

Politecnico di Torino – Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

# AUTOMATED OPTICAL INSPECTION

Automation and planning of productive systems report

# 1 INTRODUZIONE

**L' Automated optical inspection (AOI)** è una metodologia di ispezione visiva applicabile ad un vasto range di prodotti quali: circuiti stampati (PCB), schermi, semiconduttori, etichette su contenitori, cibi.

Nel passato, quando un nuovo prodotto veniva realizzato, della forza lavoro veniva destinata all'ispezione visiva, la mansione di tale personale consisteva nel ricercare manualmente i difetti e assicurarsi che tutte le parti fossero posizionate correttamente sul prodotto, nonostante questo approccio fosse sufficiente, tale metodologia risultava decisamente lenta, inaccurata e non si prestava all'acquisizione automatica di informazioni su come migliorare il proprio prodotto (l'esperienza veniva acquisita dall'addetto all'ispezione ottica ma difficilmente comunicata per migliorare il processo produttivo). L'ispezione automatica, come già accennato, è disponibile per la varietà di prodotti più disparata, per esempio nell'ispezionare un frutto, un sistema AOI dovrebbe verificare variazioni di colore e/o bozzi, nell'ispezionare una parte di un autoveicolo esso dovrebbe verificare che la parte sia di dimensione corretta e che sia priva di difetti di stampaggio.

## 1.1 STORIA

Sebbene esistano precedenti studi e lavori, è non prima del 1970 che gli studi nel settore si sono potuti specializzare, grazie all'aumento delle prestazioni dei computer che hanno potuto elaborare grandi quantità di informazioni come le immagini. Dobbiamo aspettare gli anni 1980 per vedere le prime vere e proprie applicazioni pratiche di questa disciplina, caratterizzate spesso da uno scopo puramente dimostrativo. Negli anni 1990 vediamo comparire i primi frame-grabber standard da inserire su PC e i sistemi di visione acquistano maggiore funzionalità e robustezza abbandonando l'aspetto tipicamente sperimentale del decennio precedente, soprattutto in campo industriale si notano notevoli alti e bassi di questa disciplina caratterizzati da alcune soluzioni funzionali costellati di parecchi insuccessi. Nel 2000-2008 il campo della visione artificiale può essere descritto come vario ed immaturo. La causa va probabilmente ricercata nella sua evoluzione, a cui hanno contribuito diverse discipline scientifiche senza però convenire su una formulazione standard del "problema della visione artificiale". Inoltre, con conseguenze ancor più evidenti, non esiste una formulazione standard di come i problemi di visione artificiale vadano risolti. Esistono invece un'abbondanza di metodi atti a risolvere compiti ben definiti della visione artificiale, dove le procedure sono spesso dipendenti dal contesto e raramente possono essere estese ad uno spettro più ampio di applicazioni. Molti di questi metodi sono ancora a livello di ricerca base, ma molti altri ancora hanno trovato spazio nella produzione commerciale dove fanno parte di grandi sistemi che risolvono problemi complessi. Nelle applicazioni più pratiche i computer sono pre-addestrati per risolvere un particolare compito, tuttavia attualmente stanno diventando sempre più comuni i metodi basati sull'apprendimento. Dal 2009 vediamo affermarsi l'uso delle telecamere con comunicazione digitale, e standard che uniscono fattori come una discreta velocità, l'economicità, la standardizzazione ed una discreta robustezza in campo industriale. Dal punto di vista di generazione del software assistiamo ad una particolare concentrazione nella soluzione di problematiche 3D. In generale l'affidabilità delle soluzioni migliora.

Questo elaborato si concentrerà sull'ispezione delle schede elettroniche nel campo dell'elettronic manufacturing service

## 1.2 ISPEZIONE DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI

Nuovi sviluppi nell'assemblaggio di PCB non possono avvenire se non con cambiamenti corrispondenti nella tecnologia di controllo della qualità.

Il test in-circuit è stato per anni il mezzo principale per la rilevazione e la diagnosi dei difetti poichè rimuovendo la barriera del "design for testability" (La realizzazione di un progetto introducendo parti e componenti accessorie volte a facilitare o a permettere test altrimenti impossibili) ha reso possibile realizzare sistemi complessi senza la paura di non poterli testare. Il test in circuit è stato per tanto un approccio semplice ed universale al problema del controllo qualità nell'industria elettronica ma risulta essere sempre più difficile applicarlo a causa della miniaturizzazione che rende spesso impraticabile il test tradizionale per mezzo di sistemi a sonde mobili o a letto d'aghi.

Considerando altre tecnologie quale il boundary scan, l'ispezione a raggi x, l'ispezione ottica manuale e l'ispezione ottica automatica nessuna è in grado di sostituire totalmente il test in-circuit ma è in grado di complementarlo efficientemente.

Tutti i processi usano l'ispezione ottica manuale. Gli ispettori in uno stabilimento di assemblaggio ben gestito spesso spreca la maggior parte del loro tempo ispezionando prodotti non difettosi e usano solo una frazione del loro tempo in maniera proficua al miglioramento ed al controllo della qualità (ovvero quando un difetto si presenta loro) esiste un modo tramite cui possiamo focalizzare la potenza dell'occhio umano solo sui difetti?

Se un sistema AOI è utilizzato per coadiuvare l'ispezione manuale il numero di ispettori decresce (la semplicità del processo cresce) e la consistenza dell'ispezione migliora. Consideriamo una scheda dove 5000 saldature di cui solo 10 sono inadeguate, se una macchina AOI la ispezionasse prima dell'uomo ed approvasse tutte le saldature corrette rimarrebbe solo da verificare manualmente le 10 saldature riportate come critiche dal sistema automatico, date le ambiguità delle performance umane (dovute a stanchezza e differenze tra individui diversi) adottare questa metodologia porterebbe ad una maggiore efficienza nel controllo qualità.

Un sistema AOI non aggiunge nessuna nuovo concetto allo stabilimento, si limita a automatizzare una categoria di ispezioni già realizzata manualmente.

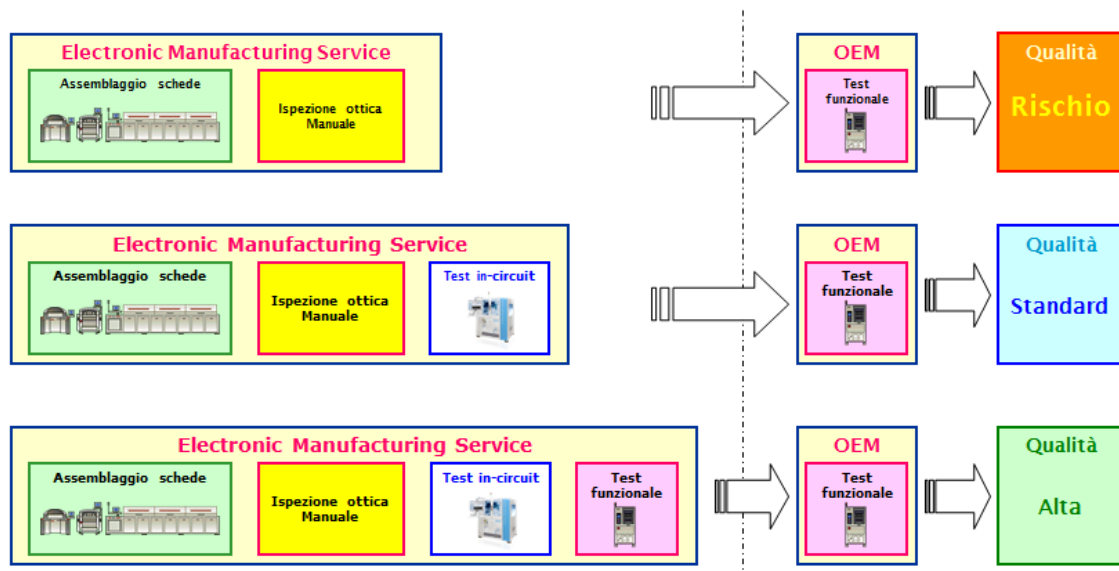


Figura 1 - Flusso di test in uno stabilimento di produzione di schede elettroniche senza tecniche AOI

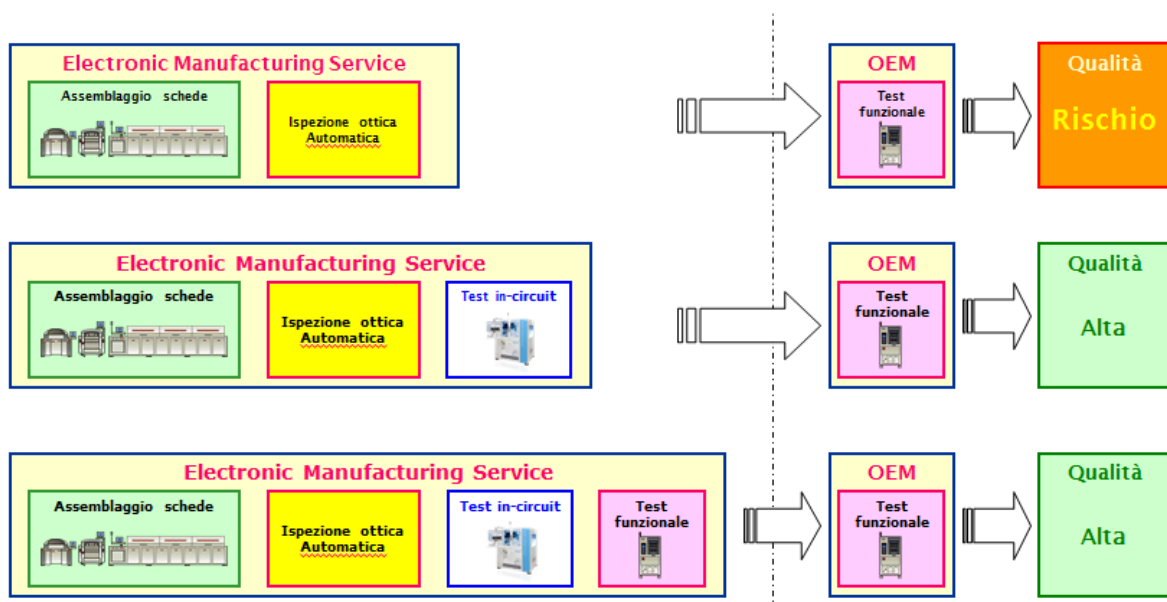


Figura 2 - Flusso di test in uno stabilimento di produzione di schede elettroniche senza tecniche AOI

### 1.3 PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DI UN SISTEMA PER L'ISPEZIONE OTTICA AUTOMATICA

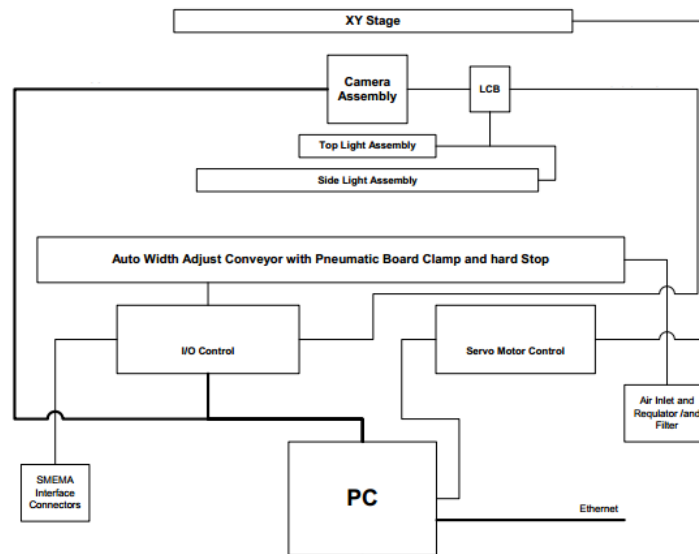


Figura 3 - Schema a blocchi di un sistema AOI tipo

Un sistema AOI è in grado di acquisire milioni di pixel in una frazione di secondo, questi dati vengono utilizzati per l'ispezione visuale e per misure di precisione.

Il sistema AOI scansisce visualmente la superficie della scheda elettronica, la scheda è illuminata da differenti sorgenti luminose ed osservata da uno scanner o da un numero arbitrario di telecamere ad alta definizione, ogni produttore di sistemi AOI sviluppa degli algoritmi proprietari di ispezione e di tecniche di illuminazione, ciò si traduce in differenti punti di forza o debolezza a seconda della tipologia di prodotto ispezionato e delle tecniche impiegate.

Illuminare correttamente la parte è una fase critica per un sistema AOI, esso deve essere in grado di *vedere* la parte da ispezionare ma soprattutto le caratteristiche distintive del difetto da individuare, la luce amplifica i dettagli salienti e sopprime dettagli categorizzabili come rumore, ad esempio molti prodotti riflettono la luce causando aree di intensa illuminazione nell'immagini, ciò potrebbe oscurare i dettagli ricercati durante l'ispezione.

Il dispositivo di imaging traduce la luce riflessa dalla parte da ispezionare in un'immagine elettronica che verrà successivamente elaborata.

Il cervello di un sistema AOI è il "vision computer", tale computer analizza l'immagine per estrarre misure, conteggi di parti, colori o altre features visuali necessari all'ispezione.

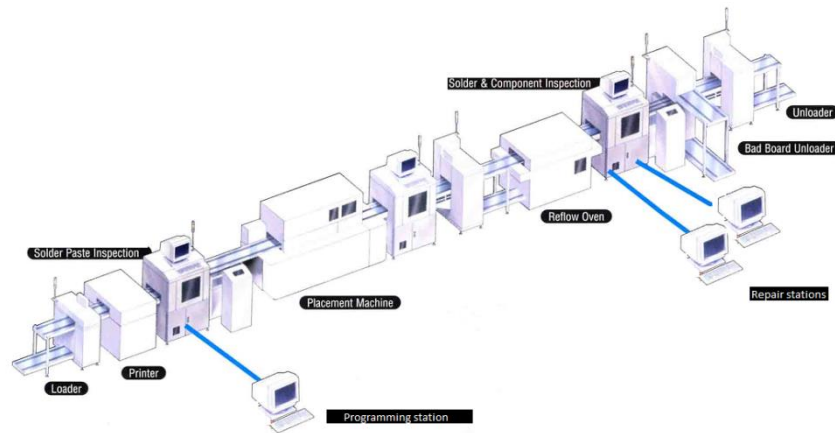


Figura 4 - Layout tipico di una catena di produzione schede elettroniche

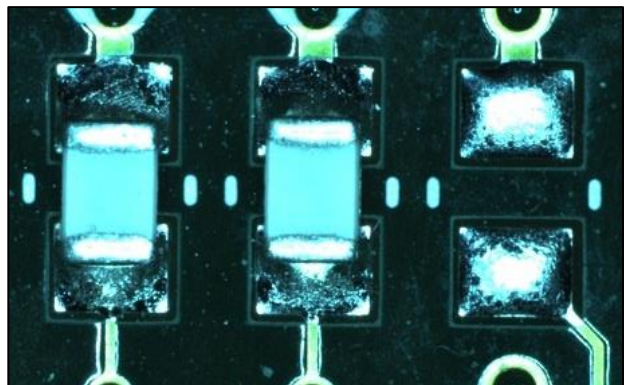
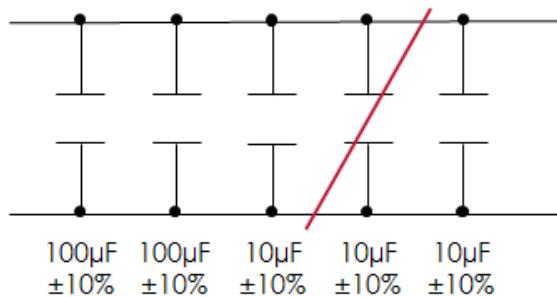
## 1.4 TIPOLOGIE DI ISPEZIONE OTTICA AUTOMATICA DELLE SCHEDE ELETTRONICHE

### 1.4.1 PRESENZA DI UN COMPONENTE

Obiettivo di questo test è verificare la presenza di un componente sulla scheda, ciò assolve al doppio compito di verifica del componente corretto e controllo dell'assenza di un componente non corretto, i possibili scenari mitigati sono:

- Durante un passaggio della catena produttiva costituito da una saldatura manuale l'addetto ha dimenticato il componente oppure ne ha saldato uno sbagliato.
- Durante un passaggio della catena produttiva costituito da una posa automatica del componente e successiva saldatura automatica il sistema pick and place non ha posizionato correttamente il componente o il processo di saldatura automatica non è stato affidabile provocandone il distacco.

Un test di presenza ottica può completare la copertura dei possibili difetti rimediando a limitazioni del test in-circuit come l'assenza di una capacità di filtro in parallelo ad altre.



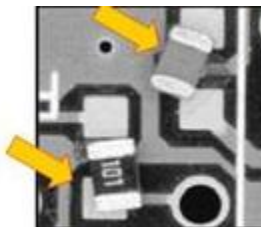
#### 1.4.2 POSIZIONAMENTO DI UN COMPONENTE

Obiettivo di questo test è verificare che il montaggio di un componente sia avvenuto correttamente e che rispetti determinate specifiche meccaniche quali:

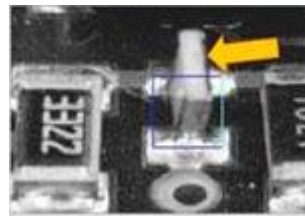
- Skew (rotazione del componente lungo l'asse perpendicolare alla scheda)
- Offset (traslazione del componente rispetto al baricentro atteso)

O che non si siano verificate delle condizioni di posizionamento anomalo:

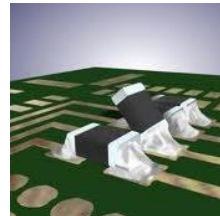
- Componente saldato capovolto.
- Componente saldato verticalmente sulla scheda. (Billboarding)
- Componente parzialmente rialzato lungo un lato (Tombstoning)
- Componente saldato con polarità errata



Skew



Billboarding



Tombstoning



Polarità

#### 1.4.3 IDENTIFICAZIONE DI UN COMPONENTE

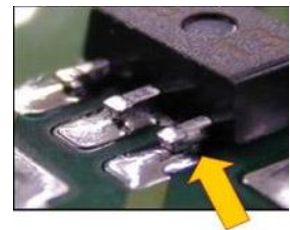
Obiettivo di questo test è garantire la tracciabilità delle parti montate su di una scheda o delle schede testate tramite l'inserimento di un codice nel database del sistema CIM se presente

- Verifica ottica dei caratteri
- Optical Character Recognition
- Lettura di codici a barre

#### 1.4.4 TEST DELLA SALDATURA

Obiettivo di questo test è garantire che il processo di saldatura sia conforme alle specifiche di produzione, alcuni categorie di difetti rilevabili sono:

- Pin sollevati/aperti
- Cortocircuiti tra i pin dovuti a leghe saldanti in eccesso
- Giunti di saldatura con eccesso o insufficienza di lega saldante
- Saldatura fredda



#### **1.4.5 TEST DEL CIRCUITO STAMPATO**

Obiettivo di questo test è garantire che il circuito stampato sia integro prima dell'effettiva popolazione, alcune categorie di difetti rilevabili sono:

- Cortocircuiti tra le piste
- Piste interrotte
- Pad o altre caratteristiche della scheda mancanti
- Violazione della larghezza delle piste imposta in fase progettuale
- Violazione della distanza delle piste imposta in fase progettuale
- Eccessiva presenza di rame

#### **1.4.6 RICONOSCIMENTO DI PUNTI FIDUCIAL**

L'ispezione ottica automatica ha principalmente finalità di controllo qualità ma può essere impiegata anche per il riconoscimento di punti fiduciali (Fiducials) sulla superficie del PCB all'interno di macchine non AOI ma che abbiano bisogno di elevata contattazione. Il riconoscimento dei punti fiduciali rappresenta per il sistema in oggetto un metodo per correlare la posizione della scheda all'interno dell'area di lavoro con le quote definite nel CAD.

### **1.5 METRICHE PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI DI UN SISTEMA PER L'ISPEZIONE OTTICA AUTOMATICA.**

Risulta necessario stabilire delle metriche per la valutazione delle performance di un sistema di ispezione ottica automatica, ciò assolve a due funzioni principali: il progettista del sistema AOI sarà in grado di valutare il suo operato, il progettista delle linee produttive che impiegheranno i sistemi in oggetto sarà in grado di valutarne i benefici sul prodotto.

#### **1.5.1 CAPACITÀ DI RICONOSCIMENTO**

Rappresenta il rapporto tra il numero di difetti reali correttamente individuati e la totalità dei difetti individuati, un alto valore della capacità di riconoscimento rappresenta un sistema efficiente in grado di minimizzare gli sprechi ed il tempo operatore impiegato

#### **1.5.2 VELOCITÀ DI ISPEZIONE**

Rappresenta il tempo impiegato a portare a termine un'ispezione ottica automatica del prodotto, ciò è utile per valutare la capacità del sistema di tenere il passo con il resto della catena produttiva e quindi di garantire il tempo di cilo desiderato

#### **1.5.3 PROGRAMMABILITÀ**

Rappresenta la flessibilità del sistema di adattarsi al cambiamento della produzione, ciò può essere valutato come la minima dimensione del lotto da produrre tale da giustificare il tempo speso alla riconfigurazione del sistema.

#### **1.5.4 COSTO DI OPERAZIONE**

Rappresenta il costo da attribuire ad ogni singolo prodotto dovuto all'introduzione di uno stage di test nella catena produttiva

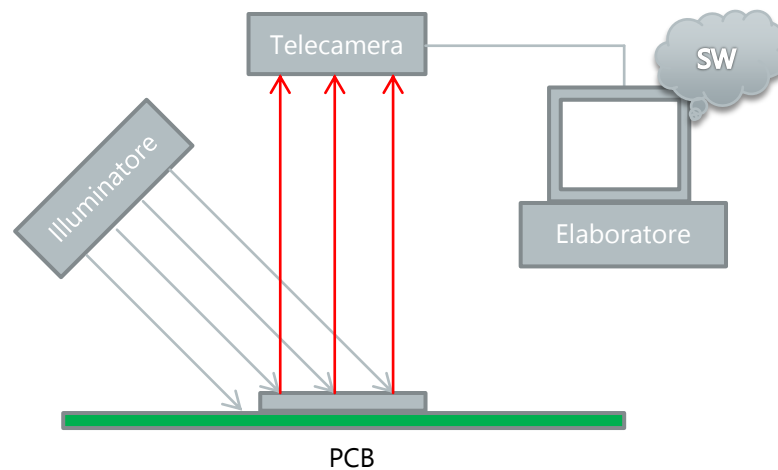


### 1.5.5 RISPARMIO

Rappresenta la diretta traduzione in un indice monetario del beneficio che il sistema porta alla produzione:

- Riducendo il numero di addetti all'ispezione manuale.
- Riducendo il numero di difetti non catturati e quindi il ritorno di prodotti fallati dal campo.
- Rilevando errori sistematici di altri componenti della catena produttiva.

## 2 COMPONENTI DI UN SISTEMA AOI.



### 2.1 ILLUMINATORE

L'illuminazione rappresenta uno degli aspetti fondamentali per ottenere sistemi AOI efficienti, un'illuminazione non corretta peggiora il rendimento dell'intero sistema.

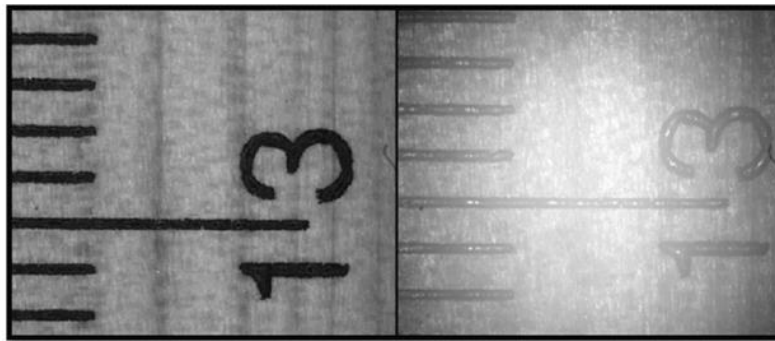


Figura 5 - Esempio di illuminazione corretta / non corretta

Una corretta illuminazione per l'applicazione specifica da soddisfare rende sicuramente più semplice e accurato il funzionamento del resto della catena, risulta intuitivo come evidenziando il difetto da ricercare prima della digitalizzazione da parte del dispositivo di imaging si renda quanto più semplici e ripetibili le misure sull'immagine acquisita.

### 2.1.1.1 ILLUMINATORE DIREZIONALE



Un illuminatore direzionale è costituito da una o più sorgenti di luce puntiforme che proiettano luce direzionale sulla parte da ispezionare, utilizzando questa tipologia di illuminatore è possibile ispezionare superfici piane non riflettenti poichè la luce raggiunge il sensore in maniera consistente.

### 2.1.1.2 ILLUMINATORE TANGENZIALE



Un illuminatore tangenziale è costituito da una o più sorgente di luce direzionale aventi un elevato angolo di incidenza rispetto alla parte da ispezionare, ciò li rende adatti ad evidenziare difetti superficiali dell'oggetto che appaiono evidenziati sull'immagine.

Tale metodologia è applicata con successo all'ispezione di componenti marcati con tecnologia DPM ( Direct Part Marking ) laser poichè la superficie incisa risulta evidenziata da questo tipo di illuminatore

### 2.1.1.3 ILLUMINATORE DIFFUSO



Un illuminatore tangenziale è costituito da sorgente di luce diffusa ed estesa ciò li rende adatti nell'ispezione di parti che potrebbero creare riflessi illuminando in maniera omogenea e consistente l'area di ispezione, sono tuttavia di difficile impiego in contesti dove gli ingombri sono ridotti per via delle grandi dimensioni ( Una sorgente di luce diffusa viene realizzata posizionando sorgenti di luce puntiforme lontano dall'area di ispezione )

#### 2.1.1.4 ILLUMINATORE ANULARE



Un illuminatore anulare è costituito da più sorgenti di luce puntiformi disposte coassialmente al dispositivo di imaging, ciò li rende adatti ad un'ispezione simile a quelle possibili per mezzo di luce diffusa ma ne limita l'area ispezionata e la distanza di esercizio, tale tipologia di illuminazione produce inoltre fastidiosi riflessi circolari (rumore)

#### 2.1.1.5 ILLUMINATORE DIFFUSO ASSIALE



Un illuminatore diffuso assiale è costituito da una sorgente di luce puntiforme direzionale orientata perpendicolarmente all'oggetto da ispezionare, tale luce colpisce un beam splitter riflettendosi prima sulla parte da ispezionare e poi sul dispositivo di imaging, ciò crea una luce diffusa senza riflessi circolari ma gli ingombri di questi sistemi e la distanza di esercizio limitata ne vincolano l'utilizzo

## 2.2 IMAGING

I dispositivi di imaging rappresentano il sensore attraverso cui viene percepita la luce, ovvero la grandezza da misurare, le prestazioni di un sensore di imaging sono direttamente proporzionali all'adeguatezza del sistema di illuminazione, ricordiamoci che un sistema AOI non può ispezionare ciò che non vede.

### 2.2.1 PARAMETRI FONDAMENTALI DI UN DISPOSITIVO DI IMAGING

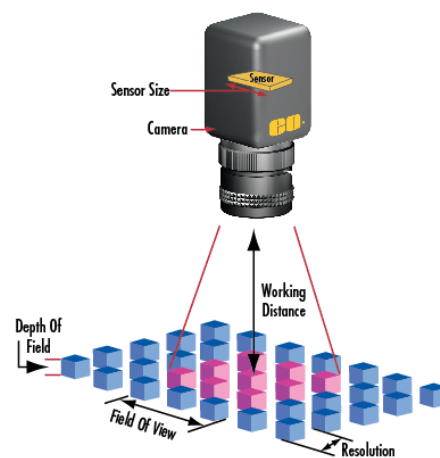
**Campo visivo/Field of view (FOV):** Porzione visibile della parte da ispezionare.

**Distanza di lavoro / Working Distance (WD):** Distanza tra lente e parte da ispezionare.

**Risoluzione / Risoluzione:** Dimensione minima del dettaglio necessario a portare a termine l'ispezione ottica

**Profondità di campo / Depth of Field (DOF):** Differenza tra massima quota e minima quota dell'oggetto da ispezionare che può essere mantenuta a fuoco senza variare parametric dell'ottica.

**Dimensione del sensore:** Dimensione dell'area attiva del sensore.



### 2.2.2 DISPOSITIVI MATRICIALI (AREA SCAN).



In un dispositivo matriciale una lente focalizza l'oggetto da acquisire sulla matrice del sensore, l'output del sensore è quindi campionato a livello di pixel, l'immagine di un'area bidimensionale viene acquisita con un'unica esposizione del sensore alla luce per tanto un'ipotetica parte da ispezionare può muoversi al termine dell'esposizione, l'area inquadrata è però limitata.

### 2.2.3 DISPOSITIVI LINEARI (LINE SCAN).



In un dispositivo lineare i pixel sul sensore sono arrangiati lungo una linea, il principio di funzionamento è simile ad uno scanner, le esposizioni della singola linea sono scatenate dai passi di un encoder posto su una sonda mobile (la telecamera si muove) oppure sul piano che trasporta l'oggetto (la telecamera è ferma, il piano si muove). Un dispositivo di questa categoria garantisce risoluzioni elevate su aree limitate esclusivamente lungo una direzione (è fissato solo il numero di pixel di una riga) ma presenta il principale svantaggio della lentezza e dell'impossibilità di muovere la parte da ispezionare per tutta la durata della scansione.

### 2.2.4 STANDARDIZZAZIONE DELLE INTERFACCE DI COMUNICAZIONE TRA DISPOSITIVO DI IMAGING E CONTROLLORE

Le telecamere digitali hanno guadagnato popolarità nell'ultima decade a causa dell'immunità ai disturbi di trasmissione, l'informazione trasmessa non risente di eventuali disturbi e ciò ne ha reso ideale l'applicazione in campo industriale, sono quindi state introdotte sul mercato interfacce e sistemi di interconnessione in maniera simile a quanto effettuato per i field bus.

#### 2.2.4.1 FIREWIRE (IEEE 1394/IIDC DCAM STANDARD)

Firewire è un popolare standard seriale isocrono, è una delle interfacce con la velocità di trasmissione minore ma la disponibilità di connessioni firewire anche su dispositivi COTS (Commercial off the shelf) ne ha garantito la popolarità.

#### 2.2.4.2 CAMERALINK®

Camera link è un interfaccia seriale a velocità elevata sviluppata appositamente per applicazioni di machine vision, automated inspection e controllo di processo, è in grado di supportare sistemi di visione ad alta risoluzione grazie a bande passanti comprese tra i 255 MB/s in configurazione base fino ai 2100MB/s@15m per applicazioni ad alta velocità.

#### 2.2.4.3 GIGE (GIGE VISION STANDARD)

GigE è un interfaccia di connessione basata su gigabit Ethernet ed utilizza hardware convenzionalmente utilizzato nelle reti informatiche, switch, hubs possono essere utilizzati per gestire sistemi multicamera.

Punto di forza dei sistemi basati su GigE vision è la standardizzazione dei registri di controllo dei dispositivi di imaging tramite lo standard GenICam, ciò permette di sostituire i dispositivi GigE con altri equivalenti senza dover riscrivere il software di controllo.

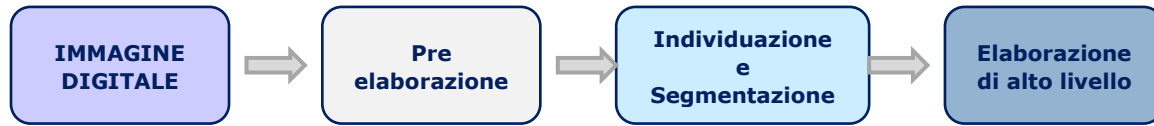
Il protocollo Precision Time Protocol (PTP) può essere utilizzato per sincronizzare i clock di dispositivi di imaging connessi alla stessa rete creando quindi dei rapporti fissi di ritardo tra l'esposizione di ogni

dispositivo, ciò consente di realizzare sistemi multicamera ad alta risoluzione aggregando più sensori matriciali

#### **2.2.4.4 USB (UNIVERSAL SERIAL BUS)**

USB è un interfaccia disponibile su ogni modernp personal computer, purtroppo la banda disponibile non è sufficiente a supportare dispositivi di imaging ad alta risoluzione, l'avvento di USB3.0 ha portato alla commercializzazione di dispositivi per applicazione industriale e successivamente alla creazione dello standard USBVision simile al precedentemente descritto GigE Vision/GenICam

## 2.3 ELABORATORE - SOFTWARE



Una volta acquisite le immagini della parte da ispezionare esse devono essere elaborate tramite tecniche di computer vision, esistono diversi package software per lo sviluppo rapido di applicazioni di ispezione automatica, sul mercato sono disponibili anche librerie contenenti primitive ottimizzate di processamento di immagini meno orientate all'integrazione rapida ma utilizzabili per la creazione di algoritmi specializzati.

### 2.3.1 IMMAGINE DIGITALE

Un'immagine digitale è prodotta da vari tipi di sensori come sensori sensibili alla luce, sensori tomografici, radar, sensori ad ultrasuoni. In base al tipo di sensore l'immagine può assumere la rappresentazione di un'ordinaria immagine 2D, un volume in 3D o una sequenza di immagini. Il valore di un pixel può corrispondere all'intensità di luce in una o più bande spettrali ma può essere anche dedotto dall'assorbimento sonico o delle onde elettromagnetiche.

### 2.3.2 PRE-ELABORAZIONE

Prima che una immagine venga trattata da un metodo della visione artificiale è solitamente necessario elaborare i dati in modo da verificare che questi soddisfino specifiche regole necessarie al metodo. Per esempio:

- Ricampionare per assicurarsi che le informazioni non siano ridondanti o insufficienti.
- Togliere eventuale rumore che introduce informazioni false.
- Modificare il contrasto per assicurarsi che le informazioni rilevanti vengano individuate.
- Estrazione proprietà (feature extraction):
  - Linee e bordi
  - Punti di interesse locale angoli
  - Riconoscimento del movimento
  - Riconoscimento delle forme
  - Riconoscimento textures

### 2.3.3 INDIVIDUAZIONE/SEGMENTAZIONE (DETECTION/SEGMENTATION)

Una volta terminato il preprocessamento è necessario individuare l'oggetto dell'ispezione, ciò può essere effettuato tramite algoritmi basati sulle proprietà estratte al punto precedente e può impiegare tecniche di machine learning supervisionate/non supervisionate oppure effetti collaterali del processo quali il movimento (individuazione per differenza di fotogrammi successivi con oggetto in movimento).

### 2.3.4 ELABORAZIONE DI ALTO LIVELLO (HIGH-LEVEL PROCESSING)

A questo punto l'input è tipicamente un piccolo insieme di punti o regione di immagine che si presuppone debba contenere un oggetto specifico. Gli obiettivi del restante processo sono:



- Verificare che il modello contenuto nell'input possieda le specifiche del modello base o della classe.
- Stimare i parametri specifici tipo la posizione o la dimensione.
- Classificare oggetti in più categorie

## 3 SISTEMI SPEA DOTATI DI FUNZIONI AOI

### 3.1 FLYING PROBES



Un flying probe è un sistema per il test automatic delle schede elettroniche (pre e post popolamento) che usa un sistema di misura simile ad un tester in-circuit, a differenza di un tester tradizionale, che utilizza fixtures a letto d'aghi, utilizza un numero di sonde sia fisse che mobili per la contattazione.

A seconda del modello un tester di questa tipologia può essere equipaggiato con un numero variabile tra 1 e 20 probes (di solito 4) in grado di contattare la scheda sotto test sia dal lato superiore che da quello inferiore in modo da scansare ogni nodo del circuito in successione, questa tipologia di sistemi risulta in grado di raggiungere prestazioni di contattazione (precisione nel posizionamento) nell'ordine dei 100  $\mu\text{m}$  e frequenze di contattazione nell'ordine di 40 contattazioni al secondo a seconda della distanza di movimento delle sonde.

Considerando che non è necessario un adattatore specifico per la contattazione (sono assenti i costi di fixturing e l'attesa per la realizzazione dell'adattatore) sono adatti al testing di prototipi, piccoli lotti di produzioni o per un utilizzo come strumento di misura evoluto da parte di un tecnico esperto.

#### 3.1.1 TIPI DI TEST

I tester flying probe di solito effettuano misure di tipo analogico su grandezze quali resistenza, capacità e induttanza mentre la scheda sottoposta a test risulta spenta, ciò permette di verificare il corretto montaggio e funzionamento di quasi tutte le tipologie di componenti discreti.

La tipologia di sistemi in oggetto è spesso estesa per includere altre metodologie di test quali boundary scan, AOI, test funzionale e ispezione termica per aumentare il più possibile la copertura del testing e quindi la qualità del prodotto finale.

#### 3.1.2 CARATTERISTICHE PER CAMPO DI APPLICAZIONE

Tester di questo tipo sono disponibili per l'applicazione al test delle schede elettroniche prima che vengano popolate, al test delle schede assemblate e per testare e riparare prodotti di ritorno dal campo.

##### 3.1.2.1 PCB NON POPOLATE

I sistemi applicati all'ispezione di questa tipologia di pcb sono in grado di svolgere test di continuità e isolamento, sistemi dedicati a questa tipologia di test sono in grado di lavorare applicando tensioni

elevate (nell'ordine dei 100 V) e la loro costruzione privilegia il parallelismo di ispezione in modo da avere un throughput elevato.

### 3.1.2.2 PCB POPOLATE

I sistemi applicati all'ispezione di questa tipologia di pcb sono meno orientate al parallelismo ma includono una gamma di opzioni più vasta (di cui l'AOI fa parte) in modo da massimizzare la copertura dei possibili fault.

### 3.1.2.3 RIPARAZIONE

Questi sistemi operano solitamente con un numero minimo di probe, l'analisi delle impedenze viene utilizzata confrontando i risultati della scheda sotto test con quella di un prodotto privo di difetti. Il throughput non è significativo, la facilità d'uso e il prezzo contenuto sono fattori chiave.

### 3.1.3 HARDWARE DI VISIONE

I sistemi flying probe sono equipaggiati con





- **Illuminatore:** Led ring su sonda mobile coassiale al dispositivo di imaging.
- **Dispositivo di imaging:** Telecamera matriciale CCD aderente allo standard GigE.
- **Controllore:** Personal computer (responsabile del controllo del sistema di movimentazione e misura elettrica e dell'elaborazione delle immagini) equipaggiato con librerie Spea.Vision e Cognex Vision Pro.


### 3.1.4 TIPI DI ISPEZIONE OTTICA

I sistemi flying probe sono in grado di effettuare le seguenti ispezioni ottiche.

#### 3.1.4.1 CONDENSATORE, RESISTENZA E INDUTTANZA SMT:

I sistemi a sonde mobili SPEA prevedono l'ispezione automatica di condensatori, resistenze e induttori SMT, l'algoritmo sviluppato come task durante il progetto di laurea in alto apprendistato è qui riassunto :

Immagine	Passo	Descrizione
	Sfocatura	L'immagine viene sfocata tramite un kernel gaussiano per eliminare le component di rumore preseti nell'immagine e rendere il successive step di flood fill capace di evader dale variazioni di colore introdotte dal rumore.
	Segmentazione del case (FloodFill)	Il case viene rilevato effettuando un flood fill a partire dal baricentro del component ( proveniente dai dati cad). Se il risultato del flood fill è un area inferiore a quella attesa il processo viene ripetuto selezionando casualmente un punto seme in un intorno del baricentro .
	Pins Mask Extrapolation	L'immagine del case è sottratta a quella originale, il risultato di questa operazione viene binarizzato con un metodo di sogliatura alla Otsu.
	Pins Detection	L'immagine del case viene ridotta lungo l'asse minore mediando i valori dei pixel della stessa riga/colonna, l'immagine contenente le intensità risultanti viene sogliata

 <p>Misura</p>	<p>filtrando quindi i picchi non dovuti al pin.</p> <p>Dalle transizioni nell'immagine output del passo precedente vengono determinate le larghezze dei pin, dalle transizioni più lontane viene determinata la larghezza del case, dall'area ottenuta allo step 2 invece viene determinata l'altezza del case.</p> <p>Il risultato del test (score) viene determininato tramite una metrica di similarità tra il case atteso e quello rilevato, una mappatura non lineare dei valori viene applicata per separare meglio score di case simili.</p>
---	---

### 3.1.4.2 PATTERN MATCHING:

Il riconoscimento di pattern è una sottoarea dell'apprendimento automatico. Esso consiste nell'analisi e identificazione di pattern all'interno di dati grezzi al fine di identificarne la classificazione.

Sui sistemi spea è possibile confrontare l'immagine rilevata dal gruppo ottico con una serie di immagini campione (acquisite tramite un processo di apprendimento che può essere automatico o supervisionato) provenienti da golden board (schede non presentanti difetti).

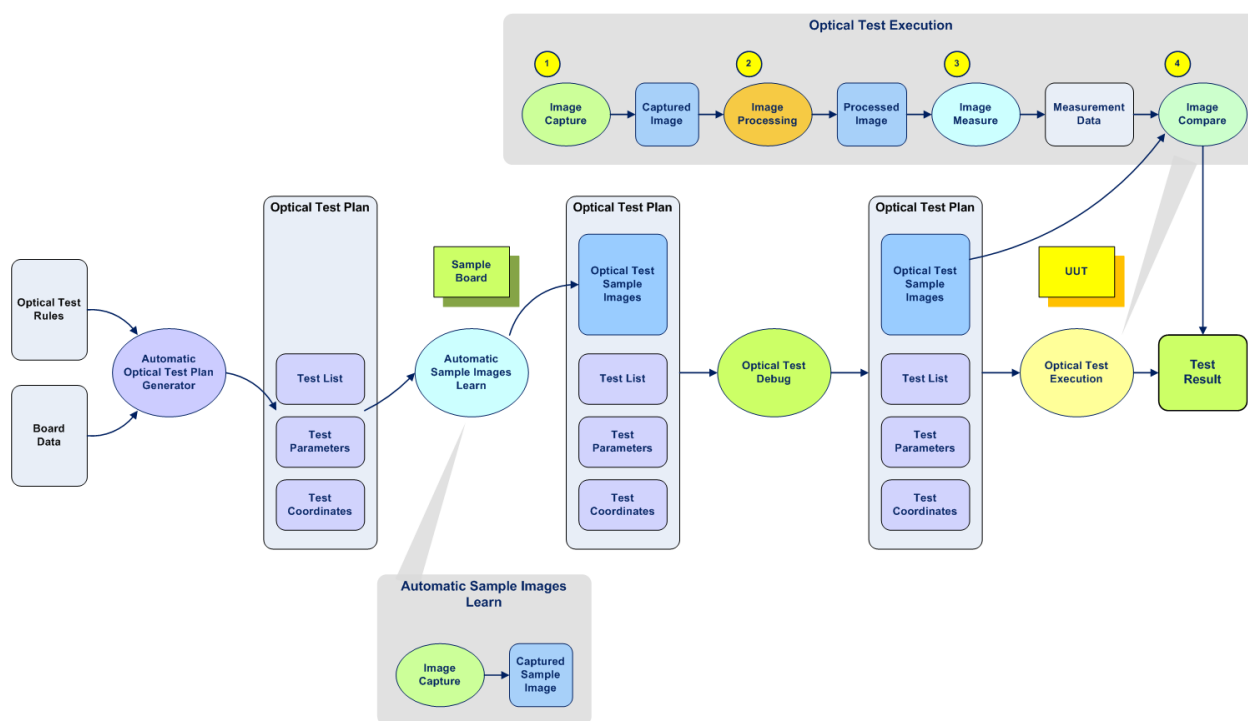


Figura 6 - Flusso di un programma di ispezione ottica tramite pattern matching su flying probe SPEA

### 3.1.5 ALTRI UTILIZZI DEL EQUIPAGGIAMENTO DI VISIONE

Un sistema a sonde mobili necessita di precisioni di contattazione bassissime, è per questo che non è sufficiente inserire un prodotto da testare avendo cura di posizionarlo correttamente.

I sistemi a sonde mobili in ingresso del prodotto effettuano un'ispezione ottica per ottenere la rototraslazione del prodotto rispetto al sistema di riferimento del sistema analizzando la presenza e soprattutto la posizione di due o più punti fiduciali ( Fiducials ).

1. Il sistema viene acceso, la procedura di homing assicura che il manipolatore cartesiano (dotato di encoder relativi) trovi lo zero del sistema di riferimento macchina.
2. Una scheda viene caricata in input
3. La sonda dotata di telecamera si posiziona sul punto dove dovrebbe essere localizzato il fiduciale.
4. Tramite ispezione ottica automatica viene ricercato tramite template matching un template precedentemente acquisito e la sua posizione in coordinate immagine viene correlata a quella dell'asse per ottenere una posizione nel sistema di riferimento macchina
5. Similmente al punto 4 viene ricercato un secondo fiduciale sulla scheda da testare.
6. Sono quindi disponibili informazioni sulla rototraslazione della scheda all'interno del sistema e di conseguenza i successivi spostamenti ( se effettuati nel sistema di coordinate della scheda ) saranno automaticamente corretti.

### 3.2 PICK AND PLACE HANDLERS



Il test finale è uno dei maggiori processi nella fabbricazione dei semiconduttori, risulta necessario testare i circuiti integrati prodotti prima della consegna al cliente per evitare di propagare fault dei dispositivi prodotti sui prodotti del cliente.

I flussi di test sono altamente automatizzati ed una fetta importante del mercato dei sistemi di test per questa categoria di prodotti è rappresentata da sistemi robotici, i pick and place handler, in grado di garantire un elevato throughput.

I p&p handler agiscono come meccanismo di trasporto verso le stazioni di test dove il test elettrico viene effettuato per poi smistare (binning) i componenti a seconda del risultato del test, motivazione per l'utilizzo di sistemi automatici di questo tipo è principalmente la dimensione dei dispositivi da testare (fino a 2x2 millimetri) che renderebbe difficoltosa la contattazione affidabile se non tramite meccanismi di

posizionamento ad elevata precisione e la necessità di effettuare il test anche a differenti condizioni di temperatura ( spesso parti per il mercato automotive o militare necessitano di rigidi protocolli di test in condizioni avverse). In un contesto di produzione industriale un handler può arrivare a testare fino a 25000 parti per ora.

### **3.2.1 COMPOSIZIONE DI UN PICK AND PLACE HANDLER**

#### **3.2.1.1 DISPOSITIVO DI INPUT**

L'input delle parti da testare può avvenire per mezzo dei meccanismi di caricamento più disparati, i più diffusi sono il caricamento per mezzo di vassoi aderenti a standard JEDEC, il caricamento in bobine ed il caricamento tramite unità a boccia (bowl feeder) in grado di accettare parti non organizzate in maniera specifica e di procedere al sorting su vassoio automatico.

##### **3.2.1.1.1 SPEA BFU**

La bowl feeder unit è un dispositivo di input basato su una scodella (bowl) vibrante in grado di caricare i componenti sciolti su dei vassoi che successivamente saranno processati dall'unità di handling, l'unità BFU è dotata di sistemi di visione necessari a decidere quali movimenti subirà il componente prima di essere posato sul vassoio di uscita, due telecamere sono in grado di rilevare su due stazioni diverse del sistema di input se il componente è ruotato oppure capovolto e quindi di correggerne l'orientamento inviando opportuni segnali di controllo alla stazione contenente l'attuatore.

#### **3.2.1.2 PICK AND PLACE**

L'handling delle parti da testare viene effettuato per mezzo di un manipolatore cartesiano che una volta prelevate le parti sotto test dal dispositivo di input procede alla movimentazione lungo il piano orizzontale verso le stazioni di test, l'apparato in oggetto è dotato di sonde con pickup di tipo pneumatico in grado di prelevare i componenti senza danneggiarli per mezzo del vuoto, tali sonde sono dotate di movimentazione anche lungo l'asse Z.

#### **3.2.1.3 TEST STATION**

La test station si occupa di effettuare il test del dispositivo e comunicare al test handler il risultato, essa può essere indipendente dall'handler o strettamente integrata, differenti tipologie di stazioni sono disponibili, da notare l'esistenza di stazioni di test elettromeccaniche orientate al collaudo dei mems in grado di sottoporli a stimoli meccanici e misure analogiche altamente accurate.

#### **3.2.1.4 DISPOSITIVO DI OUTPUT**

Come per il caricamento l'output può avvenire su una vasta gamma di supporti di uscita, vassoio, bobina, tubo.

##### **3.2.1.4.1 SPEA RSU**

La reel sort unit è un dispositivo di output in grado di organizzare i componenti in uscita all'interno di bobine destinate alla vendita, questa unità è equipaggiata con un sistema di visione in grado di riconoscere componenti mal posizionati all'interno della bobina prima di sigillarla, per tanto effettua un test di tasca vuota ed uno di componente ben posizionato.

### **3.2.2 TIPI DI ISPEZIONE OTTICA EFFETTUATI DA PICK AND PLACE HANDLERS**

#### **3.2.2.1 CALIBRAZIONE E BUILT IN SELF TEST**

Un sistema appartenente alla categoria p&p handler è in grado di effettuare dei task di calibrazione riconoscimento tramite tecniche di ispezione ottica opportuni punti fiduciari impressi sullo chassis ciò per mettere di evitare derive nel sistema di movimentazione o di verificare tramite riconoscimento di codice a barre i dispositivi opzionali di natura esclusivamente meccanica necessari a portare a termine la ricetta di test in uso

#### **3.2.2.2 TRACCIABILITÀ**

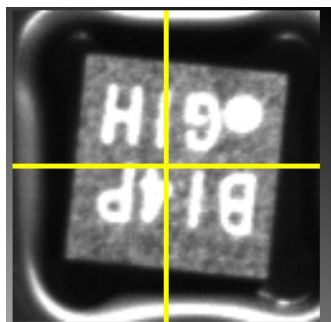
I pick and place handler realizzano spesso funzionalità di tracciabilità riconoscendo per mezzo di ispezione ottica l'appartenenza di un componente sotto test ad un determinato lotto permettendo la realizzazione di test cells in grado di effettuare il test di più lotti contemporaneamente e di smistare correttamente le parti, l'esito di questi controlli può essere successivamente comunicato al software CIM dell'industria

#### **3.2.2.3 EMPTY CHECK SU TESTER**

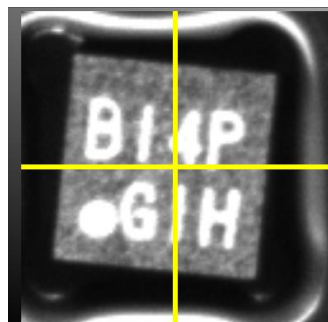
Un componente da testare rimasto bloccato in un sito di test porterebbe ad un falso test poichè mantenendo la propria contattazione impedendo al nuovo dispositivo di essere contattato porterebbe a falsi esiti, risulta quindi necessario sviluppare dei test AOI in grado di rilevare la presenza di componenti bloccati e disabilitare i siti di test per poi informare un operatore.

## 4 APPLICAZIONE – VERIFICA DEL CORRETTO ORIENTAMENTO DI UN COMPONENTE SMT SU BOBINA PRIMA DELLA SIGILLAZIONE.

Ultimo step di una catena produttiva di semiconduttori è il finishing, ciò culmina nel posizionamento delle parti prodotte in bobine dotate di tasche che, una volta vendute, saranno il mezzo tramite cui un sistema di pick and place popolerà le schede elettroniche, risulta quindi necessario garantire che ogni componente sia orientato correttamente nella sua sede per non introdurre difetti nei prodotti del cliente.



Rotazione corretta – da specifiche il marker circolare deve trovarsi nell'angolo in alto a destra



Rotazione errata – da specifiche il marker circolare deve trovarsi nell'angolo in alto a sinistra

Di seguito verrà descritto l'algoritmo necessario alla realizzazione del test AOI.

### 4.1 ALLINEAMENTO GREZZO

Risulta necessario prima di tutto distinguere il componente dallo sfondo ed individuarne la posizione in modo da poter descrivere le coordinate del marker circolare nel sistema di riferimento del componente.

Per prima cosa i livelli di grigio vengono discretizzati tramite una soglia statica, l'immagine risultante conterrà quindi solo due valori rappresentanti oggetto e sfondo, purtroppo la presenza di riflessi sulla tasca della bobina dovuti ad una illuminazione non adeguata crea del rumore nell'immagine risultante.



Figura 7 - Discretizzazione e riconoscimento del pattern quadrato



Passo successivo alla discretizzazione dell'immagine è l'individuazione tramite pattern matching del pattern rettangolare di esempio, il risultato di questo passo verrà utilizzato per creare uno spazio di coordinate solide con la parte da ispezionare.

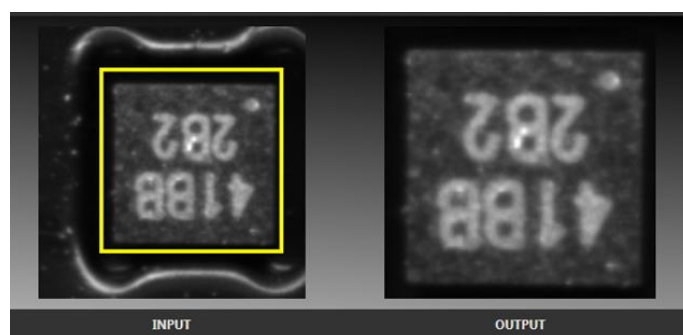


Figura 8 - Ritaglio della porzione di immagine contenente il dispositivo sulla base del risultato del pattern matching

## 4.2 PREPROCESSAMENTO

Una volta individuata la parte da ispezionare l'immagine viene preprocessata per favorire quanto più possibile la decisione sull'orientamento del pezzo, per prima cosa l'immagine viene sfocata il che equivale al filtrare con un filtro passa basso un segnale in modo da ridurre il rumore dovuto alla superficie irregolare del dispositivo (La rumorosità della superficie del componente sarebbe potuta essere mitigata da una corretta illuminazione tramite illuminatore diffuso assiale, è stato erroneamente impiegato un illuminatore tangenziale che ha evidenziato i difetti).

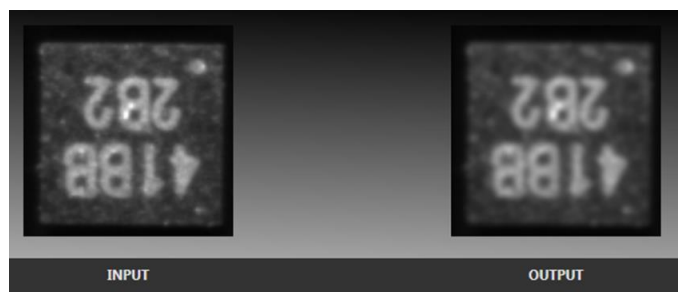


Figura 9 - Filtro passa basso

Passo successivo è l'equalizzazione dell'istogramma delle intensità, ciò permette di ottenere la massima gamma dinamica dalla rappresentazione informatica dell'immagine potendo quindi fissare soglie di discretizzazione dell'immagine meno critiche.

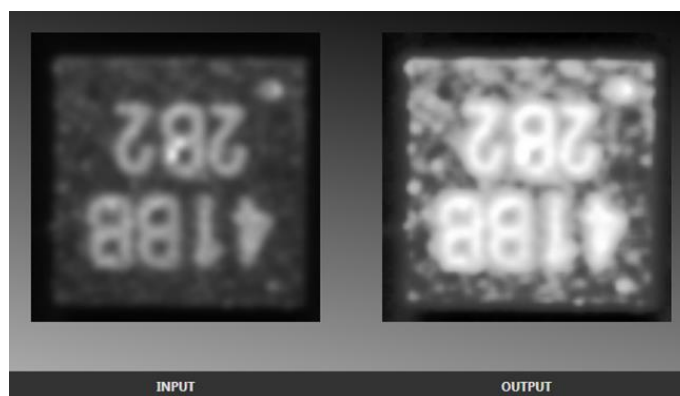


Figura 10 – Equalizzazione



Figura 11 - Discretizzazione

## 4.3 ESITO

Una volta ottenuto un adeguato preprocessing dell'immagine l'esito dell'ispezione ottica viene determinato tramite il consenso di più tecniche volte a scongiurare eventi critici come un carattere circolare mal stampato e quindi simile al pattern atteso.

### 4.3.1 RICERCA DEL PATTERN

Viene verificata la presenza del pattern circolare nell'area attesa.

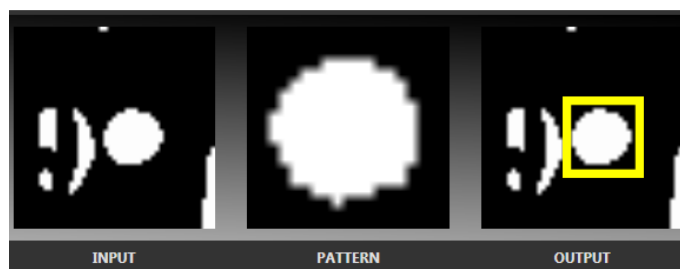


Figura 12 - Ricerca del pattern circolare nell'area attesa

#### 4.3.2 VERIFICA DELL'ORIENTAMENTO ORIZZONTALE

Per ottenere una stima dell'orientamento orizzontale si è scelto di avvalersi della presenza di due linee orizzontali di testo sufficientemente separate tra loro, tramite un'operazione morfologica di dilatazione con kernel rettangolare orientato orizzontalmente i caratteri vengono connessi tra loro, sarà successivamente una verifica sulle caratteristiche geometriche quali elongazione, area, compattezza delle componenti connesse risultanti a garantire il corretto orientamento e scongiurare la criticità.

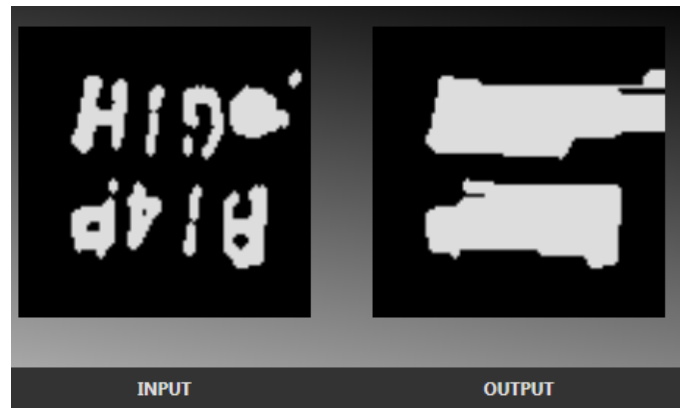


Figura 13 - Dilatazione morfologica con kernel rettangolare



Figura 14 - Analisi delle componenti connesse

## 5 CORRENTI LIMITAZIONI E SVILUPPI FUTURI

Molti dei problemi odierni nell'applicazione dei sistemi AOI al controllo qualità deriva dalla limitata intelligenza e flessibilità degli stessi, un uomo è in grado di prendere una parte, esaminarla da diverse angolazioni e condizioni di luce, elaborare le informazioni acquisite e quindi esporre un proprio giudizio basato sulla propria conoscenza dell'oggetto ispezionato o del materiale con cui è fabbricato, ciò da un punto di vista computazionale è da paragonare all'intelligenza artificiale, un sistema AOI deve dipendere da una costruzione artificiale di una sorta di palcoscenico su cui la parte da ispezionare viene presentata, non è in grado di comprendere intimamente la parte ispezionata.

Il miglioramento delle tecniche di illuminazione, della capacità computazionale e del software di visione ha reso sempre più intelligenti e flessibile l'ispezione ottica automatica ma sempre lontana dall'intelligenza visiva umana.

Funzionalità AOI che nel passato richiedevano hardware specializzato sono adesso realizzabili con elaboratori general purpose.

L'ispezione ottica automatica presenta molte applicazioni ma è attualmente limitata all'individuazione di difetti visivi su parti specificate in maniera precisa ed in condizioni ben definite, possibile sviluppo futuro sarà la realizzazione di sistemi sempre più flessibili coadiuvati da tecniche di machine learning, ciò porterebbe alla nascita di stazioni di test aventi la facilità di apprendimento di un uomo ma la velocità, l'accuratezza e la risoluzione di un elaboratore.

Attualmente grazie alla standardizzazione di alcune tecniche di illuminazione e di posizionamento dell'oggetto si osserva la nascita sempre più veloce di pacchetti chiavi in mano privi di programmazione che possono contenere in maniera significativa i tempi di sviluppo di applicazioni custom.

Dopo l'anno 2000 con l'aumentare dell'integrazione dell'hardware e della conseguente riduzione degli spazi, vediamo affermarsi la categoria di sistemi di visione compatti chiamati smart-camera. Fondamentalmente non c'è nessuna variazione qualitativa rispetto ai sistemi basati su PC, ma solo un aumento di praticità. Dopo l'anno 2005 compaiono i primi sistemi integrati di visione che sfruttano a pieno la sempre maggiore potenza dei personal computer utilizzando software ad alto livello che usa logiche ibride. Questi sistemi di visione hanno, diversamente dai sistemi classici, un alto livello di adattabilità agli eventi esterni che li rendono decisamente più affidabili e versatili. Questi sistemi sono decisamente più semplici da usare perché risolvono automaticamente alcune problematiche tipiche della visione artificiale, lasciando all'operatore l'incombenza di configurare solo gli aspetti funzionali del sistema.