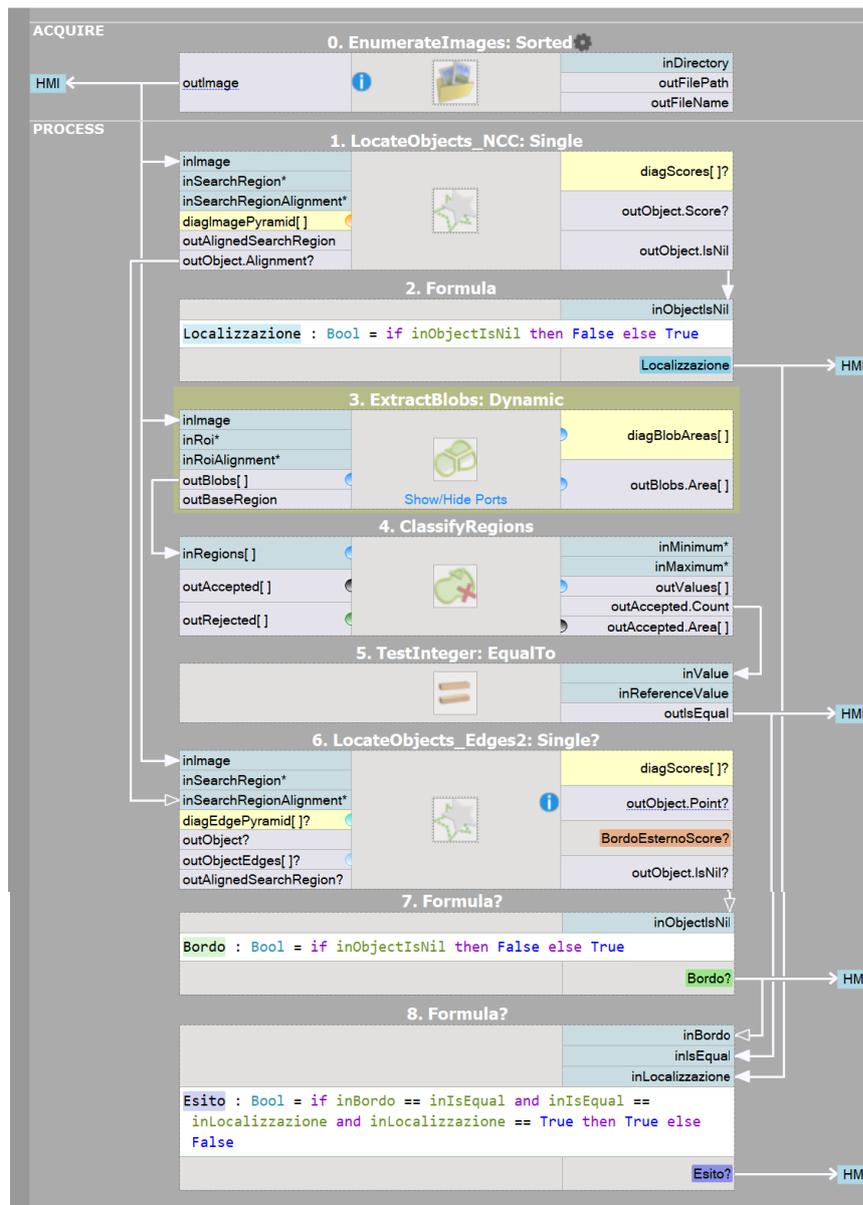


Figura 78: Algoritmo Ghiera Bianca

L'algoritmo si estende con la stessa logica della precedente. Ghiera quindi si parte con l'acquisizione delle immagini passando alla localizzazione dell'oggetto nel campo di visione della stazione di controllo per poi effettuare l'analisi delle macchie nella superficie esterna dell'articolo e completare con l'ispezione dell'integrità del bordo. Per quanto riguarda la fase di localizzazione e controllo del bordo sono stati utilizzati gli stessi filtri. Per l'ispezione e lo studio delle possibili macchie sono stati utilizzati filtri differenti. Di seguito vengono riportati i filtri che rappresentano la parte centrale dell'algoritmo stesso.

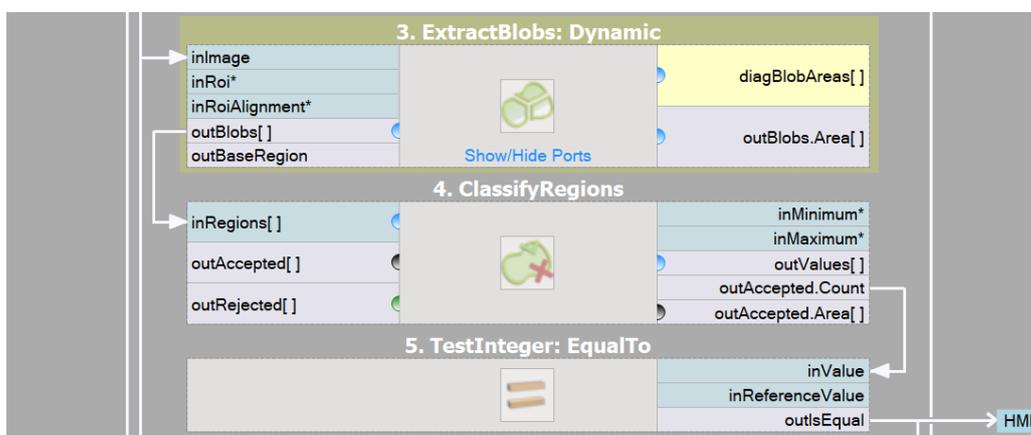
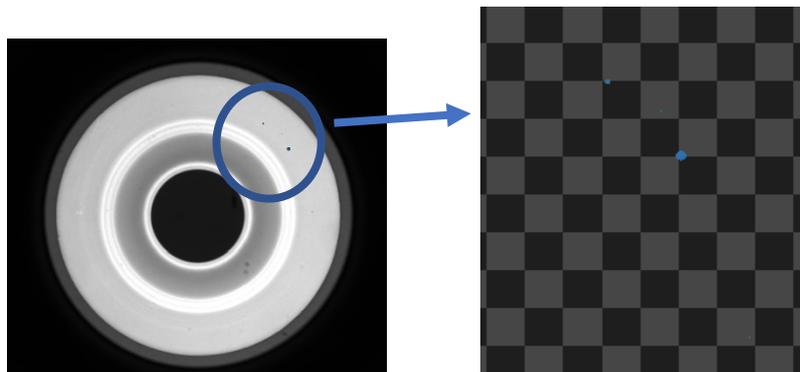


Figura 79: Ispezione estetica Ghiera Bianca

La fase di segmentazione è stata effettuata attraverso il filtro ExtractBlobs_Dynamic, il quale appunto estrae i Blob dall'immagine in modo dinamico, viene solitamente utilizzato quando c'è la necessità di segmentare un'immagine con illuminazione irregolare come in questo caso come mostra la figura sottostante, ed esegue operazioni sull'immagine come il Threshold in modo dinamico e poi divide l'immagine stessa in regioni. L'immagine che segue è il risultato della divisione in Blob.



Avendo definito la luminosità della regione da estrarre più scura rispetto allo sfondo dell'oggetto si avrà una estrapolazione puntuale delle macchie effettive generate e rilevate dalla telecamera. Le regioni poi con il filtro ClassifyRegions vengono classificate all'interno dell'intervallo che va da un punteggio minimo di area di 15 fino ad un massimo di 50000 e viene estrapolato un array di valori. Il conteggio dei valori all'interno dell'array viene verificato con il filtro TestInteger, il quale verifica se il numero di componenti all'interno dell'array è pari a zero che garantisce così l'assenza di macchie nell'articolo. Se questa condizione viene verificata allora viene mandato un segnale in uscita di conformità. Vengono poi confluiti tutti i segnali in uscita dall'algorithmo nella sezione HMI come mostrato dall'immagine seguente.

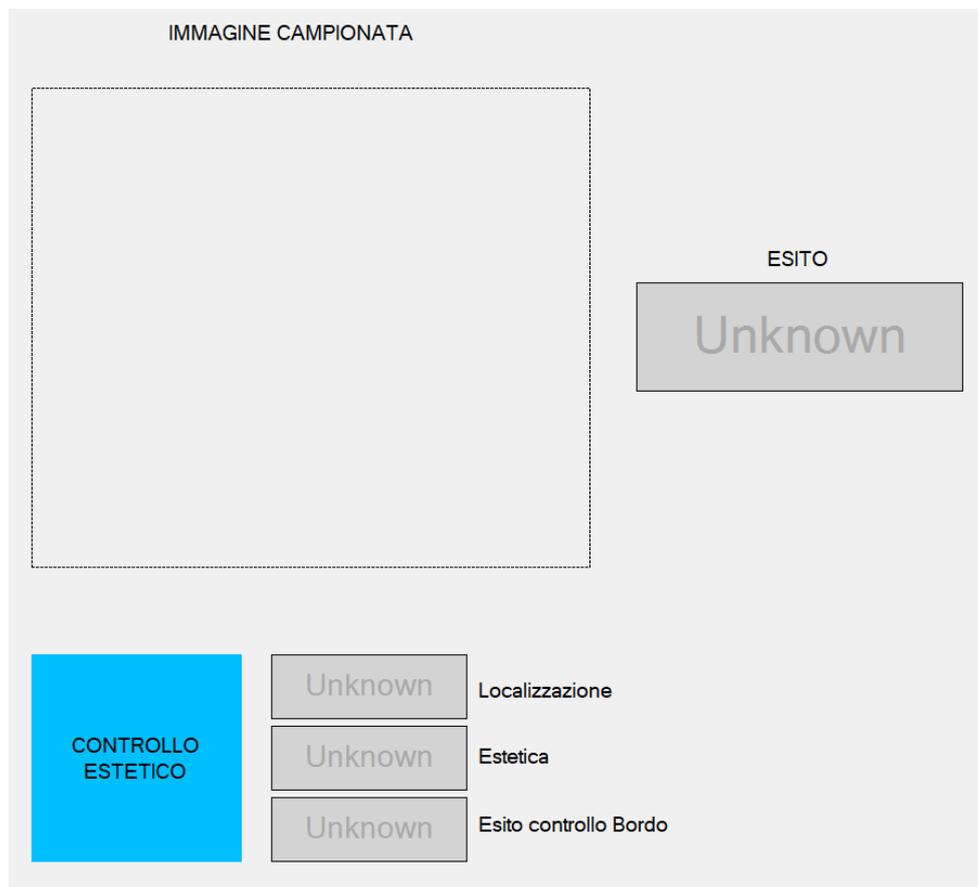


Figura 80: HMI Ghiera Bianca

Capitolo 5

Test effettuati

I test effettuati sono stati condotti nel laboratorio di Opto Engineering a Mantova, settando un banco di prova ed utilizzando le attrezzature descritte nel Capitolo 3. Nel laboratorio sono state acquisite le immagini necessarie per sviluppare i software, ed in base a quest'ultimi verranno analizzati i tempi di elaborazione medio per ogni articolo attraverso l'algoritmo, perché sulla linea di produzione il tempo ciclo detterà la frequenza di lavoro, infatti, esso deve comprendere sia il tempo di movimentazione del pezzo e sia il tempo di elaborazione dell'immagine. Gli articoli in oggetto, essendo prodotti stampati ad iniezione plastica, generalmente vengono prodotti attraverso degli stampi con multi-cavità, infatti, in una singola stampata detto anche tempo ciclo stampo vengono prodotti più pezzi in base poi alla dimensione dello stampo, alla dimensione del pezzo ed alla morfologia della matrice all'interno dello stampo stesso. Quindi per analizzare questi tempi, visto anche la scansione ed elaborazione di un pezzo singolo nella stazione di controllo, si fa riferimento alla formula che segue:

$$\textit{Tempo di elaborazione} + \textit{Tempo di movimentazione} = \frac{\textit{Tempo ciclo stampo}}{\textit{n}^\circ \textit{cavità dello stampo}}$$

Ora vedremo nel dettaglio tutti i test effettuati, gli schemi delle attrezzature e le performance di ogni algoritmo.

5.1 Performance algoritmo Acquastop

L'immagine seguente mostra il setup delle attrezzature per l'articolo Acquastop e lo schema funzionale dello stesso.

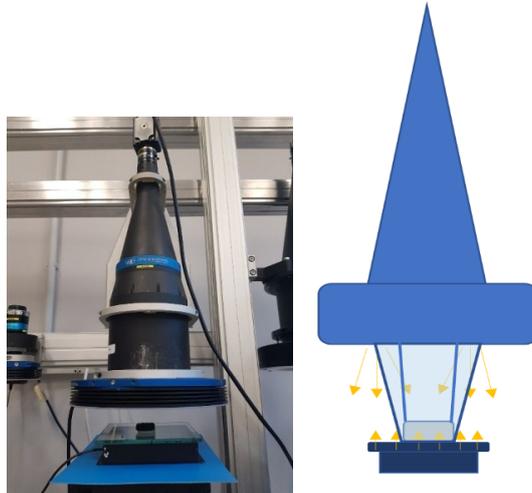
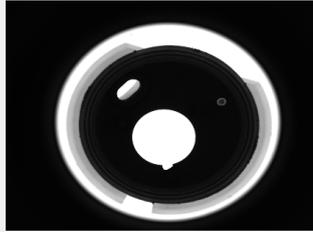


Figura 81: Setup Acquastop

Come si nota dalla Figura 81 sono stati utilizzati sia la retroilluminazione e sia l'illuminatore ad anello, questo per avere una maggior esposizione ed un'immagine ottimizzata. Sono state quindi acquisite diverse immagini inserendo manualmente gli articoli nel campo di visione, per poi elaborarle creando l'algoritmo descritto nel capitolo precedente. Attraverso le HMI si possono verificare gli esiti di tali elaborazioni, le quali vengono mostrate come segue.

IMMAGINE CAMPIONATA



CONTROLLO ESTETICO

Pass Esito controllo generale

Fail Esito controllo foro centrale

Pass Esito controllo asola

Pass Esito controllo laterale (passaggio acqua)

Articolo Aquastop

KO

CONTROLLO DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)

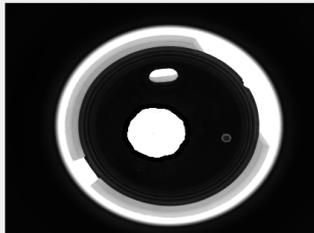
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)

4.68

Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)

2.36

IMMAGINE CAMPIONATA



CONTROLLO ESTETICO

Fail Esito controllo generale

Fail Esito controllo foro centrale

Pass Esito controllo asola

Fail Esito controllo laterale (passaggio acqua)

Articolo Aquastop

KO

CONTROLLO DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)

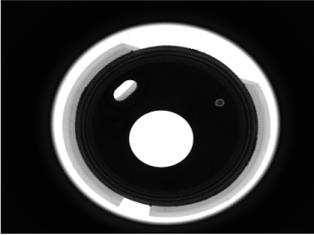
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)

4.75

Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)

2.46

IMMAGINE CAMPIONATA



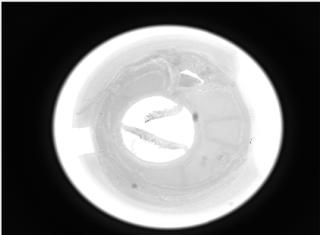
CONTROLLO ESTETICO

Pass	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Pass	Esito controllo foro centrale	OK
Pass	Esito controllo asola	
Pass	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

CONTROLLO DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)	10.51
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)	4.69
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	2.36

IMMAGINE CAMPIONATA



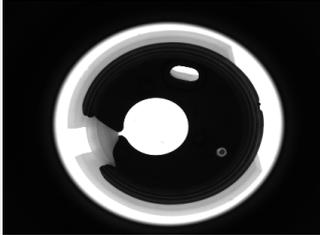
CONTROLLO ESTETICO

Fail	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Fail	Esito controllo foro centrale	KO
Fail	Esito controllo asola	
Unknown	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

CONTROLLO DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)	
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)	
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	

IMMAGINE CAMPIONATA



CONTROLLO
ESTETICO

Pass	Esito controllo generale
Fail	Esito controllo foro centrale
Pass	Esito controllo asola
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)

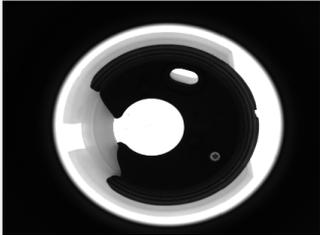
Articolo Aquastop

KO

CONTROLLO
DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +/-0,2 mm)	
Lunghezza Asola (4,7 +/-0,07/- 0,05 mm)	4.69
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	2.43

IMMAGINE CAMPIONATA



CONTROLLO
ESTETICO

Fail	Esito controllo generale
Fail	Esito controllo foro centrale
Pass	Esito controllo asola
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)

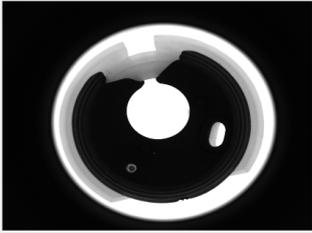
Articolo Aquastop

KO

CONTROLLO
DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +/-0,2 mm)	
Lunghezza Asola (4,7 +/-0,07/- 0,05 mm)	4.71
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	2.42

IMMAGINE CAMPIONATA



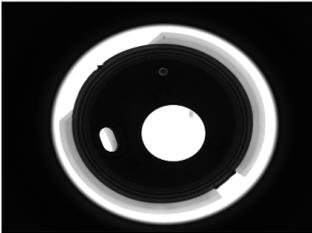
CONTROLLO
ESTETICO

Fail	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Fail	Esito controllo foro centrale	KO
Pass	Esito controllo asola	
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

CONTROLLO
DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)	
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)	
4.69	
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	
2.43	

IMMAGINE CAMPIONATA



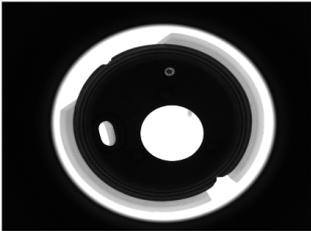
CONTROLLO
ESTETICO

Pass	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Pass	Esito controllo foro centrale	KO
Pass	Esito controllo asola	
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

CONTROLLO
DIMENSIONALE

Diametro foro (10,6 +0/-0,2 mm)	
10.53	
Lunghezza Asola (4,7 +0,07/- 0,05 mm)	
4.45	
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	
2.37	

IMMAGINE CAMPIONATA



**CONTROLLO
ESTETICO**

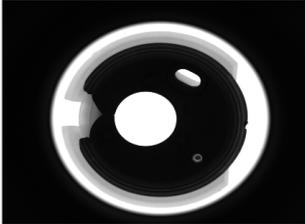
Pass	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Pass	Esito controllo foro centrale	
Pass	Esito controllo asola	
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

KO

**CONTROLLO
DIMENSIONALE**

Diametro foro (10,6 +/-0,2 mm)	10.51
Lunghezza Asola (4,7 +/-0,07/- 0,05 mm)	4.73
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	2.46

IMMAGINE CAMPIONATA



**CONTROLLO
ESTETICO**

Pass	Esito controllo generale	Articolo Aquastop
Pass	Esito controllo foro centrale	
Pass	Esito controllo asola	
Fail	Esito controllo laterale (passaggio acqua)	

KO

**CONTROLLO
DIMENSIONALE**

Diametro foro (10,6 +/-0,2 mm)	10.53
Lunghezza Asola (4,7 +/-0,07/- 0,05 mm)	4.68
Larghezza Asola (2,5 +/- 0,15 mm)	2.41

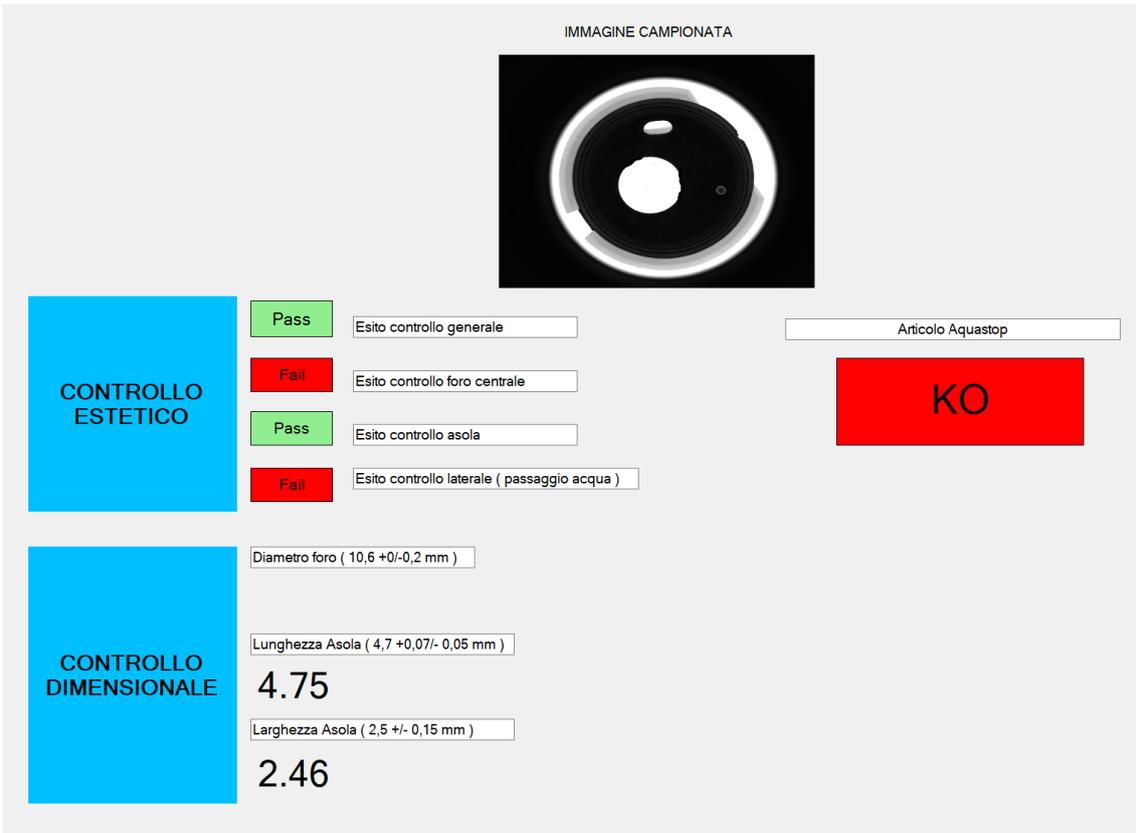
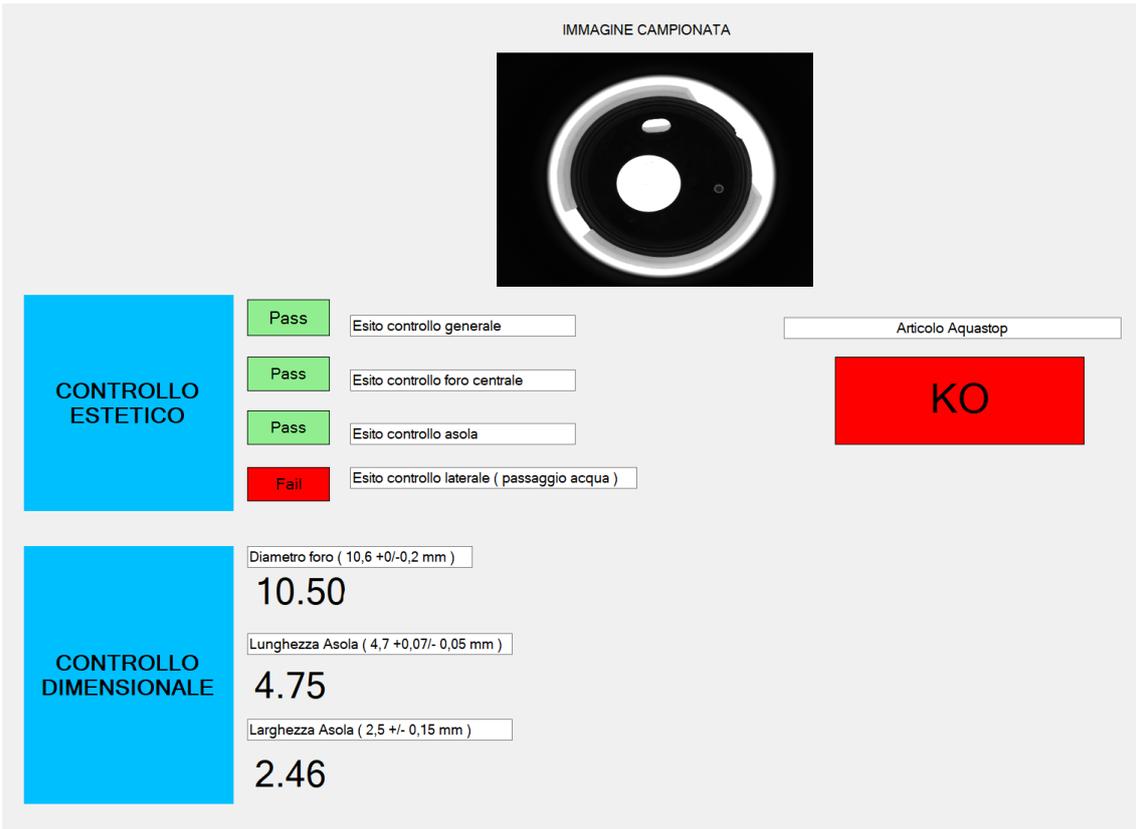


Figura 82: Test Acquastop

Come già accennato in precedenza, è importante andare a verificare oltre alla bontà dell'ispezione condotta dall'algoritmo stesso la quale è effettivamente corretta in tutte le sue voci, capire se si è all'interno delle tempistiche disponibili per tale risultato a livello produttivo. Dati aziendali ci dicono che lo stampo per questo articolo è costituito da 8 cavità le quali hanno un tempo ciclo pari a 42 secondi che permette di definire che:

$$\text{Tempo disponibile} = \frac{\text{Tempo ciclo stampa}}{\text{n}^\circ \text{cavità stampa}} = \frac{42 \text{ secondi}}{8 \text{ cavità}} = 5,25 \text{ secondi}$$

5,25 secondi rappresenta quindi il tempo disponibile per la movimentazione e l'elaborazione nella stazione di controllo qualità per ogni singolo articolo. Nel software FabImage si possono vedere anche i report statistici di prestazione dell'algoritmo in esame. In questo caso le performance calcolate sull'intera cartella di immagini acquisite illustra quanto segue.

Program:

Total: 7858,3 ms.

Native Filters: 95,0%, Data Transfers: 0,4%, HMI: 1,2%, GUI: 3,4%, Other: 0,0%.

This macro:

Initialization Time: 0,0 ms HMI Inputs: 0,0 ms

Average Iteration: 613,7 ms HMI Outputs: 7,00 ms

Number of Iterations: 12

Finalization Time: 0,0 ms

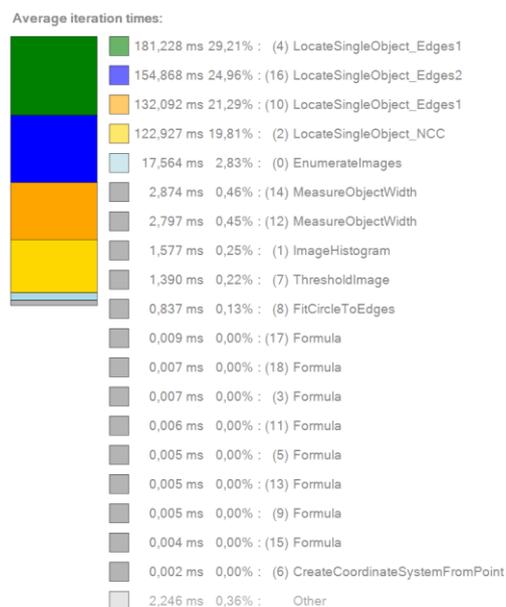


Figura 83: Performance algoritmo Acquastop

Per elaborare completamente 12 immagini si è impiegato 7,85 secondi, la maggior parte del tempo viene occupato dai macro-filtri principali, infatti, si nota come quasi il 30% del tempo si utilizza per elaborare il filtro di ispezione per la rilevazione del bordo del foro centrale, pesa quasi il 25% il filtro di ispezione per il passaggio dell'acqua esterno, un 21% per l'ispezione dell'asola. Nonostante ciò, il tempo di elaborazione immagine è pari a 0,61 secondi, un tempo quasi trascurabile rispetto al tempo disponibile, questo è un dato che ci si poteva aspettare e che si auspicava fosse così perché oggi con l'avanzamento della tecnologia e della potenza di calcolo questi tempi di elaborazione si sono più che dimezzati rispetto ai decenni passati ma, questo dato è riferito all'elaborazione utilizzando un computer non performante, mentre quelli presenti in contesti aziendali presentano un livello di elaborazione dati ben maggiore. Tuttavia, in questo caso il tempo di elaborazione copre il 12% del tempo disponibile totale ed il restante 88% può essere utilizzato per la fase di movimentazione per un tempo pari a 4,62 secondi.

5.2 Performance algoritmo Ghiera

L'immagine seguente mostra il setup delle attrezzature per entrambi le Ghiera e lo schema funzionale dello stesso.

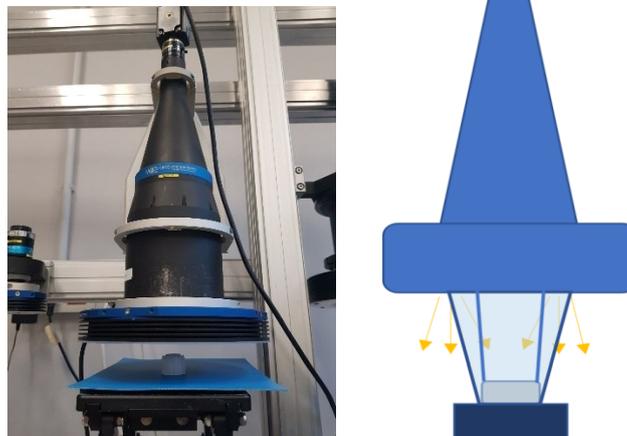


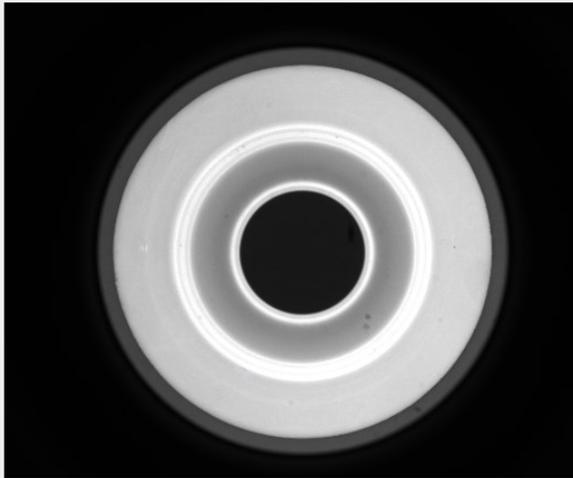
Figura 84: Setup Ghiera

Come si nota dalla Figura 83 per questa tipologia di articoli vista anche la tipologia di elaborazione richiesta, è stata utilizzata solo l'illuminazione ad anello, questo per avere una illuminata la parte esterna della ghiera stessa. Sono state quindi acquisite diverse immagini inserendo manualmente gli articoli nel campo di visione, per poi elaborarle creando gli algoritmi descritti nel capitolo precedente. Anche in questo caso, è importante verificare il rispetto delle tempistiche produttive. Dati aziendali ci dicono che lo stampo per questo articolo è costituito da 32 cavità le quali hanno un tempo ciclo pari a 25 secondi che permette di definire che:

$$\text{Tempo disponibile} = \frac{\text{Tempo ciclo stampo}}{\text{n}^\circ \text{cavità stampo}} = \frac{25 \text{ secondi}}{32 \text{ cavità}} = 0,78 \text{ secondi}$$

0,78 secondi rappresenta quindi il tempo disponibile per la movimentazione e per l'elaborazione nella stazione di controllo qualità per ogni singolo articolo. Abbiamo un tempo ciclo ed un numero di cavità speculari tra le due ghiera per via della similarità tra i due articoli, ma un tempo disponibile decisamente inferiore rispetto al caso della guarnizione precedente, il quale era di 5,25 secondi. La differenza è scandita dal fatto che la guarnizione è un oggetto costampato ed il suo ciclo produttivo compreso la tecnologia di stampaggio, quindi, risulta essere ben diversa da un oggetto monomateriale. In questo contesto, infatti, nel caso della guarnizione abbiamo un numero di cavità inferiore ed un tempo ciclo superiore rispetto a quest'ultimo, ciò giustifica un tempo disponibile molto inferiore. Attraverso le HMI si possono verificare gli esiti di tali elaborazioni, le quali vengono mostrate in seguito per entrambi gli articoli.

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione

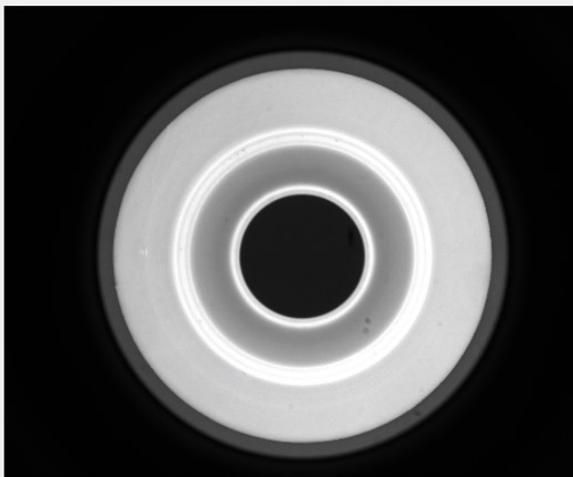
Fail

Estetica

Pass

Esito controllo Bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Pass

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione

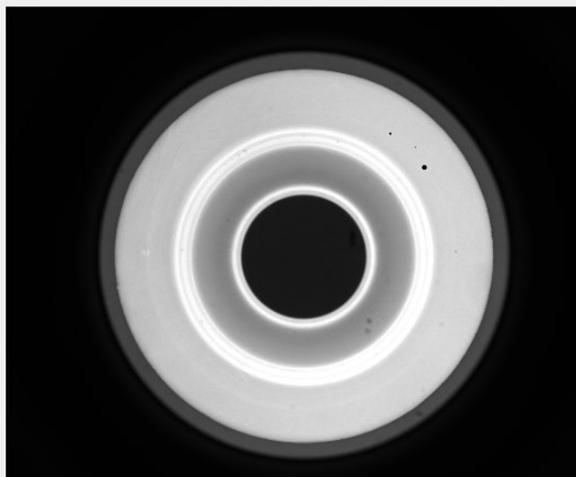
Pass

Estetica

Pass

Esito controllo Bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione

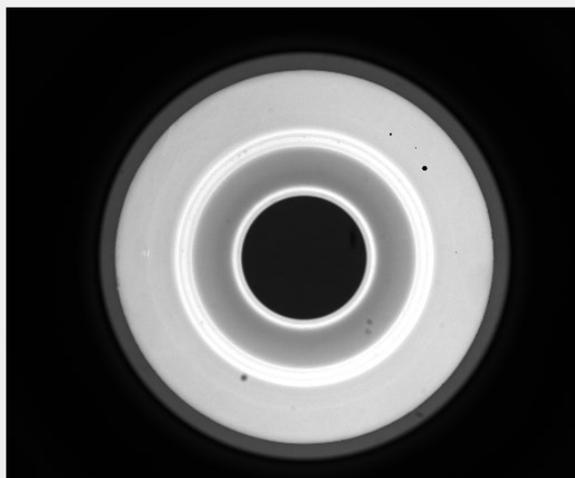
Fail

Estetica

Pass

Esito controllo Bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione

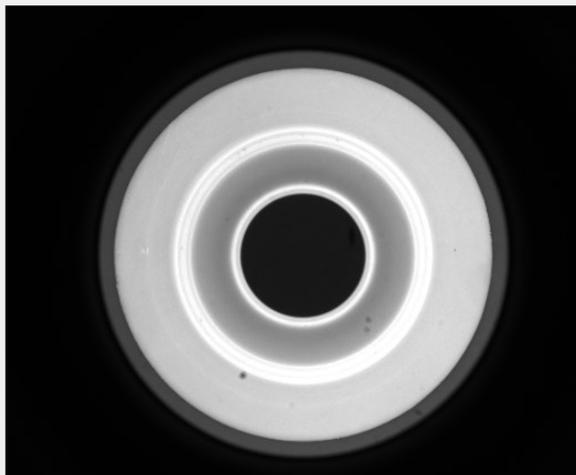
Fail

Estetica

Pass

Esito controllo Bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO ESTETICO

Pass

Localizzazione

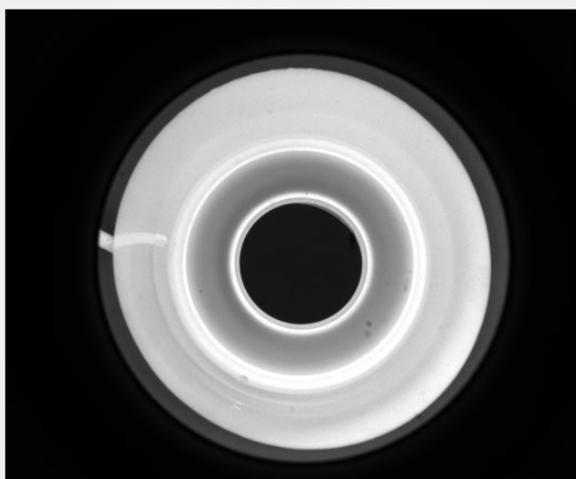
Fail

Estetica

Pass

Esito controllo Bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO ESTETICO

Pass

Localizzazione

Fail

Estetica

Fail

Esito controllo Bordo

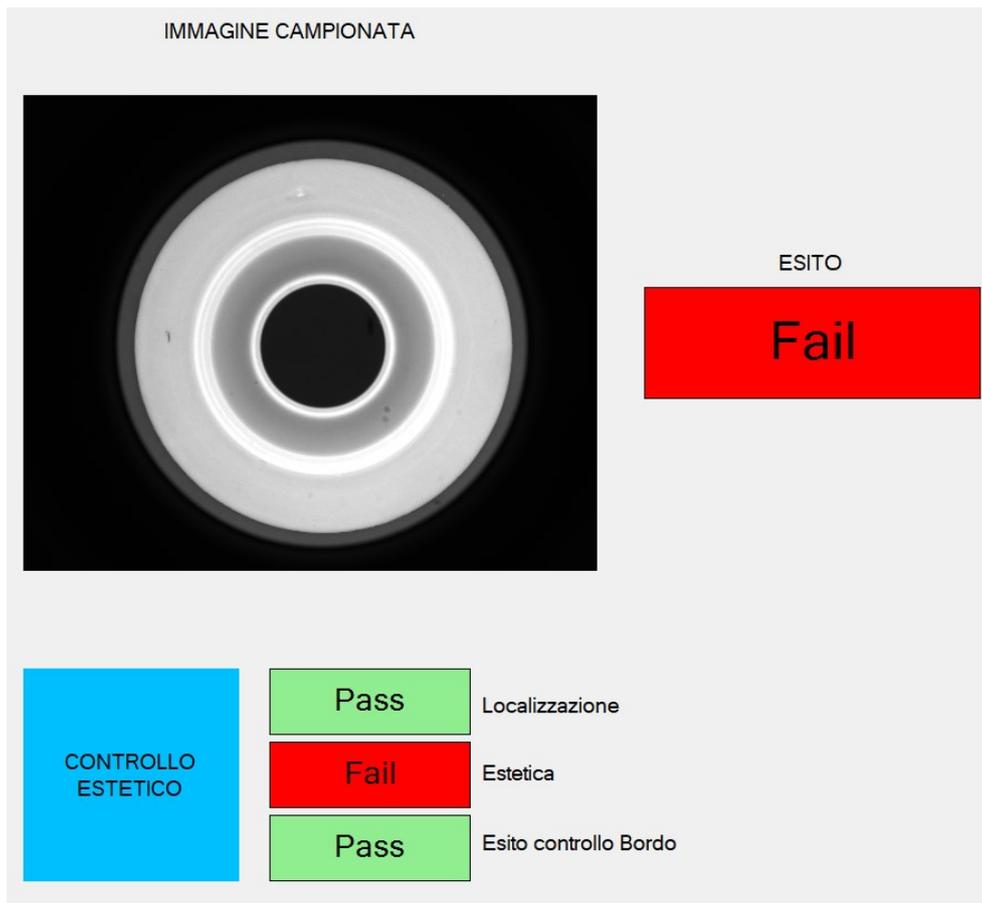


Figura 85: Test Ghiera Bianca

Nel software FabImage si possono vedere anche i report statistici di prestazione dell' algoritmo in esame. In questo caso le performance calcolate sull'intera cartella di immagini acquisite illustra quanto segue.

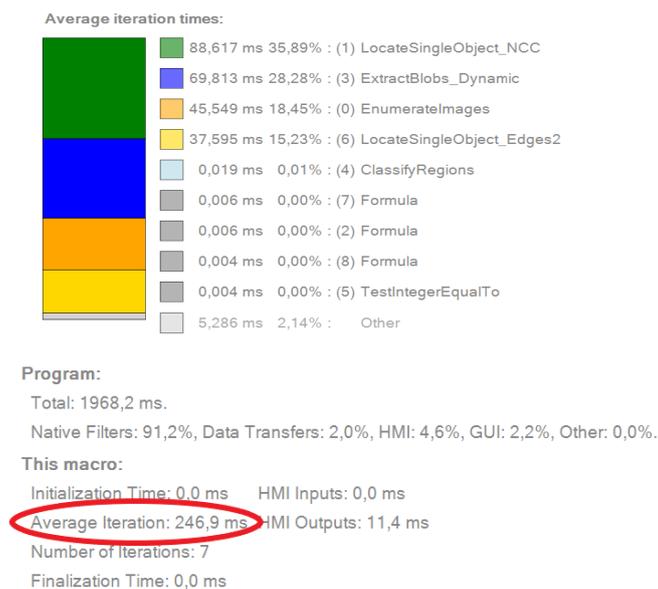
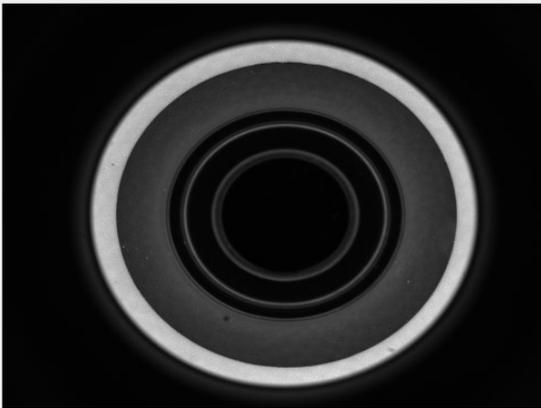


Figura 86: Performance algoritmo Ghiera bianca

Per elaborare completamente 7 immagini si è impiegato 1,96 secondi, la maggior parte del tempo viene occupato dai macro-filtri principali, infatti, si nota come quasi il 36% del tempo si utilizza per elaborare il filtro di localizzazione dell'oggetto nel campo di visione, pesa più del 28% il filtro di suddivisione in Blob cioè in regioni l'immagine. Nonostante ciò, il tempo di elaborazione immagine è pari a circa 0,25 secondi, un tempo non trascurabile, in questo caso, rispetto al tempo disponibile. Questo è un dato che ci si poteva aspettare, perché l'algoritmo delle ghiera è strutturalmente più snello e meno corposo rispetto a quello della guarnizione. È bene precisare che anche questo dato è riferito all'elaborazione utilizzando un computer non performante, non come quelli presenti nei contesti industriali che presentano un processamento di dati nettamente maggiore. Tuttavia, in questo caso il tempo di elaborazione copre il 32% del tempo disponibile totale ed il restante 68% può essere utilizzato per la fase di movimentazione per un tempo pari a 0,53 secondi.

Di seguito vengono riportati i Test effettuati per la Ghiera Nera con le performance dichiarate dal Software.

IMMAGINE CAMPIONATA



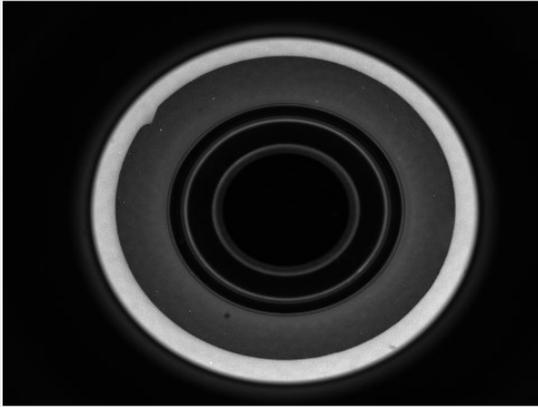
ESITO

Pass

CONTROLLO ESTETICO

- Pass Localizzazione articolo
- Pass Verifica estetica
- Pass Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione articolo

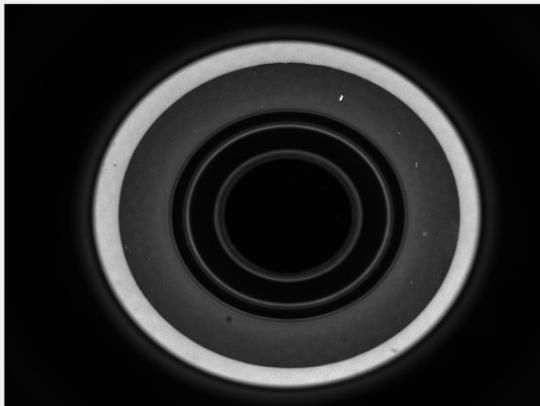
Pass

Verifica estetica

Fail

Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione articolo

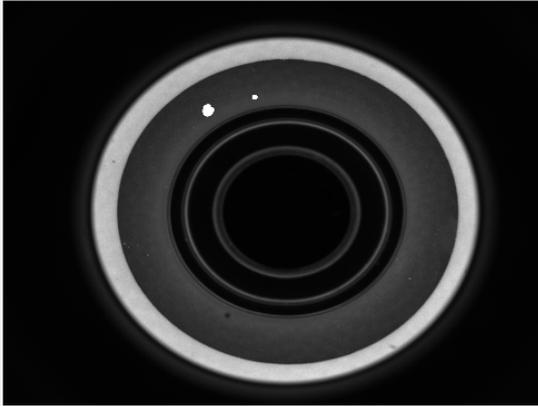
Fail

Verifica estetica

Pass

Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione articolo

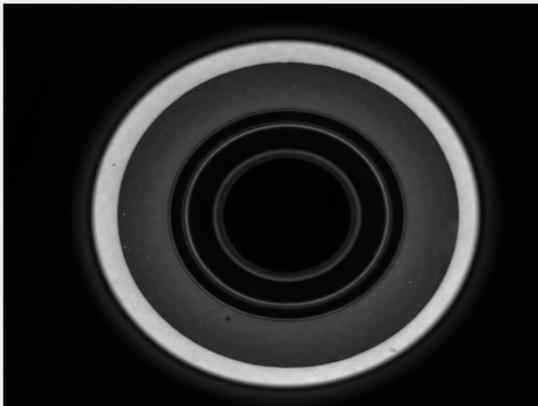
Fail

Verifica estetica

Pass

Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Fail

CONTROLLO
ESTETICO

Pass

Localizzazione articolo

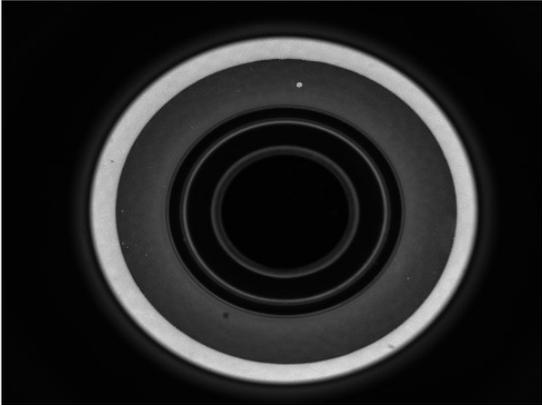
Fail

Verifica estetica

Pass

Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



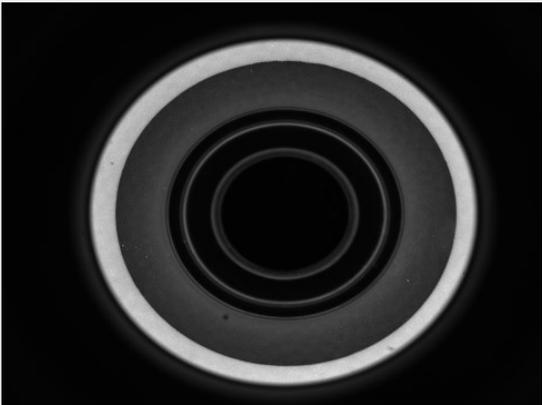
ESITO

Fail

CONTROLLO ESTETICO

Pass	Localizzazione articolo
Fail	Verifica estetica
Pass	Verifica del bordo

IMMAGINE CAMPIONATA



ESITO

Pass

CONTROLLO ESTETICO

Pass	Localizzazione articolo
Pass	Verifica estetica
Pass	Verifica del bordo

Figura 87: Test Ghiera Nera

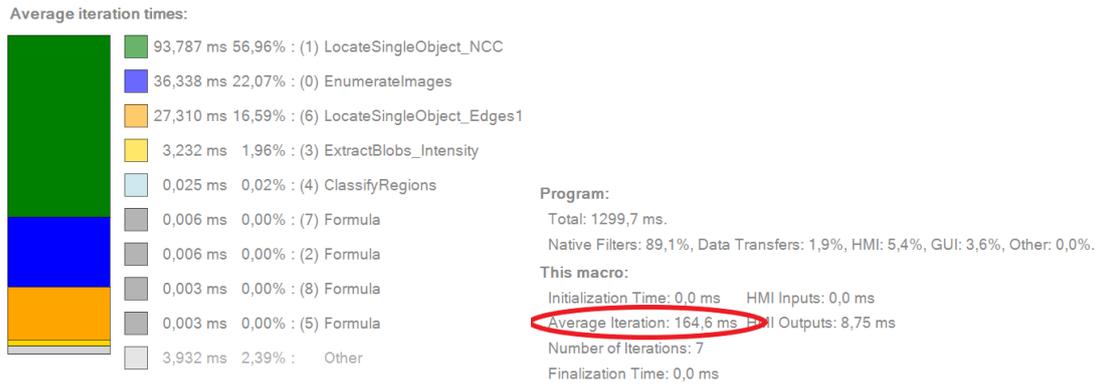


Figura 88: Performance algoritmo Ghiera Nera

Per elaborare completamente 7 immagini in questo caso si è impiegato 1,3 secondi, la maggior parte del tempo viene occupato dai macro-filtri principali, infatti, si nota come quasi il 57% del tempo si utilizza per elaborare il filtro di localizzazione dell'oggetto nel campo di visione. Nonostante ciò, il tempo di elaborazione immagine è pari a circa 0,16 secondi, un tempo non trascurabile, anche in questo caso, rispetto al tempo disponibile. È bene precisare che anche questo dato è riferito all'elaborazione utilizzando un computer non performante, non come quelli presenti nei contesti industriali che presentano un processamento di dati nettamente maggiore. Tuttavia, in questo caso il tempo di elaborazione copre il 20% del tempo disponibile totale ed il restante 80% può essere utilizzato per la fase di movimentazione per un tempo pari a 0,62 secondi. Inoltre, c'è una differenza tra il tempo di elaborazione delle due Ghiere, ed è dovuto ad una differenza di elaborazione nell'estrazione dei Blob dell'immagine. Per lo stesso scopo sono stati utilizzati due differenti filtri uno che lavora sull'intensità ed uno dinamico come spiegato nel dettaglio nei capitoli 4.2.1 e 4.2.2, evidentemente il filtro dinamico richiede una maggiore elaborazione.

Capitolo 6

Conclusioni

6.1 Considerazioni finali

L'obiettivo dello studio era quello di valutare se all'interno del reparto di produzione si poteva implementare un controllo qualità con una strategia differente rispetto a quella attualmente in uso all'interno dell'azienda. La Plast 2000 si occupa di stampaggio ad iniezione plastica, e per questo lavoro hanno dato la possibilità di studiare tre loro articoli (dettaglio al capitolo 1.2), i quali avevano delle specifiche differenti di verifica della conformità. Sono stati anche materialmente forniti i campioni sia difettosi che non per effettuare l'analisi, in particolare sono stati usati 12 campioni per il dispositivo Acquastop, 1 dei quali conforme e 11 non conformi, mentre sono state fornite 14 Ghiera, 7 per ogni singolo colore in particolare per la Ghiera Bianca sono stati forniti 1 articolo conforme e 6 non conformi mentre per la Ghiera Nera 2 conformi e 5 non conformi. Attraverso le prestazioni dei vari algoritmi sviluppati discussi nel capitolo 5 si possono notare come sono stati rilevati sia i pezzi difettosi e sia i pezzi non difettosi in linea con quelli dati dalla Plast 2000. Le prove, tuttavia, sono state effettuate ruotando anche il particolare in esame per avvicinarsi alla situazione reale. Ogni sperimentazione ha dato prova dell'autenticità e verificabilità delle stesse sia per quanto riguardano i controlli

estetici ma anche quelli dimensionali. Utilizzare in produzione una stazione di questo tipo ha il vantaggio di avere un metodo di misura costante, eliminando il problema di avere misure diverse utilizzando strumenti differenti. Molto frequenti, infatti, sono i casi in cui si hanno delle misure diverse o esiti diversi effettuati da operatori differenti, basti pensare ad esempio misurando un diametro con un calibro esso può essere fatto con un calibro ed il risultato ottenuto può essere differente in base ai punti che si considerano. Questo strumento permette invece di avere un prodotto con qualità costante nel tempo ed esiti nelle ispezioni costanti. Inoltre, risulta anche molto flessibile alle esigenze aziendali e adattabile con una ampia varietà di prodotti, purché essi abbiano delle dimensioni consone al campo di visione dell'ottica. La programmazione permette facilmente di inserire dei filtri di codice per personalizzare l'ispezione per un'altra famiglia di prodotti. Anche per quanto riguarda il controllo estetico dei prodotti si ha il vantaggio di verificarne la conformità senza lasciare spazio ai giudizi personali degli operatori con una precisione maggiore rispetto all'ispezione visiva degli stessi. Ipotizzando un controllo sul 100% del prodotto sarà possibile eliminare tutti quei pezzi che possono risultare mancanti o non conformi per cause accidentali e sporadiche durante lo stampaggio come, ad esempio, sporcizie nel materiale utilizzato, ostruzioni nei canali di alimentazione dello stampo o bolle d'aria generate durante il processo. La stazione per il controllo qualità studiata non potrà essere implementata singolarmente ma sarà necessariamente integrata ad un sistema di movimentazione oggetto, avendo così tutto automatizzato. Ogni implementazione in ambito industriale ha un costo ed in questo caso l'investimento richiesto per la stazione di visione ammonta a 10800 € mentre per quanto riguarda la movimentazione oggetto si attesta intorno ai 10000 € considerando una movimentazione con robot e nastro trasportatore, è bene precisare che quest'ultima è definita in maniera approssimata basata sulle esperienze aziendali pregresse. Tenendo conto di un investimento per una singola implementazione in linea di produzione pari a 20800 € le considerazioni che si possono fare anche in base ai dati messi a disposizione dall'azienda sono riguardanti l'incidenza sul prezzo di vendita dell'articolo. I volumi produttivi annui dei vari articoli sono molto elevati, vista anche la tecnologia ed il costo della stessa con la quale vengono prodotti, ed entrando nel merito:

l'Acquastop ha un volume di produzione annuo di 1620000 pezzi, mentre le Ghiera hanno un volume di produzione annuo di 8000000 pezzi. Questo implica che l'investimento ammortizzato in 2 anni ha un impatto sul singolo pezzo per il prodotto Acquastop pari a 0,0065 €, mentre per la singola Ghiera di 0,0013 €. È bene precisare che questo non è un costo per la qualità, perché alla lunga fa risparmiare del denaro oltre ad una sicurezza maggiore per l'aumento del controllo sul processo produttivo. Si dovrebbe parlare, piuttosto, di "Costi della non Qualità" cioè i costi che rappresentano la differenza tra i costi di un prodotto o servizio ed i costi dello stesso se non ci fosse nessun errore nel produrlo. All'interno dei costi della non qualità si possono inserire gli scarti del prodotto, i costi delle varie operazioni di aggiustaggio, del fermo macchina, di tutte le operazioni di recupero, senza ovviamente considerare tutti i costi delle "Non Conformità", i costi logistici, del personale, la perdita d'immagine dell'azienda ed il declassamento del prodotto. Questi sono solo alcuni dei costi che molto spesso si affrontano se non si considera adeguatamente l'importanza della Qualità in un'azienda.

6.2 Possibili sviluppi

Lo sviluppo naturale di questo lavoro è quello di essere associato con un sistema di movimentazione dei pezzi, in questo modo sarà possibile avere un controllo del 100% dei pezzi. L'idea potrebbe essere quello di combinare il sistema con una pressa che stampi i prodotti e con un opportuno dimensionamento di un sistema di movimentazione si mettono in sequenza gli articoli per il controllo qualità nella stazione studiata in questa trattazione, questo comporterebbe un'affidabilità maggiore sulla verifica del processo, incrementando la qualità del prodotto, eliminando l'impiego dell'operatore ed impiegato in altre mansioni. Si può aggiungere anche un sistema ad aria compressa, dopo la stazione di controllo, il quale estrae e rimuove il pezzo che viene considerato non conforme dividendo i prodotti in due famiglie, i conformi ed i non conformi. Creando un sistema di acquisizione dati in ottica Industry 4.0 si possono anche salvare ed archiviare i risultati ottenuti dai software della stazione e nel caso in cui si verificano anomalie frequenti in produzione si possono analizzare le non conformità classificando in famiglie i difetti ed avere chiara la visione della condizione e della natura del problema in reparto.

Indice delle Figure

Figura 1: Stabilimento Plast 2000 s.r.l.....	7
Figura 2: Alcuni articoli prodotti da Plast 2000 s.r.l.	7
Figura 3: Elemento co-stampato Acquastop.....	9
Figura 4: Difetti Acquastop.....	10
Figura 5: Ghiera.....	11
Figura 6: Difetti Ghiera.....	11
Figura 7: Tavola tecnica guarnizione co-stampata Acquastop.....	12
Figura 8: Piano di controllo dispositivo Acquastop.....	13
Figura 9: Tavola tecnica Ghiera bianca.....	14
Figura 10: Piano di controllo Ghiera bianca.....	15
Figura 11: Tavola tecnica Ghiera Nera.....	16
Figura 12: Piano di Controllo Ghiera Nera.....	17
Figura 13: Formazione di immagini.....	21
Figura 14: Livelli chiusura/apertura del diaframma.....	22
Figura 15: MTF Modulation Transfer Function.....	24
Figura 16: Disco di Airy.....	25
Figura 17: Schema lente telecentrica.....	26
Figura 18: Immagini con lente standard e telecentrica.....	26
Figura 19: Schema lente entocentrica.....	27
Figura 20: Funzionamento lente pericentrica.....	28
Figura 21: Spettro elettromagnetico.....	28
Figura 22: Intensità delle sorgenti luminose.....	29
Figura 23: Obiettivo PC23030XS.....	33
Figura 24: Funzionamento ottica pericentrica.....	34
Figura 25: MTF ottica PC.....	34
Figura 26: Dimensioni sensori standard.....	35
Figura 27: Illuminatore Back-light LTBC054054-W.....	35
Figura 28: Spettro di emissione illuminatore back-light.....	36
Figura 29: Intensità luminosa superficiale illuminatore back-light.....	36
Figura 30: Illuminatore ad anello LTRN210W20.....	37
Figura 31: Principio di funzionamento illuminatore ad anello.....	37
Figura 32: Fotocamera COE-050-M-POE-050-IR-C.....	38
Figura 33: Efficienza fotocamera.....	39
Figura 34: Incertezza di misura.....	40
Figura 35: Zone di Conformità e NonConformità.....	40
Figura 36: Schermata home FabImage.....	42
Figura 37: Algoritmi di matching.....	44
Figura 38: Pyramidal Matching.....	45
Figura 39: Trasformata di Hough.....	46
Figura 40: Kernel.....	47
Figura 41: Applicazione filtro kernel.....	47
Figura 42: Rilevamento dei bordi.....	48
Figura 43: Segmentazione e soglia.....	49
Figura 44: Analisi blob.....	49
Figura 45: Algoritmo Acquastop.....	51
Figura 46: Caricamento immagini Acquastop.....	52
Figura 47: Articolo Acquastop.....	52
Figura 48: Filtro di Localizzazione.....	53
Figura 49: Setup filtro Localizzatore.....	53

Figura 50: Filtro Bordo Foro Centrale.....	54
Figura 51: Filtro localizzazione Asola.....	55
Figura 52: Setup filtro ispezione Asola	56
Figura 53: Filtro Passaggio Acqua.....	57
Figura 54: Setup filtro Passaggio Acqua	57
Figura 55: Programma analisi dimensionale Acquastop.....	58
Figura 56: Threshold Acquastop.....	59
Figura 57: Setup filtro FitCircle.....	60
Figura 58: Risultato filtro FitCircle.....	61
Figura 59: Formula per il Diametro del Foro Centrale	61
Figura 60: Programma analisi dimensionale Asola	63
Figura 61: Filtro MeasureObjectWidth	63
Figura 62: Aree di scansione Asola.....	64
Figura 63: Formula Fail o Pass.....	65
Figura 64: Formula operatore logico AND	66
Figura 65: HMI Acquastop.....	67
Figura 66: Algoritmo Ghiera Nera	69
Figura 67: EnumerateImages Ghiera Nera	70
Figura 68: Articolo Ghiera Nera.....	70
Figura 69: Filtro Localizzazione Ghiera Nera	71
Figura 70: Setup filtro di localizzazione.....	71
Figura 71: Difetti estetici schema a blocchi	72
Figura 72: Blob analisi Ghiera Nera	72
Figura 73: Aree Blob Ghiera Nera	73
Figura 74: Filtro LocateObject_Edge1 Ghiera Nera.....	74
Figura 75: Setup filtro LocateObject_Edge1 Ghiera Nera	75
Figura 76: HMI Ghiera Nera grezza	75
Figura 77: HMI Ghiera Nera esempio.....	76
Figura 78: Algoritmo Ghiera Bianca	77
Figura 79: Ispezione estetica Ghiera Bianca.....	78
Figura 80: HMI Ghiera Bianca.....	79
Figura 81: Setup Acquastop	81
Figura 82: Test Acquastop.....	87
Figura 83: Performance algoritmo Acquastop	88
Figura 84: Setup Ghiera.....	89
Figura 85: Test Ghiera Bianca.....	94
Figura 86: Performance algoritmo Ghiera bianca	94
Figura 87: Test Ghiera Nera	98
Figura 88: Performance algoritmo Ghiera Nera.....	99

Bibliografia e Sitografia

1. Normativa ISO 14253-1:2017
2. Opto Engineering “Conoscenze di base”
[<https://www.opto-e.com/it/basics>]
3. Opto Engineering “Sistema di visione”
[<https://www.opto-e.com/it/basics/vision-systems>]
4. Opto Engineering “Algoritmi di visione artificiale”
[<https://www.opto-e.com/it/basics/extras>]