

Telecamera

- È il dispositivo in grado di acquisire un'immagine della zona inquadrata

Ottica (Obiettivo o lente)

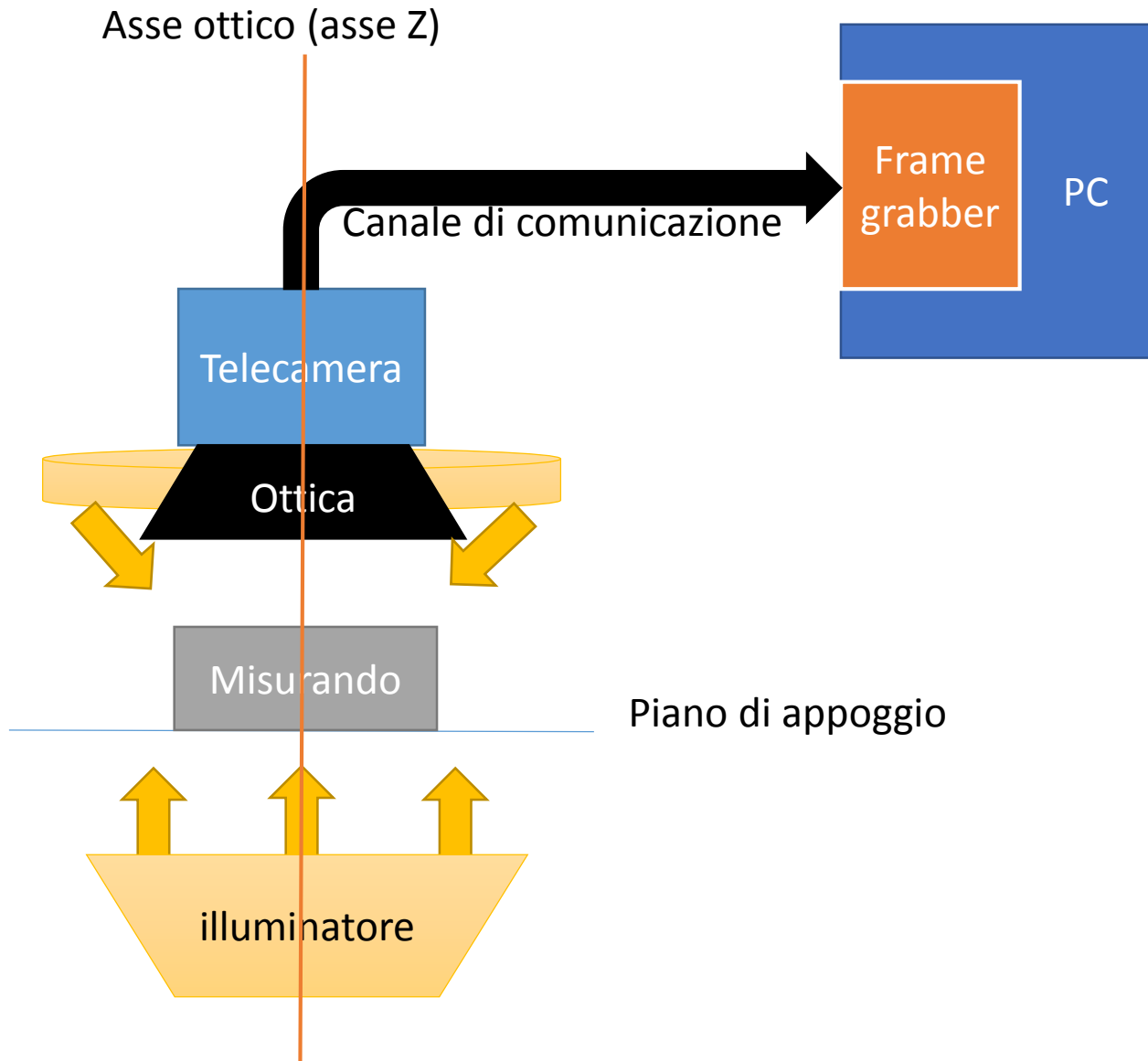
- È un dispositivo in grado di convogliare sul sensore della telecamera i raggi luminosi riflessi dalla zona inquadrata

Sorgente luminosa

- È l'emettitore di luce utilizzato per illuminare la zona inquadrata

Sistema di elaborazione delle immagini

- È l'insieme di hardware e software utilizzato per l'elaborazione dell'immagine.



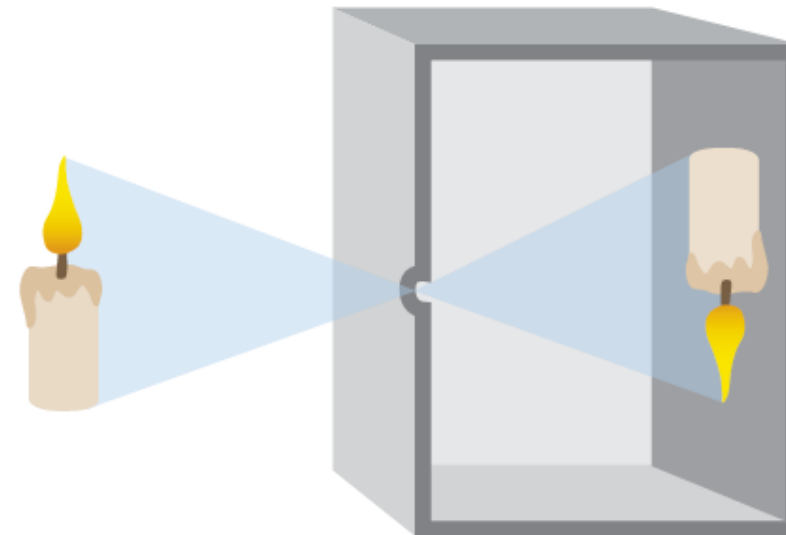
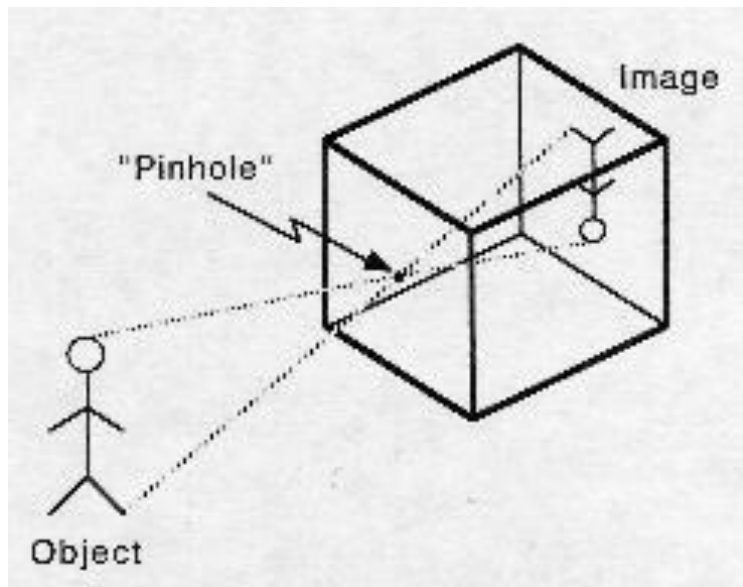
- L'oggetto è posizionato su un piano di appoggio (vetro) o posizionato in qualche modo nella zona inquadrata dalla telecamera
- L'illuminatore diascopico proietta l'ombra dell'oggetto sul sensore della telecamera
- L'illuminatore episcopico genera una riflessione di luce sull'oggetto che viene proiettata sul sensore della telecamera
- L'ottica permette di convogliare i fasci luminosi verso il sensore della telecamera
- Il canale di comunicazione permette di trasferire l'immagine acquisita al sistema di elaborazione tramite una scheda di acquisizione immagini (Frame-Grabber): CameraLink – GigE – USB3
- Il software elabora le immagini per determinare le misure dell'oggetto

Il principio alla base è quello della camera oscura (dark room) e del pin-hole

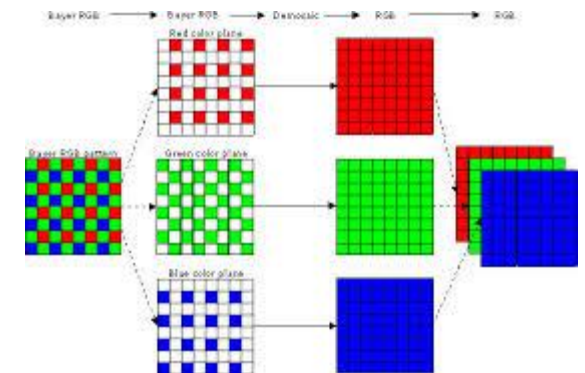
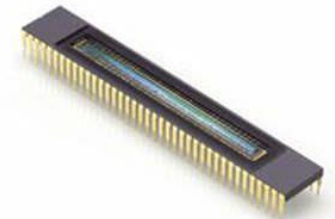
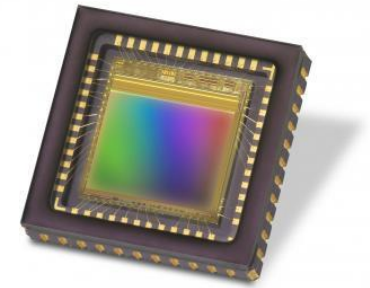
La camera oscura è un ambiente privo di sorgenti di luce

Il pin-hole è l'unica fessura da cui possono entrare raggi di luce

L'oggetto posto di fronte la pin-hole sarà proiettato sulla parete opposta della camera oscura



- Analogiche / Digitali : si differenziano solo nel tipo di segnale che viene trasferito dalla telecamera al framgrabber. Oggi si utilizzano quasi esclusivamente telecamere digitali
- Matriciali / Lineari : si differenziano per la forma del sensore
 - Matriciali : il sensore è composto da una griglia NxM di celle fotosensibili
 - Lineari : il sensore è composto da una sola riga di celle fotosensibili (esistono anche sensori multilinea x2 x4 x16)
- B/N – Colori : si differenziano per il tipo di sensore utilizzato
 - B/N : Il segnale generato da ogni singola cella è direttamente proporzionale alla quantità di luce che incide sulla cella stessa
 - Colori : Il filtro Bayer permette di combinare la sensibilità del sensore con le lunghezze d'onda dei colori RGB
- CCD – CMOS
 - CCD (Charge Coupled Device): la quantità di radiazione elettromagnetica viene immagazzinata dal sensore fotosensibile e trasferita per la successiva conversione A/D esterno al sensore
 - CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconduct): la conversione della quantità di carica viene effettuata direttamente all'interno del sensore. Ogni singolo sensore ha il proprio ADC.



- **Risoluzione** (MegaPixel): definisce il numero di pixel che compongono il sensore
- **Cell – size** : definisce la dimensione (in micron) di ogni singola cella (pixle) che compone l'intero sensore
- **Rolling shutter/Global shutter**: definisce il modo con cui viene salvata l'informazione di carica sul sensore
 - Global shutter: in un unico istante viene memorizzata l'informazione su tutta la matrice
 - Rolling shutter: una riga alla volta (critico per acquisizioni in movimento)
- **Frame per seconds**: è la velocità di campionamento massimo della telecamera in termini si "scatti" al secondo
- **Data rate**: è la velocità massima di trasmissione dei dati dalla telecamera al framegrabber in termini di bit/sec
- **Luminosità/sensibilità**: è la risposta alla luce in funzione della lunghezza d'onda
- **Tipo di connessione**: è lo standard utilizzato per la connessione tra telecamere e framegrabber

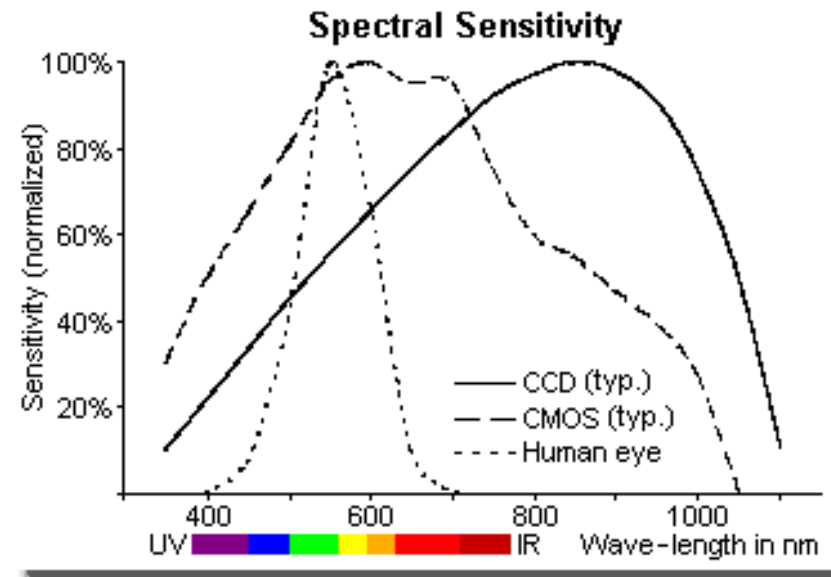
Sensore 6x4 celle = 24pixel

1 cella -> 1 pixel

1pixel -> 1 byte (8bit)

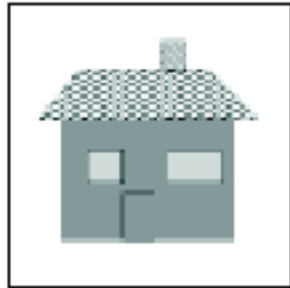
DN = 0 (nero)

DN = 255 (bianco)

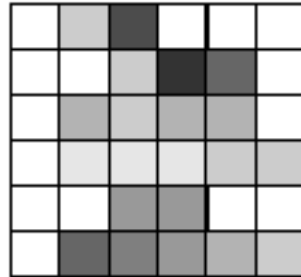


Campionamento: ogni cella photosensibile genera immagazzina una quantità di carica pari alla quantità di radiazione luminosa ricevuta

Quantizzazione: i valori di carica di ogni singola cella sono convertiti in forma digitale (8bit → DN 0-255)



Campionamento



Quantizzazione

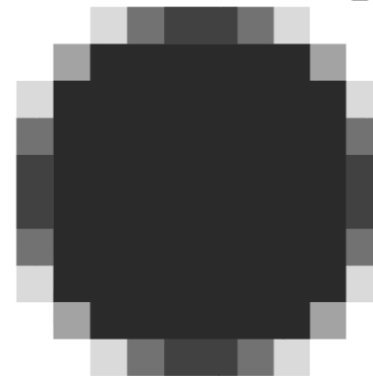
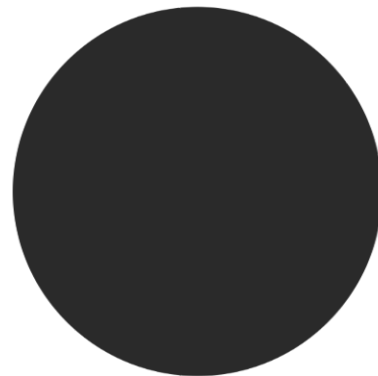


255	204	77	255	255	255
255	255	204	51	102	255
255	178	204	178	178	255
255	230	230	230	204	204
255	255	153	153	255	255
255	102	128	153	178	204

Immagine Continua

Immagine Campionata

Immagine Campionata e Quantizzata



- Le ottiche permettono di convogliare i raggi luminosi provenienti dalla scena inquadrata verso il sensore
- Sono composte da una o più lenti a seconda della complessità dell'ottica
- Le leggi dell'ottica geometrica descrivono il funzionamento delle ottiche

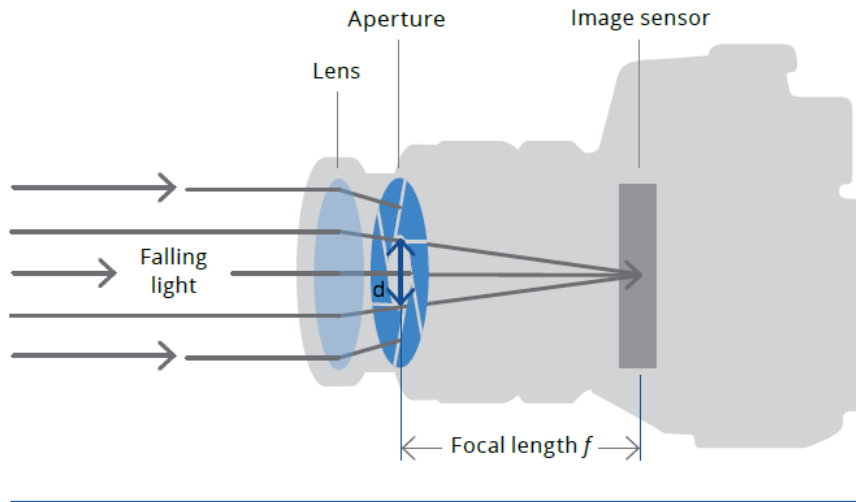
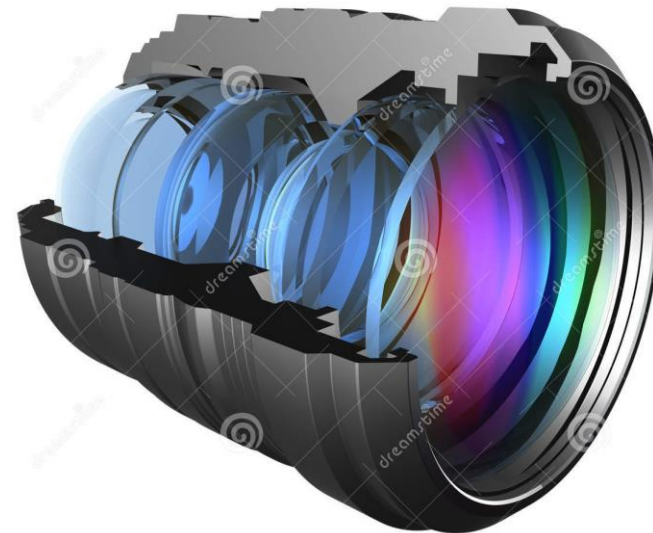
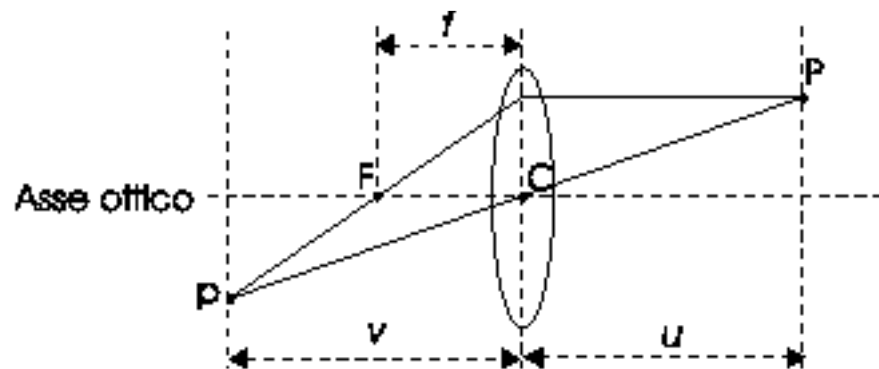


Fig. 12: Aperture of an optical system



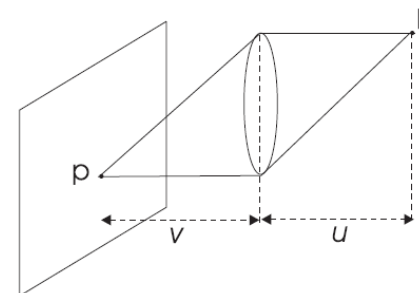
Il modello delle lenti sottili (valido quando lo spessore della lente è considerevolmente inferiore alla curvatura della lente stessa) descrive il principio di funzionamento delle ottiche

- Raggi paralleli all'asse ottico sono deflessi passando per il punto F
- Raggi passanti per il punto C viaggiano rettilinei

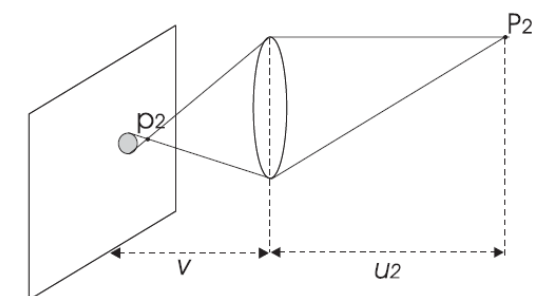
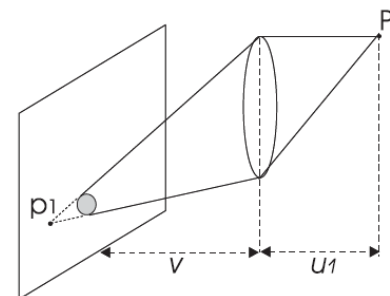


$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

- P : punto della scena
- p : il corrispondente punto focalizzato sull'immagine
- u : distanza tra il punto "P" e la lente
- v : distanza tra il punto "p" e la lente
- f : lunghezza focale (parametron della lente)
- C : centro della lente
- F : punto focale della lente



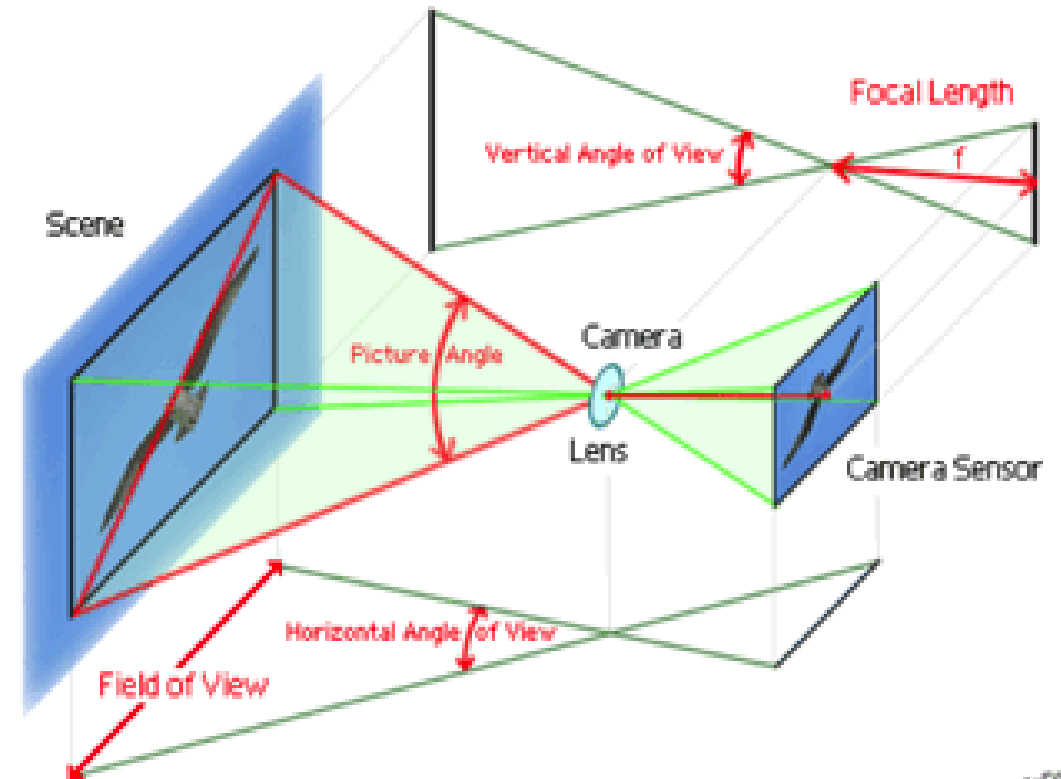
P appartiene al piano a fuoco
 P_1 è davanti il piano a fuoco ($u_1 < u$)
 P_2 è dietro il piano a fuoco ($u_2 > u$)



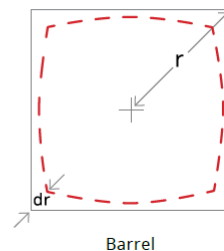
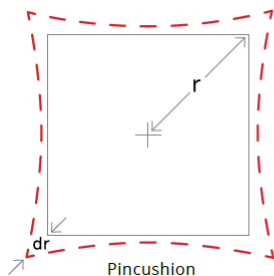
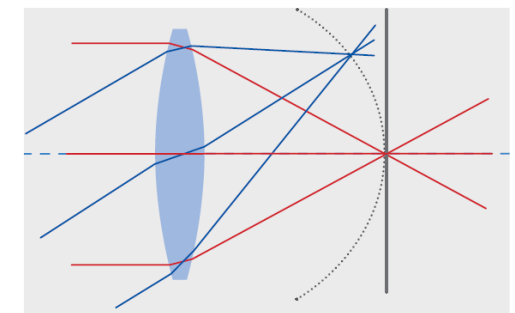
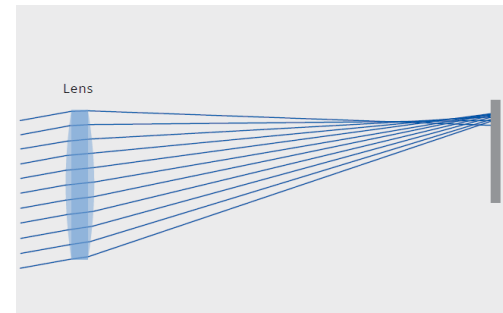
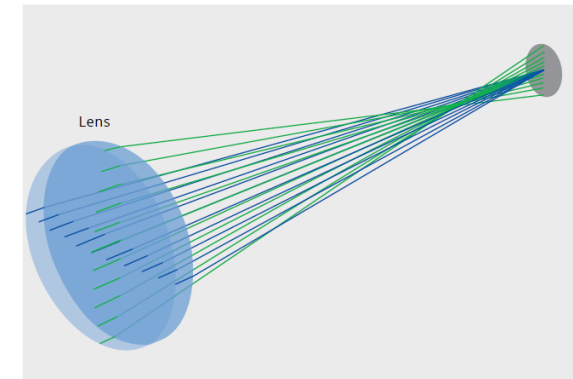
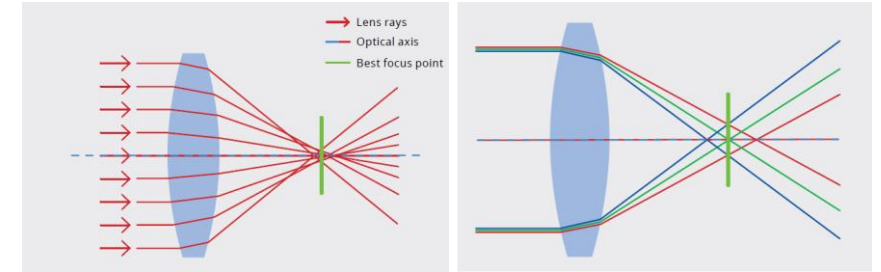
Blur Circle o cerchio di confusione

- È la causa della sfocatura dell'immagine
- La focalizzazione dell'immagine avviene cambiando le posizioni relative tra sensore-lente-oggetto

- **Field Of View (FoV)** : è l'area inquadrata dalla lente e riportata sul sensore della telecamera
- **Magnification**: rapporto tra dimensione del sensore ed area inquadrata
- **Working Distance (WD)** : è la distanza tra la lente e l'oggetto inquadrato nel punto di miglior fuoco
- **Depth of Field (DoF)**: range di working distance entro cui l'oggetto si può considerare a fuoco
- **Resolution**: distanza minima tra due punti che possono essere identificati chiaramente come punti separati nell'immagine ottenuta: dipende dalla qualità della lente e dalla risoluzione della telecamera
- **Focale**: è la distanza tra la lente ed il punto in cui si trova il diaframma
- **Diaframma**: è il punto in cui i fasci luminosi convergono tra lente e sensore:
- **F-number (F/#)**: è il rapporto tra la focale e l'effettiva apertura del diaframma (diametro): $F/\# = (f/d)$



- **Aberrazione sferica:** i raggi non riescono a focalizzare correttamente
- **Aberrazione cromatica:** i raggi focalizzano in posizioni differenti a seconda della lunghezza d'onda
- **Astigmatismo:** la lente ha focali differenti per raggi che risiedono su due piani ortogonali tra loro
- **Coma:** raggi paralleli entranti nell'ottica focalizzano in posizioni differenti a seconda della loro distanza dall'asse ottico
- **Curvatura di campo:** raggi paralleli incidenti con angoli differenti focalizzano non focalizzano su un piano, ma su una superficie curva
- **Distorsione:** è la deformazione generata dalle lenti dovuta alla magnificazione

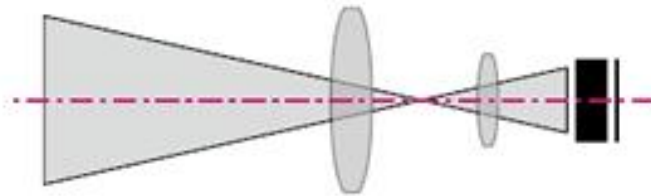


LE OTTICHE TELECENTRICHE

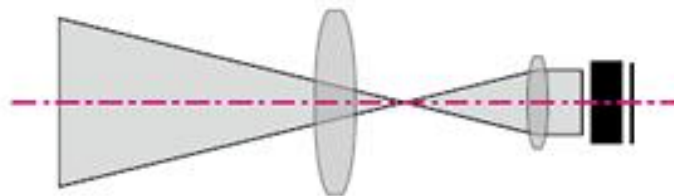
Le ottiche telecentriche sono una tipologia di ottiche progettate per ricevere solo raggi di luce collimati e paralleli all'asse ottico

- La lente di ingresso ha dimensione pari al Field of View
- La magnificazione è indipendente dalla distanza tra oggetto e lente
- La distorsione è minima
- Riduzione quasi totale degli errori prospettici

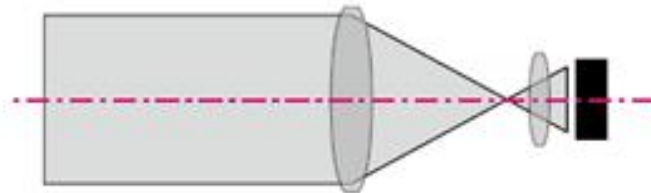
Conventional lens



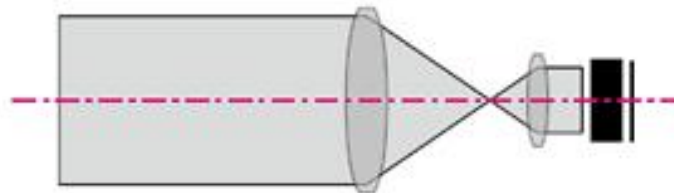
Sensor-side telecentric lens



Object-side telecentric lens



Both-sides telecentric lens



Object	Conventional lens	Telecentric lens

----- Optical axis

L'illuminazione è uno dei componenti fondamentali per un sistema di visione. Una scelta appropriata dell'illuminatore da utilizzare per una specifica applicazione assicura una buona performance del sistema stesso.

I sensori delle telecamere sono sensibili ai raggi di luce generati dall'illuminatore e riflessi dall'oggetto. L'informazione generata dall'interazione tra illuminatore ed oggetto è una informazione «primaria». Non esiste software in grado di rilevare feature su una immagine se queste non sono correttamente illuminate.

Anche l'ambiente è una sorgente luminosa in continua evoluzione

La sorgente luminosa deve essere individuata in funzione delle condizioni di lavoro del sistema:

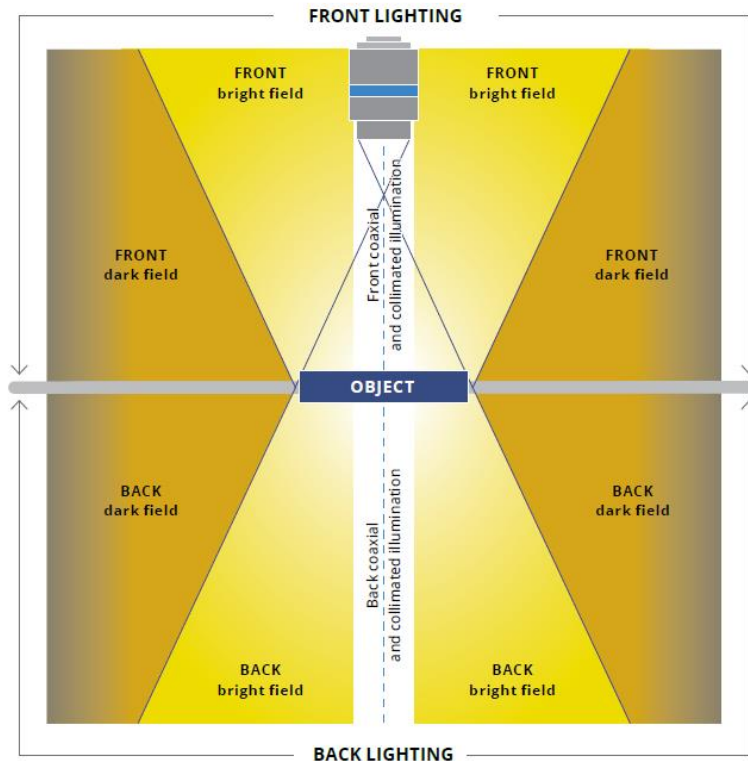
- Tipo di applicazione
- Finitura superficiale dell'oggetto
- Ingombro e costo dell'illuminatore
- Condizioni ambientali

Cosa è necessario tenere a mente:

- Massimizzare il contrasto della feature che si vuole individuare
- Minimizzare il contrasto della feature di NON interesse
- L'influenza delle condizioni ambientali
- Le differenza di finitura superficiale degli oggetti

LED (Light Emitting Diode): è il tipo di illuminatore più utilizzato nel mondo della Machine Vision

- Risposta rapida
- Resistenza meccanica elevata
- Geometrie di illuminazione facili da realizzare
- Stabilità nel tempo
- Tempo di vita elevato



Tipi di illuminazione

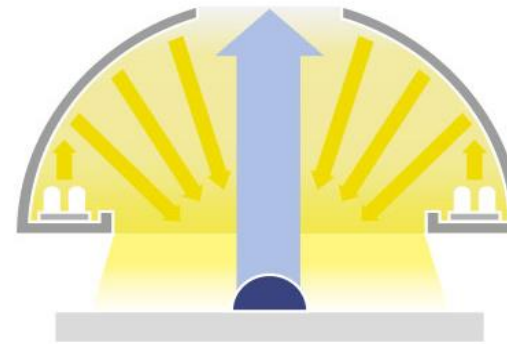
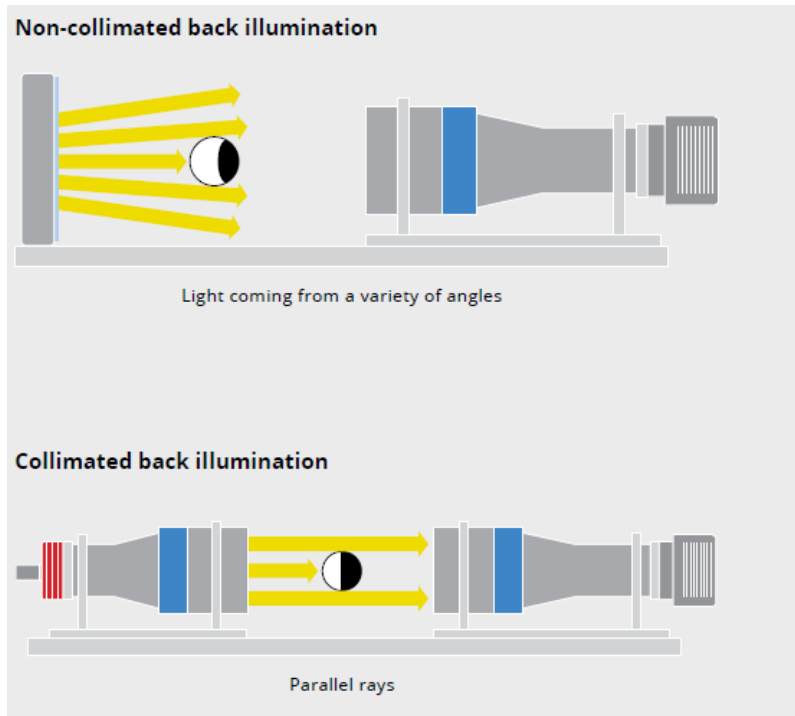
- Episcopica (front-light) : coassiale
- Episcopica (front-light) : diffusa
- Episcopica (front-light) : direzionale

Tipi di illuminazione

- Diascopica (back-light) : telecentrica
- Diascopica (back-light) : non collimata

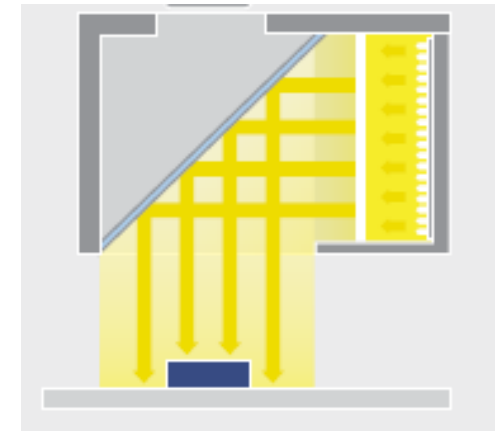
Tipi di illuminazione

- Diascopica (back-light) : telecentrica
- Diascopica (back-light) : non collimata



Tipi di illuminazione

- Episcopica (front-light) : coassiale
- Episcopica (front-light) : diffusa
- Episcopica (front-light) : direzionale



Il risultato di un sistema di visione è ottenuto dall'elaborazione dell'immagine acquisita dal sistema ottico

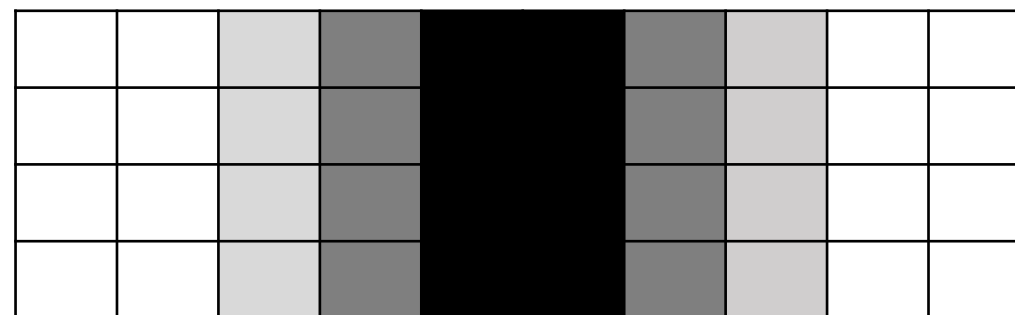
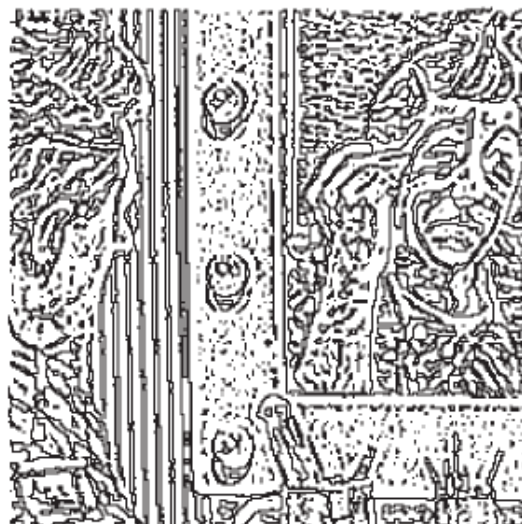
Gli algoritmi di Computer Vision permettono la determinazione di features all'interno dell'immagine

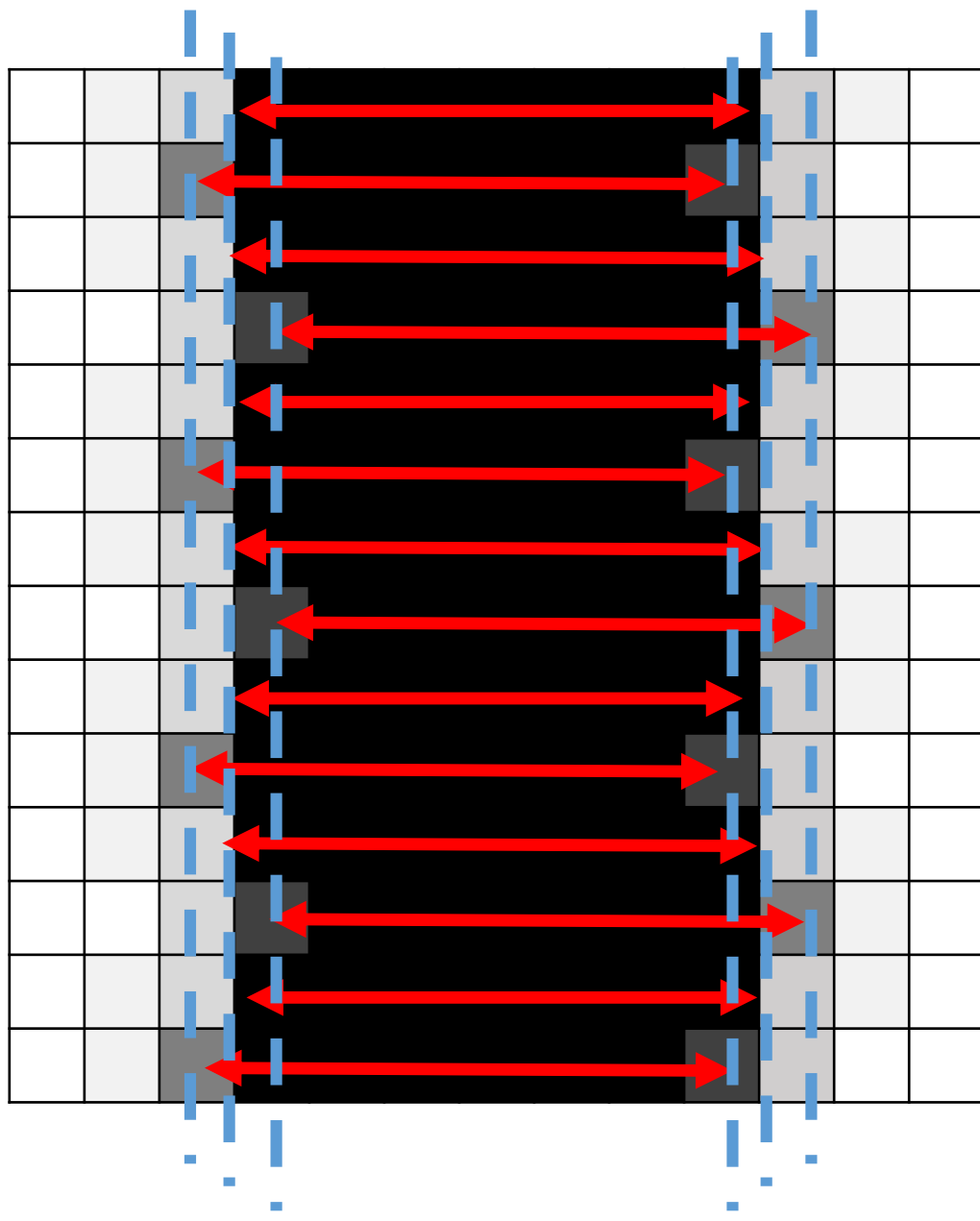
- Filtering : alterazione dell'immagine tramite operazioni matematiche che lavorano sulla matrici di pixel (Media e Gauss → Riduzione del rumore)
- Blob Analysis : suddivisione dell'immagine in aree equivalenti in termini di «colore» o tono di grigio (Ricerca difetti)
- Edge Detection : identificazione dei punti di contorno degli oggetti all'interno dell'immagine (Ricerca bordo)
- Object Recognition (Pattern Matching) : identificazione di oggetti predefiniti all'interno dell'immagine (Presenza componenti o Guida robot)
- Automatic Feature Detection : identificazione automatica di forme all'interno dell'immagine (Programmazione automatica)

L'edge detection è l'algoritmo di CV che è alla base della metrologia ottica

Il contrasto di DN (Digital Number) è il parametro che permette di definire la presenza di un profilo (edge). È possibile estrarre tutti i punti descrittivi di un profilo dell'oggetto

La dimensione di un oggetto è calcolata come la distanza tra due bordi





Gli algoritmi di calcolo metrologico ricevono in input i punti rilevati dagli algoritmi di Edge Detection e forniscono in uscita il valore della misura

La misura ottica deve avere una corrispondenza alla misura a contatto. È necessario identificare l'algoritmo corretto.

La misura su un'immagine è sempre in pixel e deve essere convertita in mm tramite la calibrazione del sistema ottico