

## Sistema di visione

### Catena di misura

La catena di misura di un sistema di visione è composta da:

- **Misurando** uno o più oggetti di cui si vogliono conoscere alcune informazioni e di cui abbiamo alcune specifiche di misura
- **Lente** elemento ottico che ha la proprietà di concentrare o divergere i raggi di luce solitamente è composta da vetro o da materiali plastici
- **Sensore** è l'elemento fotosensibile che permette l'acquisizione dell'immagine attraverso la conversione della luce in un segnale elettrico
- **Trasmissione / comunicazione (veicolatore / trasformatore di dominio)** si occupa di trasferire tramite un protocollo definito l'informazione acquisita al mio sistema di visione al mio sistema di controllo poi c'è il trasformatore che permette di stabilire come trasferisco i dati (colore / bianco nero e i numeri di bit per colore)
- **Pre-processing / Progecesing** come manipolo l'immagine per estrarre quello che voglio
- **Estrattore** estrarre l'informazione a cui sono interessato e considerare tutto il resto rumore

## Sensore

### Photosite

Il photosite è il più piccolo spazio all'interno di un sensore composto da uno o più elementi fotosensibili nell'ordine della decina di micron in grado di trasformare un flusso luminoso in una quantità di cariche elettriche.

Più è grande il photosite più luce posso acquisire quindi riesco anche in situazione di scarsa luce ad ottenere un'immagine buona

### Pixel quadro

pixel in cui le dimensioni sono uguali ed è la condizione più frequente per evitare le distorsioni dato che la rappresentazione delle immagini avviene su monitor che solitamente hanno pixel quadrati.

### FPS frame per second

Rappresenta il numero di frame(scene) che vengono acquisite da una fotocamera per secondo.

Dipende dal tempo che la fotocamera impiega per acquisire e trasformare i fotoni in un'immagine digitale.

"Se ad esempio ho 60 fps acquisirò un frame ogni 16ms.  $1/60=16\text{ms}$ "

### Image circle

è l'area del cono di luce trasmessa da una o più lenti sul piano immagine. Bisogna scegliere un sensore che abbia una diagonale inferiore ai circa due terzi dell'immagine circle se ciò non si avviene si verifica il fenomeno della vignettatura (nero intorno che è dato dal fatto che il sensore è più grande dell'immagine circle cattura anche la struttura della lente). "in pollici quelli della lente devono essere minori o uguali a quelli della lente."

Delle dimensioni dei due lati del sensore si ricava la diagonale del sensore dalla quale si ottiene una stima dell'immagine circle come  $\sim 3/2 \cdot \text{Diagonale}$

## Sensor size

Rappresenta la dimensione del sensore ed è importante perché insieme alla lente caratterizza il campo inquadrato e vincola la scelta delle ottiche, e in base ad esso esprimo la risoluzione spaziale e di conseguenza il dettaglio che riesco a risolvere.

Spiegare il legame esistente fra il Pixel\_size e la frequenza di Nyquist del sistema di visione.

Spiegare su quale caratteristica del sistema di visione esso influisce.

La frequenza di nyquist e la frequenza spaziale massima che permette di riconoscere il dettaglio.

Determina il massimo dettaglio risolvibile.

$$f_{Nyquist} = \frac{1000}{2 * P_{S[micron]}} = \frac{LP}{mm} \text{ LP sta per line pair}$$

Più il pixel è piccolo più alta è la frequenza, il line pair è il periodo spaziale che coincide con lo spazio occupato da 2 pixel, analogamente esso è la minima distanza che ci consente di risolvere il dettaglio.

Calcolata la frequenza di nyquist sul piano del sensore e moltiplicatga per la magnificazione del nostro sistema ci permette di calcolare la frequenza di nyquist relativa al piano oggetto. Le poi faccio l'inverso della la frequenza di nyquist del piano oggetto determino la dimensione in millimetri del Line\_Pair sul piano oggetto.

Come rispondereste al vostro responsabile tecnico se vi dicesse che la vostra è una bella telecamera perché ha tanti pixel?

Avere tanti pixel non vuol dire che ho delle buone performance perché contano anche le dimensioni dei miei pixel perché cambiano la quantità di luce che assorbono.

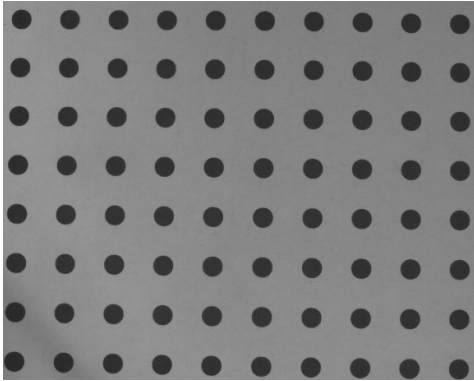
Molti pixel non servono se il sensore è piccolo; la numerosità dei pixel non basta, bisogna vedere la dimensione dei pixel, infatti pixel piccoli catturano poca luce, è ovvio quindi che se la quantità di silicio esposta alla luce è poca la corrente generata sarà bassa al fine di generare l'immagine quest'ultima risulterà più scura.

## Risoluzione spaziale

È il parametro fondamentale per il dimensionamento di un sistema di visione perché rappresenta i millimetri al pixel. Più alta è la risoluzione spaziale maggiore sarà il numero di pixel nell'immagine cioè più piccola sarà l'area resa da un singolo pixel. Ne segue che le immagini ad alta definizione hanno una risoluzione spaziale più alta e posso risolvere dettagli più piccoli.

$RS = \frac{Fov_x}{n_{pixel}}$  dove Fov x,y sta per campo inquadrato dal sensore mentre il Npixel si trova dalla misurazione della foto tramite software specifici.

## Target di misura



L'immagine fornita è standard allora posso andare a calcolare il numero di pixel tra due i due centri di due marker consecutivi che conosco già la distanza in mm e da lì mi calcolo la risoluzione facendo la distanza in mm fratto il numero di pixel.

Per trovare il numero di pixel tra i due marker si può per esempio usare un line profile oppure calcolare la distanza tra i centroidi di due marker consecutivi.

in alternativa posso calcolarmi i line pair al mm usando i dati della telecamera però avrò bisogno della magnificazione della lente per poter calcolare la risoluzione spaziale.

# Telecamere

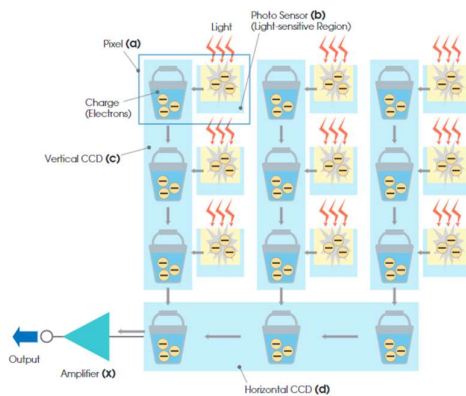
## CCD

sono una tipologia di sensori ad accoppiamento di carica.

Il sensore ha i seguenti compiti:

1. Convertire la luce in carica elettrica (fotoni in elettroni)
2. Accumulare la carica elettrica
3. Trasferire la carica al di fuori del sensore
4. Convertire gli elettroni in tensione
5. Amplificare la tensione

Il pixel è formato da un elemento fotosensibile (photosensor) che trasduce i fotoni in elettroni e da un elemento accumulatore di cariche isolato dalla luce. Ogni accumulatore di carica è collegato in verticale che si comporta come un o shift register. E poi le varie righe verticali sono collegate su una linea orizzontale.



Ci sono due tempi di sincronismo che governano il trasferimento delle cariche dal photo sensor all'accumulatore e per il trasferimento di cariche sulla colonna verticale.

Tempo di sincronismo verticale: durante questo tempo le cariche accumulate in tutti i photosensor vengono trasferite agli accumulatori adiacenti tutti contemporaneamente.

Tempo di sincronismo orizzontale: durante questo tempo le cariche si spostano verso il basso lungo il ccd verticale.

## CCD interline e frame transfer

**Interline** ogni fotosite ha accanto il suo shift register verticale c'è un tempo in cui l'immagine si forma e poi c'è il tempo in cui per trasferire le cariche. Il trasferimento dell'immagine è sincronizzato e quindi tutta è pronta e viene scaricata linea per linea ed ha un a uscita analogica. Posso acquisire una nuova immagine solo quando ha finito di trasferire quella acquisita in precedenza.

**Frame** transfer meta sensore è formato da photosensor e l'altra meta di shift register. Il vantaggio è che mentre trasferisco posso acquisire l'immagine corrente. L'immagine si forma tutta insieme e viene scarica in verticale tutta l'immagine.

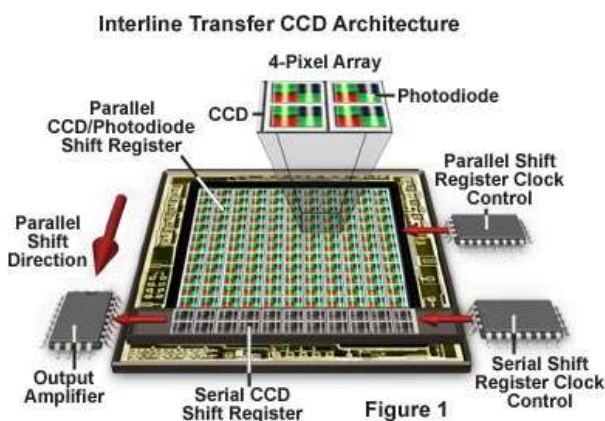


Figure 1

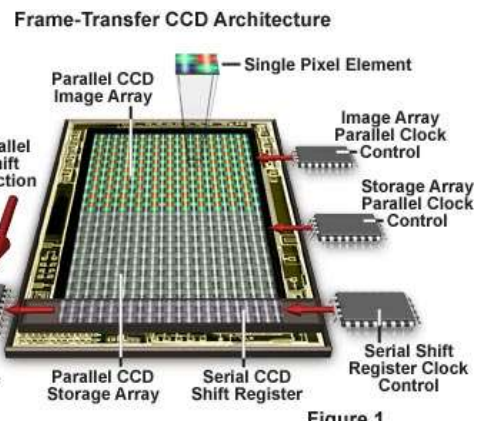
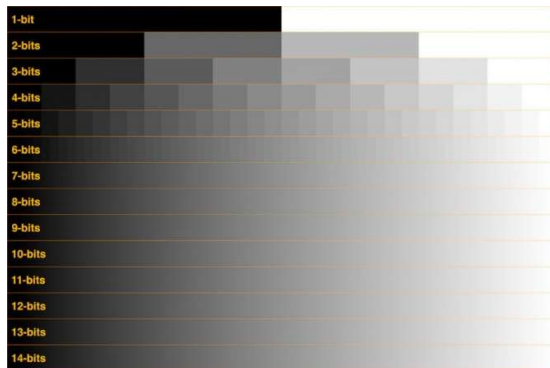


Figure 1

## Bit depth



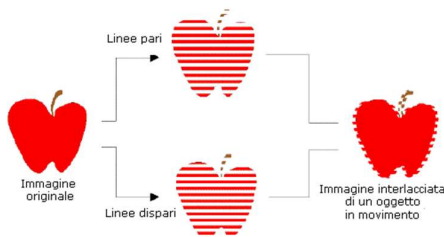
questo parametro è importante per le telecamere digitali perché al loro interno hanno un convertitore e un quantizzatore.

Indica il numero di livelli con posso quantizzare il colore ad esempio con 8bit cioè 256 livelli di colore più il numero di bit è elevato più ho potere risolutivo. Valore sia per le telecamere a colori che in bianco e nero

## analogiche

Il segnale in uscita è di tipo analogico e non digitale; sono telecamere che non hanno al loro interno un convertitore analogico digitale.

## Interlacciamento



Consiste in un sistema di scansione di immagini video che consiste nell'inviare solamente il 50% delle linee (pari) che formano i fotogrammi e che successivamente si invia il restante 50% (dispari) questo fenomeno avviene sia in acquisizione sia per quanto riguarda la visualizzazione.

Il fotogramma totale sarebbe così composto da due campi che sono acquisiti in due tempi diversi.

Questo si può fare perché l'immagine rimane nell'occhio umano impressa nella retina per un certo periodo di tempo, per cui non si accorge di questo trucchetto visivo che è stato introdotto per poter trasmettere a parità di frame immagine, il risultato che si ottiene è un video più fluido a discapito dell'effetto di flicker.

Il fenomeno di flicker o sfarfallio è causato da rapide variazioni del campo inquadrato.

Questo è stato fatto perché per avere un video fluido il limite minimo di frequenza di acquisizione è di 40Hz mentre le telecamere dell'epoca acquisivano a 25Hz quindi per risolvere il problema si è introdotto l'interlacciamento.

## PAL, CCIR, NTSC, RS170

Le prime sono lo standard europeo mentre le altre due sono per gli usa le dispari sono per il colore mentre le altre sono per il bianco e nero. Per l'europeo frame/s 25Hz, line scanning 625.

## Cmos

Sono una tecnologia di funzionamento della matrice che consente di trasformare i fotoni in immagine.

Il sensore ha i seguenti compiti:

- 1 Convertire la luce in carica elettrica (fotoni in elettroni)
- 2 Accumulare la carica elettrica
- 3 Convertire gli elettroni in tensione
- 4 Amplificare la tensione
- 5 Trasferire la tensione al di fuori del sensore

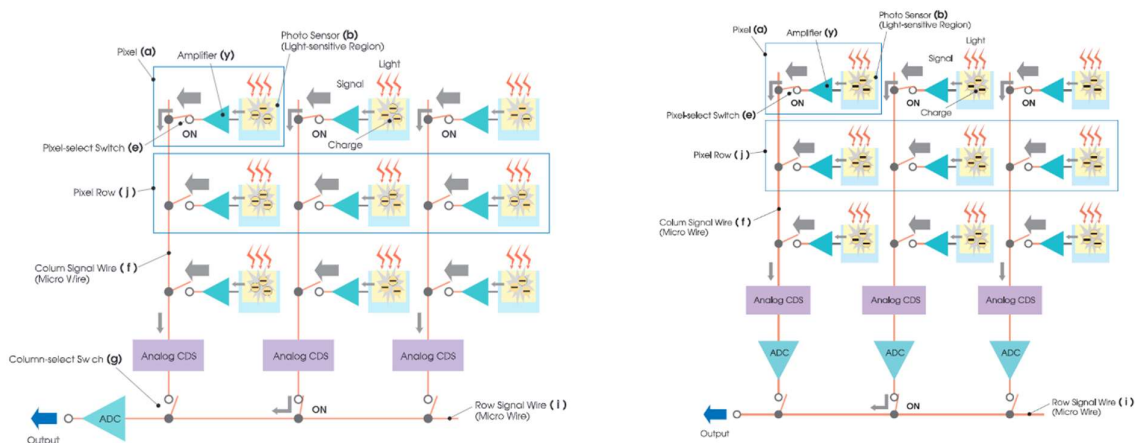
Il pixel che è formato dal photo-sensor (che raccoglie carica) un interruttore (switch on off) e un amplificatore di carica (quando l'interruttore è su on fa passare le cariche trasformandole in tensione)  
Le tensioni viaggiano su un micro-wire che serve ad applicare le tensioni, in una cmos quindi non si trasferiscono cariche ma tensioni, che non passano simultaneamente ma seguono una precisa sequenza con la quale vengono attivati gli interruttori.

Tutti gli interruttori di una riga vengono messi su on quindi un interruttore per colonna, di conseguenza contemporaneamente si hanno sui column-circuit più tensioni, i column select switch vengono chiusi (on) a il column circuit si collega al row signal wire, anche qui la connessione non è simultanea ogni colonna si collega da sola alla row, si aggrappano in modo ordinato da sx verso dx.

Su ogni column wire c'è un analog CDS che toglie il rumore dal segnale.

I pixel sono raggruppati per righe con microwire e poi viene convertita da un adc per ogni singola colonna(array converter) oppure un unico adc per tutte le colonne prima di mandare in output il segnale(convenzionale) che è la più economica ma meno performante(c'è impiego di più a convertire rispetto ad avere più convertitori).

Il segnale prima di uscire viene trasformato in digitale grazie ad un convertitore adc.



partial Scanning (se il datasheet ha up to xxx fps allora lo posso fare)

consiste nel leggere meno righe di quelle richieste (quindi avere una risoluzione verticale ) più bassa si applica se si vuole avere una frequenza di scansione più elevata leggendo un parte più piccola di quella che può leggere il sensore, questo solo se il dettaglio che ci interessa è dentro il campo inquadrato



Full scan



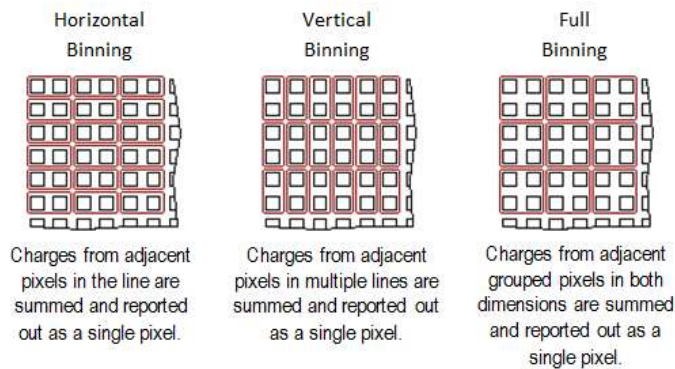
1/2 frame



1/4 frame

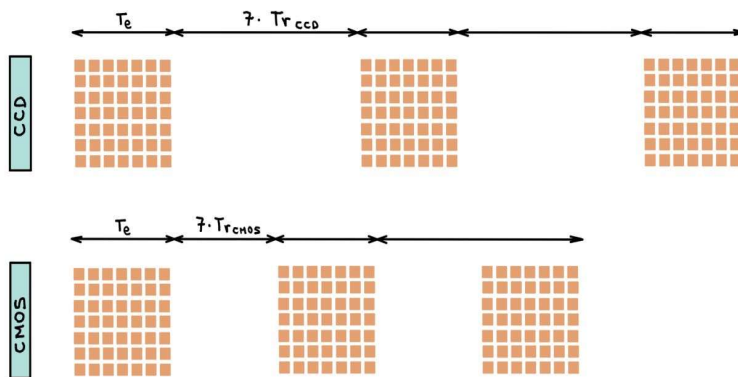


## Binning



la tecnologia di binning è implementabile sia in ccd che in cmos, consiste nel raggruppare due o quattro pixel per volta per poter ottenere immagini più luminose a discapito della risoluzione del sistema perché l'immagine conterrà meno pixel. In un sensore ccd è applicabile tramite hardware prima della digitalizzazione mentre in sensore cmos si possono comandare i vari switch uno per uno tramite software.

## Global shutter



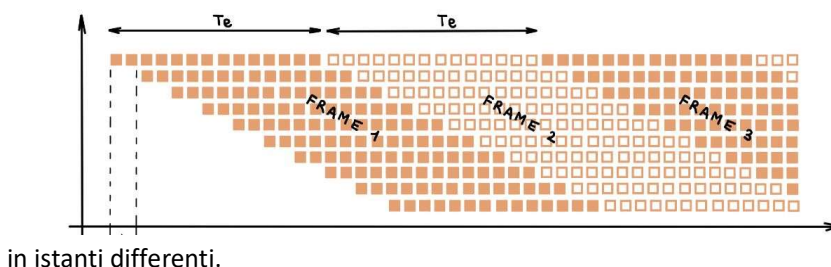
i sensori di immagine con un global shutter consentono a tutti i pixel di accumulare una carica con l'esposizione che inizia e finisce allo stesso tempo. Al termine del tempo di esposizione la carica viene letta contemporaneamente. A sua volta, l'immagine non presenta sfocature di movimento sugli oggetti in movimento perché l'esposizione è breve da fermare la sfocatura ai pixel. Il vantaggio immagini in

movimento.

Svantaggio richiedono architetture più complesse limitando così la densità dei pixel, avranno un formato più grande aumento il costo.

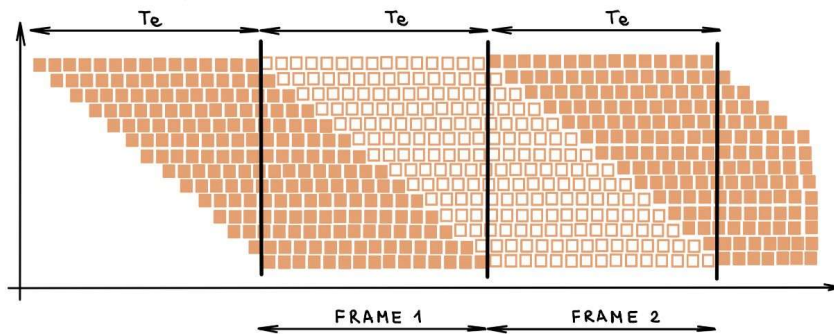
Il tempo di read out tra ccd e cmos sono differenti. Inoltre il ccd funziona solo in global mentre per il cmos c'è bisogno di andare a sincronizzare in modo opportuno gli switch

## Rolling shutter



è possibile realizzarlo soltanto in cmos perché in ccd non posso pilotare i singoli pixel.

Non espongono tutti i photosite nel medesimo tempo di esposizione ma



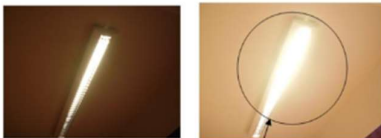
La riga superiore dell'array di pixel è la prima ad essere visualizzata, leggendo i dati dei pixel seguiti delle righe inferiori.

Ciascun punto di inizio e di fine delle righe ha un ritardo poiché il sensore viene letto

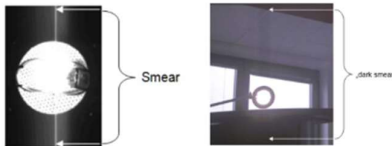
completamente. Il risultato di ciò sugli oggetti in movimento è un'immagine distorta.

sensori Rolling Shutter hanno un design più semplice con pixel più piccoli, consentendo una risoluzione più elevata in un formato immagine più piccolo consentendo l'uso di obiettivi a basso costo. Inoltre posso acquisire frame ogni tempo di esposizione. Svantaggi la distorsione dell'immagine si verifica a causa dell'integrazione riga per riga e dell'offset sugli oggetti in movimento. Pixel più piccoli *possono* anche richiedere un obiettivo di qualità superiore che viene comunemente misurato dalla funzione di trasferimento modulare dell'obiettivo (MTF)

### Problematica telecamere ccd



Blooming quando c'è un over overflow di carica che influenza i pixel vicini per ridurre il problema bisogna ridurre la luce che arriva la sensore



Smear: durante il tempo esposizione i fotoni generano una carica nell'shift register verticale per evitare questo problema si può aumentare il tempo di esposizione o utilizzare il flash

### Problematica telecamere cmos



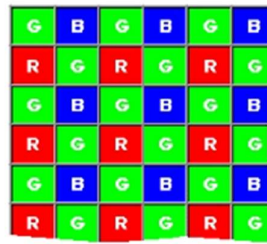
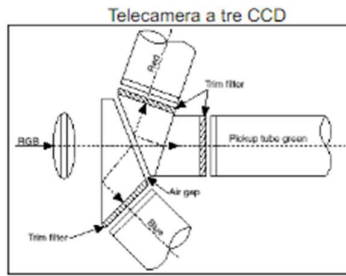
FPN : fixed pattern noise è un rumore che influenza i sensori spesso percepibile durante scatti con esposizioni più lunghe in cui alcuni pixel più suscettibili danno più luce rispetto al valore di rumore generale. si può risolvere abbassando il tempo di esposizione oppure calibrando correttamente il guadagno di ogni pixel.



Eclipse: è un overflow all'interno della telecamera che accade quando all'intero di una zona illuminata appare un pallino nero. Si può evitare riducendo l'illuminazione



## Telecamere a colori



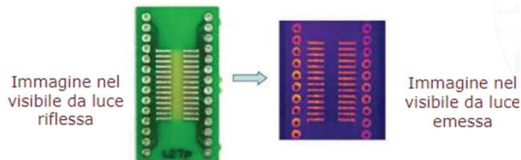
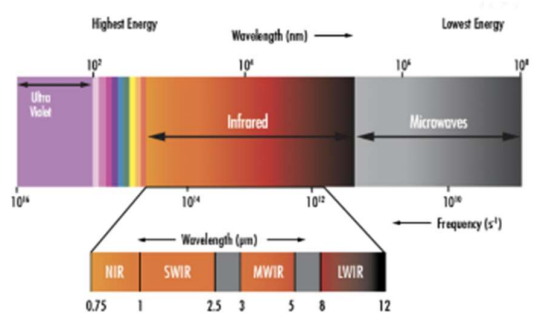
Telecamera a singolo sensore  
Filtro di Bayer

si sfrutta il modello Tristimulus, i sensori sono sensibili solo all'intensità, lo si rende a colori utilizzando tre sensori ciascuno 'piccato' su un colore o utilizzando opportuni filtri colori. Nell'usare tre sensori l'intensità luminosa è ridotta perché si generano perdite nella diffrazione del fascio che arriva a un filtro colore poi alla telecamera del colore corrispondente.

mentre nel caso di singolo sensore ho meno potere sul riconoscimento del dettaglio dato che divido i photosensor sui tre colori e il colore risultante di un pixel è l'interpolazione dei colori adiacenti a quel pixel si fa tramite un filtro bayer.

le telecamere a singolo sensore costano di meno rispetto a quelle da tre sensori.

fai una panoramica della tecnologia disponibile nelle lunghezze d'onda oltre il visibile e proponi esempi applicativi



oltre al campo del visibile si può vedere a diverse lunghezze onde oltre il visibile andando a sostituire il silicio con germanio, arseniuro di gallio e indio è possibile catturare fotoni anche non nel campo del visibile.

Per esempio nel infrarosso (750-12000 nm) che si divide in quattro :

NIR near infrared 750-1000 nm

SWIR short wave infrared 100-2500 nm

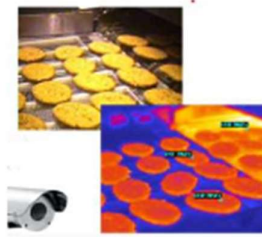
MWIR medium wave infrared 3000-5000 nm

LWIR long wave infrared 8000-12000 nm

queste telecamere rispetto a quelle tradizionali che si basano su un'adeguata illuminazione dell'oggetto e sulla

radiazione emessa l'imaging termico non richiede illuminazione perché sfrutta la radiazione IR emessa dall'oggetto.

Delle possibili applicazioni di utilizzo sono nelle telecamere termiche o in applicazioni dove è possibile distinguere alcuni

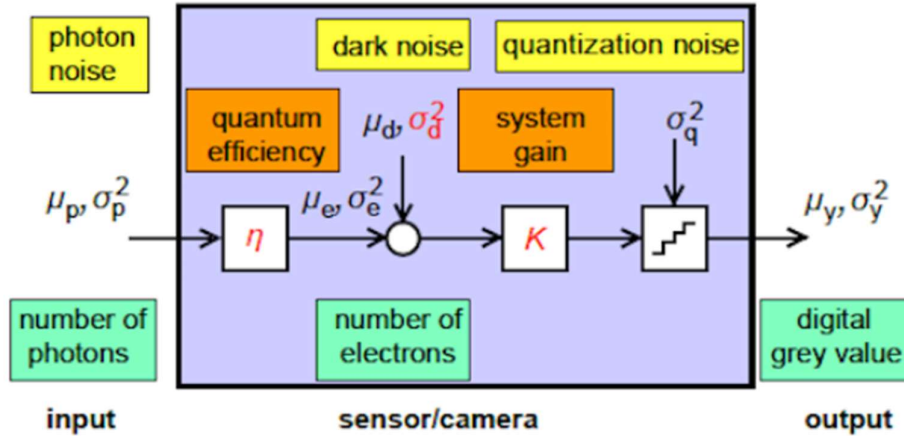


elementi come l'acqua

## Standard emva1288

Il modello usato è quello di generazione delle immagini, mentre il metodo sperimentale si basa sulla raccolta di informazioni su 100 telecamere.

### Schema a blocchi



Si definisce il numero medio di fotoni che colpiscono la superficie del singolo pixel come:

$$\mu_p = \frac{(A E T_e)}{(h \nu)} = \lambda \frac{(A E T_e)}{(h c)};$$

dove:

A : la superficie del singolo pixel.

E: irradianza

Te: tempo di esposizione del pixel alla luce

h : la costante di Plank

v : velocità

c: velocità della luce

lambda: lunghezza d'onda del segnale luminoso

poi definiamo il numero medio di elettroni che si formano nel tempo di esposizione, possiamo dare la definizione di quantum efficiency :

$$\eta(\lambda) = \frac{\mu_e}{\mu_p}$$

che indica il rendimento e da informazioni su quanti fotoni vengono convertiti in elettroni e in funzione della loro lunghezza d'onda.

in una telecamera si hanno più elementi che influenzano la generazione dell'immagine sia che possano essere informazioni che rumori e fluttuazioni, e sono le seguenti:

INPUT:

$\mu_p$  : n fotoni che colpiscono la superficie del pixel

STATO:

$\mu_d$ : disturbo che si aggiunge al segnale

OUTPUT:

$\mu_y$ : segnale digitale monocromatico in uscita che rappresenta i livelli di grigio  $\mu_y = K * (\mu_e + \mu_d)$

Poi definiamo un guadagno K che ingloba più informazioni quali la conversione in elettroni dei fotoni, la successiva conversione in tensione del segnale, e la sua digitalizzazione.

$$K = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{ydark}^2}{\mu_y - \mu_{ydark}}$$

Dove:

- $\sigma^2_e$  = shot noise ,fluttuazione in Te del numero di elettroni, che dipende solo dalla fisica e non dalla telecamera, seguono la distribuzione di probabilità di Poisson  $\sigma_e^2 = \mu_e$
- $\sigma^2_d$  = dark signal noise, rumore che dipende dall' elettronica della telecamera e non dipende dal segnale, segue una distribuzione di probabilità normale
- $\sigma^2_q$  = quantization noise, ca, distribuzione di probabilità uniforme
- $\sigma^2_y$  = fluttuazione dei livelli di grigio in uscita dal modello  $\sigma_y^2 = K^2\sigma_d^2 + \sigma_q^2 + K^2\sigma_e^2$  dove  $\sigma^2_e$  è pari a :  $\sigma_e^2 = \mu_y - \mu_{ydark}$  e  $K^2\sigma_d^2 + \sigma_q^2 = \sigma_{ydark}^2$  da cui ricaviamo la formula di sopra
- $\sigma^2_{ydark}$  = fluttuazione dei livelli di grigio in assenza di irradianza
- $\sigma^2_p$  = fluttuazione degli elettroni in Te

I vari parametri di sigma e mu in funzione di y e di y dark li posso misura in uscita dal mio modello, quelli con y si fa misurando in due istanti diverso per ogni livello di irradianza, mentre per y dark si considerano per livello di irradianza pari a zero.

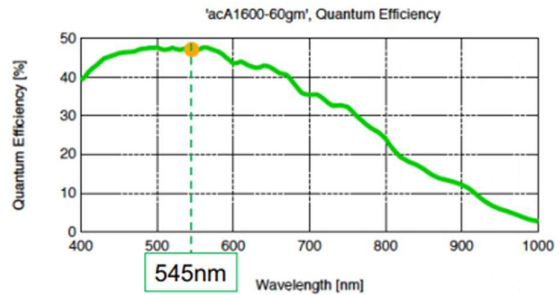
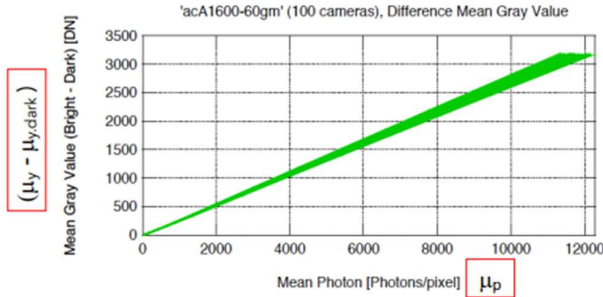
$$\mu_y = \frac{1}{2NM} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (y^A[m][n] + y^B[m][n])$$

$$\mu_{y, dark} = \frac{1}{2NM} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (y^A[m][n] + y^B[m][n])$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{2NM} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (y^A[m][n] - y^B[m][n])^2.$$

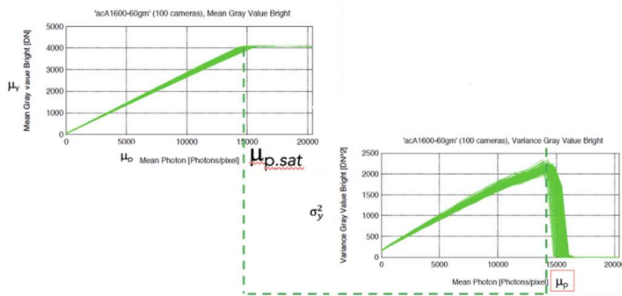
$$\sigma_{y, dark}^2 = \frac{1}{2NM} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (y^A[m][n] - y^B[m][n])^2.$$

Quantum efficiency  $\eta(\lambda)$



ovvero il coefficiente che moltiplicato per il numero di fotoni restituisce il numero degli elettroni generati dall'elemento fotosensibile , mentre il secondo la distribuzione delle varie telecamere sul range di quantum efficieny considerata, ovvero esprime la deviazione standard della quantum efficiency.

## Saturation Capacity $\mu_{esat}$

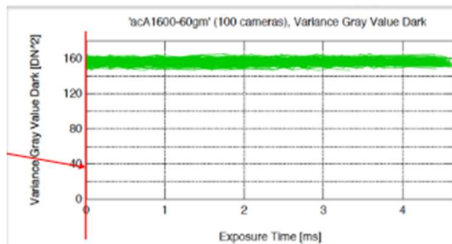


Indica il numero massimo di elettroni che riesco a convertire dai fotoni che legge il mio sensore

$$\mu_{esat} = \eta \cdot \mu_{psat}$$

## Temporal dark noise $\sigma_{d0}$

Indica il modello del rumore per  $T_e = 0$  e dalla formula di fluttuazione dell'errore si ottiene:



$$\sigma_{y0}^2 = K^2 \sigma_{d0}^2 + \sigma_q^2 + K^2 \cdot (\mu_y - \mu_{ydark})$$

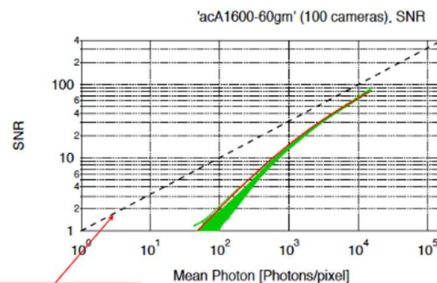
siccome non ho fotoni che si formano  $\mu_y = \mu_{ydark}$  allora nella formula rimane solamente  $\sigma_{y0}^2 = K^2 \sigma_{d0}^2$  quindi :

$$\sigma_{d0} = \frac{\sigma_{y0}}{K}$$

Con  $\sigma_{d0}^2$  si intende la fluttuazione del rumore in numero di elettroni quando il tempo di esposizione ( $T_e$ ) è nullo, detto anche temporal dark noise.

## SNR signal to noise ratio

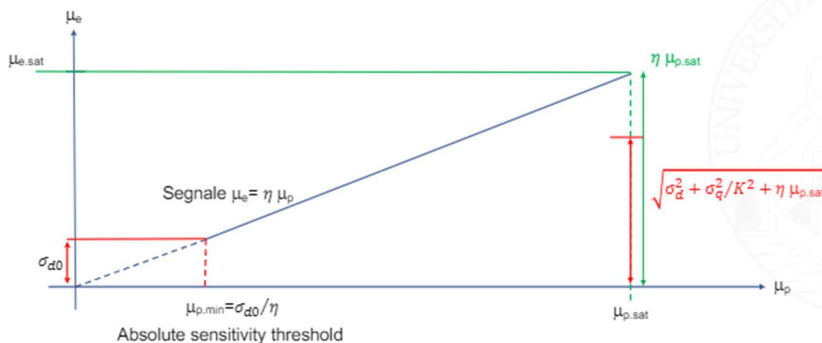
- Esprimo in dB
- La linea rossa corrisponde a quando si considera la componente di rumore per  $T_e=0$
- La linea tratteggiata:
  - Ipotesi sensore ideale: quantum efficiency = 1; nessuna sorgente di rumore



È il rapporto tra il segnale e il rumore e può essere approssimata per due valori limite dei fotoni che colpiscono il pixel ( $\mu_p$ )

$$SNR = \begin{cases} \sqrt{\eta \mu_p} & \eta \mu_p \gg \sigma_d^2 + \frac{\sigma_q^2}{K^2} \\ \frac{\eta \mu_p}{\sqrt{\sigma_d^2 + \frac{\sigma_q^2}{K^2}}} & \eta \mu_p \ll \sigma_d^2 + \frac{\sigma_q^2}{K^2} \end{cases}$$

## Absolute sensitivity threshold



Numero minimo di fotoni per avere il segnale in uscita cioè se il valore che ho è minore del valore di limite in uscita ho solo il disturbo e quindi non è utilizzabile  $\mu_{pmin} = \frac{\sigma_{d0}}{\eta}$ .

Se  $SNR = 1$  quando sono in absolute sensitivity threshold

### DYR dinamic range

Indica un valore che da un indicazione sulla dinamica del sensore (più è ampio più permette di vedere si ail chiaro che lo scuro)

$$DYN = \frac{\mu_{sat}}{\sigma_{d0}}$$

## Lenti

Equazione fondamentale lenti sottili :  $\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$

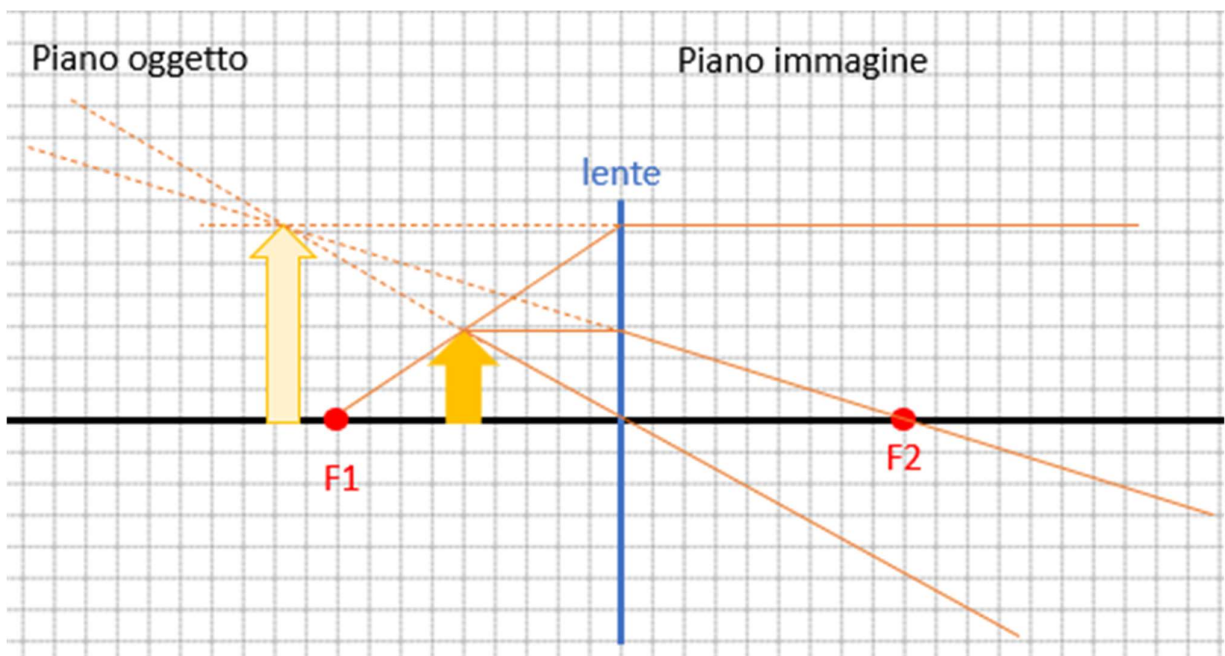
Equazione fondamentale lenti reali :  $\frac{1}{f} = \frac{n_e - n}{n_e} \cdot \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{n_e - 1}{n_e} \cdot \frac{d}{R_1 + R_2} \right]$

dove d indica lo spesso della lente mentre  $n_e$  si indica l'indice di rifrazione del materiale.

Cosa è un'immagine virtuale. Costruire graficamente la traiettoria dei raggi che le corrisponde

Per immagine virtuale si intende l'immagine che si forma nel piano oggetto ovvero quando i raggi di costruzione fondamentale non si intersecano nel piano immagine ma i loro prolungamenti si intersecano a sinistra della lente cioè nel piano oggetto.

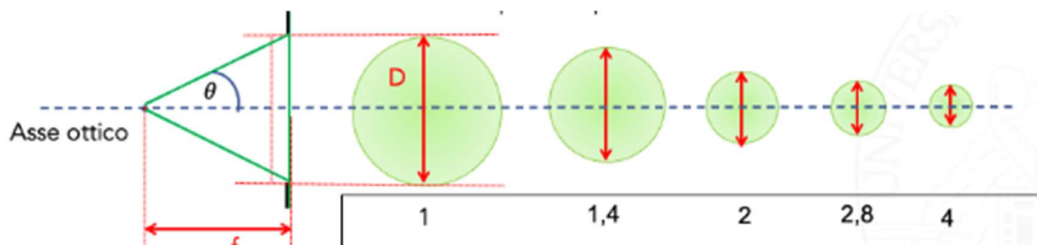
Ovvero quando l'oggetto si trova tra il fuoco e la lente.



Cosa è l'apertura numerica (N.A.) di una lente?

$f/\#$  f number (difrazione) indica il diametro che ho nel campo inquadrato

$N.A. = \sin \theta = \frac{1}{2 \cdot \frac{f}{\#}} = \frac{D}{f \cdot 2}$  è un parametro adimensionale che rappresenta il massimo angolo utile del sistema per ricevere luce.



$$N.A. = 0.5 \quad f/\# = 1$$



$$f/\# = 2 \quad A = 122.7(\text{mm}^2) \quad \frac{f}{D} = \frac{f}{\#} \quad r = \frac{f}{\#} \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 12.4991\text{mm} \quad D = 2 \cdot r = 25\text{mm} \quad \text{N.A.} = 1/(f/\#) = 0.25$$

$$f = D/(2 \cdot \text{N.A.}) = 50$$

formule oppure calcolo il raggio dell'area che ho lo moltiplico per f number mi calcolo il diametro moltiplicando il raggio per 2 e poi calcolo f

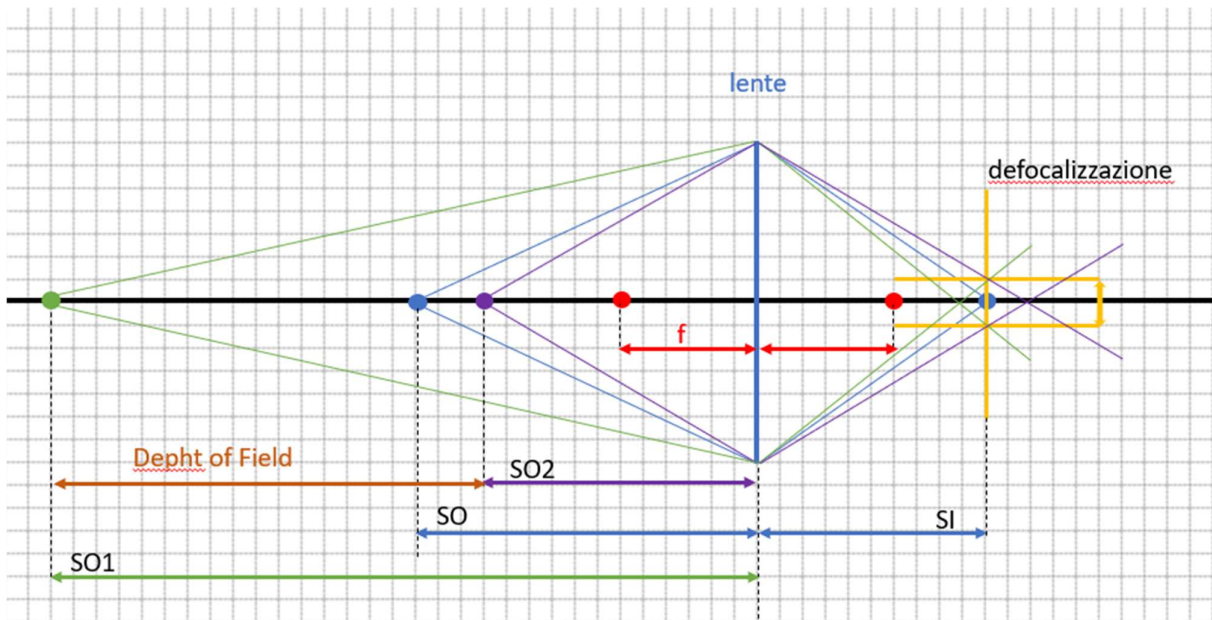
$f/\#$  relazione con depth of Field.

La profondità di campo rappresenta la zona in cui gli oggetti nell'immagine inquadrata risultano nitidi e sufficientemente messi a fuoco.

SO1 la massima posizione sul piano oggetto lontana dalla lente alla quale posso ottenere un'immagine con la massima defocalizzazione accettabile

SO2 la minima posizione sul piano oggetto lontana dalla lente alla quale posso ottenere un'immagine con la massima defocalizzazione accettabile

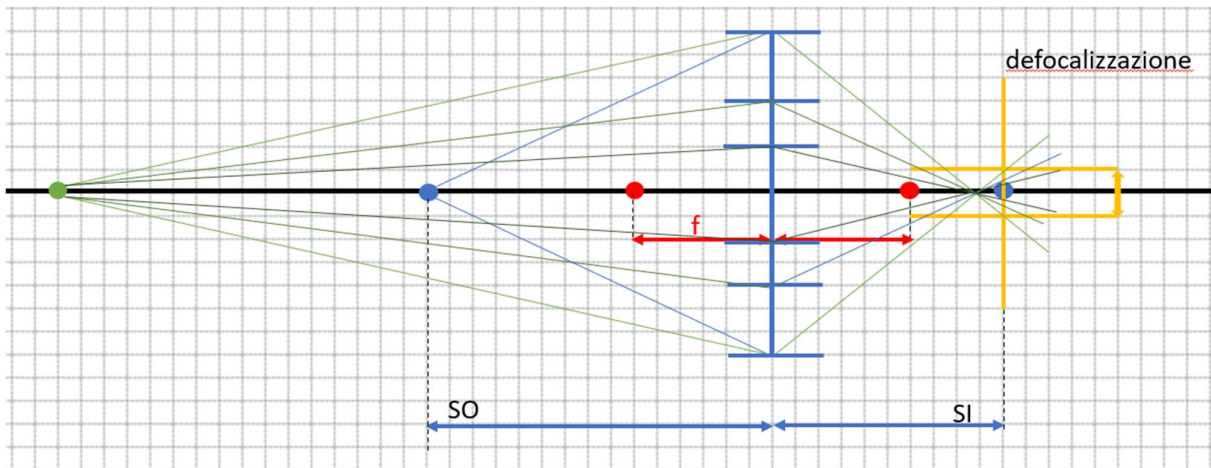
I punti oggetto posti a distanza compresa tra SO1 e SO2 sono messi a fuoco entro il nostro limite massimo di defocalizzazione ammissibile.



si commenti la relazione fra  $f/\#$  depth of Field

all'aumentare del  $f/\#$  aumenta il depth of field, si riduce la luminosità dell'immagine.

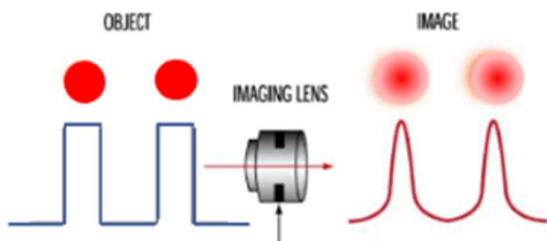
Quindi se fisso una certa defocalizzazione limite per il nostro sistema e mi ricavo le posizioni limite SO1 e SO2 che sono le distanze dalla lente per cui il massimo valore di defocalizzazione accettabile se ora chiudo il diaframma o apro il diaframma a parità della distanze so1 o so2 avrò una defocalizzazione minore o maggiore



L'effetto diffrattivo si apprezza al crescere o al decrescere di  $f/\#$ ? Motivare la risposta

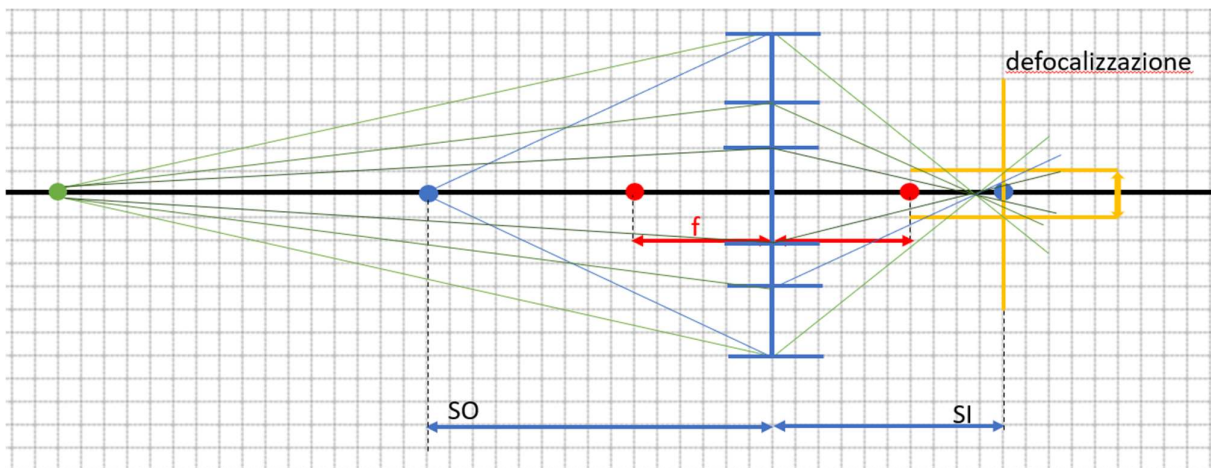
L'effetto diffrattivo si apprezza maggiormente al crescere di  $f/\#$  cioè andando a chiudere il diaframma perché si va ad aumentare la profondità di campo, di conseguenza diminuisce il potere risolutivo e il contrasto del mio sistema.

Se per esempio consideriamo un dot di diametro  $D$  con una defocalizzazione otterremo che il nostro dot non ha più i bordi ben definiti e avrà un diametro pari a  $D_1$  con  $D_1 > D$ ,  $D_1$  cresce con l'aumentare dell'effetto diffrattivo.

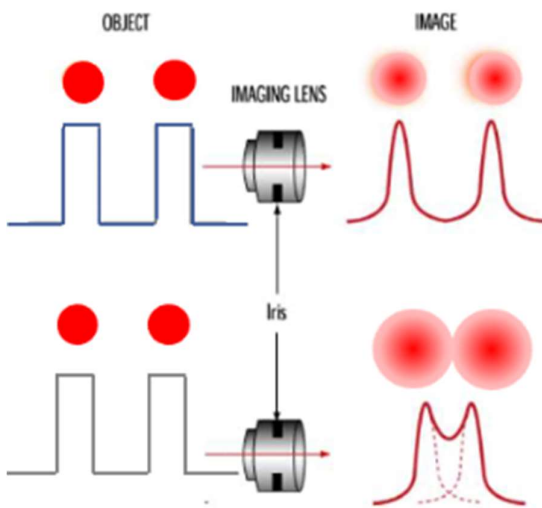


Perché la diffrazione aumenta al diminuire del diametro dell'apertura focale

All'aumentare della diffrazione diminuisce la risoluzione spaziale



in che modo la diffrazione influenza la risoluzione minima del sistema di visione ?

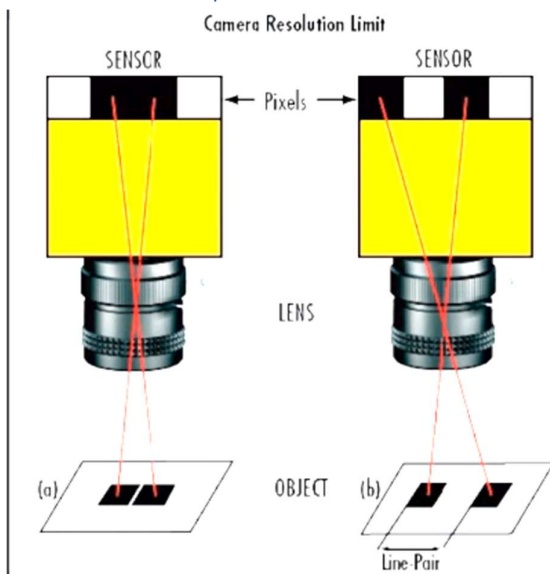


all'aumentare della diffrazione la risoluzione minima diminuisce

la diffrazione riduce la risoluzione minima del sistema perché avendo diffrazione tra 2 oggetti vicini si rischia di confonderli e non riuscire a risolverli, quindi non si risolve il dettaglio.

Questo per esempio si può vedere nell'immagine in parte dove i 2 dot formano un così detto "airy disk" che se come nel secondo caso vicini non ci permette di distinguerli.

Cosa si intende per risoluzione limite del sistema? Come si misura?



Si intende come la più piccola variazione nel piano oggetto che riesco a risolvere con il mio sistema di visione cioè la minima distanza che ci consente di distinguere due oggetti vicini tra loro, ovvero il line pair.

Devono essere separati da almeno un pixel cioè il line pair deve essere di 2 volte la larghezza del pixel (pixel size).

Per distinguere i quadrati è necessaria una certa quantità di spazio tra gli oggetti e dipende dal pixel size del sensore e dalla lente; infatti è influenzato anche dal MTF della lente che identifica il contrasto che la mia lente riesce a trasmettere.

Se il pixel non è quadro si fanno due risoluzioni lungo le due direzioni.

Cosa si intende per risoluzione nello spazio immagine-risoluzione del sensore

Nello spazio immagine significa quanti millimetri corrisponde un pixel che è pari alla risoluzione del sensore moltiplicata per la magnificazione

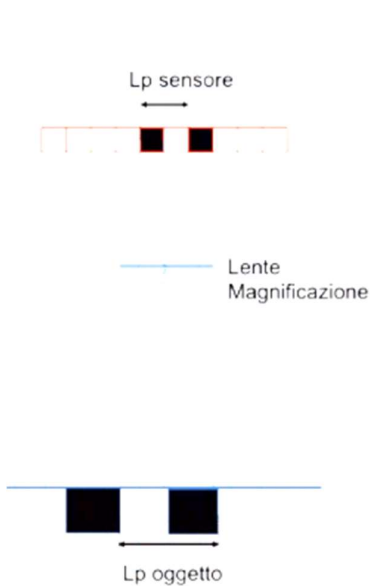
Per calcolare la dimensione minima risolvibile sul piano oggetto avendo la frequenza di Nyquist bisogna moltiplicare quest'ultima per la magnificazione (M) così ricavando la frequenza di Nyquist sul piano oggetto.

La frequenza più alta risolvibile da un sensore, la frequenza di Nyquist, è effettivamente di due pixel o una coppia di linee. La risoluzione del sensore indicata come risoluzione dello spazio dell'immagine del sistema è calcolata moltiplicando la dimensione dei pixel, di solito in unità di micron, per 2 (per creare una coppia), e successivamente convertita in millimetri

$$F_{Nyquist_{sensore}} = \frac{1000}{2 P_S}$$

Più il valore di frequenza è alto più è piccolo il minimo dettaglio risolvibile.

Risoluzione oggetto = risoluzione sensore / magnificazione



SENSORE SONY ICX625

$$P_S = 3,45 \times 3,45 \mu m^2$$

$$R_i (H \times V) = 2448 \times 2050$$

$$Fov_x = 100 \text{ mm}$$

$$f_{Nyquist} = \frac{1}{2 \cdot 0,00345} = 145 \text{ lp/mm}$$

$$M = \frac{y'}{y} = \frac{2448 \cdot 0,00345}{100} = 0,0845$$

$$f_{spaz. \text{ pn oggetto}} = 145 \text{ lp/mm} \cdot 0,0845 = 12,24 \text{ lp/mm}$$

massima dimensione del dettaglio

$$\frac{Lp_{\text{oggetto}}}{2} = R_S \left[ \frac{\text{mm}}{\text{pixel}} \right]$$

$$Lp_{\text{sensore}} = 2 \cdot \text{pixel size}$$

$$1/Lp_{\text{oggetto}} = 1/Lp_{\text{sensore}} \cdot \text{magnificazione}$$

$$1/freq_{ny \text{ oggetto}} / 2.$$

Data una certa frequenza di Nyquist come si calcola la dimensione minima risolvibile nel piano oggetto?

Per calcolare la dimensione minima risolvibile sul piano oggetto avendo la frequenza di Nyquist bisogna moltiplicare quest'ultima per la magnificazione (M) così ricavando la frequenza di Nyquist sul piano oggetto e infine trovo la line pair (LP) sul piano oggetto e dividendolo per 2 ottengo la minima dimensione risolvibile.

$$F_{Nyquist_{sensore}} = \frac{1000}{2 P_S}$$

$$F_{Nyq_{\text{oggetto}}} = F_{Nyquist_{sensore}} \cdot M$$

$$d_{min} = \frac{1}{F_{Nyquist_{oggetto}} * 2}$$

Che relazione c'è fra la risoluzione spaziale possibile per un sistema di visione e la frequenza di Nyquist della telecamera utilizzata

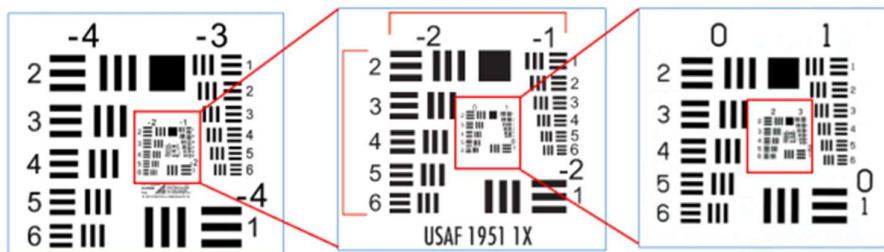
(1/frequenza di nyquist oggetto)/2 (mm/pixel)

La relazione frequente fra la risoluzione spaziale e la frequenza di Nyquist è:

$$Rs = \frac{1}{F_{Nyquist} * M * 2}$$

Il contrasto e la risoluzione sono dei parametri inscindibili una lente trasmette un certo contrasto a una certa frequenza.

Target di risoluzione



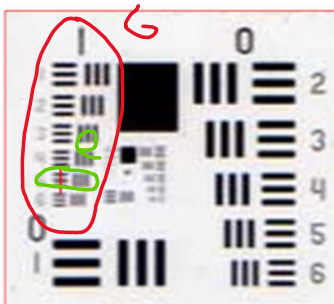
Serve per individuare la risoluzione del mio sistema di visione. Si procede a individuare quale delle linee del mio sistema riesce a distinguere senza problema per fare questo

si può fare una line profile oppure un edge detector, dalle formule si può estrarre la dimensione di una singola barretta quindi la risoluzione saziale e la frequenza di nyquist.

$$dimensione_{barra} = \frac{2^{\frac{32000}{6+G}}}{2^{\frac{1}{6}}} [\mu m]$$

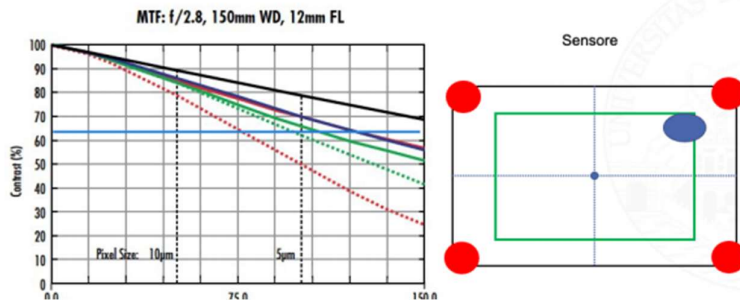
$$f_{nyquist} = 2^{(G+\frac{e-1}{6})} [\frac{Lp}{mm}]$$

Dove la G indica il numero del gruppo che siamo utilizzando mentre e indica si intende il gruppo di tre lineette che riesco a risolvere. Mentre per calcolare la risoluzione sul piano del sensore entra in gioco la magnificazione della lente.





## MODULA TRANSFER FUNCTION (MTF)



misura la capacità di una lente di trasferire il contrasto ad una particolare frequenza spaziale dal piano oggetto al sensore sul piano immagine,

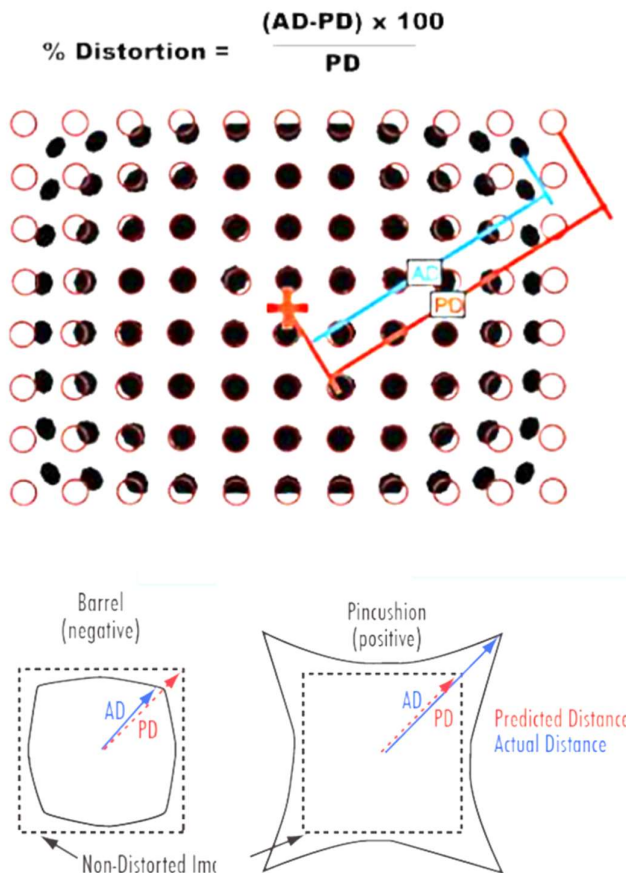
Incorpora in un a sola specifica i dati di risoluzione e di contrasto.

Per leggere il grafico si guarda il colore relativo alle varie zone del sensore.

La linea nera indica il limite massimo di diffrazione dell'obbiettivo e ne rappresenta il limite assoluto.

Le line intere indica il piano tangenziale mentre quelle tratteggiate sono per il piano sagittale.

## Distorsione



La distorsione significa prima di tutto il cambio della magnificazione della lente lungo il piano immagine, che consiste in una aberrazione geometrica.

Questo non toglie informazione dalla immagine perché è possibile compensarla...

Dove AD si intende la distanza misurata mentre con PD si intende la distanza che ci sarebbe se la lente non distorcesse.

Ci sono tre tipi di distorsione :

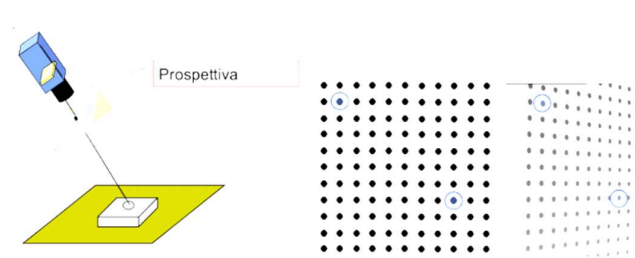
-1 barile che è negativa cioè rimpicciolisce le dimensioni reali dell'oggetto nella scena inquadrata

-2 a cuscino o positiva che ingrandisce le dimensioni reali dell'oggetto nella scena inquadrata

-3 prospettiva è caratterizzata da una diversa caratterizzazione dei dati dimensionali che risultano diversi da quelli reali.



La distorsione prospettica è dovuta a un errato posizionamento del sistema di visione che non risulta parallelo al piano oggetto.



distorsione.

La distorsione può essere compensata attraverso algoritmi di compensazione dove si va a ipotizzare un modello che riporta i vari punti di calibrazione nelle loro posizioni iniziali, non si usano funzioni lineari ma si passa tramite derivate parziali dalla quale ottengo un immagine di calibrazione da poter essere applicata alla mia scena per compensare la