

## Specifiche telecamera

### Confronto telecamera

SOCS058D – JUNE 1996 – REVISED MARCH 2003

- **High-Resolution, Solid-State Frame-Transfer Image Sensor**
- **11.3-mm Image Area Diagonal**
- **1000 (H) x 1000 (V) Active Elements**
- **Up to 30 Frames per Second**
- **8- $\mu$ m Square Pixels**
- **Low Dark Current**
- **Advanced Lateral Overflow Drain for Antiblooming**
- **Single-Pulse Image Area Clear Capability**
- **Dynamic Range of More Than 60 dB**
- **High Sensitivity and Quantum Efficiency**
- **Nondestructive Charge Detection Through Texas Instruments Advanced BCD Node Technology**
- **High Near-Infrared (IR) and Blue Response**
- **Solid-State Reliability With No Image Burn-In, Residual Imaging, Image Distortion, Image Lag, or Microphonics**

**DUAL-IN-LINE PACKAGE (TOP VIEW)**

## Telecamera B

Specifications	
CCD image sensor	Sony® ICX285; interline-transfer, progressive-scan device with microlenses
CCD format	1392 x 1040 imaging array 6.45 x 6.45- $\mu$ m pixels 8.98 x 6.71-mm imaging area (optically centered)
Grade	Sony Grade 0
System Gain	1 e-/ADU
Linear full well	16,000 e- (single pixel) 30,000 e- (2 x 2 binned pixel)
Read noise	4.5 e- rms @ 10 MHz 5.5 e- rms @ 20 MHz
Nonlinearity	<1%
Digitizer type IEEE-1394a LVDS	14 bits @ 20 MHz or 10 MHz (software selectable) 12 bits @ 20 MHz or 10 MHz (software selectable)
Frame readout	90 ms/frame

specifica	Telecamera1	Telecamera2	confronto
Trasferimento immagine	Frame transfer	Interliner trasfer	1 è più veloce per trasferimento e di acquisizione di immagine
fps	30	11	La prima trasmette più frame al secondo. se si vogliono acquisire immagini in movimento è meglio la prima
Tipo sensore	Quadrato(1000x1000) 1MP	Rettangolare(1392x1040) 1.4 MP	2 risoluzione più alta a parità di campo inquadrato
Pixel size	(8x8 µm)	(6.45 x 6.45 µm)	È meglio la prima perché ha i pixel più grandi cattura più luce in uno stesso lasso di tempo
Aspect ratio	1 : 1	87 : 65	La 1 un campo inquadrato quadrato mentre la seconda rettangolare
boolling	Si	no	
IR	La prima può funzionare nell'infrarosso		

## Lente

Considerate la lente H0514-MP2 (Computar): la utilizzereste su una telecamera UI1540SE? E su una telecamera a2A4504-5gmBAS - Basler ace 2?

Se si vuole scegliere una tra le due è meglio la ids perché si ha meno vignettatura + argomentazione

La seconda ha un sensore troppo grande per la lente scelta non che la prima sia meglio ma.

Se è 1/2 la lente e il sensore è 2/3 non ci sta mentre se è il contrario ci sta di sicuro, mentre se lente e sensore sono uguali devo vedere l'immagine circle e diametro del sensore.

Si potrebbe utilizzare sulla prima telecamera tenendo conto del fatto che si incapperebbe in un lieve vignetting poiché il max image format della lente è 6.4 mm x 4.8 mm mentre le dimensioni del sensore sono 6.656 mm x 5.325 mm. La seconda telecamera invece ha un sensor size di 12.3 mm x 12.3 mm quindi ha una vignettatura più marcata e quindi non si utilizzerebbe buona parte del sensore.

Commentare i parametri del data sheet dell'obiettivo Computar M1614-MP2

[https://computar.com/resources/files\\_v2/163/M1614-MP2.pdf](https://computar.com/resources/files_v2/163/M1614-MP2.pdf)

Il diaframma di questa lente permette un'apertura massima corrispondente a f/# di 1.4 mentre una minima corrispondente a 16. La minima distanza a cui può essere posizionato un oggetto per essere messo a fuoco è pari a 0.3 m, la dimensione dell'area inquadrata a questa distanza varia in base al formato del sensore: 2/3" 17.2 cm x 12.9 cm, 1/2" 12.5 cm x 9.3 cm.

## Commento lente

Operation range posso mettere a fuoco tra 0.3 metri e infinito.

Max aperture ratio anche se apro tutto il diaframma ho comunque un oscuramento e può andare da 1.4 a 16.

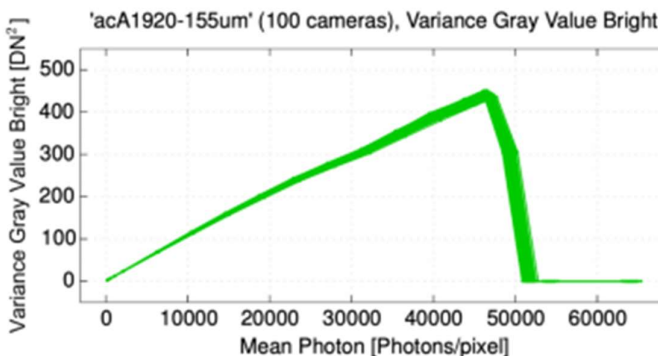
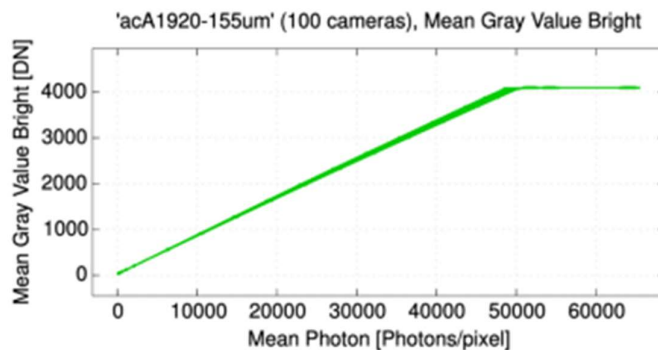
Poi ho un oggetto minimo di visione a 30 cm che se è fi tipo 1/2 sarà di 17.2 x 12.9 cm se e di tipo 2/3 sarà di 12.5x 9.3 cm.

## Nyquist

- a2A5328-15ucBAS - Basler ace 2 = 182.48 Lp /mm
- a2A3840-13gcBAS - Basler ace 2 = 250 Lp /mm
- acA640-90gc (CS-Mount) - Basler ace = 67.57 Lp /mm

1/(2 \* pixel size)

## EMVA standard



$\sigma_y^2$

cosa misurano i grafici ?

inoltre dal numero di livelli di grigio si può calcolare il bit depth

$$Bit_{depth} = \log_2(\mu_{ysat})$$

il primo grafico rappresenta la misurazione del valor medio di livelli di grigio in funzione dei fotoni assorbiti al pixel.

Il secondo invece misura la varianza dei livelli di grigio.

cosa misuro le due variabili ?

illumino il mio sensore ad un certo livello di irradianza e in due istanti diversi acquisisco due immagini A e B.

Facendo poi la media pixel a pixel di tutta l'immagine fra l'immagine A e l'immagine B ottengo  $\mu_y$  mentre facendo la media della differenza al quadrato delle due immagini ottengo

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

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

Questo processo viene ripetuto per tutti i livelli di irradianza considerando 100 telecamere dello stesso modello.

$\mu_p$  numero dei fotoni = numero medio dei fotoni che arriva nel tempo di esposizione  $T_e$  sul singolo pixel

$\mu_e$  numero medio di elettroni che si formano nel tempo di esposizione

K valore di una fattore di guadagno lineare che converte l'ingresso in elettroni in uscita numeri digitali

$\mu_y$  valore medio dei livelli di grigio che leggiamo in uscita

$$\mu_y = K * (\mu_e + \mu_d)$$

$\mu_{y, \text{dark}} = K * (\mu_d)$  valore che misuro anche in assenza di radianza

Quali informazioni è possibile estrarre da essi?

È possibile ricavare il valore massimo di fotoni che il mio sensore è in grado di trasdurre dopo questo valore (circa 47000) il sensore va in saturazione quindi anche se aumento l'irradianza o il numero di elettroni non riesco a trasmetterli in uscita.

Di quali ulteriori dati sperimentali c'è necessità per stimare il parametro di guadagno K nel modello proposto dallo standard EMVA1288?

Per valutare in valore di K serve conoscere sia  $\mu_{y, \text{dark}}$  e  $\sigma_{y, \text{dark}}^2$  che si ottengo per valore di irradianza = 0 cioè il rumore che le mia telecamere hanno in assenza di luce.

Per fare i grafici di  $\mu_{y, \text{dark}}$  e  $\sigma_{y, \text{dark}}^2$  si varia il tempo di esposizione.

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

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

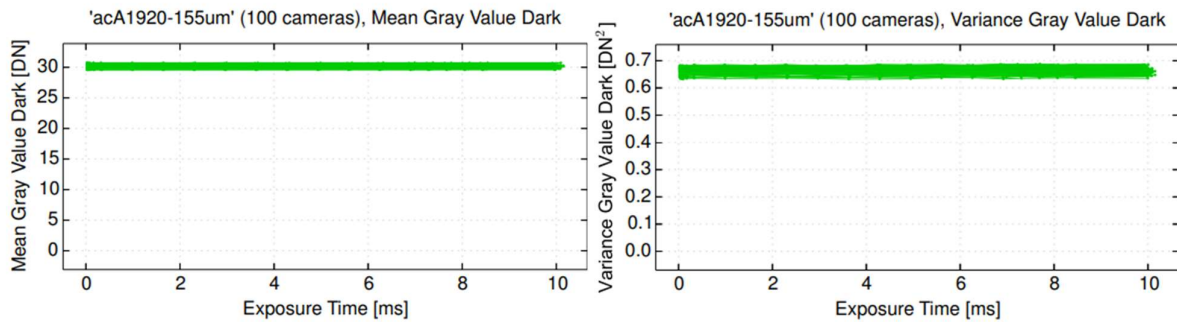
Poi per ottenere il valore di K si fa una statistica dei valori di K delle 100 telecamere

$$\sigma_y^2 - \sigma_{y, \text{dark}}^2 = K (\mu_y - \mu_{y, \text{dark}})$$

Indicare il link al documento che voi progettisti dovete avere come riferimento per recuperare i dati mancanti.

[https://www.baslerweb.com/fp-1489067453/media/downloads/documents/emva\\_data/BD00085203\\_Basler\\_acA1920-155um\\_EMVA\\_Standard\\_1288.pdf](https://www.baslerweb.com/fp-1489067453/media/downloads/documents/emva_data/BD00085203_Basler_acA1920-155um_EMVA_Standard_1288.pdf)

Mostrare i grafici necessari



Indicare la relazione nella quale questi dati sperimentali vengono usati per la stima

$$\sigma_y^2 - \sigma_{y.dark}^2 = K (\mu_y - \mu_{y.dark})$$

Commento grafici quantum efficiency

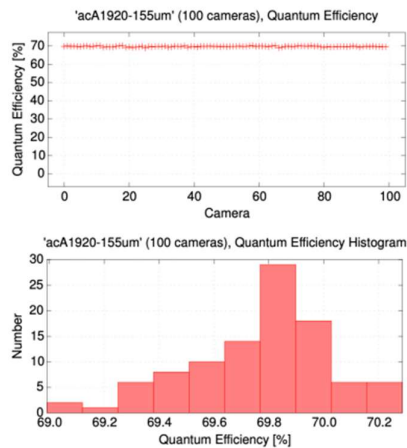


Figure 2: Total Quantum Efficiency (QE)

Item	Symbol	Typ.	Std. Dev.	Unit	Remarks
Total Quantum Efficiency (QE)	$\eta$	70	TBD	%	$\lambda = 545 \text{ nm}$

$$\mu_y - \mu_{y.dark} = K \eta \mu_p$$

Il primo grafico rappresenta il valore di quantum efficiency, 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 efficiency considerata, ovvero esprime la dev.std. della quantum efficiency.

I due grafici sono realizzati per una lunghezza d'onda di 545 nm e il valore medio è di 70.

Come vengono ottenuti ?

Su cento telecamere

Si ottengono dalla stima dei livelli di grigio medi meno il rumore in assenza di irradianza diviso per il guadagno e il numero di fotoni assorbiti

Cosa indica il Range dinamico di una telecamera secondo lo standard EMVA? Perché è importante per il progettista?

Il range dinamico indica il rapporto tra il valore massimo e minimo di elettroni di elettroni che posso convertire dove il valore minimo si chiama temporal dark noise ovvero il valore di elettroni forniti dal sensore in assenza di luce e per un tempo di esposizione = 0

$$DYR = \frac{\mu_{esat}}{\sigma_{d0}}$$

Per il progettista è importante perché gli permette di capire la dinamica del sensore ovvero la capacità di un sensore riuscire su una stessa immagine di risolvere dettagli chiari o scuri.

A partire dalla tabella sottostante mostrare il procedimento con il quale si ottengono i valori evidenziati in blu.

Basler acA1920-155um				
Item	Symbol	Typ. <sup>1</sup>	Unit	Remarks
<b>Temporal Noise Parameters</b>				
Total Quantum Efficiency (QE)	$\eta$	70	%	$\lambda = 545 \text{ nm}$
Inverse of Overall System Gain	$\frac{1}{K}$	8.4	$\frac{e^-}{DN}$	
Temporal Dark Noise	$\sigma_{d0}$	6.8	$e^-$	
Saturation Capacity	$\mu_{e.sat}$	32700	$e^-$	
<b>Derived Parameters</b>				
Absolute Sensitivity Threshold	$\mu_{p.min}$	10	$p^-$	$\lambda = 545 \text{ nm}$
Dynamic Range	$DYN_{out.bit}$	12.2	bit	
Maximum SNR	$SNR_{y.max.bit}$	7.5	bit	
	$SNR_{y.max.dB}$	45.1	dB	

il DYN indica il dynamic range espresso in numero bit

$$DYN = \log_2 DYN$$

$SNR_{y.max.bit}$  è espresso come il rapporto tra il segnale e il rumore

$$SNR = \frac{\mu_y - \mu_{y.dark}}{\sigma_y} = \frac{K\eta\mu_p}{\sigma_y}$$

$$SNR = \frac{\eta\mu_p}{\sqrt{\sigma_d^2 + \frac{\sigma_q^2}{K^2} + \eta\mu_p}}$$

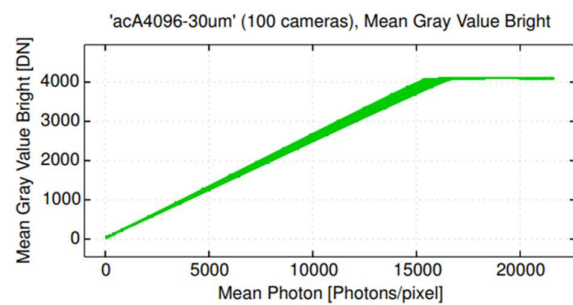
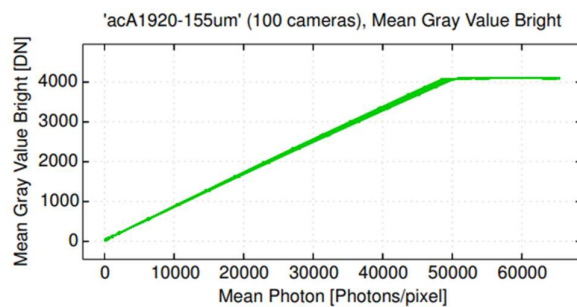
Per ottenere però il valore massimo si può considerare che il valore  $\sigma_d^2 + \frac{\sigma_q^2}{K^2}$  è molto minore di  $\eta\mu_p$  perciò la formula si semplifica :  $SNR_{y.max} = \sqrt{\eta\mu_{psat}} = \sqrt{\mu_{esat}} \rightarrow \eta = \frac{\mu_e}{\mu_p}$

$$SNR_{y.max.bit} = \log_2(SNR_{y.max}) \quad SNR_{y.max.dB} = 20 \log_{10}(SNR_{y.max})$$

## Comparativa telecamera con standard EMVA 1288

	acA1920-155um	AcA4096-30um	confronto
Quantum efficiency	70 %	68 %	È meglio la prima dato che ha un valore di eta più alto quindi sarà la resa dato che produrrà immagini più chiare a parità di numero di fotoni
Inverse overall gain	8.4	2.7	È il coefficiente che moltiplicato per il numero di elettroni mi dà i livelli di grigio in uscita. Più è alto meglio è, però se troppo alto prima il mio sensore andrà in saturazione. Quindi non posso determinare qual è meglio perché dipende dal tipo di applicazione
$\mu_{esat}$	32700	10300	Fornisce la massima quantità di carica accumulabile di elettroni che posso trasformare su un singolo pixel. Più è alto migliore è la resa del sensore quindi la prima.

Dynamic Range DNR	12.2bit	12.1bit	Fornisce informazioni sulla qualità della telecamera nell'identificare sia dettagli chiari che scuri. Più è alto meglio è. In questo caso anche se di poco la 1
Temporal dark noise	6.8	3	Piu il valore è basso più il valore costante del rumore presente è basso e quindi le immagini scure saranno chiare. Se in uscita non supero questo valore non ho un immagine utile ed esso influisce sulla sensibilità del sensore più è basso meglio è. In questo caso la seconda
Absolute Sensitivity Threshold	10	3	Numero minimo di fotoni sotto il quale in uscita si ha solo rumore è meglio la seconda
Maximum SNR	7.5 bit	6.7 bit	È meglio avere un snr maggiore rapporto segnale / rumore quindi più è alto meglio è perché ho meno rumore in uscita



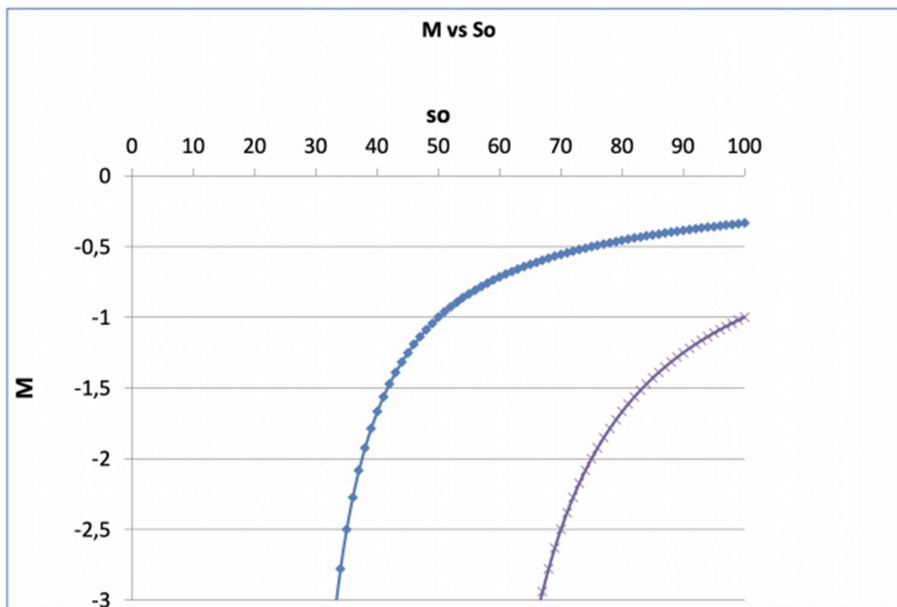
Dai grafici si estrapola che la seconda telecamera ha una resa migliore per le situazioni di scarsa illuminazione ma per situazioni di schema illuminazione dettagli chiari hanno un basso contrasto.

Mentre la prima ha una caratteristica peggiore in caso di scarsa illuminazione ma riesce ad avere una buona resa con un buon contrasto in situazioni di illuminazione buona



## Lenti

Di determini la lunghezza focale corrispondente.



Considero la magnificazione pari a 1 si legge sul grafico il valore di  $S_o$  e poi si determina il valore di  $S_i$

Viola  $s_o = 100$

Blu  $s_o = 50$

$$M = \frac{S_i}{S_o}$$

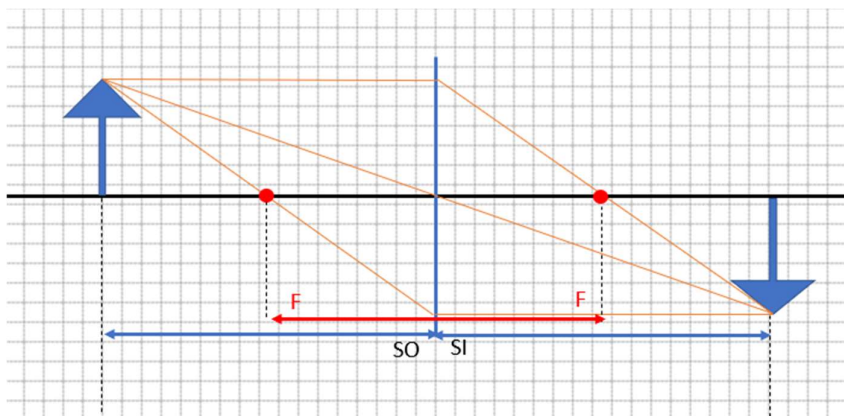
$$\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{\frac{1}{S_o} + \frac{1}{S_i}}$$

f blu = 25

f viola = 50

Si dimostri graficamente che per  $M=1$   $f=S_o/2=S_i/2$



se si traccia la linea che dalla lente arriva al punta del corpo.

Essendo le altezze le medesime e gli angoli che si formano angoli opposti al vertice e ho due triangoli simili la  $f$  sarà la metà di  $s_i$  o  $s_o$

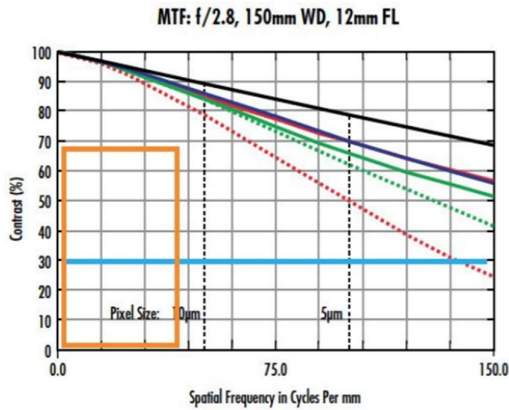
## Confronto lenti

Si considerino le due lenti seguenti: M5018-MP2 e la M1614-MP2. Spiegare perché alla distanza di lavoro di 250mm nel caso della lente M5018-MP2 bisogna utilizzare un anello distanziatore di 5,5mm. Supponendo le due lenti sottili riprodurre graficamente il loro comportamento agli effetti della distanza lente-piano immagine al variare della distanza oggetto.

Si apre il datasheet del catalogo e vi vede la tabella delle work distance e dei distanziatori.



MTF Si consideri la telecamera modello acA640-90gc - Basler ace e la lente di cui è mostrato il comportamento agli effetti della trasmissione di contrasto nella figura seguente:



Qual è il contrasto trasmesso in corrispondenza al centro dell'immagine quando si considera la situazione di risoluzione limite?

L'MTF rappresenta il modo in cui una lente trasferisce il contrasto ad una particolare frequenza spaziale dal piano oggetto al sensore sul piano immagine.

$$Lp = \frac{1}{2 * Ps[mm]} = \frac{1}{2 * (7.4\mu m * 10^3)} = 67.57 \frac{Lp}{mm}$$

Quindi il contrasto che ho lo trovo guardando la linea blu quindi per 67.57 ho un contrasto trasmesso = a circa 80%

$$\frac{1}{So} + \frac{1}{Si} = \frac{1}{f} \rightarrow Si = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{So}} = 13.04 mm$$

$$M = -\frac{Si}{So} = -0.087$$

$$R_{oggetto} = \frac{R_{sensore}}{|M|} = \frac{1}{(\frac{Lp}{2} * |M|)} = 85.1 \frac{\mu m}{pixel}$$

$$f_{nyqoggetto} = f_{nyq} * |M| = 5.88 \frac{LP}{mm}$$

$$RS_{oggetto} = \frac{1}{2 f_{nyqoggetto}}$$

$$FoV = \frac{S_s}{|M|} \rightarrow Ri = \frac{FoV}{numero di pixel}$$

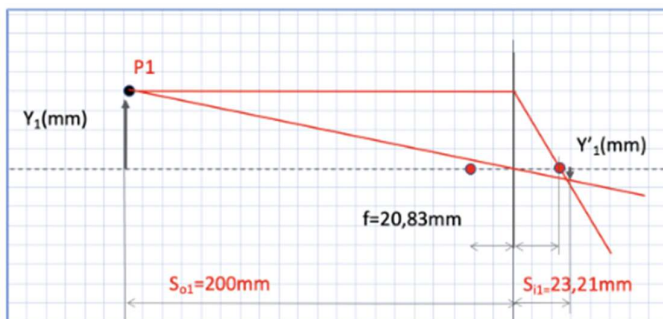
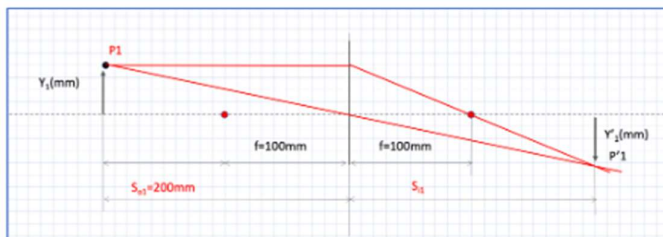
## Lenti spesse

Si consideri una lente sferica in aria di raggi  $R_1 = 100\text{mm}$  e  $R_2 = -100$ . La lente ha uno spessore pari a  $6\text{mm}$ . Calcolare la lunghezza focale nel caso di :1. Materiale con indice di rifrazione  $n_l = 1,5$  (vetro) 2. Materiale con indice di rifrazione  $n_l = 3,4$  (silicio) Calcolare la distanza del punto coniugato  $S_i$  in corrispondenza alla distanza  $S_o = 200\text{mm}$  nei due casi, supponendo la lente sottile.

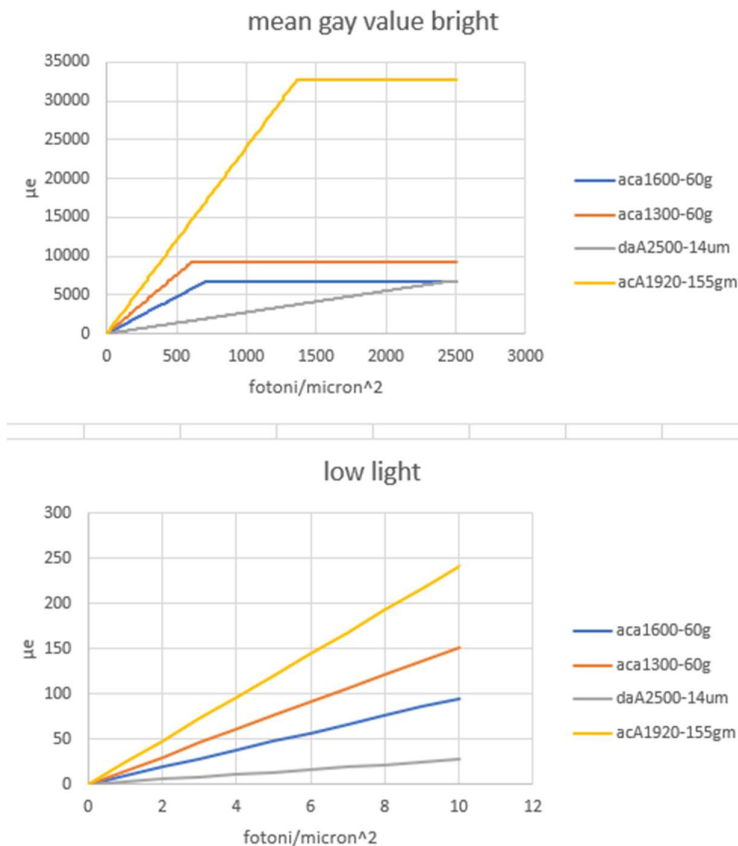
Produrre la corrispondente costruzione grafica.

	lente spessa	lente sottile			lente spessa	lente sottile	
n lente	1,5	1,5		n lente	3,4	3,4	
n mezzo	1	1		n mezzo	1	1	
spessore	6	0	mm	spessore	6	0	mm
R1	100	100	mm	R1	100	100	mm
R2	-100	-100	mm	R2	-100	-100	mm
1/f	0,0099	0,01	mm	1/f	0,046983529	0,048	mm
f	101,010101	100	mm	f	21,28405449	20,83333333	mm

$S_o$	200	200	mm	$S_o$	200	200	mm
f	101,010101	100	mm	f	21,28405449	20,83333333	mm
$S_i$	204,0816327	200	mm	$S_i$	23,81886454	23,25581395	mm



## Confronto telecamere



acA1920-155gm è la telecamera che ha un miglior comportamento per quanto riguarda il range dinamico e anche nella parte bassa del range ha un buon comportamento.

Questo l'ho dedotto dalla pendenza che è la più elevata tra le telecamere a disposizione, questo implica che a bassi livelli di luce riesce a trasmettere più elettroni delle altre.

La telecamera in questione inoltre ha un più basso livello di absolute sensitivity treshold cioè il valore minimo di fotoni che riesco a trasmettere o la luminosità minima per cui riesco ad ottenere un immagine.

Nel caso si range dinamico alto è meglio quella grigia perché è quella che satura a livelli più alti di luminosità.

### Per quale valore di SNR VALE A 1 ?

Il valore per cui si ha SNR pari a 1 è quando il segnale trasmesso è pari al valore di disturbo e si ha per valori di elettroni( $\mu_e$ ) pari al valore di temporal dark noise ( $\sigma_{do}$ ) e quindi i valori per unità di area si

calcolano nel modo seguente:  $\mu_p = \frac{\mu_e}{\eta} = \frac{\sigma_{do}}{\eta}$

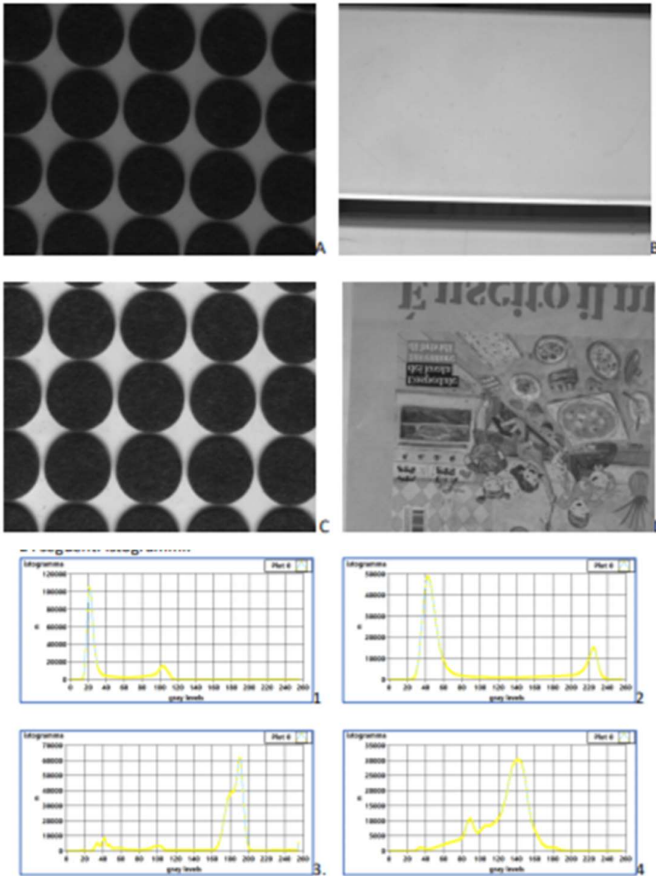
SNR = 1	mup(fotoni/pixel)	fotoni/micron^2
aca1600-60g	46,80851064	2,31153139
aca1300-60g	44,44444444	1,582215893
daA2500-14um	10,52631579	2,174858634
acA1920-155gm	9,428571429	0,27456847

### In quale caso abbiamo il range dinamico maggiore ?

Il range dinamico si calcola dividendo il segnale massimo che posso trasmettere ( $\mu_e$  di saturazione) per il temporal dark noise  $\text{dynamicRange} = \frac{\mu_e}{\sigma_{do}}$  nel nostro caso la migliore è l'ultima...

	dynamic RANGE	DB	BIT
aca1600-60g	309,0909091	49,80172464	8,271887412
aca1300-60g	383,3333333	51,67153171	8,582455645
daA2500-14um	1116,666667	60,95847105	10,12498288
acA1920-155gm	4954,545455	73,90007634	12,27453699

## Assegnare istogramma

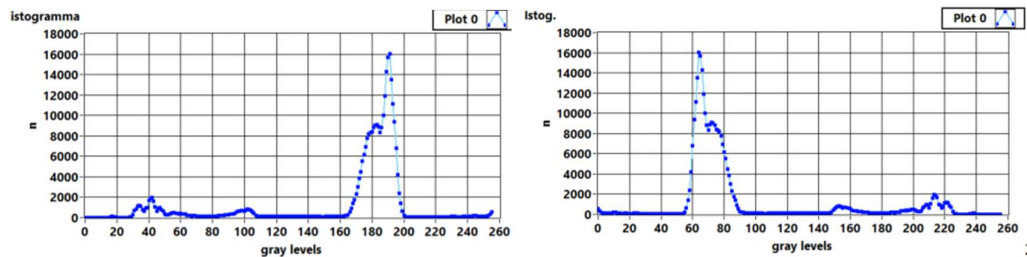


Soluzione: A-1; B-3; C-2; D-4.

L'istogramma 'conta' il numero di pixel che hanno un determinato livello di grigio. Le immagini A, B e C sono sicuramente con distribuzione bimodale, l'immagine D invece ha una dinamica dei livelli di grigio più continua. Quindi: D-4. L'immagine A è identica alla C ma è più chiara. Molto 'nero' e poco 'bianco'. Quindi A-1 e C-2.

Questo è dato anche dal fatto che essendo la immagine C con contrasto maggiore l'istogramma 1 è 'schiacciato a sinistra', il che lo accoppia all'immagine A. Infine, nell'immagine B vi è molto 'bianco' e poco 'nero'. E' molto contrastata e quindi istogramma bimodale con un picco pronunciato centrato attorno ai livelli fra 180 e 200: istogramma 3.

## Istogramma cambio



dall'istogramma si può notare che i due istogrammi sono invertiti, si è applicato il vi inverse per invertire l'immagine...

istogramma cumulativo...

rappresenta la sommatoria dei livelli di grigio