



**POLITECNICO  
DI TORINO**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

# **Applicazioni della computer vision ai sistemi per il collaudo di dispositivi elettronici**

**Relatore**

prof. Matteo Sonza Reorda

**Candidato**

Andrea FONTI

**Supervisore aziendale  
SPEA**

Cristiano Barla

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

# Sommario

Questo sarà il sommario della tesi (l'introduzione potrebbe essere ridondante a causa della presenza di questo capitolo speciale)

# Indice

<b>Sommario</b>	II
<b>1 Introduzione</b>	1
1.1 Storia . . . . .	2
<b>2 Visione artificiale</b>	3
2.1 Fondamenti di ottica . . . . .	3
2.1.1 Rifrazione - legge di Snell . . . . .	5
2.1.2 Riflessione . . . . .	5
2.2 Luce . . . . .	7
2.2.1 Caratteristiche della luce . . . . .	8
2.2.2 Rifrazione - legge di Snell . . . . .	8
2.2.3 Riflessione . . . . .	9
2.2.4 Illuminazione direzionale . . . . .	11
2.2.5 Illuminazione tangenziale . . . . .	12
2.2.6 Illuminazione diffusa . . . . .	12
2.2.7 illuminazione anulare . . . . .	12
2.2.8 illuminazione diffusa assiale . . . . .	12
2.3 Sensori . . . . .	12
2.4 Algoritmi . . . . .	12
2.4.1 Image Processing . . . . .	13
2.4.2 Object detection and recognition . . . . .	13
<b>3 Stato dell'arte</b>	15
3.1 Software . . . . .	15
3.1.1 Opencv . . . . .	15
3.1.2 Cognex . . . . .	15
3.1.3 Halcon . . . . .	15
3.1.4 Mil . . . . .	15
3.2 Hardware . . . . .	15
3.2.1 Telecamere matriciali . . . . .	15
3.2.2 Telecamere lineari . . . . .	15
3.2.3 Scansione 3D . . . . .	15

3.2.4	Controllori Embedded . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Automatic Optical Inspection</b>	<b>17</b>
4.1	Ispezione dei dispositivi elettronici . . . . .	17
4.1.1	Principio di funzionamento di un sistema AOI . . . . .	18
4.2	Tipologie di ispezione ottica automatica delle schede elettroniche . . . . .	18
4.2.1	Presenza di un componente . . . . .	18
4.2.2	Posizionamento di un componente . . . . .	18
4.2.3	Identificazione di un componente . . . . .	19
4.2.4	Test della saldatura . . . . .	19
4.2.5	Test del circuito stampato . . . . .	19
4.2.6	Riconoscimento di punti fiducial . . . . .	20
4.3	Macchine SPEA . . . . .	20
4.3.1	Flying probes . . . . .	20
4.3.2	Pick and Place handlers . . . . .	21
4.3.3	Spea RSU . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Spea.Vision Library</b>	<b>25</b>
5.1	Requisiti . . . . .	25
5.2	Scelte progettuali . . . . .	25
5.3	Architettura . . . . .	25
5.4	Spea Optical Test App . . . . .	25
<b>6</b>	<b>Caso di studio, VUH160 Ispezione dei contatti su package BGA</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>29</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

Tradizionalmente, l'ispezione visuale ed il controllo qualità sono stati affidati a personale esperto[10]. Nonostante un uomo possa fare questo lavoro meglio di una macchina, l'individuo è più lento e si stanca facilmente, oltretutto personale esperto è difficile da trovare e tenere aggiornato in un ambito industriale richiedendo formazione e un considerevole tempo di apprendimento; in alcuni casi l'ispezione può essere tediosa o difficile, anche per i migliori esperti.

Alcuni anni fa, l'industria di produzione di elettronica vedeva l'introduzione di una tecnologia di ispezione ottica automatica basata sul riconoscimento per paragone di immagine (pattern matching). Fino ad allora, l'obiettivo dell'ingegneria di processo era di automatizzare e velocizzare il rilevamento dei difetti di funzionamento delle schede prodotte. Il limite di questo tipo d'ispezione era legato alla raccolta ed all'interpretazione dei dati a posteriori. L'evoluzione della tecnologia e l'aumento della potenza di calcolo dei computer consente oggi di avere acquisizioni ed analisi delle immagini estremamente rapide, permettendo ai sistemi d'ispezione ottica automatica (AOI) di lavorare su logiche d'ispezione. Questa diversa filosofia comporta da un lato un'analisi quantitativa del prodotto ispezionato e dall'altra una elevata velocità di elaborazione delle informazioni acquisite. La capacità di misurare ed archiviare i valori durante l'ispezione consente di creare degli storici statistici e migliorare la tracciabilità; in generale l'AOI costituisce uno strumento per un'analisi oggettiva del processo produttivo. Partendo da questo concetto, risulta così riduttivo considerare l'AOI un sistema in grado di intercettare i difetti sulla scheda. Il sistema deve essenzialmente trovare i difetti di processo, andando ad evidenziare quando la qualità del processo stia deviando dalle condizioni iniziali. Esistono sistemi di monitoraggio in tempo reale che sono in grado di fermare la linea oppure di lanciare un segnale di warning a fronte di uno o più eventi concomitanti: tramite questi è possibile intervenire prima che la deriva di processo diventi drastica e produca una difettosità di funzionamento sulla scheda. Questo costituisce un feedback immediato per l'operatore di linea. L'analisi a posteriori dei dati raccolti permetterà poi al tecnologo di evidenziare i punti deboli della linea produttiva potendo pianificare le eventuali azioni correttive

## 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 finalmente in grado di elaborare grandi quantità di dati quali le immagini.

Negli anni 80 nascono le prime applicazioni pratiche caratterizzate spesso da uno scopo puramente dimostrativo.

Negli anni novanta 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:

Attualmente 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, 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 diventano 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. In generale l'affidabilità delle soluzioni migliora come la disponibilità di prodotti COTS (commercial of the shelf) adatti ad un utilizzo in ambito industriale aumenta.

## Capitolo 2

# Visione artificiale

In questo capitolo vorrei fare un discorso generale riguardo la computer vision, mi piacerebbe dare un taglio cognitivo al discorso ovvero vorrei discutere di come l'ispezione ottica richieda strumenti matematici e informatici volti ad emulare la comprensione, mi piacerebbe anche evidenziare come la telecamera sia da considerare un sensore tramite cui è apprezzata la realtà.

### 2.1 Fondamenti di ottica

Il comportamento dei raggi di luce viene descritto dalla cosiddetta ottica geometrica. L'ottica geometrica è solo una approssimazione del comportamento della luce, che viene descritto completamente dall'ottica ondulatoria, ma una approssimazione che è in grado di descrivere la maggior parte dei fenomeni. Nell'ottica geometrica, la luce è formata da raggi che si propagano in linea retta in un mezzo. Ogni mezzo è caratterizzato da un numero chiamato indice di rifrazione ( $n$ ). L'indice di rifrazione dipende dalla composizione e dalla densità del mezzo. Nella tabella 2.1 sono riportati alcuni indici di rifrazione ed i mezzi corrispondenti.

Quando i raggi incontrano una superficie che separa due mezzi con diversi indici di rifrazione (ad esempio aria e vetro, oppure aria ed acqua, o anche due vetri diversi), il comportamento dei raggi di luce è regolato da due leggi fondamentali:

1. Nella riflessione (Figura 2.1 – a) il raggio di luce (detto incidente) dà origine ad un raggio riflesso. L'angolo incidente è uguale all'angolo riflesso misurato rispetto alla perpendicolare della superficie. La riflessione avviene in modo pressoché completo solo in alcuni casi, di solito quando si ha a che fare con una superficie metallica.
2. Nella rifrazione (Figura 2.1 – b) il raggio di luce incidente dà origine a un raggio rifratto. Anche qui consideriamo gli angoli rispetto alla perpendicolare della superficie, e la loro relazione è regolata dalla cosiddetta legge di Snell.

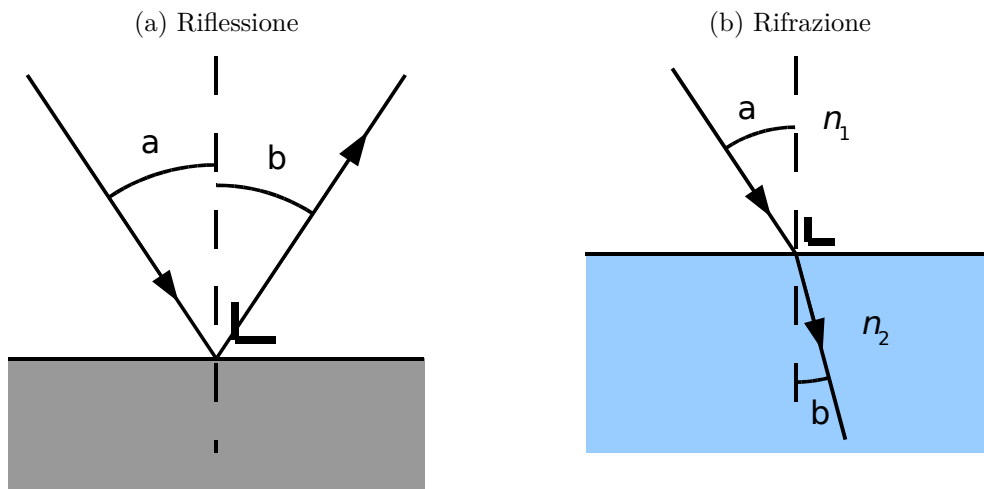


Figura 2.1: Riflessione e rifrazione

Mezzo	Indice di rifrazione ( $n$ )
Vuoto	1
Aria	1,00029
Acqua	1,333
Plexiglas	1,49
Vetro crown	1,51-1,61
Vetro flint	1,51-1,89
Diamante	2,417

Tabella 2.1: Indici di rifrazione

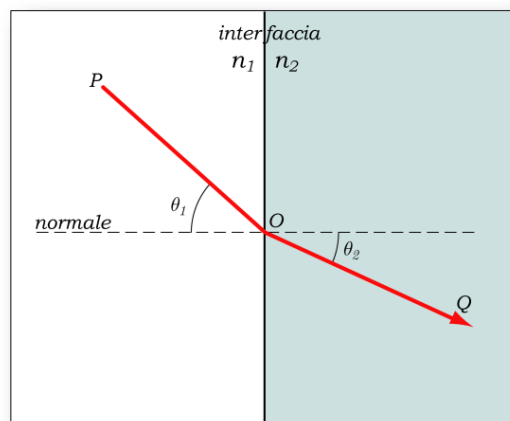


Figura 2.2: Rifrazione



### 2.1.1 Rifrazione - legge di Snell

La rifrazione è la deviazione subita da un'onda che ha luogo quando questa passa da un mezzo ad un altro nel quale la sua velocità di propagazione cambia. La legge di Snell, nota anche come legge di Descartes o legge di Snell-Descartes (o legge di Cartesio o legge di Snell-Cartesio), descrive le modalità di rifrazione di un raggio luminoso nella transizione tra due mezzi con indice di rifrazione diverso, e deriva dall'equazione iconale. La figura 2.4 mostra due mezzi trasmissivi con indice di rifrazione  $n_1$  (a sinistra) e  $n_2$  (a destra) in contatto tra loro attraverso una superficie, che viene chiamata interfaccia (linea verticale in figura). Nel caso  $n_2 > n_1$ , la luce ha una velocità di fase più bassa nel secondo mezzo. Il raggio luminoso  $PO$  proveniente dal mezzo di sinistra colpisce l'interfaccia nel punto  $O$ . A partire da tale punto  $O$  tracciamo una retta perpendicolare all'interfaccia stessa, che viene chiamata normale all'interfaccia (linea orizzontale in figura). L'angolo tra la normale e il raggio luminoso  $PO$  viene chiamato angolo d'incidenza,  $\theta_1$ . Il raggio attraversa l'interfaccia e prosegue nel mezzo di destra, indicato come  $OQ$ . L'angolo che tale raggio (rifratto) forma con la normale si chiama angolo di rifrazione,  $\theta_2$ . La legge di Snell fornisce la relazione tra gli angoli  $\theta_1$  e  $\theta_2$ :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

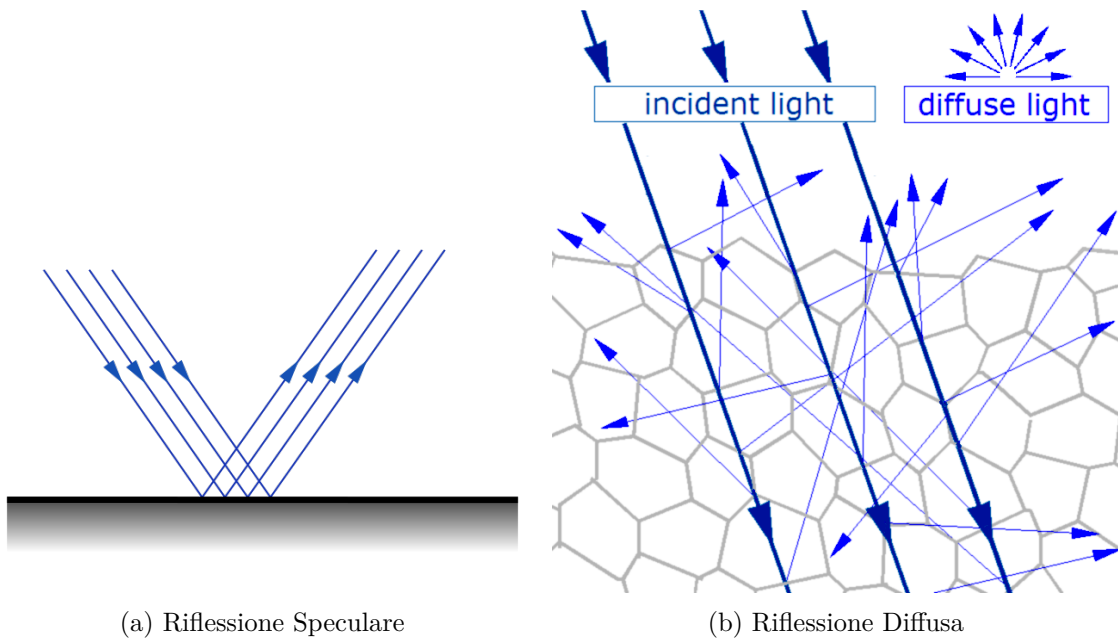
Si noti che nel caso  $\theta_1 = 0^\circ$  (ovvero il raggio risulta perpendicolare all'interfaccia) la soluzione è  $\theta_2 = 0^\circ$  per qualunque valore di  $n_1$  e  $n_2$ . In altri termini, un raggio che entra in un mezzo in modo perpendicolare alla sua superficie non viene mai deviato. Quanto detto sopra vale anche nel caso di un raggio luminoso che passa da un mezzo più denso a uno meno denso; la simmetria della legge di Snell mostra che gli stessi percorsi luminosi sono validi anche nella direzione opposta. Una regola di carattere qualitativo per determinare la direzione della rifrazione è che il raggio luminoso è sempre più vicino alla normale dal lato del mezzo più denso. La legge di Snell è valida in generale solo per mezzi isotropi, come il vetro. Nel caso di mezzi anisotropi (ad esempio alcuni cristalli) il fenomeno della birifrangenza può dividere in due il raggio rifratto. Si vengono allora ad avere due raggi, uno ordinario (raggio o) che segue la legge di Snell, e uno straordinario (raggio e) che può non essere complanare con quello incidente.

### 2.1.2 Riflessione

La riflessione è il fenomeno per cui un'onda, che si propaga lungo l'interfaccia tra differenti mezzi, cambia di direzione a causa di un impatto con un materiale riflettente. Assorbimento, riflessione e trasmissione sono i fenomeni che avvengono quando la luce interagisce con la materia. Quando l'energia radiante incide su un corpo, una parte viene assorbita, una parte viene riflessa e una parte viene trasmessa. Per la legge di conservazione dell'energia, la somma delle quantità di energia rispettivamente assorbita, riflessa e trasmessa è uguale alla quantità di energia incidente. Per indicare il tipo di riflessione di cui si tratta si usano gli aggettivi:

- Spettrale: per indicare la radiazione monocromatica, cioè considerata lunghezza d'onda per lunghezza d'onda;

- Radiante (contrapposto a luminosa): per indicare che la radiazione è data in termini di energia totale, cioè è espressa mediante grandezze radiometriche;
- Luminosa (contrapposto a radiante): per indicare che la radiazione è pesata secondo la funzione di efficienza luminosa dell'occhio, cioè è espressa in grandezze fotometriche;



La riflessione può avvenire:

- Specularmente (riflessione speculare o regolare) cioè in una unica (o quasi) direzione
- Diffusamente (riflessione diffusa) cioè in varie direzioni;

La riflettanza (reflectance) è il rapporto tra flusso riflesso e flusso incidente valutato per ogni lunghezza d'onda. Essendo definita come rapporto di grandezze omogenee, la riflettanza è una grandezza adimensionale e viene espressa in percentuale (0-100%) o come fattore (0.0-1.0). Inoltre riguarda il flusso e quindi la totalità della radiazione riflessa nella emisfera. La riflettanza non è solo funzione della lunghezza d'onda ma anche dell'illuminazione, della geometria di irradiazione e della geometria di visione (cioè della geometria con cui si illumina il corpo e della geometria con cui si misura la quantità riflessa), per cui è necessario definire una grandezza più generale della riflettanza, cioè il fattore di riflessione. Si fa riferimento al diffusore riflettente ideale. Si tratta di un corpo (ideale, cioè teorico) che non assorbe e non trasmette, ma riflette diffusamente la radiazione ricevuta con radianza o luminanza uguale per ogni angolo di riflessione e indipendentemente dalla direzione della radiazione incidente. Come prima applicazione del concetto di diffusore riflettente ideale si definisce il fattore di radianza (radiance factor) o il fattore di luminanza

(luminance factor) come il rapporto tra la radianza di un'area e quella del diffusore ideale riflettente irradiato nello stesso modo. Con riferimento a questo corpo ideale, il fattore di riflessione (reflectance factor o reflection factor) di un corpo è il rapporto tra il flusso riflesso dal corpo in un dato cono il cui vertice è sul corpo considerato e il flusso riflesso dal diffusore riflettente ideale. Il fattore di riflessione è dunque una grandezza generica che corrisponde: alla riflettanza spettrale se il cono è una emisfera; al fattore di radianza spettrale se il cono è stretto. Un tipico spettrofotometro è in grado di misurare il fattore di riflessione spettrale ad intervalli di 10 nm nell'intervallo da 380 a 730 nm. La riflessione di onde elettromagnetiche è regolata da due leggi fondamentali, ricavabili dal principio di Fermat e dal principio di Huygens-Fresnel:

- Il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale al piano nel punto di incidenza giacciono sullo stesso piano;
- L'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione sono uguali;

Un'onda elettromagnetica riflessa può subire uno sfasamento. Questo dipende dagli indici di rifrazione del mezzo nel quale viaggia la luce ( $n_1$ ) e del mezzo oltre la superficie riflettente ( $n_2$ ):

- se  $n_1 > n_2$  non c'è sfasamento;
- se  $n_1 < n_2$  la radiazione riflessa è sfasata di  $\pi$ , cioè di mezza lunghezza d'onda.

## 2.2 Luce

È ampiamente riconosciuto che l'appropriatezza della luce e la qualità della stessa siano aspetti critici nella creazione di un sistema di visione pronto e robusto. Progettare un ambiente di analisi robusto massimizzerà la riuscita del progetto in termini di tempo, sforzo e risorse impiegate.

Storicamente, la luce è stato sempre l'ultimo aspetto ad essere specificato, sviluppato o finanziato, questo tipo di approccio derivava principalmente dall'assenza di prodotti commerciali espressamente rivolti alla machine vision, ciò portava all'adozioni di prodotti consumer quali lampade a incandescenza e/o fluorescenza.

Ciò che è realmente richiesto per la realizzazione di sistemi di ispezione industriale è il controllo dell'illuminazione volto a produrre:

- Illuminazione appropriata dei campioni da analizzare;
- Standardizzazione delle componenti, tecniche, implementazioni e dell'utilizzo del sistema di illuminazione;
- Riproducibilità dei risultati delle ispezioni;
- Robustezza delle ispezioni a variazioni dell'ambiente di ispezione;

per ottenere risultati consistenti nel design di un sistema di illuminazione bisognerebbe tenere a mente i punti di seguito riassunti:

- Tipologie di luce e vantaggi e svantaggi nell'applicazione;
- Efficienza quantica del sensore e range spettrale;
- Tecniche di illuminazione e campi di applicazione relativi alla tipologia di superficie da ispezionare;
- Requisiti e limitazioni di ciascuna tecnica di illuminazione;
- Geometria della luce;
- Struttura (Pattern) della luce;
- Lunghezza d'onda della luce;
- Filtraggio della luce;
- Analisi dettagliata dell'ambiente da illuminare (requisiti e vincoli);
- Raccolta di campioni e verifica delle interazioni con le varie tecniche di illuminazione;

### 2.2.1 Caratteristiche della luce

La luce è una radiazione elettromagnetica visibile all'occhio umano e responsabile del senso della vista, la luce visibile è di solito definita avente lunghezza d'onda compresa tra i 500nm e i 700 nm, compresa tra gli infrarossi aventi lunghezze d'onda maggiori e gli ultra violetti aventi lunghezze d'onda inferiori.

Le proprietà primarie della luce sono l'intensità, la direzione di propagazione, la frequenza (o lunghezza d'onda) e la polarizzazione.

La luce viene emessa in piccoli pacchetti detti fotoni che esibiscono proprietà duali sia di particella che onda.

Il comportamento di un'onda elettromagnetica dipende dalla sua lunghezza d'onda, quando essa colpisce singoli atomi o molecole il suo comportamento dipende da quanta energia ogni singolo pacchetto trasporta.

### 2.2.2 Rifrazione - legge di Snell

La rifrazione è la deviazione subita da un'onda che ha luogo quando questa passa da un mezzo ad un altro nel quale la sua velocità di propagazione cambia. La legge di Snell, nota anche come legge di Descartes o legge di Snell-Descartes (o legge di Cartesio o legge di Snell-Cartesio), descrive le modalità di rifrazione di un raggio luminoso nella transizione tra due mezzi con indice di rifrazione diverso, e deriva dall'equazione iconale. La figura 2.4 mostra due mezzi trasmissivi con indice di rifrazione  $n_1$  (a sinistra) e  $n_2$  (a destra) in contatto tra loro attraverso una superficie, che viene chiamata interfaccia (linea verticale in figura). Nel caso  $n_2 > n_1$ , la luce ha una velocità di fase più bassa nel secondo mezzo. Il raggio luminoso  $PO$  proveniente dal mezzo di sinistra colpisce l'interfaccia nel punto  $O$ . A partire da tale punto  $O$  tracciamo una retta perpendicolare all'interfaccia stessa, che viene chiamata normale all'interfaccia (linea orizzontale in figura). L'angolo

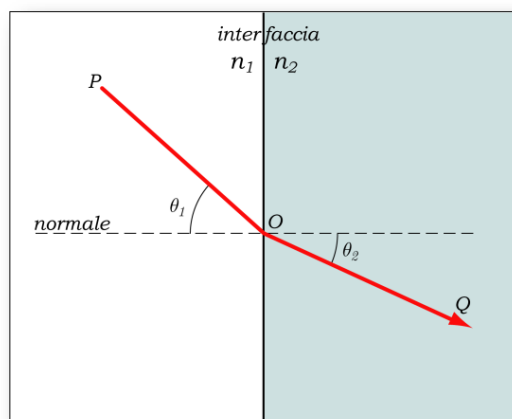


Figura 2.4: Rifrazione

tra la normale e il raggio luminoso  $PO$  viene chiamato angolo d'incidenza,  $\theta_1$ . Il raggio attraversa l'interfaccia e prosegue nel mezzo di destra, indicato come  $OQ$ . L'angolo che tale raggio (rifratto) forma con la normale si chiama angolo di rifrazione,  $\theta_2$ . La legge di Snell fornisce la relazione tra gli angoli  $\theta_1$  e  $\theta_2$ :

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

Si noti che nel caso  $\theta_1 = 0^\circ$  (ovvero il raggio risulta perpendicolare all'interfaccia) la soluzione è  $\theta_2 = 0^\circ$  per qualunque valore di  $n_1$  e  $n_2$ . In altri termini, un raggio che entra in un mezzo in modo perpendicolare alla sua superficie non viene mai deviato. Quanto detto sopra vale anche nel caso di un raggio luminoso che passa da un mezzo più denso a uno meno denso; la simmetria della legge di Snell mostra che gli stessi percorsi luminosi sono validi anche nella direzione opposta. Una regola di carattere qualitativo per determinare la direzione della rifrazione è che il raggio luminoso è sempre più vicino alla normale dal lato del mezzo più denso. La legge di Snell è valida in generale solo per mezzi isotropi, come il vetro. Nel caso di mezzi anisotropi (ad esempio alcuni cristalli) il fenomeno della birifrangenza può dividere in due il raggio rifratto. Si vengono allora ad avere due raggi, uno ordinario (raggio o) che segue la legge di Snell, e uno straordinario (raggio e) che può non essere complanare con quello incidente.

### 2.2.3 Riflessione

La riflessione è il fenomeno per cui un'onda, che si propaga lungo l'interfaccia tra differenti mezzi, cambia di direzione a causa di un impatto con un materiale riflettente. Assorbimento, riflessione e trasmissione sono i fenomeni che avvengono quando la luce interagisce con la materia. Quando l'energia radiante incide su un corpo, una parte viene assorbita, una parte viene riflessa e una parte viene trasmessa. Per la legge di conservazione dell'energia, la somma delle quantità di energia rispettivamente assorbita, riflessa e trasmessa è uguale

alla quantità di energia incidente. Per indicare il tipo di riflessione di cui si tratta si usano gli aggettivi:

- Spettrale: per indicare la radiazione monocromatica, cioè considerata lunghezza d'onda per lunghezza d'onda;
- Radiante (contrapposto a luminosa): per indicare che la radiazione è data in termini di energia totale, cioè è espressa mediante grandezze radiometriche;
- Luminosa (contrapposto a radiante): per indicare che la radiazione è pesata secondo la funzione di efficienza luminosa dell'occhio, cioè è espressa in grandezze fotometriche;

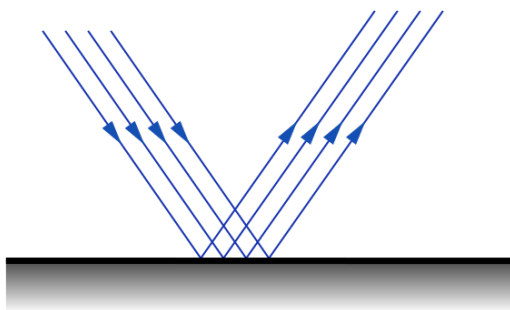


Figura 2.5: Riflessione Speculare

La riflessione può avvenire:

- Specularmente (riflessione speculare o regolare) cioè in una unica (o quasi) direzione
- Diffusamente (riflessione diffusa) cioè in varie direzioni;

La riflettanza (reflectance) è il rapporto tra flusso riflesso e flusso incidente valutato per ogni lunghezza d'onda. Essendo definita come rapporto di grandezze omogenee, la riflettanza è una grandezza adimensionale e viene espressa in percentuale (0-100%) o come fattore (0.0-1.0). Inoltre riguarda il flusso e quindi la totalità della radiazione riflessa nella emisfera. La riflettanza non è solo funzione della lunghezza d'onda ma anche dell'illuminazione, della geometria di irradiazione e della geometria di visione (cioè della geometria con cui si illumina il corpo e della geometria con cui si misura la quantità riflessa), per cui è necessario definire una grandezza più generale della riflettanza, cioè il fattore di riflessione. Si fa riferimento al diffusore riflettente ideale. Si tratta di un corpo (ideale, cioè teorico) che non assorbe e non trasmette, ma riflette diffusamente la radiazione ricevuta con radianza o luminanza uguale per ogni angolo di riflessione e indipendentemente dalla direzione della radiazione incidente. Come prima applicazione del concetto di diffusore riflettente ideale si definisce il fattore di radianza (radiance factor) o il fattore di luminanza (luminance factor) come il rapporto tra la radianza di un'area e quella del diffusore ideale

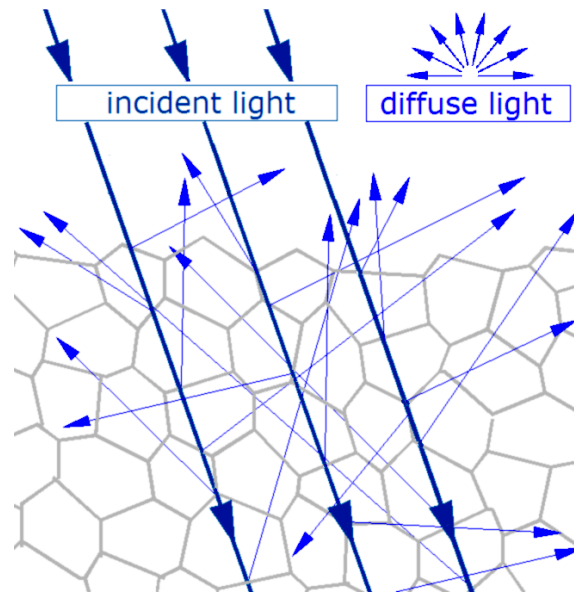


Figura 2.6: Riflessione Diffusa

riflettente irradiato nello stesso modo. Con riferimento a questo corpo ideale, il fattore di riflessione (reflectance factor o reflection factor) di un corpo è il rapporto tra il flusso riflesso dal corpo in un dato cono il cui vertice è sul corpo considerato e il flusso riflesso dal diffusore riflettente ideale. Il fattore di riflessione è dunque una grandezza generica che corrisponde: alla riflettanza spettrale se il cono è una emisfera; al fattore di radianza spettrale se il cono è stretto. Un tipico spettrofotometro è in grado di misurare il fattore di riflessione spettrale ad intervalli di 10 nm nell'intervallo da 380 a 730 nm. La riflessione di onde elettromagnetiche è regolata da due leggi fondamentali, ricavabili dal principio di Fermat e dal principio di Huygens-Fresnel:

- Il raggio incidente, il raggio riflesso e la normale al piano nel punto di incidenza giacciono sullo stesso piano;
- L'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione sono uguali;

Un'onda elettromagnetica riflessa può subire uno sfasamento. Questo dipende dagli indici di rifrazione del mezzo nel quale viaggia la luce ( $n_1$ ) e del mezzo oltre la superficie riflettente ( $n_2$ ):

se  $n_1 > n_2$  non c'è sfasamento;

se  $n_1 < n_2$  la radiazione riflessa è sfasata di  $\pi$ , cioè di mezza lunghezza d'onda.

#### 2.2.4 Illuminazione 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.

### **2.2.5 Illuminazione 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

### **2.2.6 Illuminazione diffusa**

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 )

### **2.2.7 illuminazione 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)

### **2.2.8 illuminazione diffusa 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

## **2.3 Sensori**

questa sezione dovrebbe descrivere le varie tecnologie disponibili per la realizzazione di sensori ottici utilizzati nelle odierne telecamere per applicazioni industriali.

## **2.4 Algoritmi**

Qui vorrei discutere di alcuni algoritmi e tecniche importanti per il processamento delle immagini e fare un parallelo con l'analisi dei segnali.



### **2.4.1 Image Processing**

Qui vorrei parlare di tecniche generiche per il processamento delle immagini quali fitltraggio, filtraggio morfologico, binarizzazione ecc.

### **2.4.2 Object detection and recognition**

Qui vorrei parlare di tecniche per object detection e recognition introducendo machine learning.



## Capitolo 3

# Stato dell'arte

In questo capitolo vorrei soffermarmi su cosa è disponibile al momento in particolare mi piacerebbe parlare di vari pacchetti software e di oggetti hardware integrabili nel progetto di un unità di ispezione ottica

### 3.1 Software

#### 3.1.1 Opencv

#### 3.1.2 Cognex

#### 3.1.3 Halcon

#### 3.1.4 Mil

### 3.2 Hardware

#### 3.2.1 Telecamere matriciali

#### 3.2.2 Telecamere lineari

#### 3.2.3 Scansione 3D

#### 3.2.4 Controllori Embedded



## Capitolo 4

# Automatic Optical Inspection

### 4.1 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.

#### 4.1.1 Principio di funzionamento di un sistema AOI

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.

### 4.2 Tipologie di ispezione ottica automatica delle schede elettroniche

#### 4.2.1 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;

#### 4.2.2 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;

#### **4.2.3 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

#### **4.2.4 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;

#### **4.2.5 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;

### 4.2.6 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.

## 4.3 Macchine SPEA

In questa sezione vorrei parlare delle macchine SPEA e di come adottino funzionalità di computer vision per realizzare funzioni di ispezione automatica oppure di calibrazione del sistema.

### 4.3.1 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.

### 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.

### **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.

### **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

### **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.

### **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.

#### **4.3.2 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.

## **Composizione di un pick and place handler**

### **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.

### **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.

### **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.

### **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.

### **Dispositivo Di Output**

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

#### **4.3.3 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.



## Capitolo 5

# Spea.Vision Library

Questo capitolo dovrebbe discutere del lavoro effettivamente svolto in spea con la creazione di una libreria di visione ed il suo progetto.

### 5.1 Requisiti

Analisi dei requisiti.

### 5.2 Scelte progettuali

- Linguaggio di programmazione.
- Tecnologie utilizzate.
- Controllo versione.
- Strategie di deployment

### 5.3 Architettura

- UML
- Design patterns

### 5.4 Spea Optical Test App

Questa sezione dovrebbe discutere dell'ambiente di programmazione grafica associato alla libreria di visione, qui si discuterà del modello di esecuzione, della risoluzione delle dipendenze tra blocchi di image processing, di opportunità di parallelizzazione ecc.



## Capitolo 6

# Caso di studio, VUH160 Ispezione dei contatti su package BGA

In questo capitolo vorrei parlare di una applicazione ottica realizzata per l'ispezione delle ball presenti su un package BGA con destinazione automotive.





**Capitolo 7**

**Conclusioni**