



**Politecnico  
di Torino**

# Politecnico di Torino

Collegio di Ingegneria Meccanica/Aerospaziale – Corso di Laurea

Magistrale in Ingegneria Meccanica

**Tesi di laurea magistrale**

**Sviluppo delle ispezioni ed analisi di affidabilità su sistema automatico di**

**visione per i controlli di qualità**

Sessione di Laurea di ottobre 2022

Relatore

Prof. Paolo De Blasi

Candidato

Umberto Di Menna



1. Introduzione .....	6
1.1 Process Development .....	7
1.2 Vision e Mission .....	8
2. Automazione industriale .....	10
2.1 Sistemi di visione per controllo qualità.....	12
2.1.1 Caratteristiche dei Sistemi di visione .....	13
2.2 Caratteristiche del sistema di visione per radiatori .....	18
2.3 Ciclo di controllo ed elementi costituenti:.....	19
2.3.1 Sistema di movimentazione:.....	21
2.3.2 Organi di presa: .....	22
2.3.3 Sensori di sicurezza: .....	22
2.3.4 Compattatore .....	23
2.3.5 Lettore QR code.....	23
2.3.6 Telecamere .....	23
2.3.7 Illuminatori a LED.....	24
2.3.8 Interfaccia PC .....	26
2.4 Vantaggi.....	27
3. Radiatori e difetti ricorrenti .....	28
3.1 Alette .....	29
3.1.1 Difetti tipici alette.....	29
3.2 Tubi .....	34
3.2.1 Difetti tipici tubi.....	34

3.3 Collettori .....	35
3.3.1 Difetti nei collettori e fianchetti .....	35
4. Ispezioni .....	37
4.1 Approccio nello sviluppo .....	38
4.2 Ispezioni collettori.....	39
4.2.1 Esempio funzionamento per scarto Tubo danneggiato .....	46
4.3 Ispezioni Core .....	47
5. Analisi del sistema di misura MSA .....	54
5.1 Capability .....	57
5.2 Bias.....	58
5.3 Linearità .....	58
5.4 Gage R&R.....	59
5.5 Preparazione MSA.....	61
5.6 Minitab .....	62
5.7 MSA Apertura greche laterali .....	65
5.7.1 Risultati Gage R&R apertura greche.....	67
5.8 MSA Distanza media onde delle alette .....	70
5.8.1 Risultati Gage R&R distanza media onde.....	71
5.9 MSA Larghezza tubi.....	73
5.9.1 Risultati Gage R&R Larghezza tubi .....	75
6. Conclusioni .....	78
7. Riferimenti bibliografici e software .....	80

*A mio padre, esempio di vita ed instancabile bontà.*

*Sarai sempre con me.*

# 1. Introduzione

DENSO Thermal Systems S.p.A. nasce nel 1987, come Magneti Marelli Climatizzazione, quando il Gruppo Fiat e la Magneti Marelli decidono di dedicarsi al settore nascente della climatizzazione del veicolo. Nel 1990 viene avviata una joint venture con DENSO Corporation (all'epoca Nippondenso), già leader mondiale del settore, che permette all'azienda di iniziare una fase di forte espansione, potenziando le strutture di ricerca, costruendo un patrimonio di tecnologia e competenze, rafforzando la propria presenza sui mercati europei, ampliando e moltiplicando le attività ed i siti produttivi. Nel 2001 DENSO acquisisce l'intera proprietà della Società, che assume la denominazione di DENSO Thermal Systems S.p.A. Questo consente all'azienda di entrare a far parte a pieno titolo del Gruppo, leader assoluto a livello mondiale nel settore dei sistemi termici per autoveicoli. DENSO Thermal Systems S.p.A. progetta, sviluppa, produce e vende sistemi di condizionamento, sistemi di raffreddamento motore, scambiatori di calore, radiatori e compressori per auto e veicoli commerciali e industriali, trattori, macchine movimento terra, autobus; è inoltre attiva nella progettazione di Moduli Plancia e Moduli Frontali integrati per autovetture, per i quali svolge anche l'attività di assemblaggio finale. L'Azienda è in continua espansione e crescita e concentra le proprie attività di ricerca e sviluppo prodotto su un'innovazione continua e una costante attenzione alla Qualità. DENSO Thermal Systems S.p.A. fornisce i suoi prodotti ai maggiori produttori di autoveicoli tra cui: Alfa Romeo, Audi, Citroën, Ferrari, Fiat, General Motors, Iveco, Lancia, Maserati, Mercedes, Opel, Peugeot, Renault, Scania, Seat, Toyota e Volkswagen ed anche Caterpillar, CNH Case New Holland, Lamborghini, Massey Ferguson, Piaggio e Same. DENSO Corporation vanta un posto tra le

più potenti, stabili e fruttifere società al mondo, con un fatturato che supera i 42 miliardi di euro e un organico di circa 170.000 dipendenti. Come già accennato in precedenza, Poirino rappresenta l'headquarter di Denso Thermal System S.p.A. Sud Europa.

Nonostante l'articolata struttura organizzativa dei servizi centrali dell'HQ, manca un dipartimento centrale dedicato esclusivamente alla supply chain. Tuttavia, esistono progetti per studiare alcuni processi tipici di SC di cui si occupano enti, quali, ad esempio, il *Material flow*, ai quali ho partecipato attivamente durante questa attività di tirocinio, dando l'opportuno contributo.

## 1.1 Process Development

Il tirocinio è stato svolto nel dipartimento di *Process Development* (PD), più specificatamente nell'ente *Automation & IoT*.

Attraverso le attività del PD si dovrebbe riuscire a definire la combinazione delle diverse variabili e parametri di processo necessarie alla produzione di un determinato prodotto, per passare poi all'industrializzazione vera e propria. Variabili come, per esempio, la tipologia di processo, gli standard qualitativi richiesti, l'asservimento di materie prime e i volumi richiesti dal cliente; da queste variabili vengono poi estrapolati alcuni parametri, come la quantità necessaria di pezzi al giorno e il tempo ciclo che ne deriva, oltre ovviamente al livello di automazione, all'impatto sul layout di fabbrica, ai flussi di materiale.

Al giorno d'oggi risulta chiaro che la qualità dei prodotti non dev'essere testata solo alla fine del processo di produzione o addirittura dal cliente stesso, bensì dev'essere garantita durante tutto il percorso di produzione al fine di

compensare l'effetto *bullwhip*. Proprio per questa ragione, durante il processo di sviluppo, basato su metodi e procedure ben definiti, in contemporanea vengono portate avanti diverse attività di gestione del rischio dal punto di vista qualitativo (D/P-FMEA, QA Net...).

Il processo che viene ideato, quindi, deve dimostrare non solo di essere in grado di produrre i volumi richiesti con la massima efficienza possibile, ma anche di rispettare quelli che vengono chiamati requisiti minimi di qualità, stabili dal cliente stesso. Per questo motivo, al quale si aggiunge la varietà di prodotti e volumi, la diversità dei materiali richiesti e la diversa collocazione della linea di produzione con i propri limiti di layout, ogni nuovo prodotto richiede una squadra dedicata che si occupi del progetto, dalla presa in carico della progettazione all'implementazione della linea nello stabilimento di destinazione della nuova linea.

Il dipartimento Process Development South Europe, con *headquarter* a Poirino (TO) presenta una divisione interna in diverse famiglie professionali: Heat Exchangers, Moulding, Assembly, Automation, oltre a enti meno specialistici ma più trasversali.

Il Team all'interno del quale è stato svolto il tirocinio, diretto dall'ingegnere Alessandro Bellavia, è quello di *Automation & IoT*. Questo distaccamento interagisce in modo trasversale con gli altri enti aziendali in modo da garantire un corretto sviluppo del processo e del livello di automazione necessario.

## **1.2 Vision e Mission**

La filosofia del colosso giapponese, che ha come obiettivo principale quello di assicurare al gruppo la fiducia delle persone in tutto il mondo, è sintetizzata nel motto dell'azienda "*Contributing to a better world by creating value together*

*with a vision for the future*". In queste parole è contenuta la base su cui DENSO Corporation fonda tutta la propria strategia.

Infatti, non solo è una tra le aziende più riconosciute e importanti per quanto riguarda l'attenzione all'ambiente, ma è anche una delle corporation che mette il maggior impegno nel contribuire ad un mondo migliore. Al contrario di molte istituzioni, l'impegno della DENSO non si ferma a grandi campagne di sensibilizzazione, che rimangono comunque fondamentali, ma crea dei veri e propri piani strategici con obiettivi chiari e ben descritti, per poter contribuire attivamente alla salvaguardia ambientale. Ne è un esempio esplicativo il piano "Eco Vision 2025", approvato dal management dell'azienda che pone traguardi notevoli su temi sensibili, come la riduzione delle emissioni e del consumo energetico.

L'intero gruppo, a partire dai più alti livelli del management basa le proprie decisioni e azioni su un approccio coscienzioso, che appare chiaro dalle parole del CEO, Koji Arima, *"To deliver a better future to the next generation, we will reconfirm our significance to society and accelerate efforts toward sustainability management, which has acted as our management ideology since our inception"*.

Le linee guida manageriali del gruppo giapponese hanno come obiettivo principale quello di contribuire alla sostenibilità aumentando l'efficienza e riducendo l'impatto ambientale.

## 2. Automazione industriale

L'automazione è la conversione di un processo di lavoro da manuale ad automatico, non comporta solamente la sostituzione ma anche una riorganizzazione del processo di lavoro.

Al giorno d'oggi siamo giunti alla 4 rivoluzione industriale con la presenza di industrie 4.0. L'industria 4.0 è la trasformazione digitale della produzione, la quale sfrutta: dispositivi IoT, sensori, robotica, dati, AI e sistemi di visione.



*Figura 2.1 Industria 4.0*

L'inserimento di queste nuove tecnologie consente un aumento della produttività favorendo così la crescita economica.

Uno dei problemi risultanti da un aumento della produttività è la riduzione della flessibilità, ad esempio considerando le linee transfert otteniamo un'elevata produzione fino a 4000 pezzi/giorno ma con pochissime varianti di

prodotto, mentre considerando i centri di lavoro abbiamo un'elevatissima flessibilità.

Il livello di Automazione può essere calcolato con la seguente formula:

$$M = \frac{w_u + \sum_{i=1}^n w_i}{n}$$

- $w_i$  : numero operatori diretti assegnati alla stazione  $i$
- $w_u$  : numero operatori indiretti addetti alla linea
- $n$  : numero delle stazioni di lavoro

Con  $M < 1, n > 1, w_i = 0$  otteniamo un sistema a più stazioni completamente automatico.

Con  $1 < M < 1$  abbiamo un sistema ibrido.

Mentre per  $M > 1$  sistemi a più stazioni tutte sorvegliati.

Questo lavoro di tesi è concentrato sui sistemi di visione per controllo qualità, essi aumentano il livello di automazione in quanto vanno a sostituire il controllo qualità fatto manualmente da un operatore con un controllo automatico.

Generalmente questo tipo di sistemi è presente end of line, in quanto vanno a verificare che i componenti prodotti rispettino le caratteristiche in termini qualitativi e strutturali. Possono essere a braccio robotico oppure inseriti direttamente sulla linea, nell'ultimo caso parliamo di telecamere fisse posizionate nei punti da ispezionare. Il componente in caso di telecamere fisse raggiunge la telecamera mediante sistemi di movimentazione automatizzati.

## 2.1 Sistemi di visione per controllo qualità

Le prime operazioni sulle immagini risalgono alla fine degli anni 60 ma nei decenni successivi sono stati prodotti i primi studi sulla visione nel campo della robotica.

I sistemi di visione per il controllo della qualità nascono per automatizzare il processo di rilevazione delle non conformità, mediante l'acquisizione di immagini ed elaborandole con specifici algoritmi sviluppati. Le immagini sono acquisite in posizioni del componente che risultano critiche in termini funzionali ma anche estetici.

Nei controlli su parti meccaniche troviamo diverse applicazioni, a seconda degli algoritmi sviluppati possono essere verificate diverse tipologie di difetto come:

- Presenza/assenza di componenti
- Controlli dimensionali tramite analisi di Pixel
- Controlli di integrità e eventuale presenza di difetti dovuti al processo produttivo
- Presenza di difetti superficiali

Applicazione differente dei sistemi di visione è quella per il monitoraggio dell'usura degli utensili in utilizzo durante le lavorazioni. Grazie a questo tipo di sistemi di visione possiamo garantire sempre un'ottima qualità della superficie lavorata, andando a sostituire l'utensile quando danneggiato oppure, abbinando il sistema di visione con controlli adattivi, facendo variare i parametri di lavorazione a seconda del livello di usura.

### 2.1.1 Caratteristiche dei Sistemi di visione

Le caratteristiche di un sistema di visione dipendono dal tipo di applicazione, il componente principale è la telecamera che dovrà essere integrata con sistemi di illuminazione, Hardware e Software e sistemi di comunicazione.

Componenti di un sistema di visione:

- Telecamere e ottiche:

Le telecamere permettono la cattura dell'immagine la quale viene proiettata sul sensore e mediante l'interfaccia di comunicazione con PC è possibile visualizzare le immagini e tenerle in memoria. I sensori (elementi fotosensibili) utilizzati sono in grado di accumulare la luce riflessa dal componente e trasformarla in un segnale elettrico. La disposizione di questi sensori definisce la differenza tra telecamere matriciali (disposti a matrice) o lineari (disposti lungo una linea).

Le telecamere matriciali permettono l'acquisizione di un'area data da  $N \times M$  pixel.

Le telecamere lineari permettono l'acquisizione bidimensionale ma in questo caso dobbiamo avere il movimento relativo tra telecamera-componente, in confronto alle telecamere matriciali si riesce ad ottenere una risoluzione maggiore.

- Sistema di illuminazione:

Il sistema di illuminazione è uno dei componenti più critici dei sistemi di visione, esso permette la corretta acquisizione dell'immagine grazie ad una corretta esposizione. Un'errata illuminazione può portare ad una perdita di informazione ed una diminuzione della produttività.

I principali tipi di illuminazione sono: LED, fibra ottica e fluorescente. A seconda del tipo di applicazione viene utilizzato uno rispetto all'altro.

1. La fibra ottica è un dispositivo costituito da filamenti di vetro o polimero, realizzati in modo da poter condurre al loro interno la luce sino ad un adattatore che in genere sono a forma di lampade lineari. Il vantaggio di utilizzare questo tipo di illuminazione sta nel fatto che i fasci di fibre ottiche non conducono né calore né elettricità.



*Figura 2.2 illuminatore*



*Figura 2.3 fibra ottica*

2. L'illuminazione fluorescente è il sistema più comune di illuminazione ma a causa delle limitate forme non trova molto impiego nei sistemi di visione.
3. I diodi Led sono la fonte più comune utilizzata al giorno d'oggi per i sistemi di visione industriali. Le differenze tra le varie applicazioni sono: il colore con viene illuminato il componente ed il relativo potere di penetrazione ed il modo di illuminare, in quanto si deve tener conto dei fenomeni di riflessione, rifrazione e reazione. L'intensità durante il ciclo di ispezione è tenuta stabile per avere una ripetibilità nel tempo. Il modo

più comune di illuminazione è quello diretto dove i led di emissione sono posizionati su superfici di forma quadrata, circolare o lineare.



*Figure 2.4 illuminatore Led*

- Interfaccia uomo-macchina:

L'interfaccia permette di andare a sviluppare ed eventualmente modificare le ispezioni sviluppate, gestire i vari allarmi derivanti dal sistema di visione e scegliere il tipo di produzione. Generalmente la scelta del tipo di produzione avviene in maniera automatica mediante sistemi di riconoscimento del componente, ad esempio lettura QRcode e comunicazione con il server.

- Comunicazione:

L'utilizzo dei sistemi di visione avviene in produzione, per tenere traccia degli elementi scansionati si utilizza una connessione Ethernet che permette lo scambio di dati. La comunicazione è composta anche da ingressi e uscite digitali ai quali l'utilizzatore può collegare fotocellule, segnali di uscita per la distinzione pezzo OK/KO

- Componente da analizzare

Tipicamente questi sistemi di visione sono collegati tramite PLC a sistemi di movimentazione automatica e di ancoraggio che permettono il corretto posizionamento del componente durante la fase di ispezione.

Le immagini acquisite vengono elaborate mediante software che comprende particolari algoritmi di analisi e calcolo, i quali permettono di enfatizzare ed individuare le non conformità.

Un tipico utilizzo di questi sistemi è quello in cui le telecamere sono posizionate su un braccio robotico antropomorfo, utilizzato per componenti tridimensionali non simmetrici, in questo caso il sistema di movimentazione avvicina il componente da ispezionare al braccio robotico, successivamente il componente si ferma ed il braccio robotico mediante la programmazione raggiunge le posizioni critiche in cui si vuole andare ad ispezionare, acquisendo così le immagini. Il sistema di illuminazione nel caso di braccio robotico è integrato o adiacente alla telecamera.

La movimentazione dei componenti all'interno della macchina può essere gestita separatamente mediante una linea automatizzata gestita da PLC oppure mediante un'unica soluzione integrando movimentazione robot e linea. Il robot in figura 2.2 è utilizzato per andare a valutare presenza/assenza di componenti in un sistema HVAC, il robot raggiunge le posizioni programmate e valuta, ad esempio, la presenza di un attuatore, di guarnizioni o di viti.

Questo tipo di sistema permette di controllare il 100% dei componenti, garantendo standard di qualità elevatissimi.



*Figura 2.5 Sistema di visione con braccio robotico*

L'introduzione dei sistemi di questo tipo di sistemi all'interno dell'azienda garantisce un aumento del livello di automazione della linea produttiva, inoltre il funzionamento è indipendente da possibili condizioni critiche esterne in cui l'uomo non potrebbe lavorare. I vantaggi dei sistemi di visione sono: in termini di costo andando a risparmiare sui costi di manodopera, riducono i tempi di controllo per singolo componente e garantisce il controllo del 100% dei componenti ottenendo uno standard di qualità del prodotto finito elevato.

## 2.2 Caratteristiche del sistema di visione per radiatori

Il sistema di visione per radiatori è stato sviluppato per rilevare i difetti visibili presenti su di essi in quanto possono influenzare il corretto funzionamento, ad esempio: lo schiacciamento delle alette non permette un corretto flusso di aria attraverso di esse, un tubo chiuso non permette il passaggio di fluido, una greca sul collettore rotta o deformata non permette un corretto fissaggio del radiatore sulla struttura.

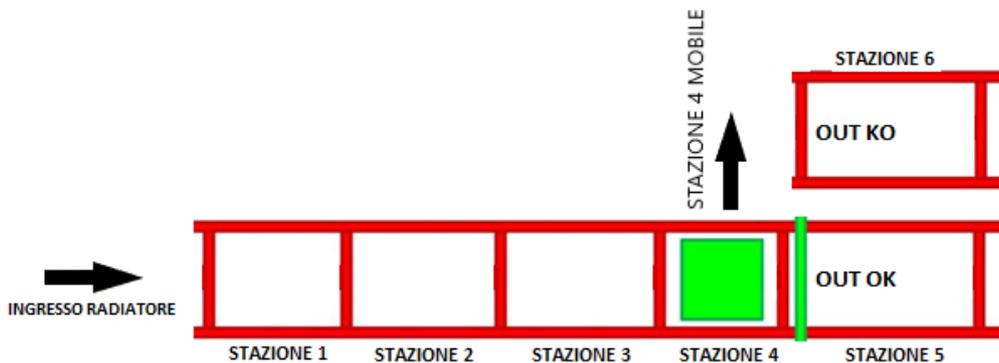
La progettazione di questo particolare sistema rispetto ad un classico sistema di visione è basata sul fatto che i radiatori sono simmetrici e posso essere approssimati come elementi bidimensionali. Tenendo quindi conto della forma, l'opzione migliore in termini di produttività e di affidabilità risulta quella con telecamere fisse e sistema di movimentazione separato comandato da plc.



*Figura 2.6 Core e collettore radiatore*

## 2.3 Ciclo di controllo ed elementi costituenti

Il ciclo di controllo può essere descritto facendo riferimento alle stazioni attraverso le quali transita il radiatore.



*Figura 2.7 Percorso di transito*

- Stazione 1: Dove avviene il posizionamento del radiatore da parte dell'operatore, mediante un sensore viene rilevata la presenza del radiatore, il sensore abilita il pulsante di avvio del ciclo.
- Stazione 2: Il radiatore transita dalla stazione 1 alla 2 fermandosi prima di arrivare alla stazione 3 grazie ad una lama mobile che nel momento di transito tra le due stazioni si trova in posizione alta per permettere il blocco del radiatore. Successivamente viene posizionato in battuta su una guida laterale mediante un compattatore che rileva la sua larghezza. Rilevata correttamente la larghezza la lama separatrice (2-3) si abbassa ed avviene la scansione del QR code che permette al sistema di riconoscere il modello ed impostare le specifiche ispezioni presenti nel server da utilizzare.

- Stazione 2-3: Scansionato il QR Code il radiatore transita nella stazione 3, durante l'attraversamento avviene la scansione dei collettori laterali mediante due telecamere e due led posizionati adiacenti alle telecamere.
- Stazione 3: In questa stazione il componente viene bloccato di nuovo da una lama mobile ed afferrato mediante un sistema di presa composta da due bracci che lo sollevano permettendo la contemporanea illuminazione e scansione prima della parte inferiore ed a seguire della parte superiore del Core.
- Stazione 4: Terminate le scansioni il radiatore transita nella 4 stazione che in questo caso è mobile in direzione ortogonale a quella di transito per permettere lo scarico nella stazione 5 in caso di pezzo OK oppure nella stazione 6 in caso di pezzo KO.
- Stazione 5: Stazione di scarico per pezzi OK, presenta un sensore di presenza per bloccare un nuovo scarico in caso di presenza di un componente non ancora prelevato.
- Stazione 6: Stazione di scarico per pezzi KO, con sensore di presenza.

Gli elementi costituenti vengono suddivisi in funzione del tipo di gestione. Nello specifico possiamo trovare una prima parte gestita dal PLC, composta da: sistema di movimentazione, sensori di sicurezza, lettore QR code, compattatore ed un sistema di presa.

La seconda parte è composta da quattro telecamere e sistemi di illuminazione a LED che permettono l'acquisizione delle immagini su un Computer installato a bordo macchina.

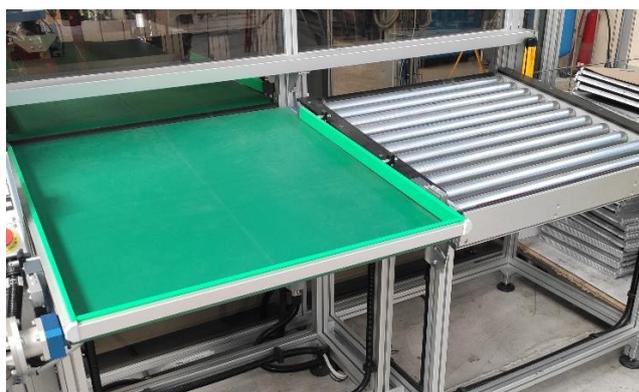
### 2.3.1 Sistema di movimentazione

Composto da quattro nastri trasportatori azionati da motori elettrici e vite a ricircolo di sfere. Il materiale costituente non è lo stesso per tutti i nastri; infatti, possiamo trovare nella stazione di ingresso, uscita (good) e presa un tappeto con un elevato coefficiente di attrito per non permettere al componente di scivolare. Nella stazione 2 dove è presente il compattatore, necessario per verificare la larghezza del pezzo, il nastro installato permette il movimento relativo con il componente. Unica stazione non motorizzata è quella di uscita (not good) in cui sono presenti dei rulli metallici che permettono lo scorrimento del pezzo.

Tutta la movimentazione è gestita tramite PLC, l'azionamento del ciclo avviene in maniera manuale premendo il pulsante di avvio presente nella stazione 1. Il pulsante si attiva grazie ad un sensore di presenza che rileva il radiatore in posizione.



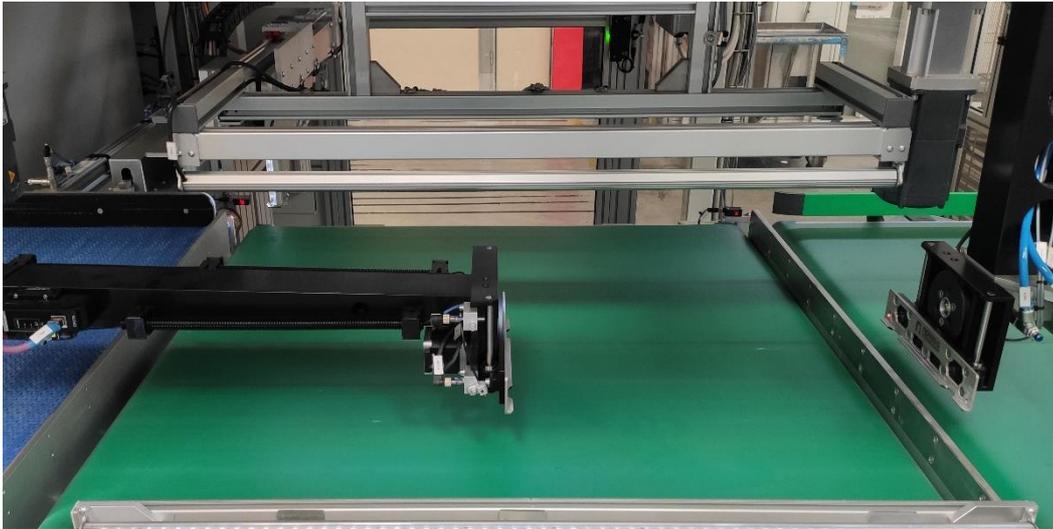
*Figura 2.8 Ingresso*



*Figura 2.9 Uscita OK/KO*

### 2.3.2 Organi di presa

Il sistema di presa è composto da due bracci con un end effector mobile che permette la movimentazione del componente lungo la direzione verticale.



*Figura 2.10 Organi di presa*

### 2.3.3 Sensori di sicurezza

I sensori di sicurezza sono posizionati per evitare collisioni durante la movimentazione del radiatore. Troviamo sensori di presenza e di blocco. I sensori di presenza rilevano il componente in ingresso per avviare il ciclo e la presenza in uscita per evitar di mandare un ulteriore radiatore prima di aver rimosso quello presente. I sensori di blocco sono posizionati tra le stazioni 1-2 e 4-5,6 questo permette di lavorare in sicurezza in quanto in ingresso evita di caricare più di un componente contemporaneamente ed in uscita evita di movimentare un ulteriore componente prima di rimuovere il precedente. Il sistema quando rileva la presenza del radiatore sia nei sensori di presenza che di blocco ferma il ciclo in quanto rileva la presenza di due componenti caricati

contemporaneamente, prima del riavvio necessita di un ripristino della barriera togliendo il radiatore in eccesso.

#### **2.3.4 Compattatore**

Nella stazione due troviamo un compactatore utilizzato per valutare la larghezza del radiatore e di posizionarlo correttamente grazie al riferimento dato da due piani: divisore stazione 2-3 mobile (apre una volta nota la larghezza) fine corsa del radiatore in transito da 1 a 2 e guida laterale dove il componente viene posto a contatto mediante il compactatore.

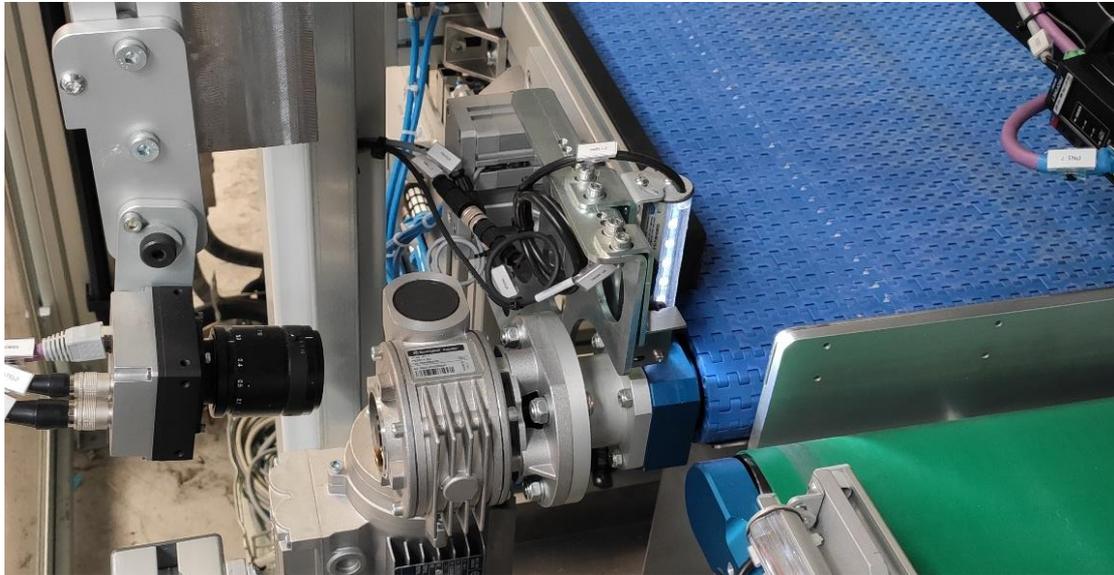
#### **2.3.5 Lettore QR code**

Installato tra la stazione 2-3, una volta compactato il radiatore e riconosciuto in termini di larghezza viene scansionato il QR code presenta sul fianchetto, questo permette l'acquisizione al sistema di visione del modello e le relative ispezioni da utilizzare.

#### **2.3.6 Telecamere**

Le telecamere utilizzate, tutte dello stesso modello, sono di tipo lineare, testate con diversi livelli di risoluzione in modo da trovare la relazione ottimale tra definizione e dimensione dell'immagine. Data la dimensione dei radiatori, in acquisizione otterremo come risultante una serie di immagini con un grado di sovrapposizione per rimanere in sicurezza in caso di piccoli spostamenti durante la manipolazione. La distanza di posizionamento delle telecamere è

stata scelta per ottenere circa pixel quadrati in modo da ottenere immagini il più attinenti alla realtà.



*Figura 2.11 Telecamera lineare*

### **2.3.7 Illuminatori a LED**

Il sistema di illuminazione è composto da LED lineari, posizionati adiacenti alle telecamere per permettere una corretta illuminazione dei radiatori. Nella fase di test nel settaggio della luce, oltre la distanza e l'intensità è stata fatta variare la lunghezza d'onda, in quanto materiali diversi hanno una differente assorbanza da cui dipende anche la loro riflettività. La figura 2.12 mostra come varia l'assorbanza in funzione della lunghezza d'onda, si nota che per alcuni materiali come il cromo la differenza è sostanziale.

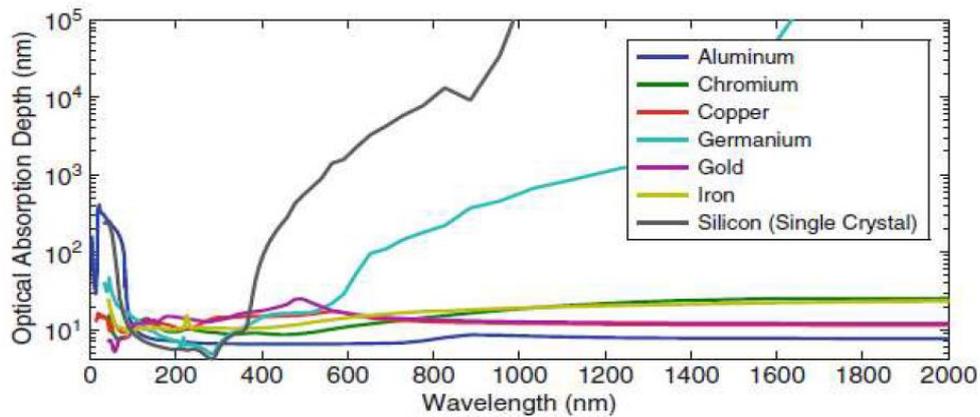


Figura 2.12 Assorbanza in funzione della lunghezza d'onda

Come si può notare l'alluminio, materiale di cui sono fatti i radiatori in esame, non presenta particolari lunghezze d'onda che fanno variare di molto l'assorbanza. Nelle prove eseguite nessuna lunghezza ha portato ad un evidente miglioramento del contrasto; quindi, è stato utilizzato un illuminatore bianca fredda (4000K).

Inoltre, sono state svolte prove in diverse condizioni di illuminazione esterna variabile ma grazie al tipo di LED utilizzato ed alle telecamere lineari, il risultato in termini di qualità della foto acquisita non risulta influenzato dalle variazioni esterne.

In figura 2.13 è mostrato l'illuminatore led fisso, presente tra la stazione 2-3 che permette l'illuminazione del collettore laterale durante il transito. Simmetricamente a questo led ne è presente un altro per l'illuminazione del collettore opposto, l'unica differenza tra i due illuminatori è che il secondo è mobile in quanto si adatta a seconda della larghezza del modello di radiatore scansionato. L'informazione su quanto distanziarsi dal radiatore viene acquisita durante la fase di compattamento del radiatore, riconoscendo la larghezza del modello.



*Figura 2.13 Illuminatore LED*

### 2.3.8 Interfaccia PC

Troviamo un monitor posizionato sulla struttura esterna della macchina, una volta avviato il sistema apparirà l'interfaccia figura 2.14 con cui l'operatore può gestire il sistema.



*Figura 2.14 Interfaccia di avvio*

Il sistema permette accedere a varie funzioni: ciclo automatico necessario per l'avvio del ciclo di scansione, tool per le generazioni delle ispezioni, comunicazione con il server, manuale uso e manutenzione.

## 2.4 Vantaggi

Utilizzare un sistema di visione per controlli di qualità garantisce diversi vantaggi. I vantaggi maggiori sono: poter controllare tutti i componenti 100% della produzione in modo da garantire la conformità di tutti i componenti, diminuire i tempi di controllo e quindi aumentare la produttività.

Altri vantaggi:

- Evita errore umano
- Controlli più precisi
- Riduzione del numero di dipendenti dedicati al controllo qualità
- Maggiore produttività
- Storage delle immagini acquisite
- Controllo usura utensili
- Controllo processi produttivi
- Controllo di qualità materiali

### 3. Radiatori e difetti ricorrenti

Presente nei motori con raffreddamento a liquido, rappresenta il cuore dello scambio termico. Lo scopo è quello di dissipare il calore posseduto dal liquido motore in circolo nell'impianto.

Gli elementi costituenti di un radiatore sono:

- Tubi: utilizzati per far circolare il liquido presente nell'impianto e permettere lo scambio termico.
- Vasche: permettono l'estrazione o introduzione del liquido attraverso il collettore.
- Blocco radiante: costituito da alette, permettono di avere una superficie di scambio maggiore e quindi aumentano il flusso termico scambiato.

$$\dot{Q} = hA(T_p - T_f)$$

- Fianchetti e collettori: Contengono le alette ed i tubi, nel collettore troviamo una serie di fori dove verranno inseriti i tubi all'interno, l'accoppiamento tra tubo e foro dovrà essere a tenuta ovvero privo di perdite durante l'esercizio. Inoltre, nel collettore sono presenti le greche laterali che permettono l'ancoraggio delle vasche. I fianchetti invece costituiscono la chiusura del radiatore, sono a contatto con l'ultima aletta e vengono fissati ai collettori con apposite linguette.

## 3.1 Alette

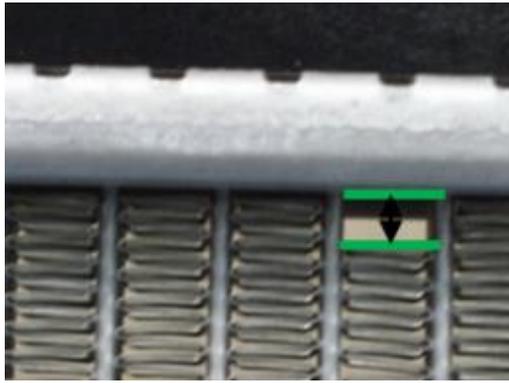
Le alette utilizzate in ambito automotive sono costituite generalmente da leghe di Alluminio, il loro scopo è quello di favorire lo scambio termico ma anche di fornire un supporto strutturale al radiatore.

La particolare conformazione delle alette utilizzate “Aletta corrugata con persiane” consente di ottenere il moto turbolento del fluido che le attraversa e quindi aumentare lo scambio termico.

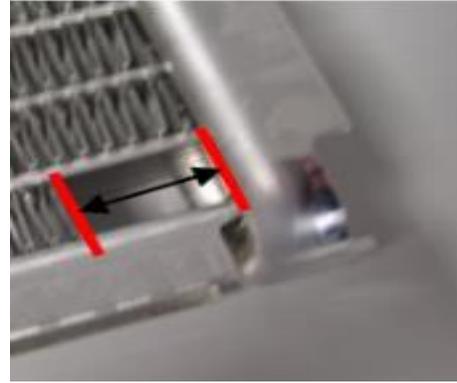
### 3.1.1 Difetti tipici alette

Le cause principali dei difetti riscontrati nelle alette possono essere ricondotte al processo di assemblaggio oppure a fattori esterni come ad esempio un urto.

- Aletta corta: In questo caso l'aletta, a causa di un processo non conforme, non riesce ad arrivare ad una distanza con il collettore necessaria per il giusto funzionamento. La possibile causa è il non corretto funzionamento del deviatore alette all'avvio dell'impianto (condizione non a regime). Il difetto può essere presente al centro pacco oppure agli angoli. La dimensione ammissibile per questo tipo di difetto è fino a 5mm.

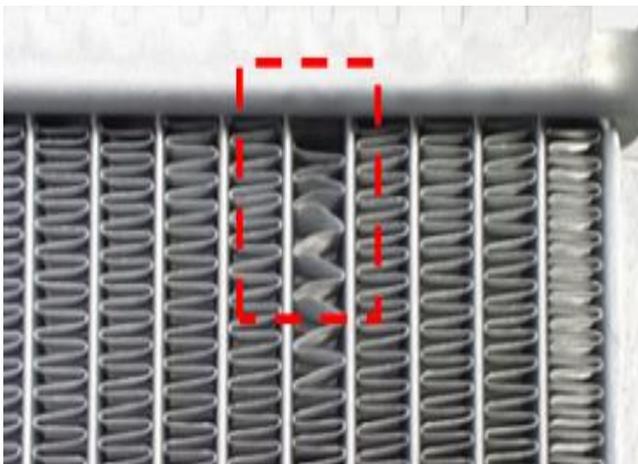


*Figura 3.1 Aletta corta centro pacco*

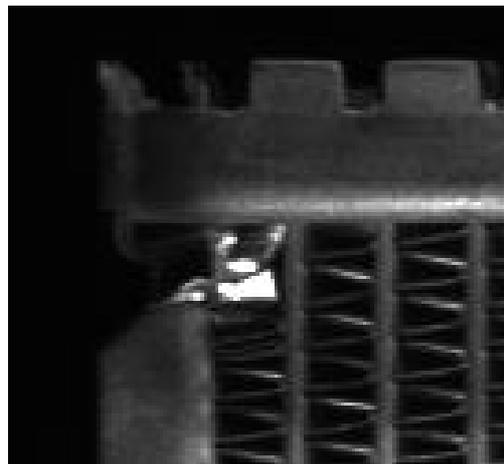


*Figura 3.2 Aletta corta angolo*

- Aletta pizzicata/tirata: Difetto relativo al processo di assemblaggio, le alette vengono inserite nel piano di formazione del pacco con una velocità non corretta provocando o una rotazione dell'aletta a contatto con il collettore (aletta pizzicata) oppure un passo irregolare nella zona adiacente al collettore (aletta tirata). Questi difetti non sono accettati.



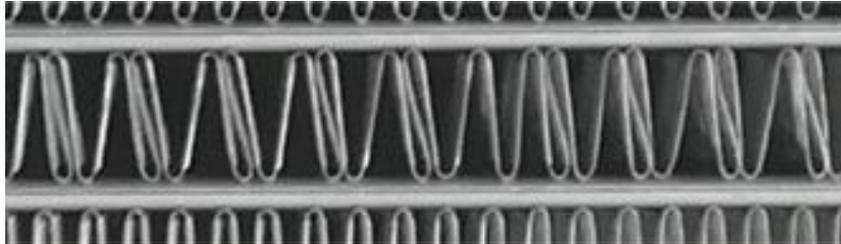
*Figura 3.3 Aletta tirata*



*Figura 3.4 Aletta pizzicata*

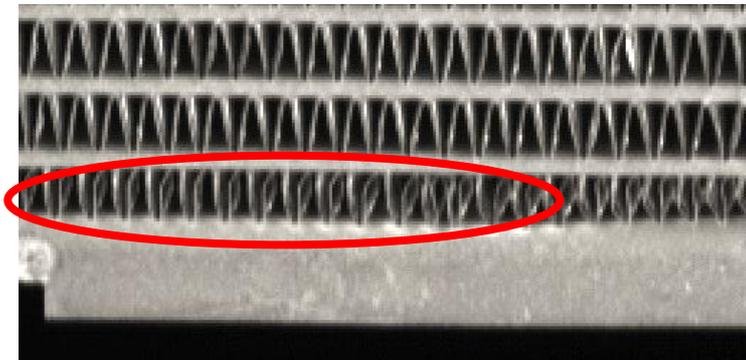
- Passo irregolare: Relativo al processo di assemblaggio, la velocità non corretta di inserimento provoca un passo non regolare dell'aletta che

comporta un difetto estetico e funzionale. Difetto ammesso fino a tre alette nel pacco radiante.



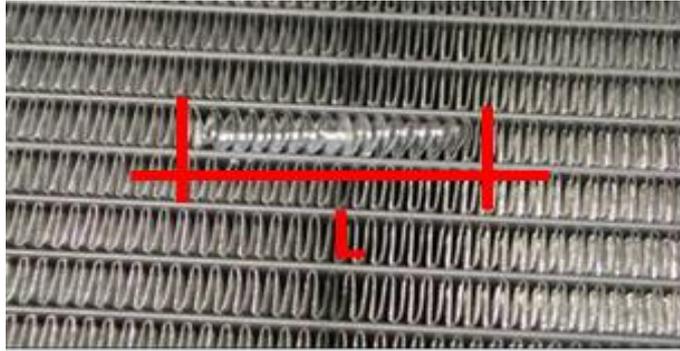
*Figura 3.5 Passo irregolare*

- Aletta collassata: In questo caso il difetto è imputabile ad un urto esterno, il quale danneggia il fianchetto e rende l'aletta collassata. Questo tipo di difetto è ammesso fino ad una lunghezza di 4 cm.



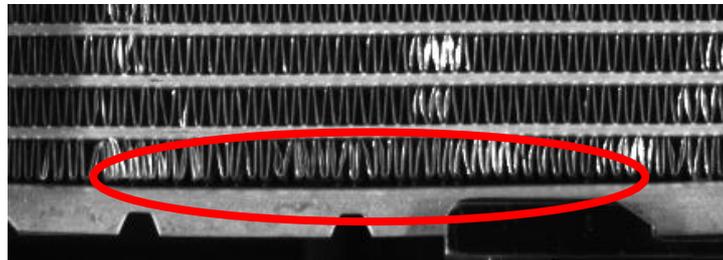
*Figura 3.6 Aletta collassata*

- Aletta ammaccata: Riscontrabile in radiatori che subiscono urti sul pacco radiante, in questo caso la pressione esterna dovuta all'urto o ad una forza esterna deforma le alette facendole risultare schiacciate, impedendo così il corretto passaggio del flusso di aria tra di loro. La dimensione ammissibile è di  $L < 2$  cm.



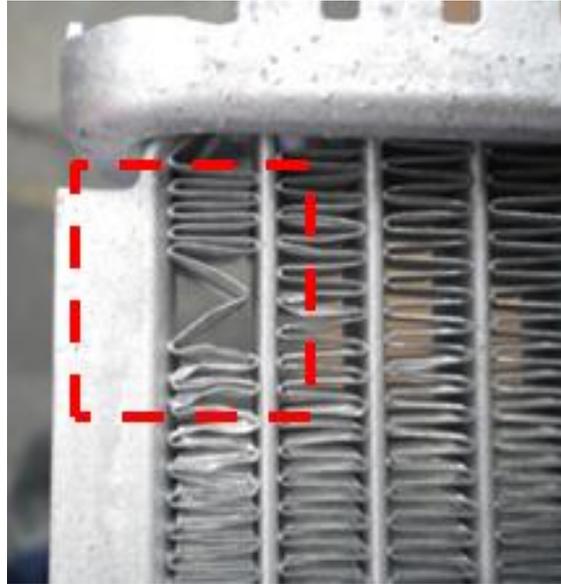
*Figura 3.7 Aletta ammaccata*

- Aletta non saldata al tubo/fianchetto: La mancata brasatura tra tubo ed aletta determina un difetto funzionale non ammesso, le principali cause sono due: la prima, una velocità del tappeto troppo elevata mentre la seconda dovuta alla temperatura del processo di brasatura troppo elevata ( $>650^{\circ}\text{C}$ ).



*Figura 3.8 Aletta non saldata*

- Aletta con buchi: L'aletta presenta due onde adiacenti con un passo maggiore rispetto alle altre, questo tipo di difetto non è accettato.



*Figura 3.9 Aletta con buchi*

Le alette risultano il componente più critico all'interno di un radiatore, sia durante il processo produttivo sia durante la movimentazione. Infatti, piccoli urti o leggere pressioni possono causare: deformazioni e buchi.

Il caso peggiore risulta l'aletta collassata, difetto dovuto ad un urto in direzione del fianchetto, il radiatore anche subendo piccoli urti può essere considerato scarto in quanto l'area collassata risulta estesa.

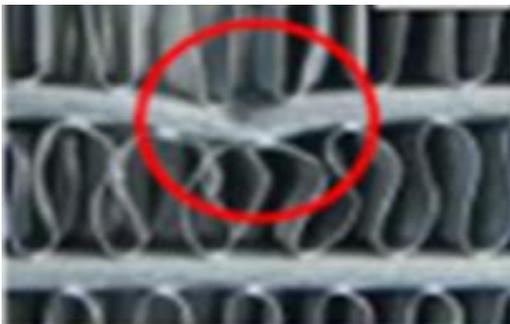
## 3.2 Tubi

Lo scopo principale dei tubi è quello di far circolare il fluido motore caldo all'interno del circuito, raffreddandolo mediante scambio termico con il fluido esterno. Focalizzandoci sui radiatori, i tubi utilizzati hanno una sezione trasversale semplice, con la presenza di avvallamenti in tutta la lunghezza del tubo per ottenere un moto turbolento del fluido ed aumentare lo scambio termico.

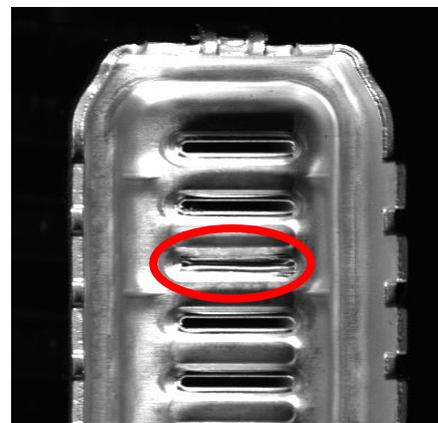
### 3.2.1 Difetti tipici tubi

Le cause principali dei difetti nei tubi possono essere di natura esterna o intrinseci al processo.

- Ammaccatura tubi: Difetto funzionale, non accettato in alcun range. La deformazione è causata da un urto con un oggetto esterno. Nel caso di accoppiamento con il collettore un difetto comune è la mancata brasatura del tubo sul collettore.



*Figura 3.10 Tubo ammaccato*



*Figura 3.11 Tubo non brasato*

### 3.3 Collettori

I collettori sono costituiti da una serie di asole dove vengono collegati ai tubi e dalle greche laterali necessarie per l'aggraffatura delle vasche. Inoltre, la loro funzione è strutturale ovvero di contenere le alette che costituiscono il Core del radiatore.

#### 3.3.1 Difetti nei collettori e fianchetti

Tutti i difetti riscontrati nei collettori o nei fianchetti sono riconducibili ad urti esterni o alla presenza di materiale residuo dovuto al particolare processo di produzione.

- Greca laterale/superiore deformata: Non permette il corretto collegamento con le vasche laterali, la deformazione è causata da urto. Il range di accettabilità del difetto è quello che permette l'aggraffatura.

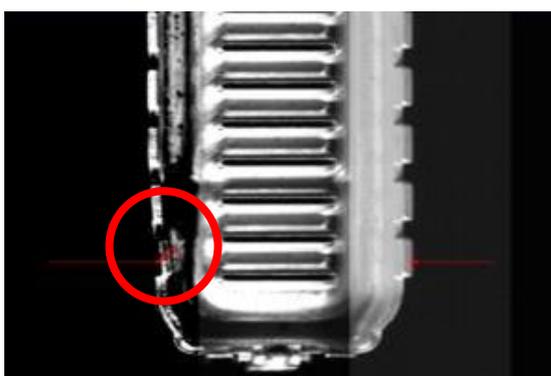


Figura 3.12 Greca laterale chiusa

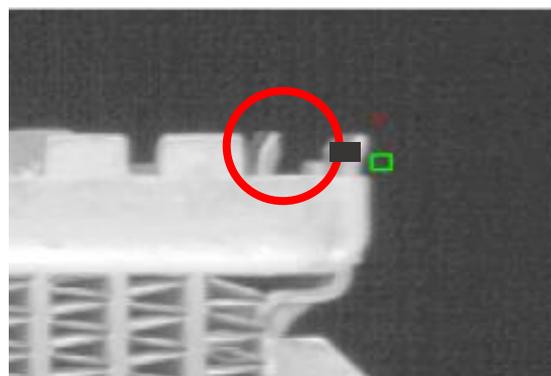


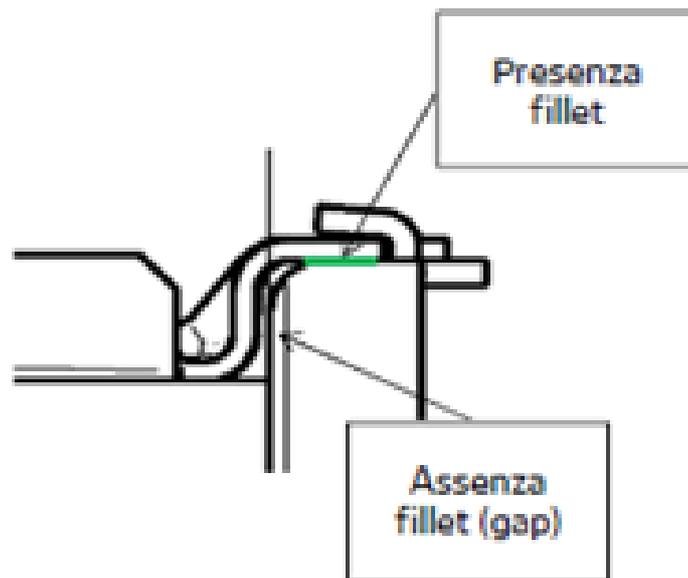
Figura 3.13 Greca di testa chiusa

- Presenza di flussante: La presenza di flussante sul collettore è dovuta ad un'anomalia di processo, dovuta ad una differente composizione chimica della soluzione lasciando così residui sul collettore.



*Figura 3.14 Presenza flussante*

- Fianchetto deformato: Difetto legato ad una mancata brasatura (assenza fillet) tra il collettore ed il fianchetto, o dovuto ad urto esterni.



*Figura 3.15 Brasatura fianchetto-collettore*

## 4. Ispezioni

Gli algoritmi necessari per le ispezioni sono stati sviluppati individualmente a seconda della tipologia di radiatore, ovvero tenendo conto della differenza strutturale tra i vari modelli dei radiatori.

Le differenze strutturali dei collettori sono: larghezza e lunghezza collettore, numero di tubi e dimensione dei tubi.

Gli algoritmi sviluppati fanno riferimento a due modelli di radiatori, nella seguente tabella sono riportati i target pre-sviluppo delle ispezioni e le attuali ispezioni implementate:

Dettagli controlli	TARGET	Modello 1	Modello 2		
1 Distanza aletta/collettore					
2 Schiacciate					
3 Collassate					
4 Passo irregolare					
5 Aletta pizzicata					
6 Alette tirate					
7 Alette deformata con buchi					
8 Accoppiam. con collettore					
9 Tubo Deformato					
10 Sfridi					
11 Dente greca laterale deformato				<b>Fattibilità controlli</b>	
12 Dente greca di testa deformato				Fattibilità OK	12
13 Aletta fuori dal piano pacco				Fattibilità KO	2
14 Danneggiamenti tubi pacco				In sviluppo (*)	2
15 Aletta non saldata				(*) Analisi affidabilità in corso	
16 Clogging					

Tabella 1: Controlli OK/KO

Il controllo effettuato sul radiatore da parte della macchina consiste in una sequenza di operazioni. Ogni operazione internamente prevede la possibilità di far variare parametri di configurazione, alcuni sono standard e validi per tutti i test mentre altri sono specifici.

La prima operazione comune per tutte le ispezioni è l'acquisizione dell'immagine che nella fase di costruzione degli algoritmi viene caricata da

immagini salvate, mentre durante il ciclo automatico di lavoro viene acquisita dalle telecamere.

Le operazioni effettuate hanno due finalità diverse, la prima è quella di modificare l'immagine per evidenziare una caratteristica di forma o di presenza materiale esterno mentre la seconda è quella di individuare la caratteristica determinata e determinare in base alle caratteristiche se essa è uno scarto o un pezzo buono.

Gli scarti vengono comunicati al PLC che determina l'uscita del pezzo nel reparto OK o KO. La comunicazione con il PC permette il salvataggio delle immagini processate e la successiva analisi per effettuare debug o migliorie.

#### **4.1 Approccio nello sviluppo**

L'immagine inizialmente acquisita non presenta caratteristiche omogenee in quanto alcune zone saranno maggiormente in ombra, altre più riflettenti ed altre con disturbi di fondo.

La grande difficoltà è stata quella di rendere le ispezioni sviluppate sul modello utilizzabili al variare delle caratteristiche del radiatore dovute a processi produttivi diversi o a caratteristiche del materiale differente.

Materiali leggermente differenti o processi di produzione differenti per lo stesso componente causano una variazione in termini di riflettività del radiatore.

L'idea di base è stata quella di rendere il materiale in termini di esposizione omogeneo, i tools disponibili conferiscono la possibilità di modificare l'immagine acquisita ma non riescono a renderle tutte completamente uniformi.

Quindi per sviluppare le ispezioni adattabili a tutte le variabilità sono stati eseguiti una serie di operazioni con dei particolari filtri presenti nel Tool Denso.

## 4.2 Ispezioni collettori

La dimensione dei collettori risulta essere maggiore della dimensione di acquisizione dell'immagine da parte delle telecamere; quindi, è stato necessario sviluppare ispezioni per ogni immagine acquisita dalla telecamera. Il numero di immagini analizzato varia proporzionalmente alla lunghezza del collettore.

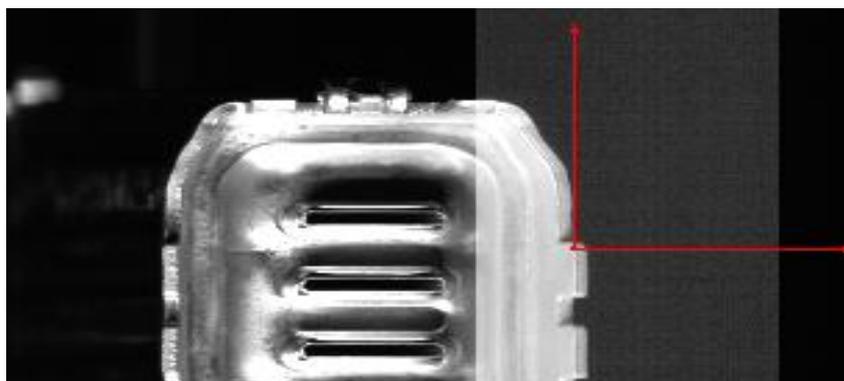
La prima operazione è ricorrente per tutte le ispezioni e consiste nell'acquisire un'immagine master su cui sviluppare le ispezioni (figura 4.1). Durante la fase di passaggio del radiatore viene acquisita di volta in volta l'immagine da analizzare e su quella vengono effettuate tutte le operazioni create sull'immagine master nella sequenza riportata, permettendo così di rilevare i difetti precedentemente elencati.

0. Acquisizione immagine:



*Figura 4.1 Acquisizione immagine*

1. Il primo passaggio consiste nell'andare ad enfatizzare le greche laterali, questa operazione è stata svolta grazie a dei filtri che permettono di variare l'esposizione di tutta l'immagine o in determinate posizioni.
2. Una volta enfatizzate le greche laterali è stata individuata una di esse mediante una funzione permette di rilevare regioni di immagini che corrispondono ad un modello predefinito, il modello deve esse creato su un'immagine campione. Nello specifico è stata utilizzata per la ricerca della prima greca laterale su cui poi fissare un sistema di riferimento.
3. Individuate la greca è stato fissato un sistema di riferimento in base alla posizione e orientamento di un elemento, dove è necessario definire un'origine. Il sistema di riferimento è stato posizionato sulla greca laterale individuata nella seconda operazione. Tutte le operazioni saranno riferite a questo sistema di riferimento, per evitare errori nelle analisi successive.



*Figura 4.4 Sistema di riferimento su greca*

4. Prima di passare all'analisi, l'immagine acquisita è stata resa omogenea in termini di esposizione in modo da poter applicare al meglio i successivi filtri.
5. L'ultima operazione sull'immagine in scala di grigi è stata la misurazione della distanza tra le greche. In questo caso l'ispezione individua tutte le coppie di greche e ne misura la distanza. I limiti imposti nei parametri per definire un pezzo buono (OK) o scarto (KO) sono il limite massimo che rappresenta una greca aperta ed il limite minimo che rappresenta una greca chiusa.



*Figura 4.5 Greca OK*



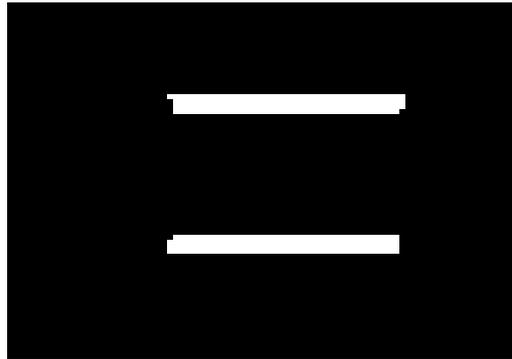
*Figura 4.6 Greca KO*

6. Passando all'analisi dei tubi è stato necessario trasformare l'immagine in binaria, regolando i pixel che si trasformeranno in bianco e quali in nero, i valori variano da 0 (nero) a 255 (bianco). Questo filtro è stato applicato per enfatizzare i fori dei tubi e permettere le successive operazioni.
7. Eliminazione residui dovuti da ombre, grazie alla disegnazione di elementi geometrici. L'utilizzo è necessario in quanto nella trasformazione in binaria alcune zone del collettore che si trovano in ombra provocano dei residui di pixel bianchi confondibili con i fori dei tubi e quindi sono stati eliminati.
8. Eliminazione particelle esterne dovute a rumori di fondo grazie ad un particolare filtro che permette l'eliminazione delle particelle di dimensione minore.



*Figura 4.10 Immagine filtrata*

9. Durante le fasi precedenti i tubi potrebbero essere stati modificati dai filtri quindi la necessità era quella di ottenere l'immagine binaria che rappresenti fedelmente l'immagine originale, per lo scopo è stato utilizzato un filtro che permette di riempire i piccoli fori dovuti a pixel mancanti.

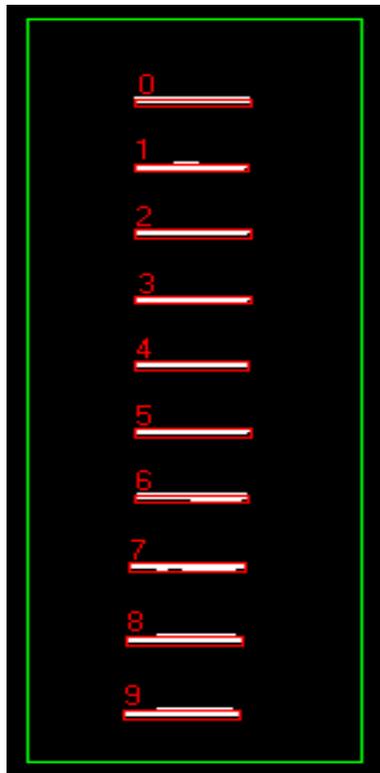


*Figura 4.11 Riempimento fori*

10. Ricostruita l'immagine è stato necessario andare ad enfatizzare tubi chiusi o socchiusi, per raggiungere questo obiettivo è stato utilizzato un filtro che permette di enfatizzare le deformazioni dei tubi che quindi risulteranno divisi in due parti all'interno dell'immagine binaria e saranno individuabili con le successive operazioni. La stessa operazione evidenzia anche la presenza di sfridi all'interno dei tubi.

11. Enfatizzati i tubi per andare a discriminare correttamente lo scarto da un pezzo buono è stato applicato un filtro sulla precedente immagine binaria che permette di individuare oggetti chiari o scuri e calcolare il numero di tubi presenti. Nello specifico, essendo costanti il numero di tubi acquisiti in una immagine è stato selezionato un limite massimo e minimo dello stesso valore, così da ottenere KO per quei tubi con sfrido, socchiusi al centro o completamente chiusi. Nel caso di tubi socchiusi al

centro o con sfrido il numero di tubi sarà maggiore di quello di riferimento mentre con un tubo completamente chiuso il numero di tubi sarà minore di quello di riferimento.

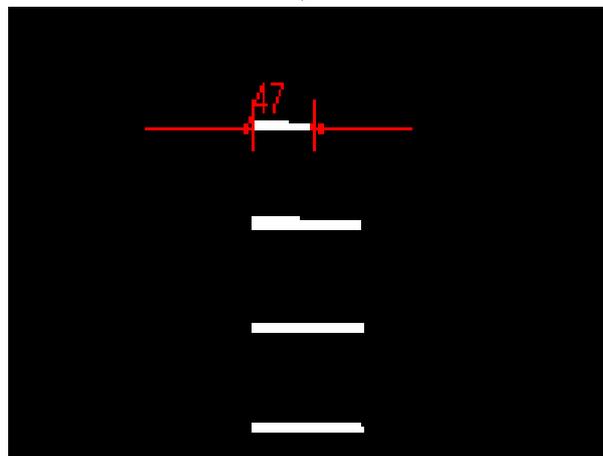


*Figura 4.12 Conteggio tubi*

12. L'ultima operazione, la misurazione della larghezza del tubo, viene eseguita in quanto la necessità era quella di individuare tubi socchiusi ma con schiacciamento laterale non individuabili con il conteggio dei tubi. Ponendo un limite minimo di dimensione è stato possibile individuare i pezzi KO.

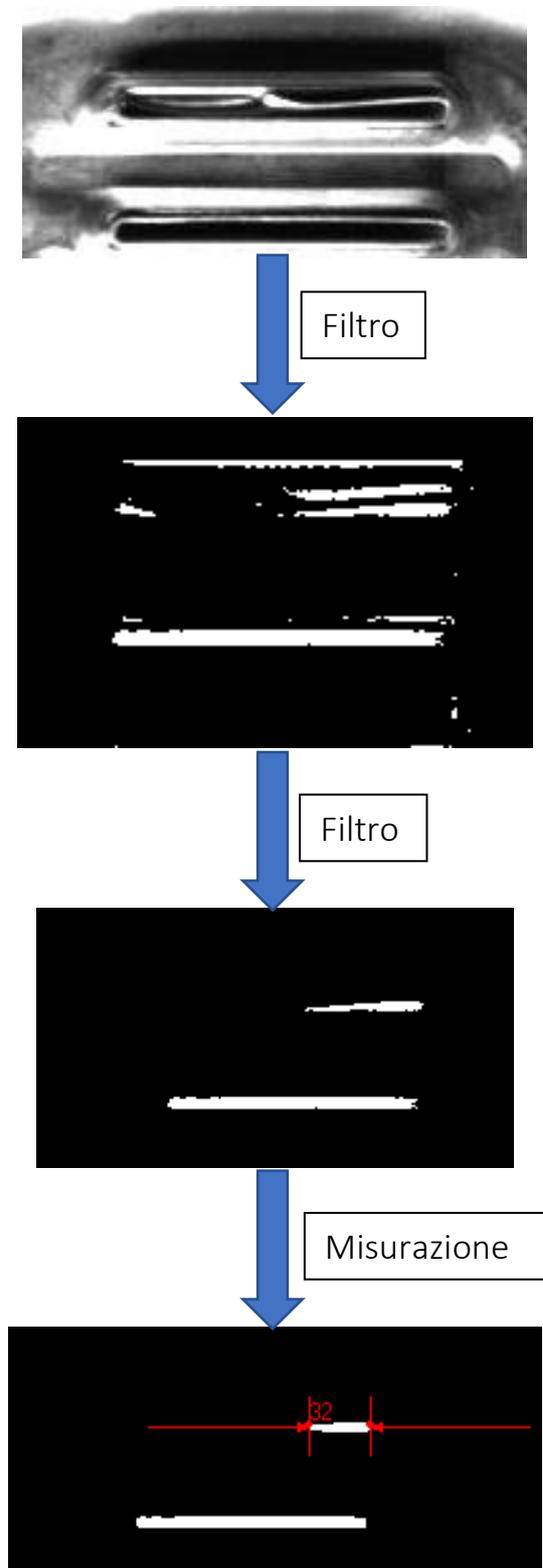


*Figura 4.13 Immagine originale*



*Figura 4.14 Immagine processata*

#### 4.2.1 Esempio funzionamento per scarto Tubo danneggiato



Essendo il valore ottenuto minore del limite impostato, il componente sarà valutato scarto.

### 4.3 Ispezioni Core

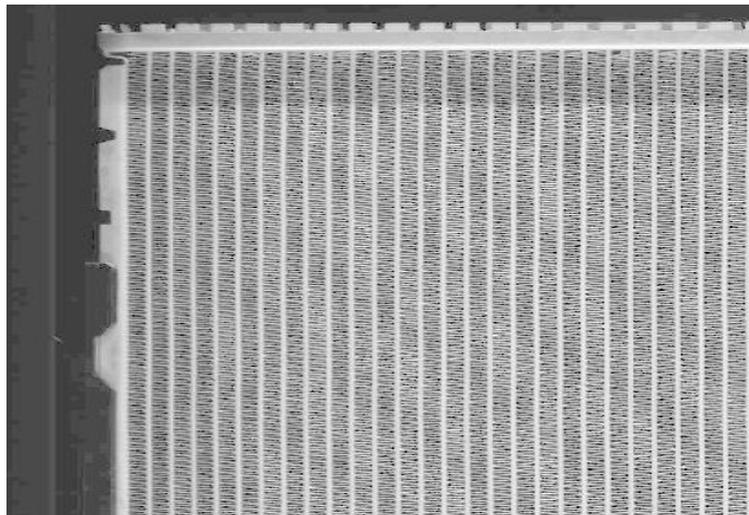
Analogamente ai collettori la prima operazione è l'acquisizione dell'immagine campione.

La sequenza di operazioni sviluppata per l'analisi del core risulta molto complessa, in quanto l'immagine risulta estremamente fitta a causa della presenza di un numero di elevato di alette.

A differenza dei collettori in cui la sequenza di operazioni tra i due modelli di radiatori è differente solo per la configurazione dei parametri interni, nel core sono state utilizzate operazioni supplementari a seconda del tipo di radiatore per ottenere lo stesso obiettivo.

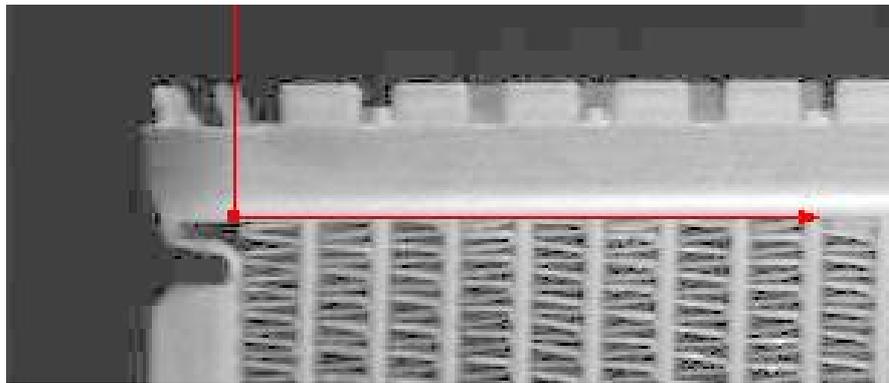
L'utilizzo non uniforme per i due modelli è dovuto alla grande differenza delle alette: passo e dimensione.

#### 0. Acquisizione immagine:



*Figura 4.15 Acquisizione immagine*

1. Analogamente a quanto fatto nei collettori il primo passo è stato quello di individuare una caratteristica su cui andare a porre un riferimento fisso. Nello specifico caso sono stati individuati due lati: il primo sul collettore ed il secondo sul fianchetto, questa necessità è scaturita dal trovare un punto fisso su cui posizionare il riferimento, che in questo caso sarà rappresentato dall'intersezione dei due lati.
2. Il sistema di coordinate scelto verrà utilizzato come riferimento per le operazioni successive.



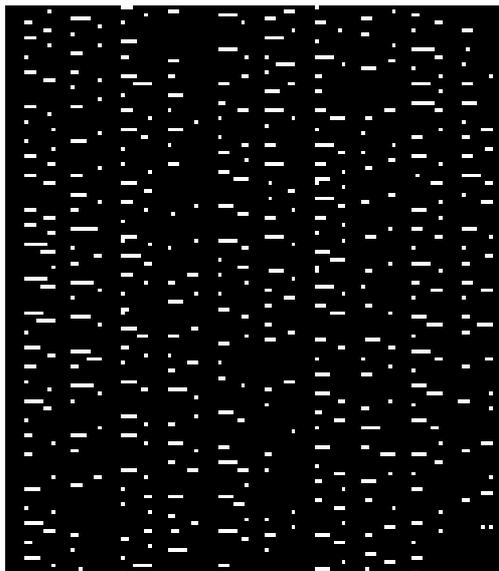
*Figura 4.17 Sistema di riferimento*

3. Questo passaggio contiene internamente una sequenza di filtri utilizzati allo scopo di ricreare fedelmente le alette. La riproduzione è basata sul passaggio dall'immagine in scala di grigi ad un'immagine binaria, passando in binaria gli spazi vuoti in cui troviamo il nero (lo sfondo) diventeranno bianchi mentre le alette e i tubi saranno neri.



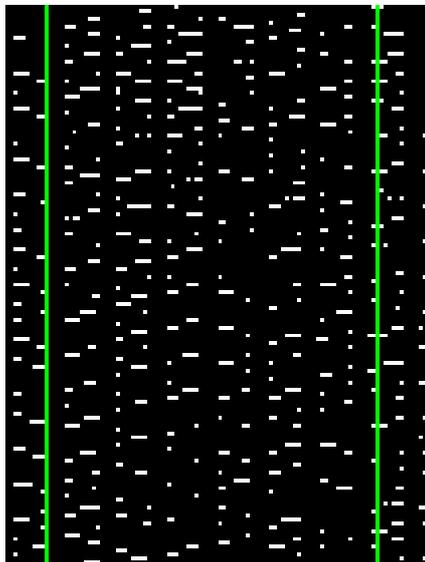
*Figura 4.18 Alette filtrate*

4. Questa operazione è stata fatto per enfatizzare i pixel di dimensioni maggiori grazie ad uno speciale filtro che consuma i pixel di dimensione maggiore ed elimina quelli di piccola dimensione, i quali saranno individuati nelle operazioni successive a seconda del tipo di operazione utilizzata.



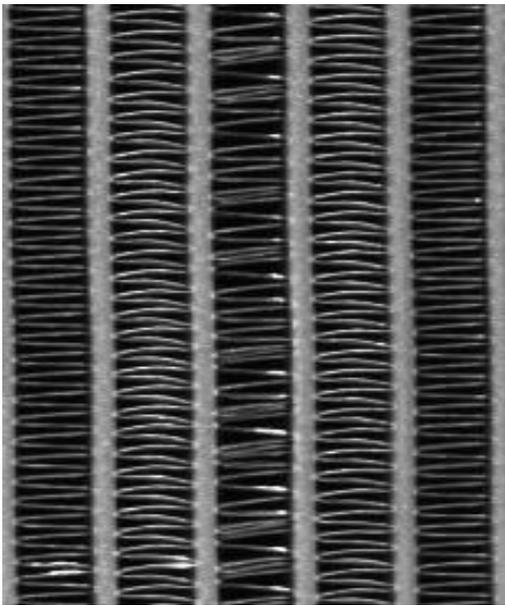
*Figura 4.19 Enfattizzazione*

5. Seguentemente al risultato dell'enfatizzazione che evidenzia i difetti come aletta corta, aletta con buchi, passo irregolare, è stato implementato un filtro per il conteggio di questi pixel di dimensione maggiore per definire lo scarto dovuto ad un passo irregolare. Nel caso di alette corte, con buchi o fianchetto dissaldato il limite è definito in base alla dimensione del pixel mentre in caso di alette con passo irregolare il limite è definito in base al numero.

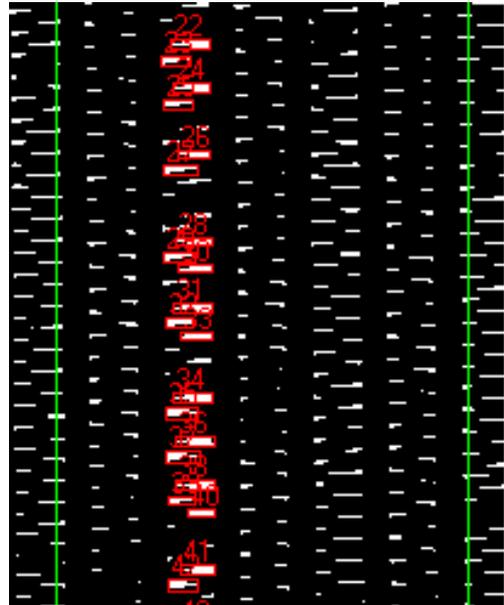


*Figura 4.20 Conteggio passo irregolare OK*

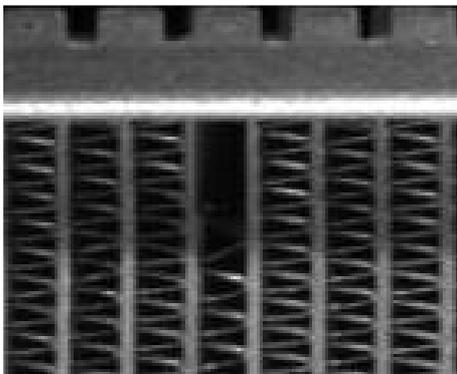
Di seguito sono riportati gli scarti dalle immagini acquisite a quelle elaborate:



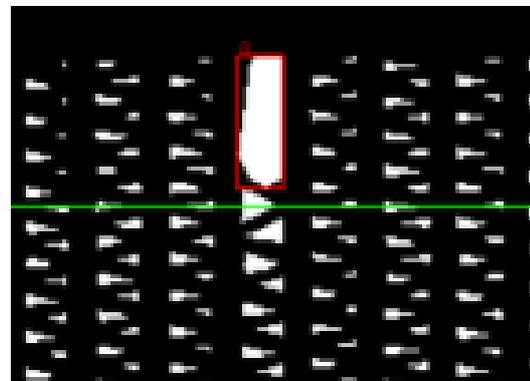
*Figura 4.21 Passo irregolare*



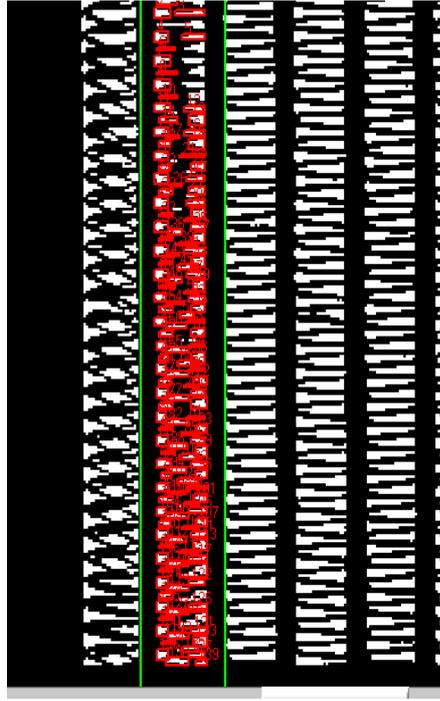
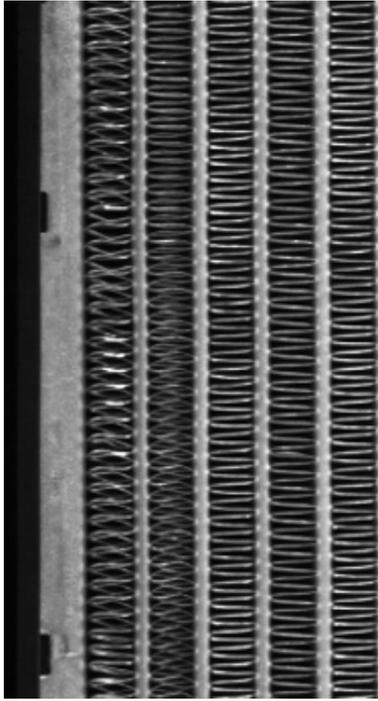
*Figura 4.22 Passo irregolare*



*Figura 4.23 Aletta corta*

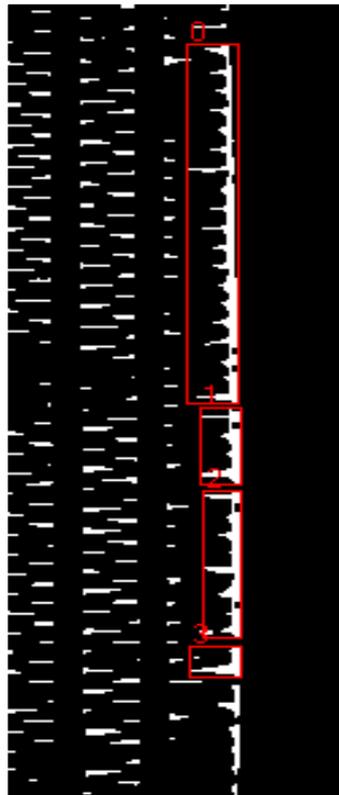
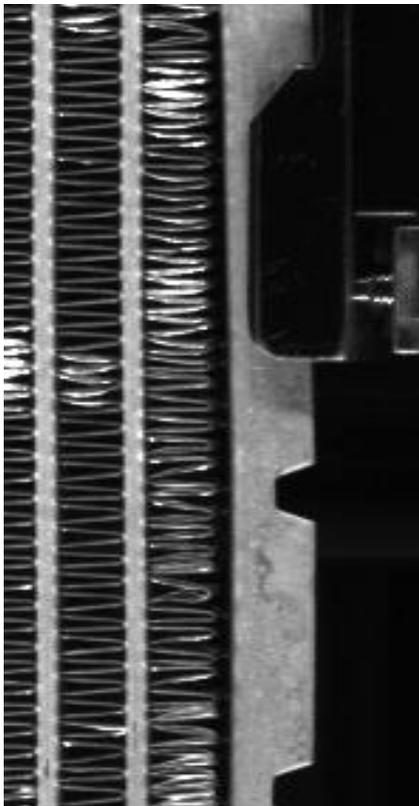


*Figura 4.24 Aletta corta*



*Figura 4.25 Aletta collassata*

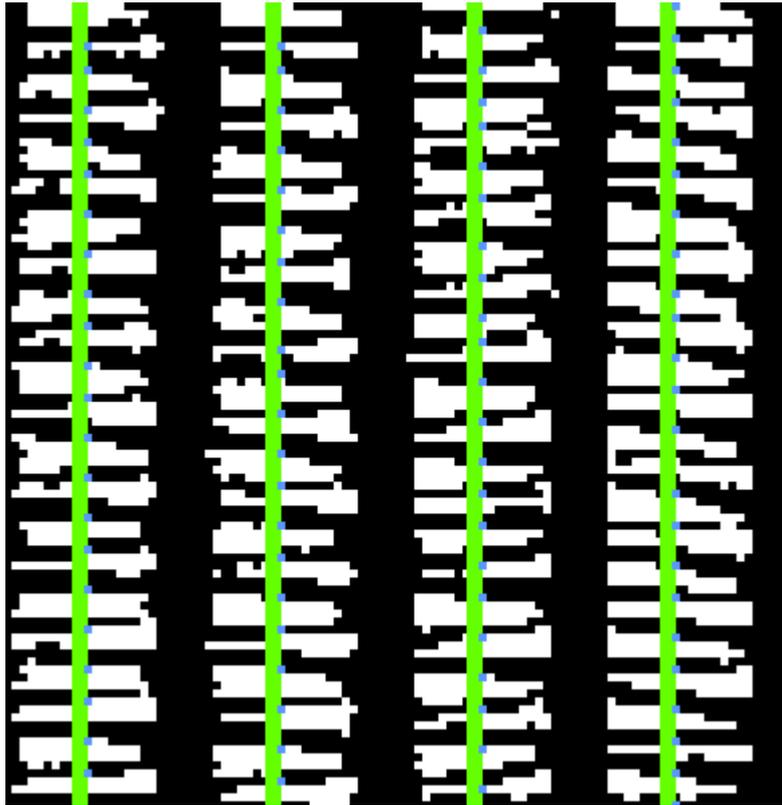
*Figura 4.26 Aletta collassata*



*Figura 4.27 Fianchetto non saldato*

*Figura 4.28 Fianchetto non saldato*

6. L'ultimo filtro utilizzato è stato quello per individuare le deformazioni dovute a pressioni o urti da un oggetto esterno sul pacco radiante. L'ispezione permette di calcolare la distanza media tra le onde delle alette. La distinzione tra pezzo OK o KO è stata fatta inserendo un range di tolleranza sulla distanza media.



*Figura 4.29 Distanza media*

## 5. Analisi del sistema di misura MSA

La misurazione è un processo caratterizzato da una variabilità intrinseca, risulterà necessario quindi che la variabilità della misurazione sia di almeno un ordine di grandezza inferiore di quella del processo.

L'analisi dei sistemi di misurazione MSA ha come obiettivo quello di identificare e quantificare la variabilità di misurazione e stabilire se essa è accettabile.

Ammettendo un errore elevato si rende il processo poco stabile, riproducibile e ripetitivo con la possibilità di ottenere scarti su pezzi che invece rispettano le tolleranze.

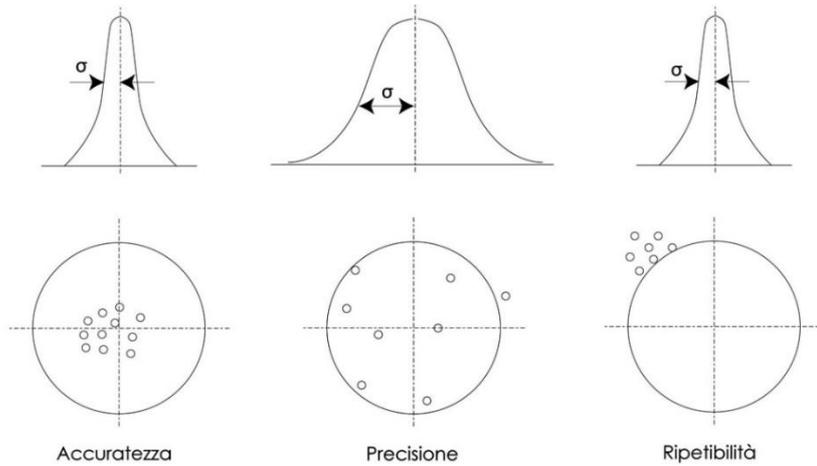
Le variabili che influenzano la variabilità del sistema sono:

- Umano: posizionamento errato del pezzo o lettura errata del risultato. In questo lavoro di Tesi l'uomo non è considerato una variabile in quanto il posizionamento precedente all'analisi avviene in automatico grazie ad una lama che posiziona il radiatore in battuta.
- Ambientale: illuminazione esterna, vibrazioni, temperatura.
- Strumento: malfunzionamento, elaborazione dati errata.

La valutazione dell'incertezza mediante il metodo MSA permette di valutare il rischio di avere falsi negativi cioè scarti di prodotti che in realtà sono conformi con le specifiche o di falsi positivi cioè di prodotti rilasciati non conformi con le specifiche.

La metodologia MSA è obbligatoria per la garanzia della prestazione ed affidabilità del prodotto.

Un sistema di misura è definito affidabile se possiede:



*Figura 5.1 Caratteristiche di un sistema*

1. Ripetibilità: è la variazione tra misure della stessa caratteristica sulla stessa parte eseguite dalla stessa persona con lo stesso strumento.
2. Accuratezza: La differenza tra il valore medio ottenuto da più misurazioni ed il valore vero.
3. Precisione: variazione del risultato ottenuto misurando più volte lo stesso campione.

Gli effetti dell'errore di misurazione influenzano le medie e la variabilità, rispettivamente:

$$\mu_{tot} = \mu_{prodotto} + \mu_{errore\ misurazione}$$

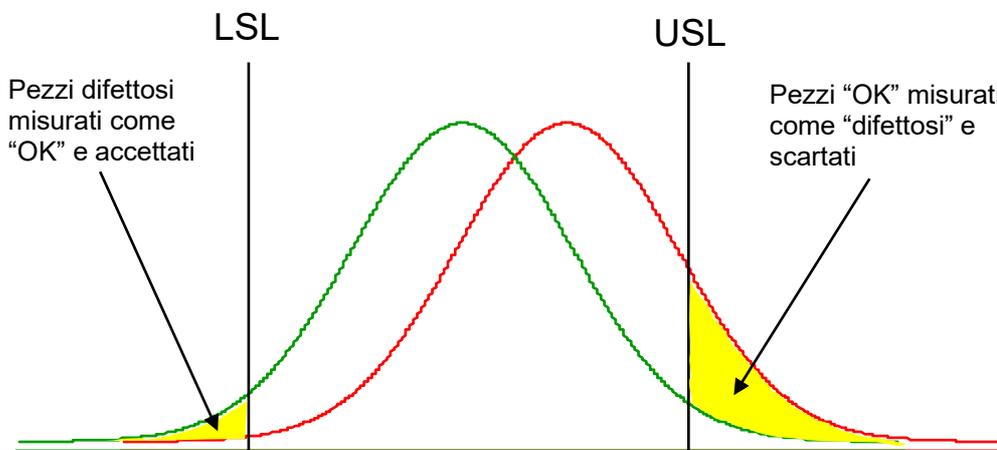
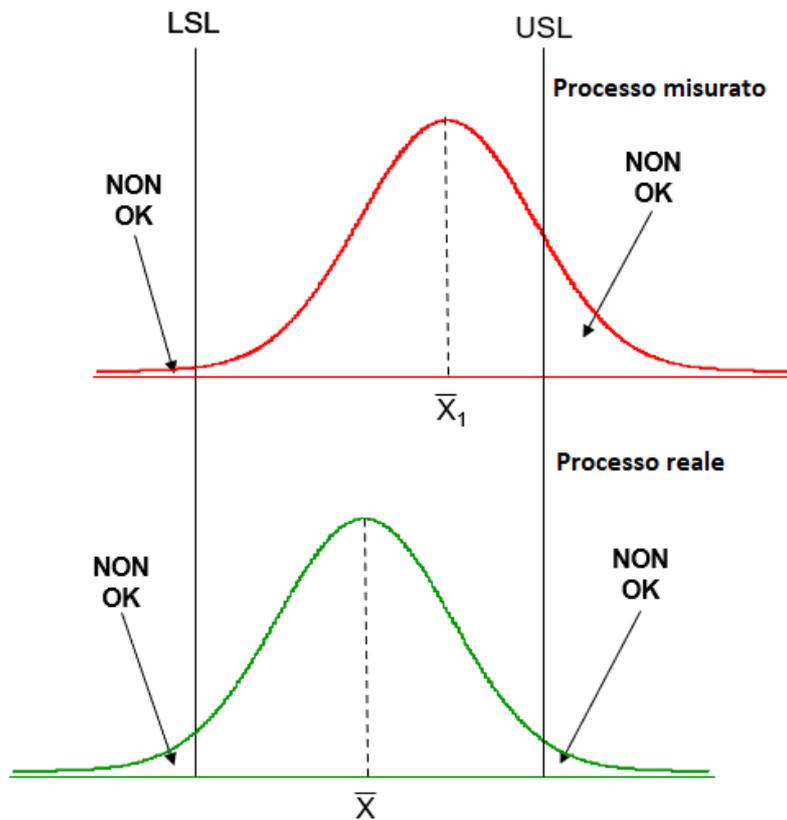
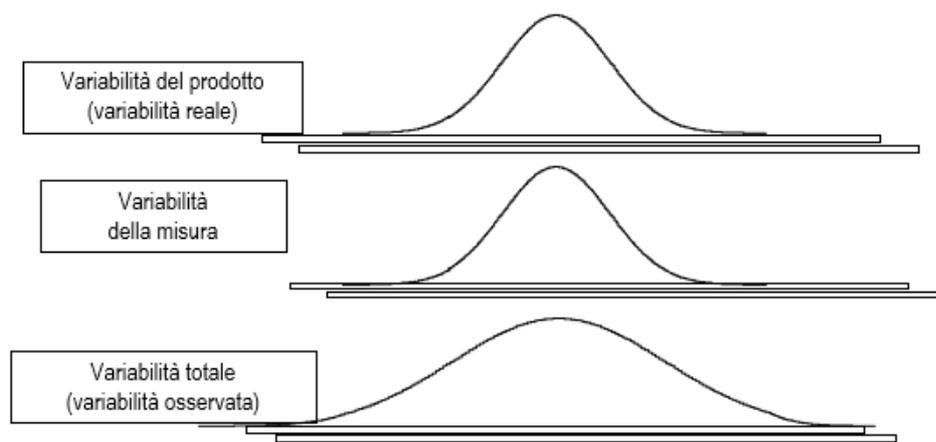


Figura 5.1 errore sulle medie

Come si può vedere dal grafico commettendo l'errore sulle medie otteniamo dei falsi scarti (pezzi OK giudicati KO) e pezzi difettosi fatti passare per buoni.

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{prodotto}^2 + \sigma_{misurazione}^2$$



*Figura 5.3 variabilità*

La variazione totale è data dalla somma della variazione del prodotto più quella della misurazione. La variazione della misura contiene al suo interno la variazione dovuta all'operatore e quella al sistema di misura.

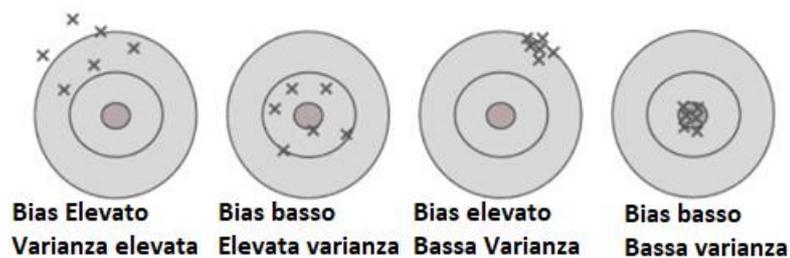
In alcuni casi si possono trovare errori sistematici ovvero le medie delle misure differiscono di una quantità fissa. Possono essere dovuti ad errori sistematici dello strumento oppure errori sistematici dell'operatore.

## 5.1 Capability

Consiste nell'effettuare misurazioni multiple sullo stesso componente e andare a confrontare il valore di variabilità dello strumento con il valore di variabilità del processo o della tolleranza così da distinguere la variazione legata alla misura rispetto a quella del processo.

## 5.2 Bias

Bias è lo scostamento medio tra i valori misurati ed il valore di riferimento della misura. Esso insieme alla capability ci fornisce informazione sull'accuratezza del sistema.



*Figura 5.4 Bias e varianza*

## 5.3 Linearità

Studiare la linearità vuol dire analizzare la stabilità di un sistema di misura, questo è possibile confrontando la pendenza della retta che approssima i Bias con la pendenza della retta orizzontale ovvero a coefficiente nullo.

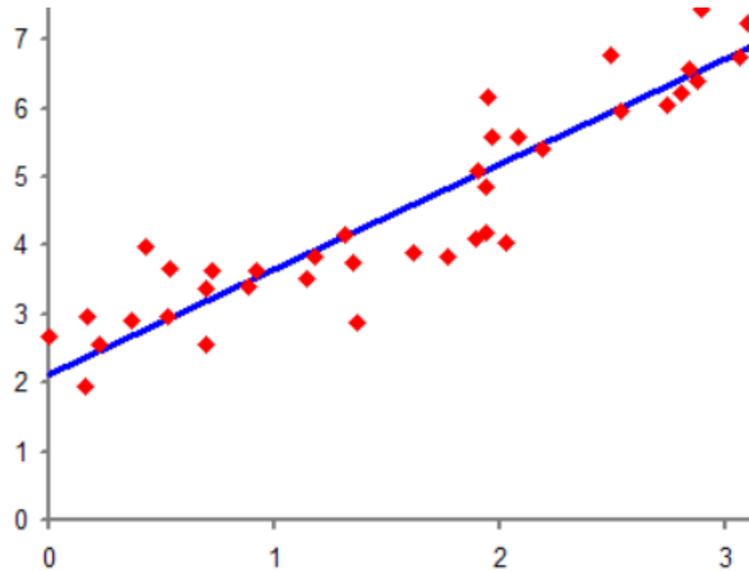


Figura 5.5 Linearità

## 5.4 Gage R&R

Lo studio che garantisce il corretto funzionamento di un sistema di misura è il Gage R&R. Viene calcolato mediante il rapporto tra la varianza di misurazione e la tolleranza ed esso deve seguire regole ben precise per lo svolgimento delle prove.

$$R\&R = \frac{6 * \sigma_{MS}}{Tolleranza}$$

Generalmente viene indicato in punti percentuale ed a seconda del risultato andremo a definire la validità del sistema.

	Interpretazione
<b><math>R\&amp;R &lt; 5\%</math></b>	Non ci sono problemi
<b><math>R\&amp;R \leq 10\%</math></b>	Lo strumento è considerato accettabile

<b><math>10\% &lt; R\&amp;R \leq 30\%</math></b>	Lo strumento è accettabile se la variabile non è critica
<b><math>R\&amp;R &gt; 30\%</math></b>	Il sistema è considerato inaccettabile

Prima di iniziare l'analisi dovranno essere definiti:

- Il numero di operatori
- Il numero di campioni
- Il numero di ripetizioni

L'Automotive Industry Action Group (AIAG) ha due standard di analisi del sistema di misura:

- **Modalità breve:** cinque parti misurate due volte da due operatori differenti
- **Modalità lunga:** dieci parti misurate tre volte da tre operatori differenti

Nel caso di un sistema automatico in assenza di operatori lo scopo del test è quello di valutare se l'errore dato da test-retest è consistente. Il modello base che rappresenta questo tipo di sistemi è:

$$X = P + E$$

In cui:

- $X$  = misure del prodotto
- $P$  = valori del prodotto

- E= errore di misurazione, il quale è costituito da: consistenza, precisione e bias del sistema di misurazione.

L'obiettivo è quello di dimostrare che la varianza (E) è piccola rispetto alla varianza (P).

## 5.5 Preparazione MSA

Trattandosi di un sistema di visione automatico lo strumento non è influenzato dal posizionamento dei componenti all'interno della macchina.

Per lo studio sono stati selezionati dieci campioni casuali ed eseguite due run con ordine casuale.

L'analisi è stata svolta per tre ispezioni, in quanto tutte le altre ispezioni sviluppate per le rilevazioni dei difetti sono riconducibili alle tre principali e consistono in: apertura greche laterali, larghezza tubi e passo medio delle alette.

La valutazione del sistema di misura è stata fatta seguendo le linee guida per la valutazione del Gage R&R grazie al quale possiamo definire se un sistema/strumento risulta accettabile o meno.

Per effettuare la valutazione è stato necessario utilizzare il software minitab, che permette di svolgere un'elevata quantità di analisi statistiche.

## 5.6 Minitab

I calcoli eseguiti in minitab utilizzano le seguenti variabili con i rispettivi valori:

- *Variazione dello studio %* = 
$$\frac{5.15 * Dev.standard}{5.15 * Dev.standard totale della variazione}$$
- *Contributo %* =  
*contributo percentuale di ciascun fattore in base alla varianza*
- *Sigma 5.15* =  $5.15 * dev.standard del fattore$  (5.15 garantisce di ottenere un intervallo di confidenza del 99% della variabilità della distribuzione dello strumento di misura)
- *Tolleranza %* = 
$$\frac{5.15 * dev.standard del fattore}{Tolleranza}$$

All'interno di Minitab per sviluppare lo studio MSA si eseguono i seguenti passaggi:

1. Creazione worksheet con i dati relativi all'analisi da effettuare:

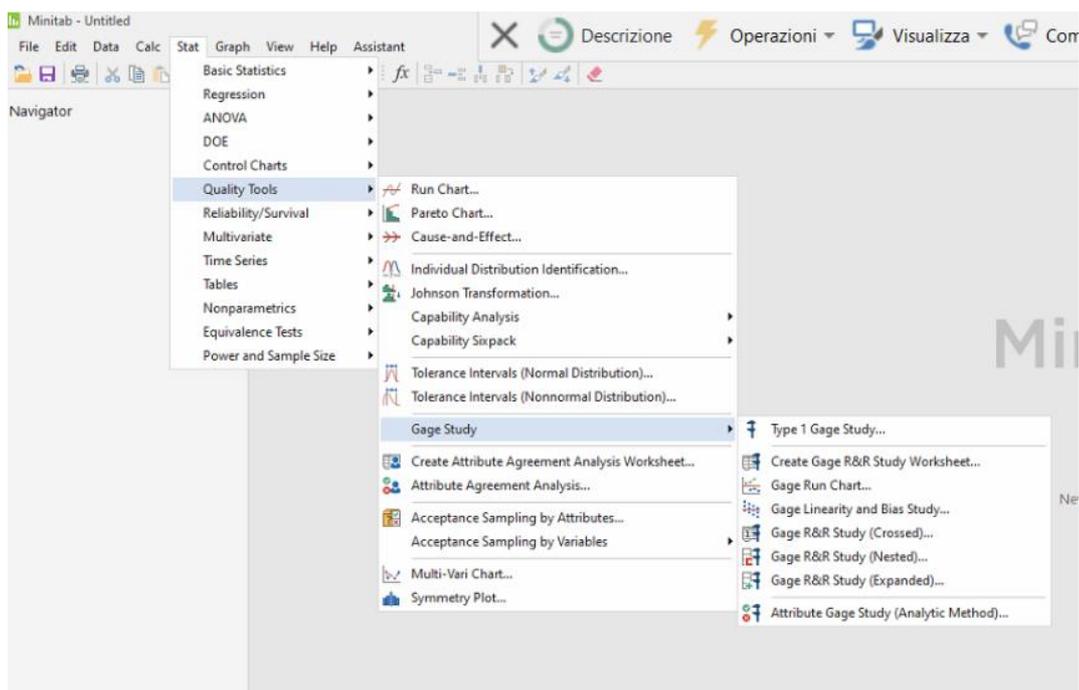


Figura 5.6 Creazione worksheet

2. Inserimento valori nel worksheet costruito, secondo la sequenza casuale riportata, la generazione della sequenza è casuale e scelta dal programma:

→	C1	C2	C3-T	C4
	RunOrder	Parts	Operators	
1	1	5	1	
2	2	7	1	
3	3	2	1	
4	4	9	1	
5	5	10	1	
6	6	8	1	
7	7	4	1	
8	8	1	1	
9	9	6	1	
10	10	3	1	
11	11	10	1	
12	12	7	1	
13	13	1	1	
14	14	3	1	
15	15	6	1	
16	16	4	1	
17	17	5	1	
18	18	8	1	
19	19	2	1	
20	20	9	1	

Figura 5.7 worksheet da compilare

3. Avviamento Gage R&R Crossed, andando a selezionare le colonne create nel worksheet precedente. Value rappresenta il valore delle misurazioni ottenute.

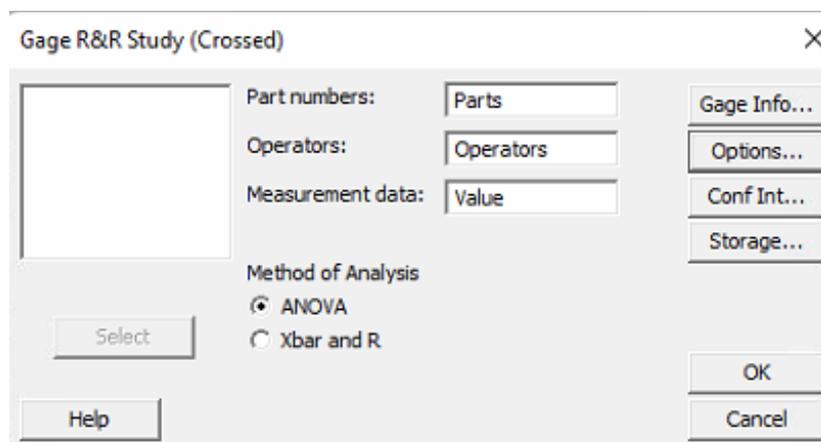


Figura 5.8 Selezione Dati per Gage R&R study (crossed)

4. Avviamento Gage R&R study crossed e successiva analisi dei risultati.

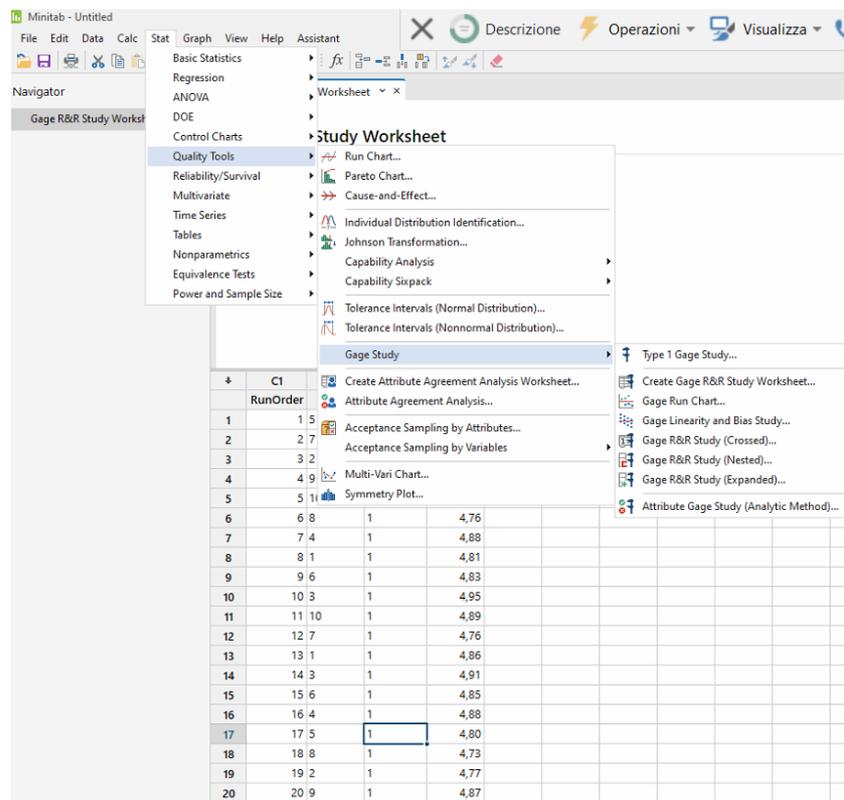
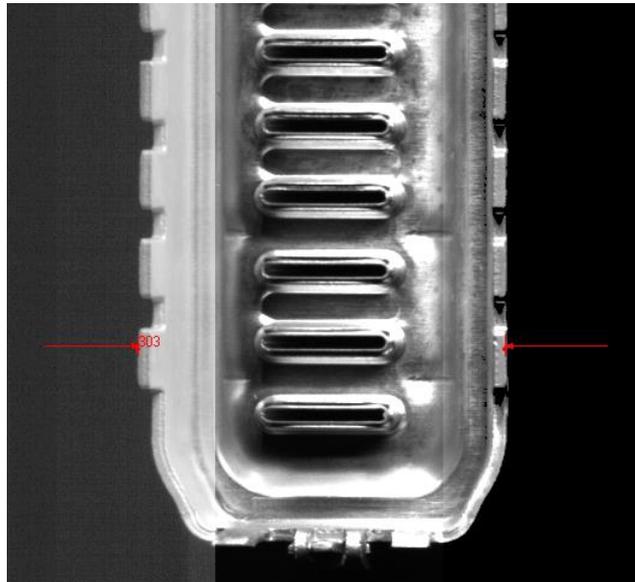


Figura 5.9 Avviamento Gage R&R study (crossed)

## 5.7 MSA Apertura greche laterali



*Figura 5.10 Apertura greche*

L'ispezione analizzata valuta l'apertura delle greche in termini di larghezza andando a discriminare greche aperte e greche chiuse.

I passi svolti in successione sono stati:

1. Predisposizione dei pezzi
2. Numerazione dei pezzi
3. Creazione del worksheet su minitab
4. Avvio macchina e acquisizione dati dal software
5. Implementazione dati in minitab
6. Esecuzione Gage R&R
7. Analisi dei risultati

Di seguito in tabella 2 vengono riportate le misure prese dal software ed inserite nel worksheet in minitab:

RunOrder	Parts	Operators	Measure
1	3	1	304,596
2	9	1	305,647
3	4	1	304,041
4	10	1	305,42
5	5	1	305,438
6	6	1	306,349
7	2	1	307,233
8	1	1	302,318
9	7	1	306,267
10	8	1	301,985
11	9	1	305,496
12	1	1	301,062
13	7	1	306,486
14	5	1	306,372
15	4	1	304,392
16	6	1	306,689
17	2	1	306,14
18	3	1	304,97
19	8	1	301,634
20	10	1	305,466

*Tabella 2: Worksheet apertura greche*

## 5.7.1 Risultati Gage R&R apertura greche

### Gage R&R for Measure

Gage name: Vision System  
 Date of study: 28/07/2022  
 Reported by: Umberto Di Menna  
 Tolerance:  
 Misc:

### One-Way ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	60,1695	6,68550	31,6901	0,000
Repeatability	10	2,1096	0,21096		
Total	19	62,2791			

$\alpha$  to remove interaction term = 0,05

### Gage R&R

#### Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,21096	6,12
Repeatability	0,21096	6,12
Part-To-Part	3,23727	93,88
Total Variation	3,44823	100,00

#### Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,45931	2,7559	24,73
Repeatability	0,45931	2,7559	24,73
Part-To-Part	1,79924	10,7954	96,89
Total Variation	1,85694	11,1416	100,00

Number of Distinct Categories = 5

*Figura 5.11 Gage R&R risultati*

# Gage R&R (ANOVA) Report for Greche laterali

Gage name:  
Date of study:

Reported by:  
Tolerance:  
Misc:

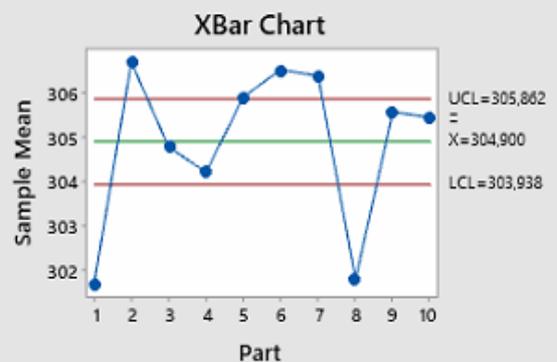
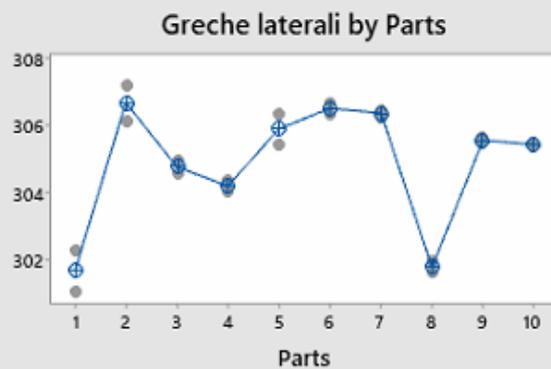
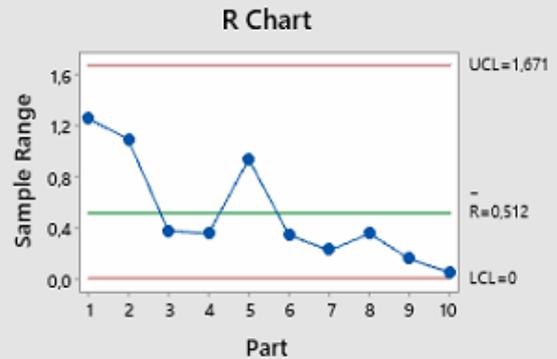
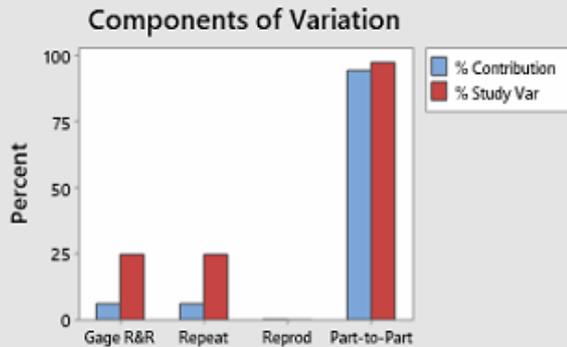


Figura 5.12 Gage R&R risultati

	Interpretazione
<b><math>R\&amp;R &lt; 5\%</math></b>	Non ci sono problemi
<b><math>R\&amp;R \leq 10\%</math></b>	Lo strumento è considerato accettabile
<b><math>10\% &lt; R\&amp;R \leq 30\%</math></b>	Lo strumento è accettabile se la variabile non è critica
<b><math>R\&amp;R &gt; 30\%</math></b>	Il sistema è considerato inaccettabile

- **R-Chart:** Rappresenta il range delle misure eseguite sui singoli particolari, essendo il valore medio molto basso otteniamo una buona ripetibilità

- **XBar Chart:** Ogni punto è calcolato come la media aritmetica della serie di dati che caratterizza la misura. L'area tra le linee rappresenta la variabilità del sistema. Si osserva che la variabilità del processo è maggiore rispetto a quella del sistema di misura.
- **Component of variation:** Determina la variazione del processo e come possiamo notare (ultime due colonne) essa è maggiore della variazione del sistema, in una situazione ottimale il valore di part to part deve essere elevato, mentre i valori di ripetibilità e riproducibilità bassi.

Il numero di distinte categorie coincide con il numero di categorie con cui può essere suddiviso il processo, in questo caso coincide con il limite inferiore ovvero 5.

Il risultato è ritenuto accettabile in quanto il Gage R&R calcolato risulta inferiore al 10% e pari a 6,12%. Notiamo che il Gage R&R ha lo stesso valore della ripetibilità, questo perché il sistema non è influenzato dalla variabilità degli operatori. In caso di ripetibilità perfetta la carta R avrà valori tutti sullo 0.

## 5.8 MSA Distanza media onde delle alette

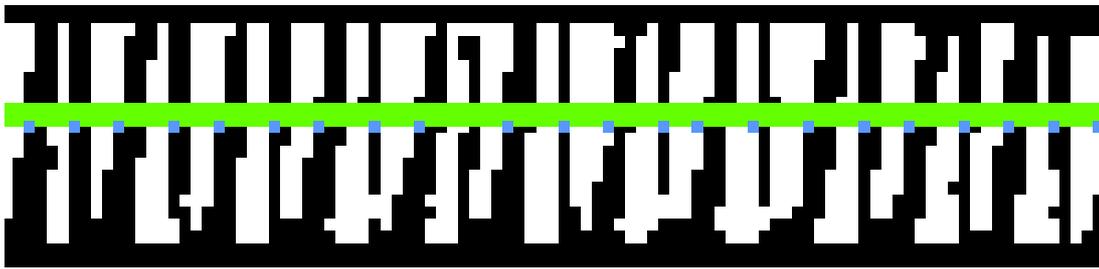


Figura 5.13 Distanza media

L'ispezione valuta la presenza di alette deformate che produrranno una variazione della distanza media.

La procedura di preparazione dei campioni e la seguente implementazione in minitab è analoga al caso precedente.

↓	C1	C2	C3-T	C4
	RunOrder	Parts	Operators	Passo medio
1	1	5	1	4,69
2	2	7	1	4,77
3	3	2	1	4,74
4	4	9	1	4,92
5	5	10	1	4,90
6	6	8	1	4,76
7	7	4	1	4,88
8	8	1	1	4,81
9	9	6	1	4,83
10	10	3	1	4,95
11	11	10	1	4,89
12	12	7	1	4,76
13	13	1	1	4,84
14	14	3	1	4,92
15	15	6	1	4,85
16	16	4	1	4,88
17	17	5	1	4,74
18	18	8	1	4,73
19	19	2	1	4,77
20	20	9	1	4,89

Tabella 3: Worksheet distanza media

### 5.8.1 Risultati Gage R&R distanza media onde

#### One-Way ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0,10728	0,01192	31,3684	0,000
Repeatability	10	0,00380	0,00038		
Total	19	0,11108			

$\alpha$  to remove interaction term = 0,05

#### Gage R&R

##### Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,00038	6,18
Repeatability	0,00038	6,18
Part-To-Part	0,00577	93,82
Total Variation	0,00615	100,00

##### Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0194936	0,116962	24,86
Repeatability	0,0194936	0,116962	24,86
Part-To-Part	0,0759605	0,455763	96,86
Total Variation	0,0784219	0,470532	100,00

Number of Distinct Categories = 5

Figura 5.14 Gage R&R risultati

	Interpretazione
<b><math>R\&amp;R &lt; 5\%</math></b>	Non ci sono problemi
<b><math>R\&amp;R \leq 10\%</math></b>	Lo strumento è considerato accettabile
<b><math>10\% &lt; R\&amp;R \leq 30\%</math></b>	Lo strumento è accettabile se la variabile non è critica
<b><math>R\&amp;R &gt; 30\%</math></b>	Il sistema è considerato inaccettabile

Essendo il Gage R&R < 10 anche questa ispezione può essere considerata valida.

Il numero di distinte categorie coincide con il numero di categorie con cui può essere suddiviso il processo, anche in questo caso coincide con il limite inferiore ovvero 5.

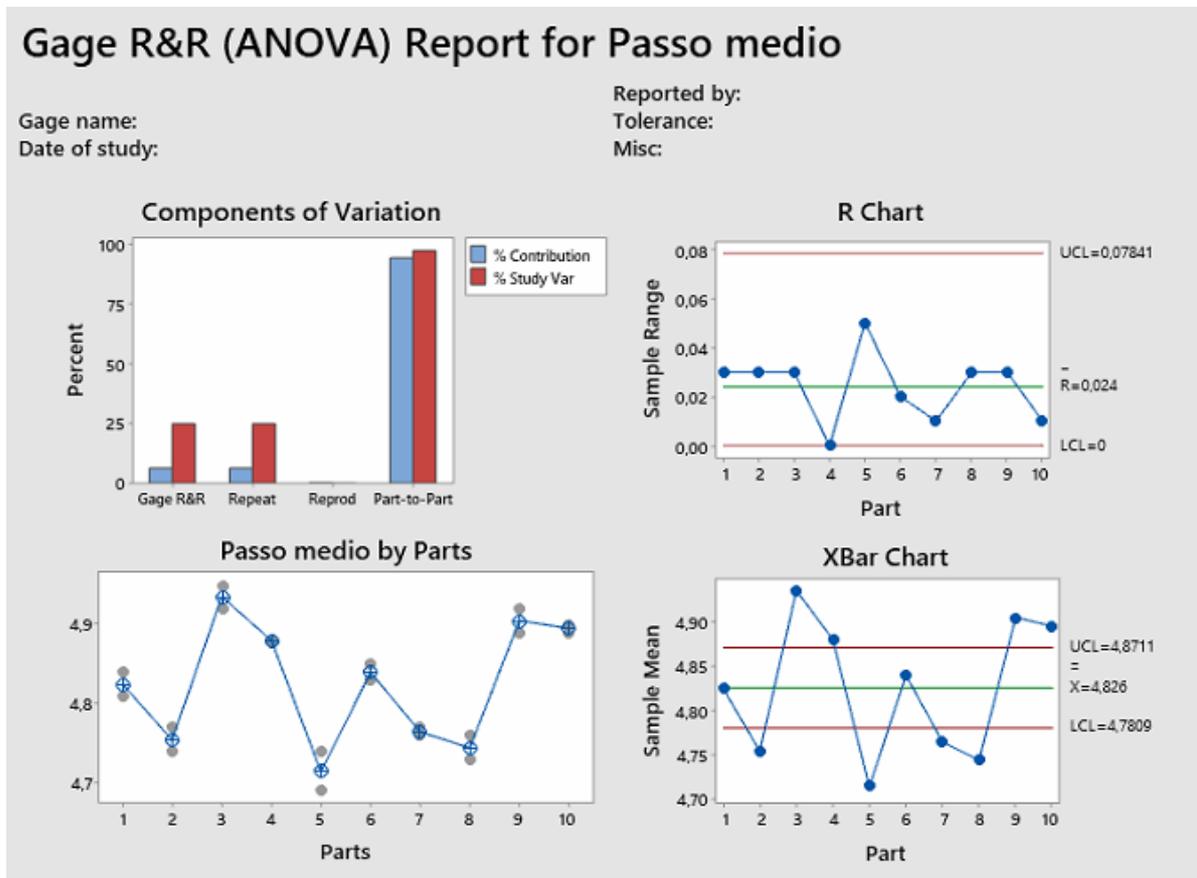
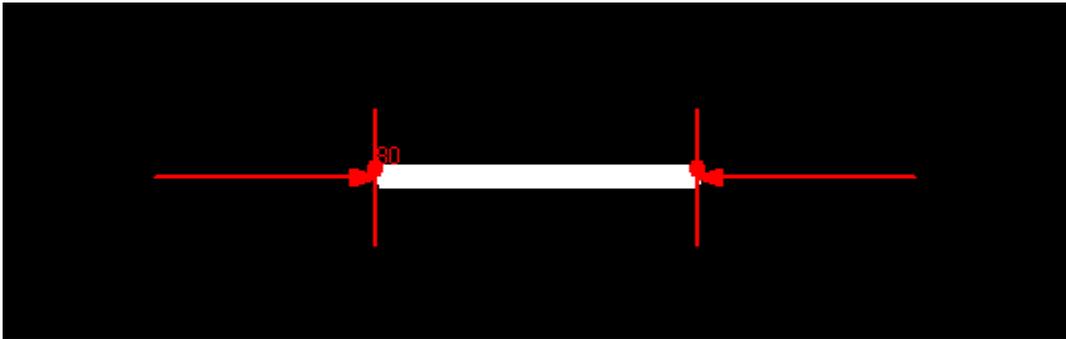


Figura 5.15 Gage R&R risultati

- **R-Chart:** Rappresenta il range delle misure eseguite sui singoli particolari, essendo il valore medio molto basso otteniamo una buona ripetibilità
- **XBar Chart:** Ogni punto è calcolato come la media aritmetica della serie di dati che caratterizza la misura. L'area tra le linee rappresenta la variabilità del sistema. Si osserva di nuovo che la variabilità del sistema di misura sia minore di quella del processo.
- **Component of variation:** Determina la variazione del processo e come possiamo notare (ultime due colonne) essa è maggiore della variazione

del sistema, in una situazione ottimale il valore di part to part deve essere elevato, mentre i valori di ripetibilità e riproducibilità bassi.

## 5.9 MSA Larghezza tubi



*Figura 5.16 Larghezza tubi*

L'ispezione determina la larghezza dei tubi, discriminando i tubi rotti o socchiusi. A differenza dell'ispezione per la larghezza delle greche questa è implementata su un'immagine binaria e quindi avrà parametri profondamente differenti rispetto all'apertura delle greche. Effettuando la misurazione diversamente, in questo caso calcolando la dimensione dei pixel, è stato necessario nuovamente validare il sistema di misura con il GageR&R.

→	C1	C2	C3-T	C4
	RunOrder	Parts	Operators	Larghezza tubi
1	1	5	1	81,25
2	2	7	1	80,57
3	3	2	1	81,11
4	4	9	1	81,93
5	5	10	1	81,23
6	6	8	1	80,68
7	7	4	1	80,59
8	8	1	1	81,67
9	9	6	1	80,33
10	10	3	1	78,20
11	11	10	1	81,35
12	12	7	1	80,72
13	13	1	1	81,55
14	14	3	1	78,49
15	15	6	1	80,21
16	16	4	1	80,66
17	17	5	1	81,34
18	18	8	1	80,70
19	19	2	1	82,07
20	20	9	1	81,95

*Tabella 4: Worksheet larghezza tubi*

### 5.9.1 Risultati Gage R&R Larghezza tubi

#### One-Way ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	18,8612	2,09569	38,6231	0,000
Repeatability	10	0,5426	0,05426		
Total	19	19,4038			

$\alpha$  to remove interaction term = 0,05

#### Gage R&R

##### Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,05426	5,05
Repeatability	0,05426	5,05
Part-To-Part	1,02071	94,95
Total Variation	1,07497	100,00

##### Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,23294	1,39763	22,47
Repeatability	0,23294	1,39763	22,47
Part-To-Part	1,01030	6,06182	97,44
Total Variation	1,03681	6,22086	100,00

Number of Distinct Categories = 6

Figura 5.17 Gage R&R risultati

	Interpretazione
<b><math>R\&amp;R &lt; 5\%</math></b>	Non ci sono problemi
<b><math>R\&amp;R \leq 10\%</math></b>	Lo strumento è considerato accettabile
<b><math>10\% &lt; R\&amp;R \leq 30\%</math></b>	Lo strumento è accettabile se la variabile non è critica
<b><math>R\&amp;R &gt; 30\%</math></b>	Il sistema è considerato inaccettabile

L'ultima ispezione analizzata risulta quella con il Gage R&R minore, in tal caso possiamo supporre che la valutazione in immagini binarie risulta più accurata. Il numero di distinte categorie coincide con il numero di categorie con cui può essere suddiviso il processo, in questo caso è 6.

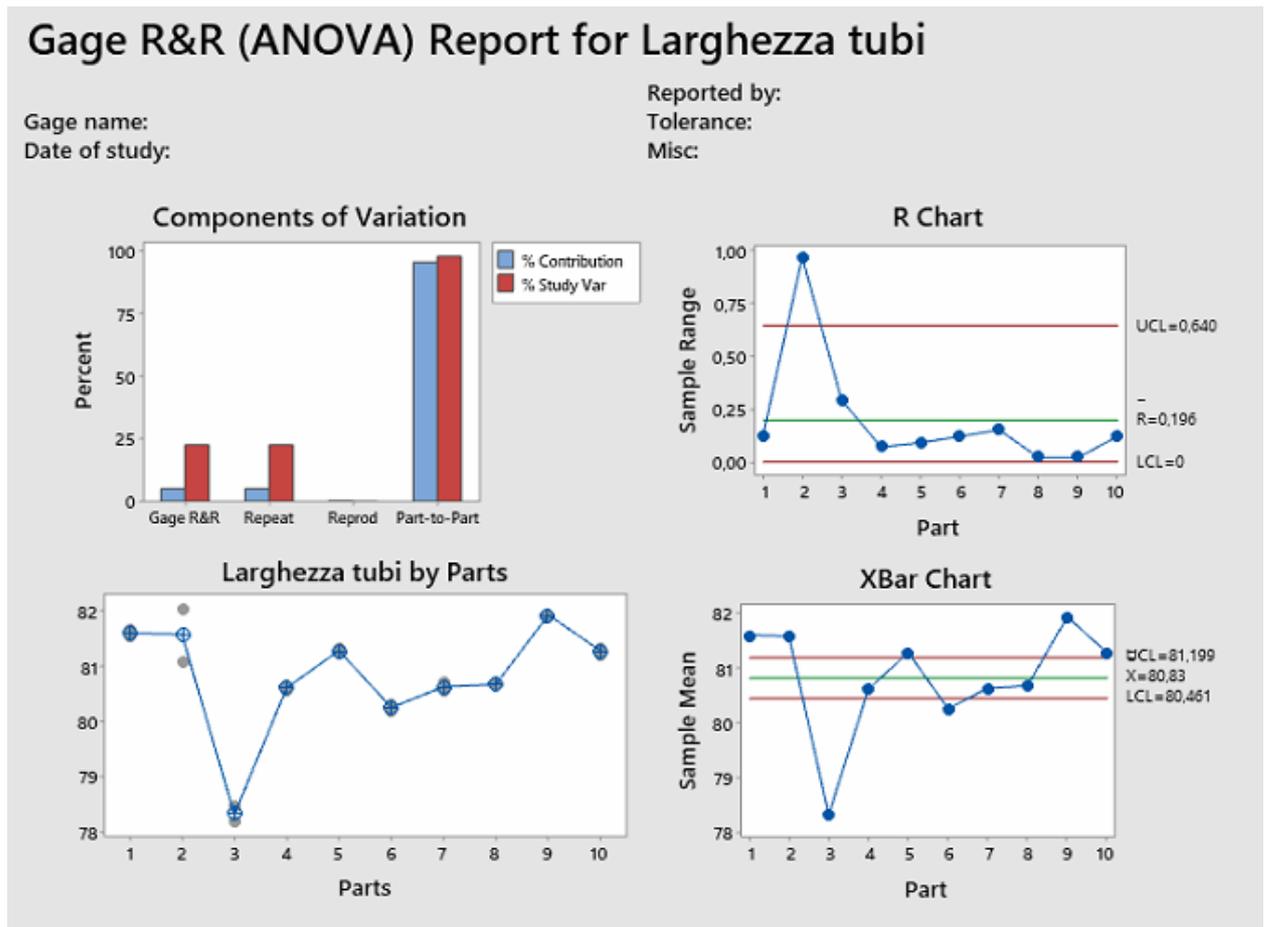


Figura 5.18 Gage R&R risultati

- **R-Chart:** Rappresenta il range delle misure eseguite sui singoli particolari, essendo il valore medio molto basso otteniamo una buona ripetibilità
- **XBar Chart:** Ogni punto è calcolato come la media aritmetica della serie di dati che caratterizza la misura. L'area tra le linee rappresenta la

variabilità del sistema. Si osserva ulteriormente che la variabilità del sistema di misura sia minore di quella del processo.

- **Component of variation:** Determina la variazione del processo e come possiamo notare (ultime due colonne) essa è maggiore della variazione del sistema, in una situazione ottimale il valore di part to part deve essere elevato, mentre i valori di ripetibilità e riproducibilità bassi.

## 6. Conclusioni

Il sistema di visione per radiatori sul quale sono state sviluppate le ispezioni risulta accettabile, grazie all'analisi statistica svolta.

I benefici derivanti da un risultato positivo dell'applicazione dell'MSA sono molteplici:

- Attendibilità delle analisi dei risultati
- Attendibilità dei risultati delle misurazioni
- Ottimizzazione del processo di misurazione
- Stima dei singoli contributi che agiscono sul sistema

Un'ulteriore analisi statistica futura potrebbe essere fatta su un numero maggiore di componenti in modo da avere dei risultati ancora più validi.

L'implementazione dei sistemi di visione all'interno dell'azienda consente un aumento del livello di automazione. L'automazione non comporta solo il trasferimento delle funzioni dall'uomo alla macchina ma comporta una riorganizzazione del processo produttivo.

Grazie al sistema di visione per controllo qualità si può aumentare la qualità dei componenti forniti ai clienti, andando a discriminare anche i difetti più piccoli. Sviluppi futuri pratici per sistemi di questo genere consisteranno nello sviluppo delle ispezioni per tutti i modelli di radiatori prodotti, la diminuzione dei tempi ciclo e l'implementazione dell'intelligenza artificiale.

La visione artificiale consente alle apparecchiature di vedere ciò che stanno facendo così da poter prendere decisioni in base a quello che rilevano. L'implementazione di un'intelligenza artificiale richiede modelli di deep learning, ovvero occorre fornire un'elevata quantità di immagini creando così

una rete neurale per far riconoscere al sistema il componente, maggiore è il numero di immagini fornite maggiore sarà l'accuratezza con cui il sistema riconosce le differenze o i difetti.

## 7. Riferimenti bibliografici e software

[1] “Automazione industriale”; Eleonora Atzeni

[2] “Applicazioni industriali dei sistemi di visione artificiale. Automazione Integrata”; Michele Lanzetta

[3] “Minitab”

[4] “Affidabilità delle costruzioni meccaniche”; Massimo Rossetto

[5] “Guida sui sistemi di visione industriale”; ANIE, AidAM

[6] “Gage R&R”; Paolo De Blasi

[7] “Software Denso per sistemi di visione”; Denso Thermal System

[8] “Interazione tra luce e materiali”; Paolo Fino

## Ringraziamenti

Grazie a mia madre una forza della natura. A Claudio, mio figlio che riempie le nostre giornate di gioia, a Valentina compagna sempre presente e mamma formidabile. A mia sorella che insieme ne abbiamo passate tante e ne siamo sempre usciti. Ai miei nonni, zii e cugini, sempre presenti non facendomi mancare mai nulla. Grazie a Pietro ed Orietta, a Claudia e tutti i miei amici che non hanno mai smesso di essere con me e di accompagnarmi lungo questo percorso nonostante tutte le asperità.