

RIPTIDE

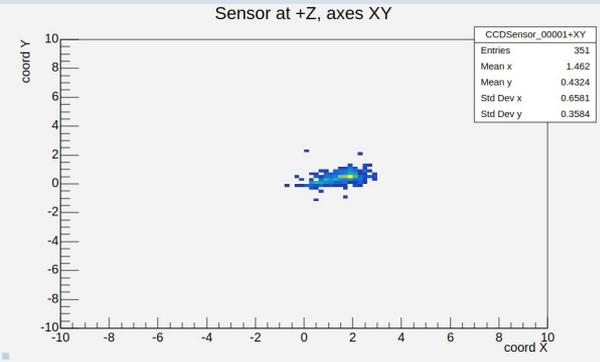
Dicembre 2023

RIPTIDE

- 1) Ricostruzione traccia con 2 e 3 camere
- 2) Aberrazione comatica e profondità di campo
- 3) Aberrazione comatica e profondità di campo in una **nuova configurazione**

Ricostruzione tracce

Ricostruzione tracce breve recap



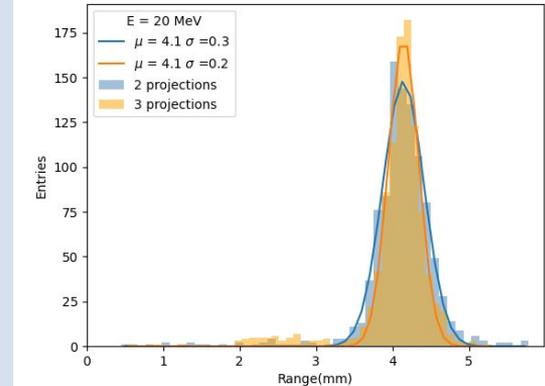
dalle immagini ricostruite dei
fotoni che raggiungono i sensori
(2D)

SUMMARY

- 1000 protoni
- energia 5-50 MeV (a step di 5)
- direzione del protone variabile

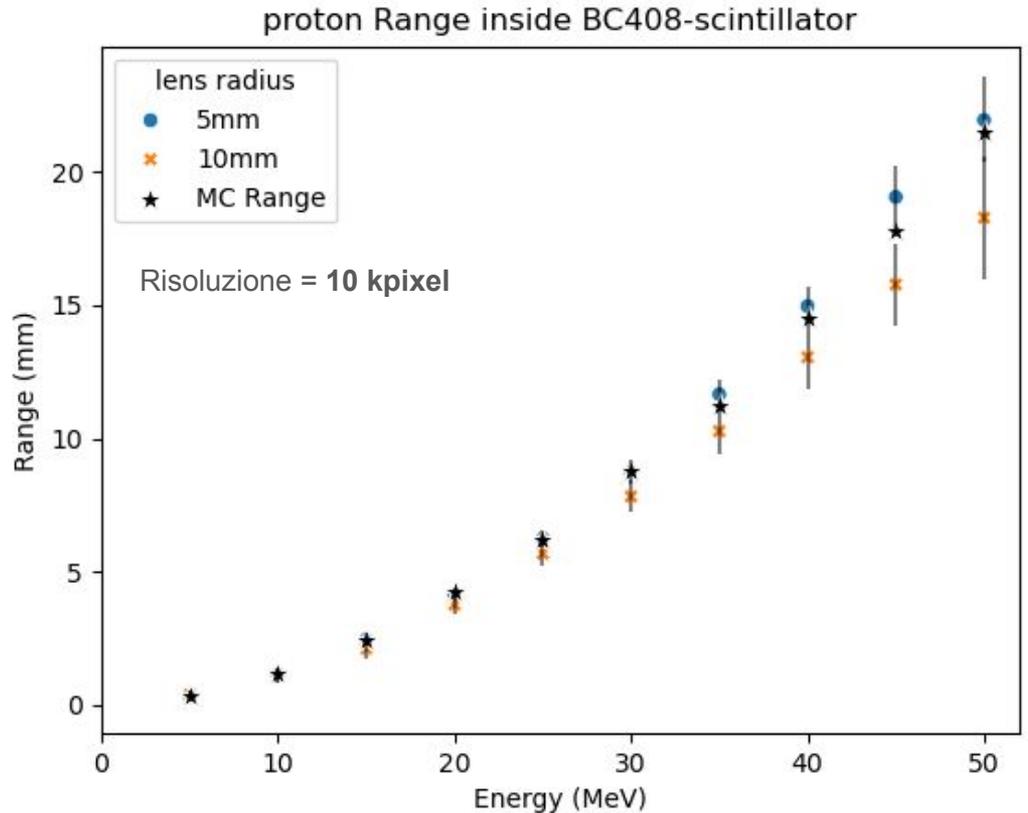
fit lineare della singola
proiezione della traccia
+
ricostruzione stereoscopica
della traccia
(i.e. teorema di pitagora)

... alla ricostruzione del range del
protone ...

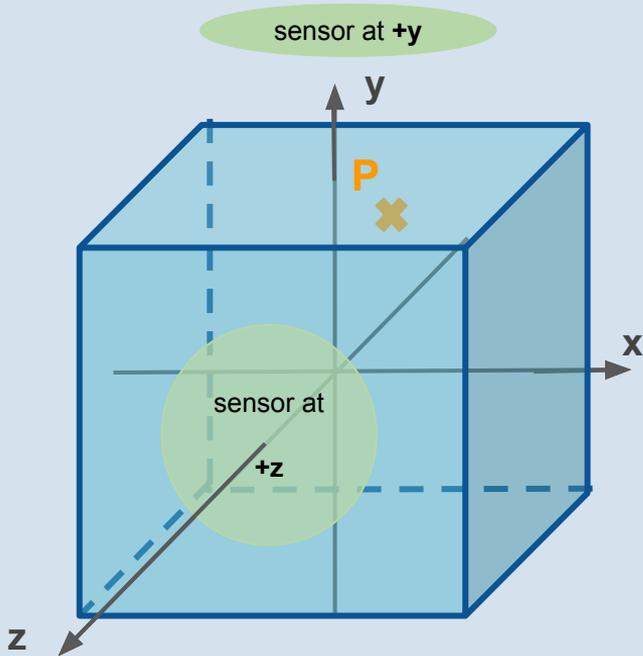


Ricostruzione tracce con 3 camere

...estrapolo μ e σ per ogni energia, per diverse configurazioni del sistema...



Ricostruzione tracce da 3 camere a 2 camere



Per un punto $\mathbf{P} = [x,y,z]$
da $+x$ ricavo : $[y,z]$

da $+y$ ricavo: $[x,z]$

da $+z$ ricavo: $[x,y]$

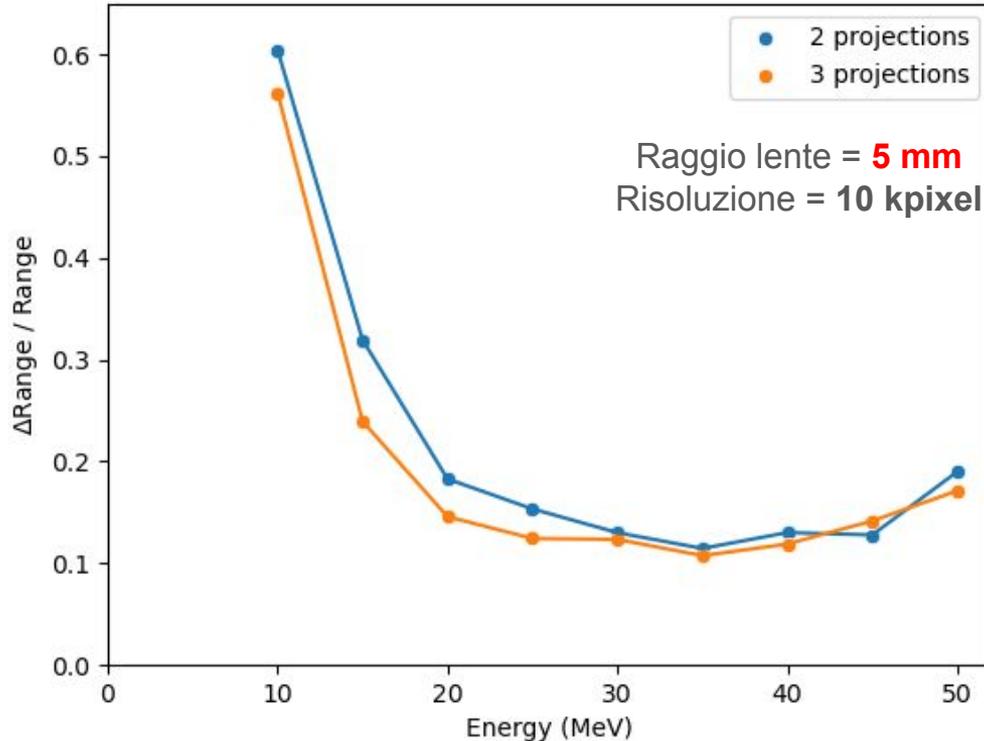
ho evidentemente un surplus di coordinate che utilizzo per migliorare la precisione di \mathbf{P} .
 $\mathbf{x} = \text{media}(\mathbf{x}_{+y}, \mathbf{x}_{+z}), \text{ etc.}$

Ma ciò implica che mi bastano 2 camere (eg. $+x$ e $+y$) per ricostruire la traccia (a scapito di una peggior risoluzione precisione)

Di quanto peggiora la ricostruzione della traccia? spoiler: poco

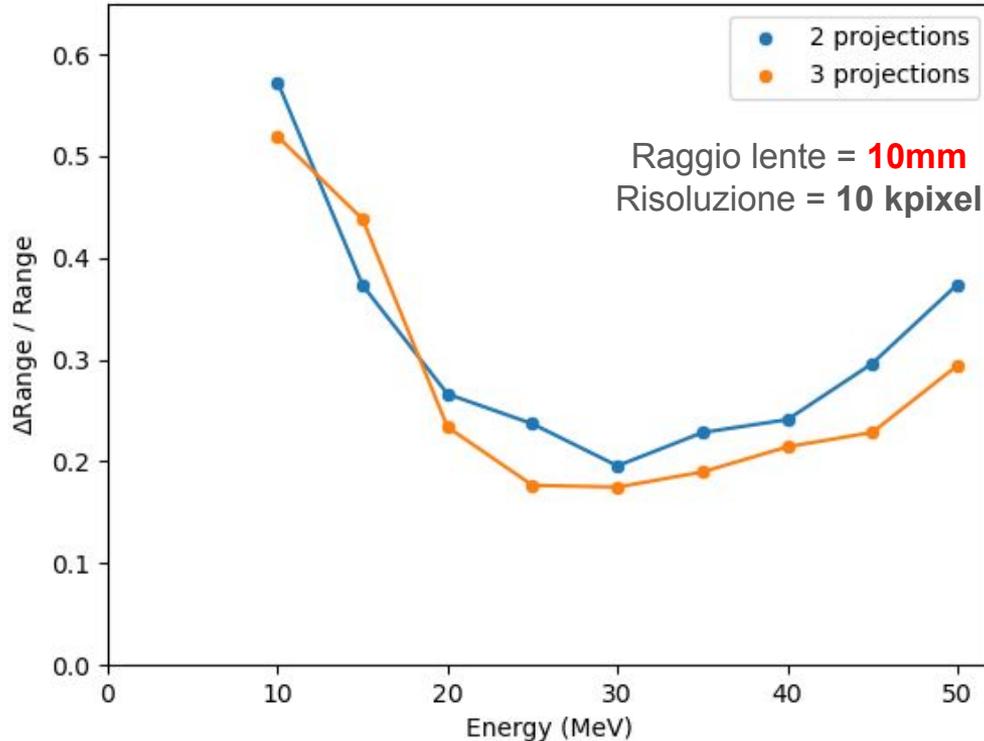
Ricostruzione tracce con 2-3 camere

Risoluzione del range ($\Delta R / R$)



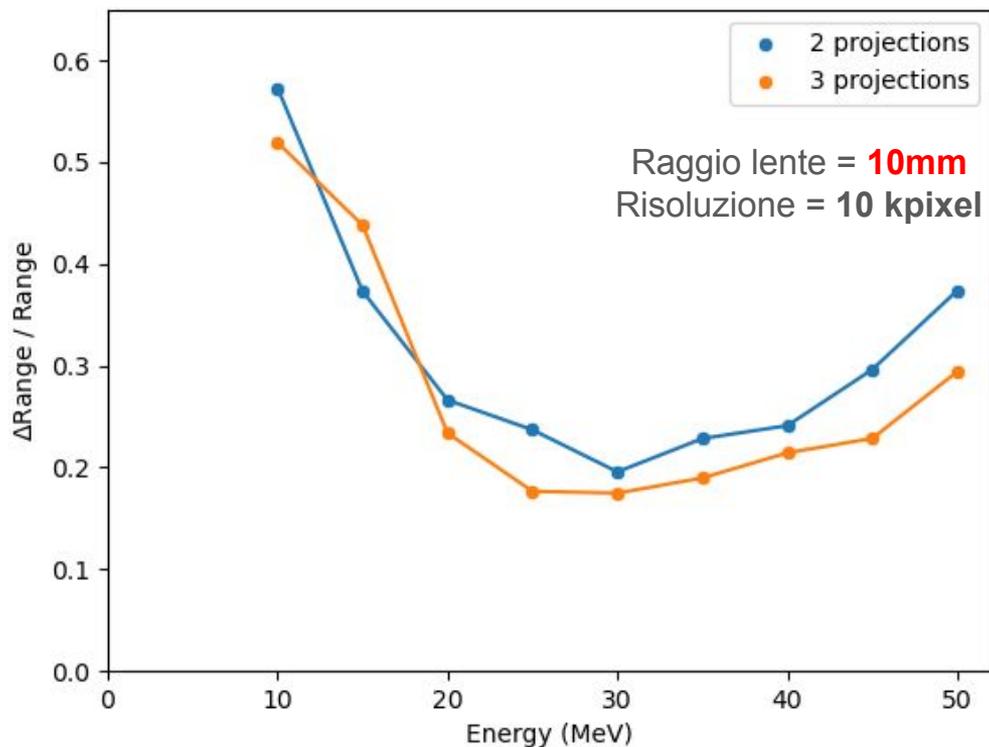
NB: ΔR é la FWHM della gaussiana ($2.35 \cdot \sigma$)

Ricostruzione tracce con 2-3 camere



NB: la risoluzione è minima al 30 MeV perché i valori dei filtri sono stati settati su protoni a quell'energia.

Ricostruzione tracce con 2-3 camere



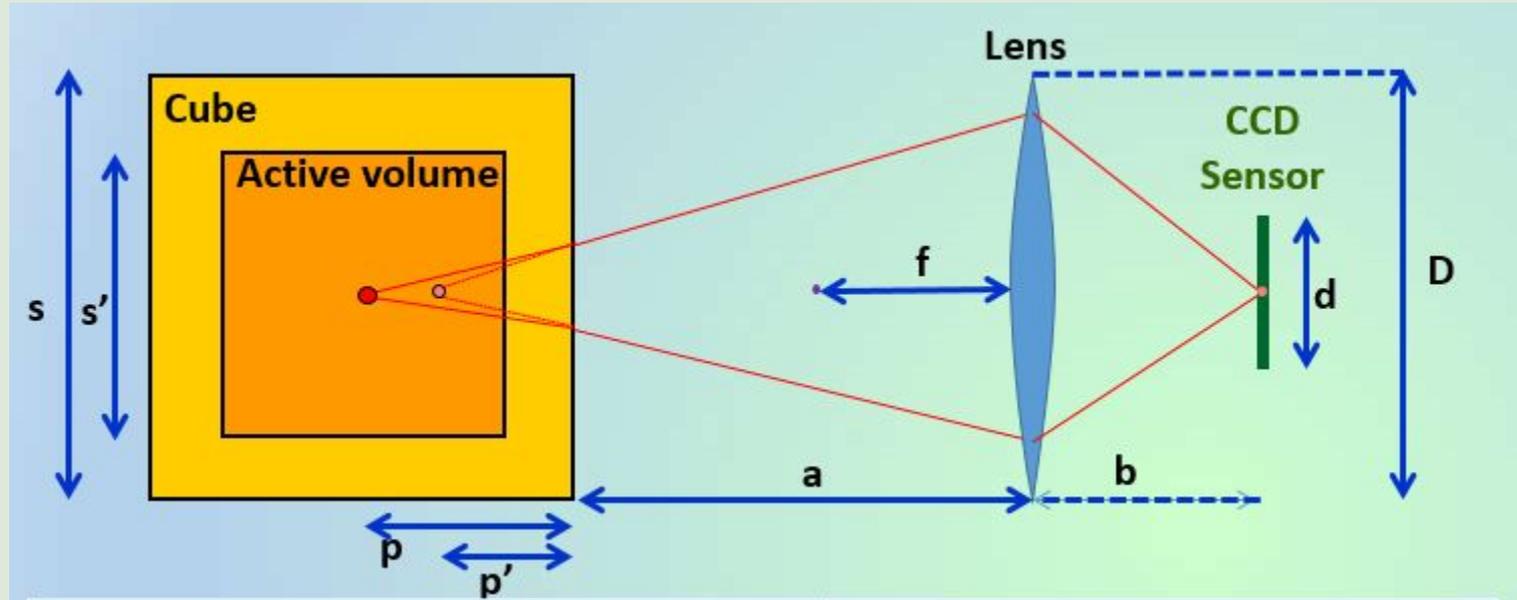
NB: la risoluzione è minima al 30 MeV perché i valori dei filtri sono stati settati su protoni a quell'energia.

Ὁ μῦθος δηλοῖ ὅτι...

2 camere sono ok

Studio dell'effetto dell'aberrazione comatica e profondità di campo

Setup



eq. di Snell

$$p' = \frac{p}{n_{BC408}}$$

eq. delle elnti sottili

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{D}$$

chiamo:
 $D = p' + a$
 $d = b$

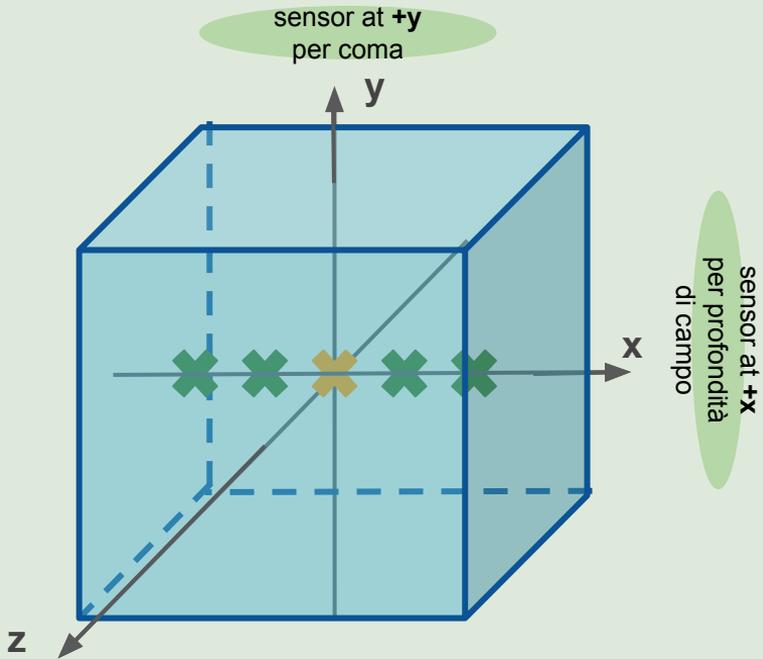
QUESTIONI

- quantificare l'effetto della profondità di campo
- quantificare l'effetto dell'aberrazione comatica
- comparare \uparrow con aberrazione sferica

POI

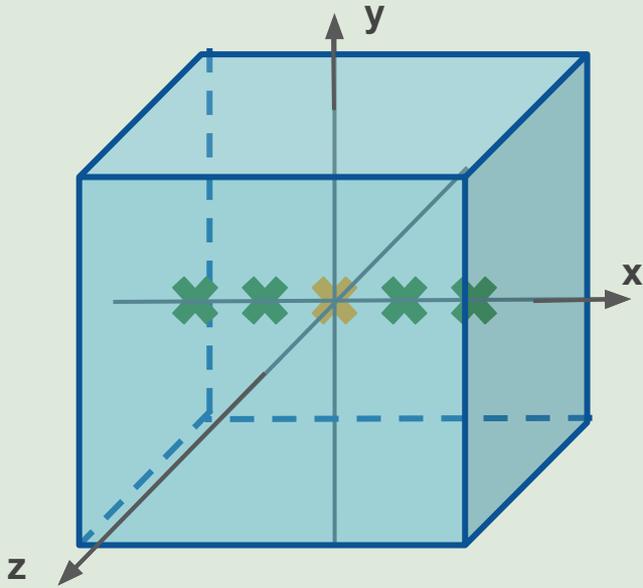
- verificare gli stessi risultati allontanando l'ottica

SIMULAZIONI



- 1) simulo una serie di punti luminosi lungo l'asse x (10 000 fotoni per punto). , mentre y e z restano costanti (= 0)
- 2) rimuovo l'aberrazione sferica (imponendo il raggio della lente = 5 mm)
 - a) per la profondità di campo guardo solo l'output a **+x**
 - b) per l'aberrazione comatica guardo solo l'output a **+y**
- 3) riduco l'angolo di emissione in modo da simulare solo i fotoni che raggiungono la lente

TOY MONTE CARLO

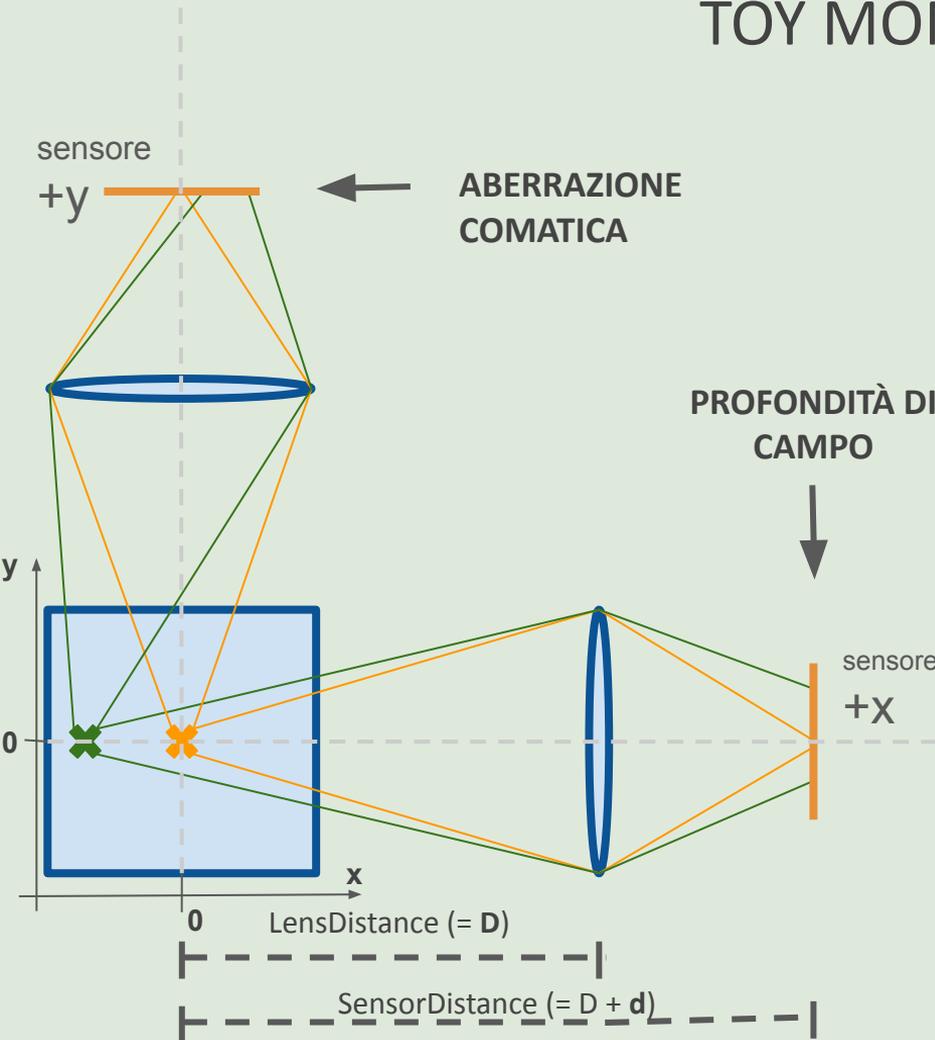


Simulazione:

- Simulato un Punto luminoso
- 100'000 fotoni emessi
- Posizione sorgente variabile:
 - $y, z = 0$;
 - $x \in [-20, +20]$ mm a step di 1 mm
- per ogni configurazione simulati 1000 eventi

- emissione di fotoni ridotta all'angolo solido coperto dalla lente

TOY MONTE CARLO



Setup base:

$LensDistance = 101$ mm

$SensorDistance = 146$ mm

$FocalLength = 30$ mm

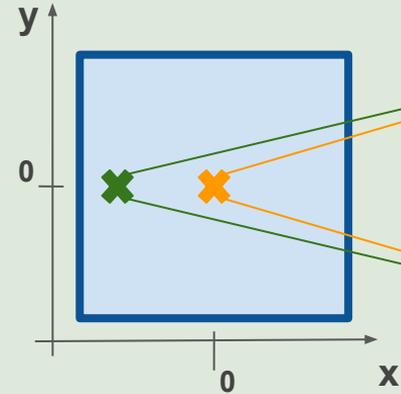
$LensRadius = 5$ mm

$SensorSide = 20$ mm

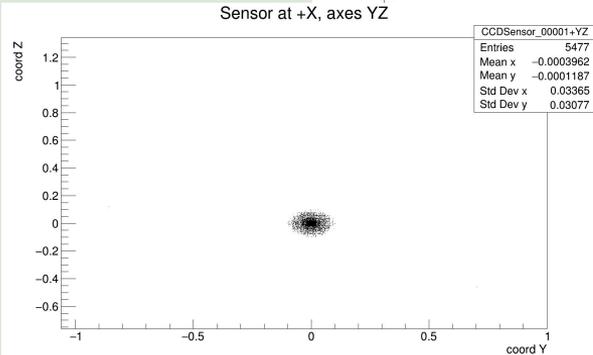
NB: tutte le distanze all'interno dello scintillatore sono state riscalate con l'indice di rifrazione del sensore stesso ($x' = x / n_index$) (es. $x = 20$ mm \rightarrow $x' = 12.7$ mm).

Profondità di campo sensore a +x

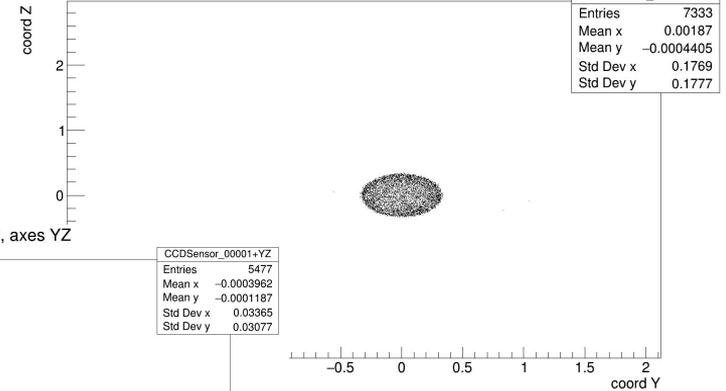
Le distanze di sensore e lente sono ottimali solo per un punto posizionato nell'origine. Più mi sposto meno sono a fuoco. Di quanto?



$x = 0\text{mm}$



$x = 20\text{mm}$ Sensor at +X, axes YZ

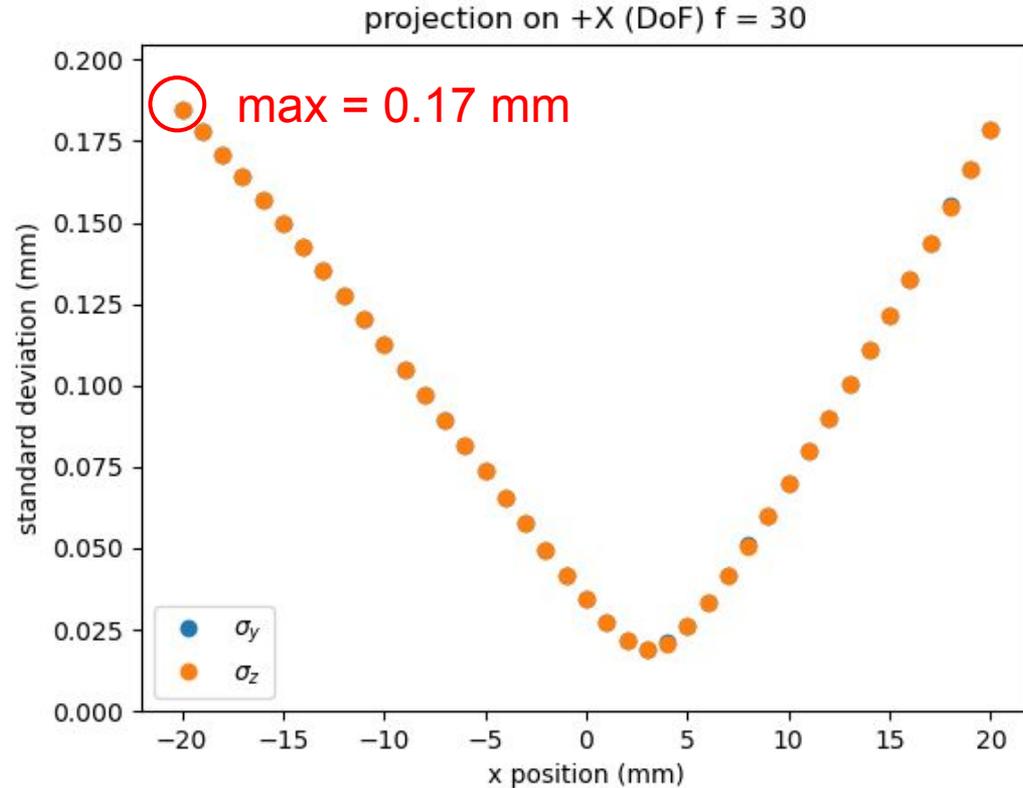


NB: la distribuzione è
~uniforme

Profondità di campo

Noto che:

- non è simmetrica
- non è centrata



Profondità di campo

Eq. lenti sottili

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{D}$$

$$d' = \frac{(D + x)f}{D + x - f}$$

← dall eq. delle lenti

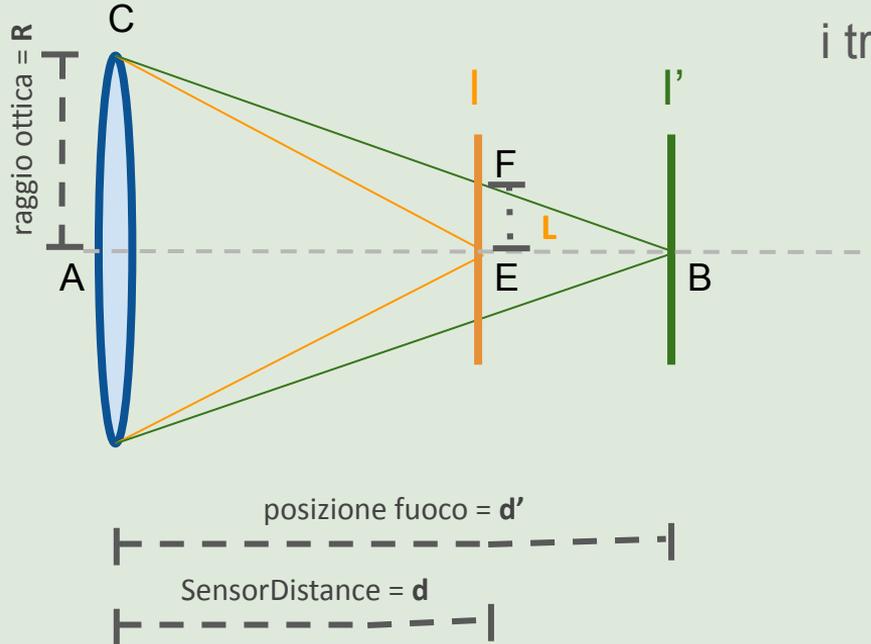
e

i triangoli ABC e EBF sono simili, dunque:

$$\frac{R}{d'} = \frac{L}{d - d'}$$

quindi:

$$L = Rd \cdot \frac{D + x - f}{(Df + xf)} - R$$



Profondità di campo

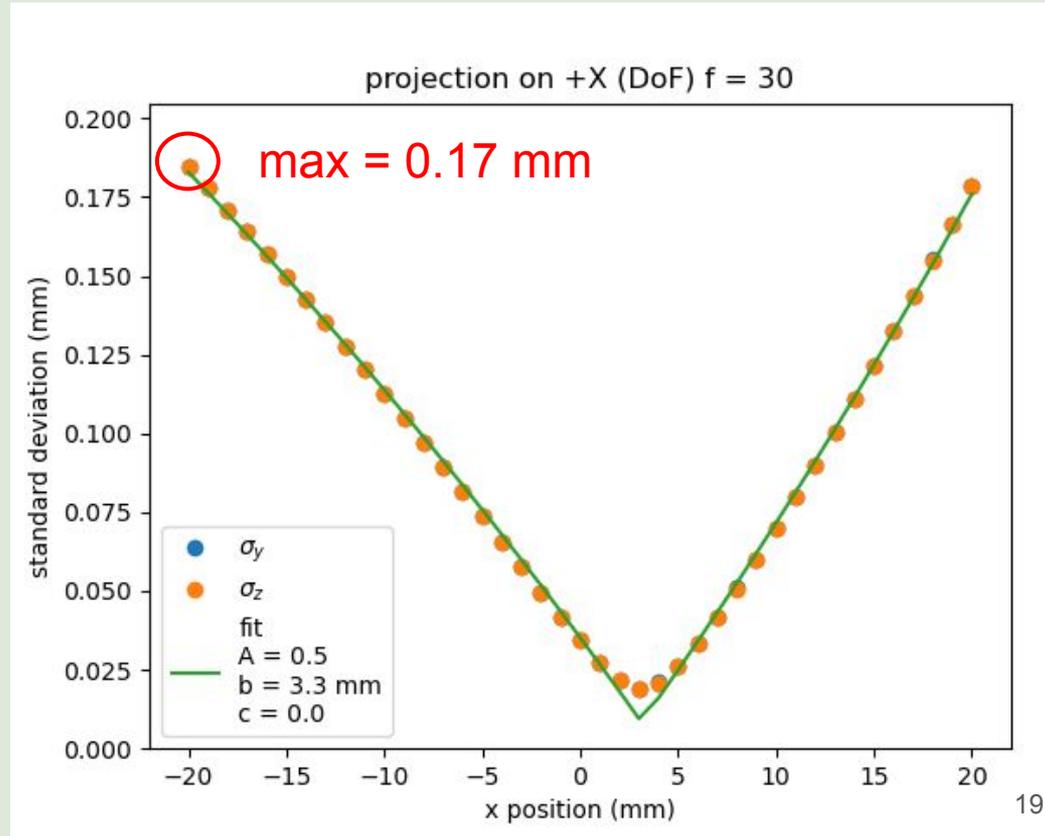
$$x = \frac{-x+b}{n_{index}}$$

$$L = A \cdot |Rd \cdot \frac{D+x-f}{(Df+xf)} - R| + c$$

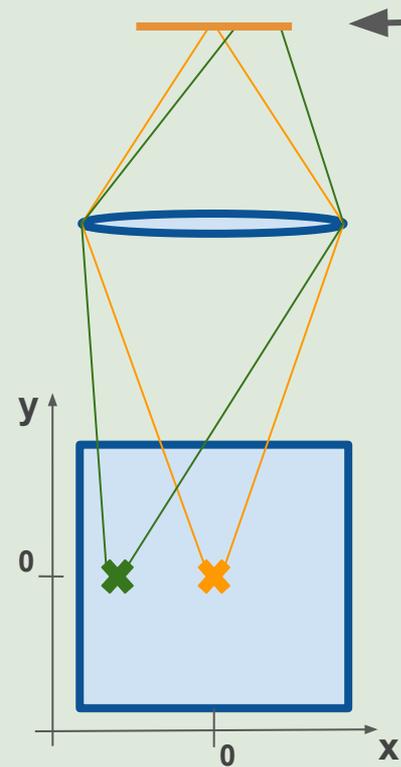
$$A = 0.509 \pm 1.3e-05 ?$$

$$b = 3.291 \pm 2e-03(\text{ non } 0) ?$$

$$c = 0.008 \pm 6e-07$$

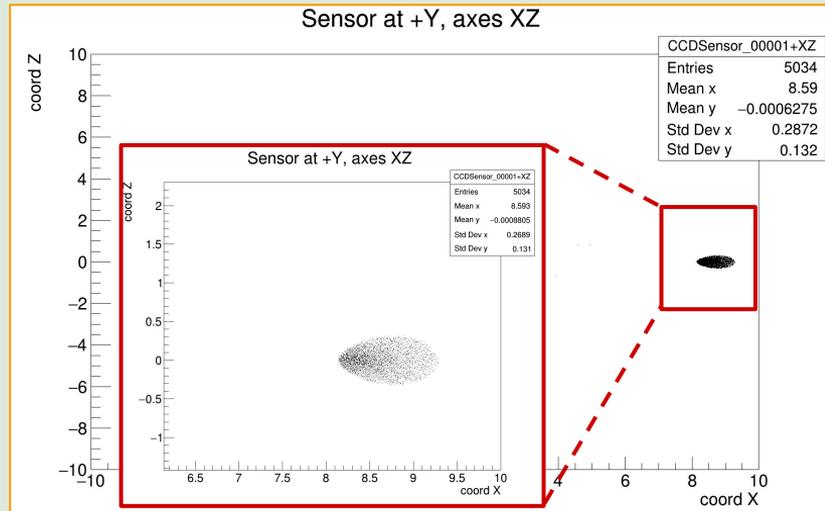


ABERRAZIONE COMATICA (sensor at +Y)



← ABERRAZIONE
COMATICA

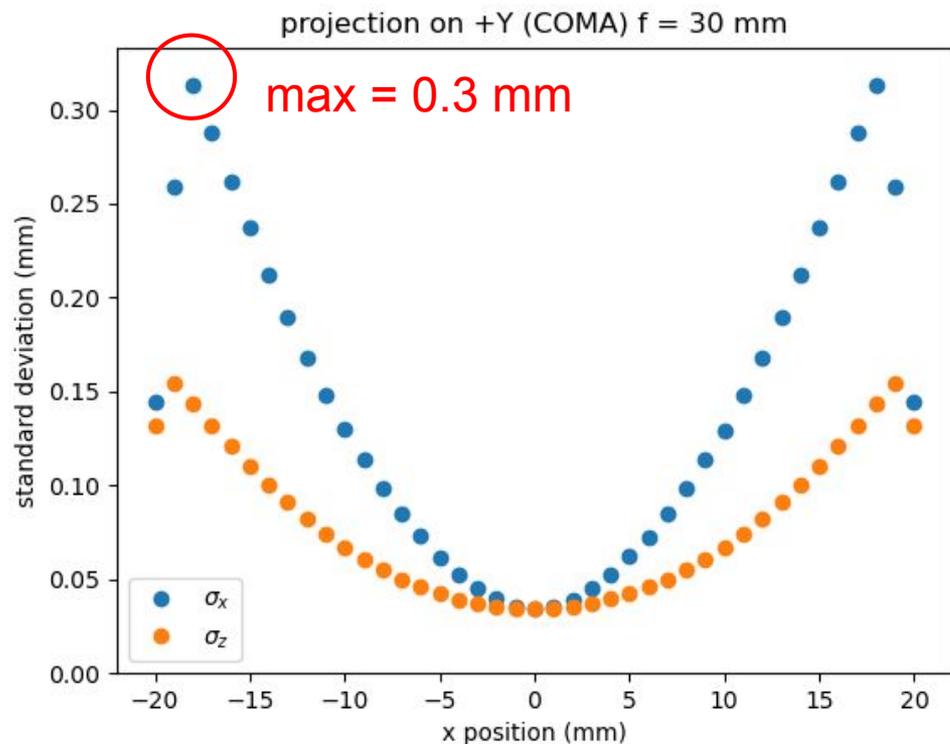
Punto simulato in (-17, 0, 0)



- proietto l'istogramma2D sugli assi x e z
- calcolo σ_x e σ_z sulle proiezioni

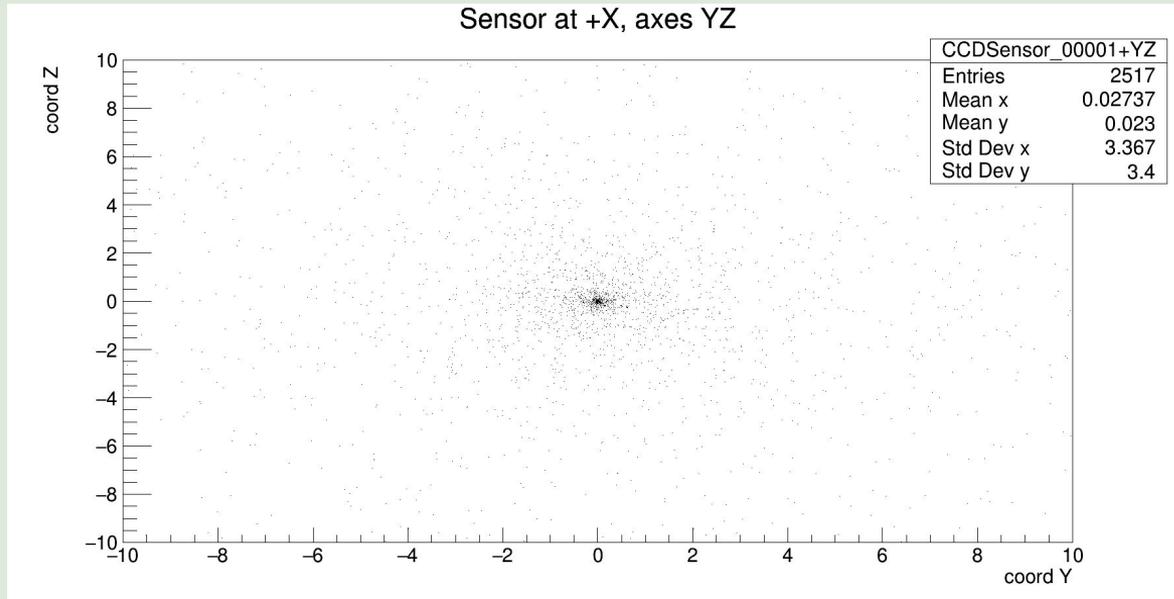
!!! non considero l'ingrandimento della lente: σ_x e σ_z si riferiscono ai pixel accesi sul sensore.

Aberrazione comatica



- σ_x effetto **aberrazione comatica**
- σ_z effetto profondità di campo (il punto dista dalla lente) $\sqrt{(D^2 + x^2)}$ quindi ho un effetto dovuto alla variazione della profondità di campo.
- σ_z varia di un fattore 5
- σ_x varia di un fattore 10

Rispetto all'effetto dell'aberrazione sferica?



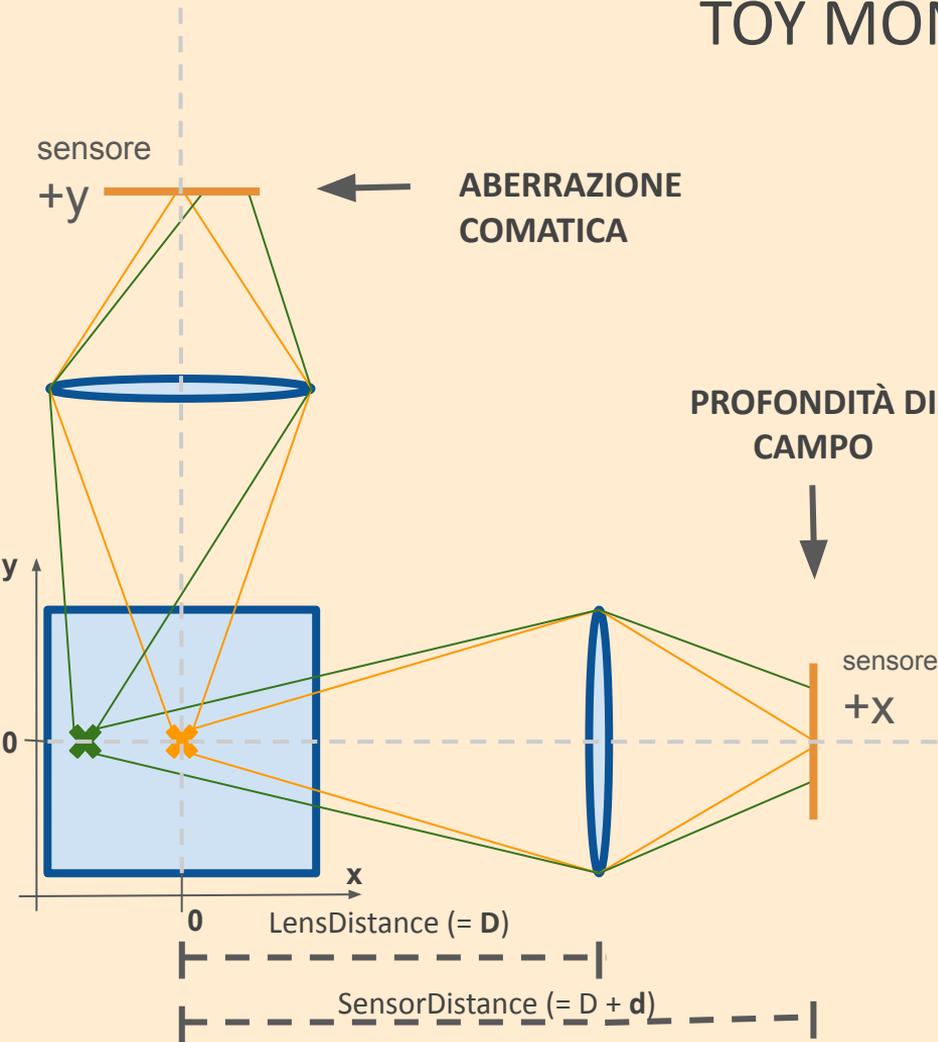
$$\sigma_{\text{coma}} = 0.30 \text{ mm (in } x = 18 \text{ mm)}$$

$$\sigma_{\text{dof}} = 0.17 \text{ mm (in } x = 20 \text{ mm)}$$

$$\sigma_{\text{sph}} = \mathbf{3.4 \text{ mm}} \text{ (in } x = 0 \text{ mm)}$$

cambio configurazione ...

TOY MONTE CARLO



Setup base:

LensDistance = ~~101 mm~~ 550.5 mm

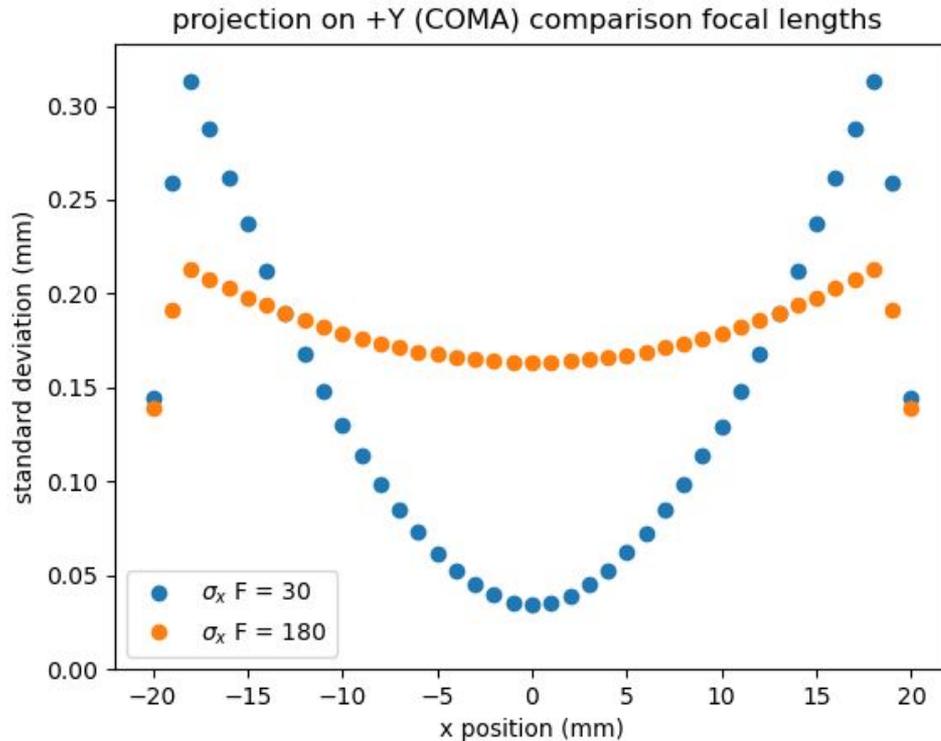
SensorDistance = ~~146 mm~~ 820 mm

FocalLength = ~~30 mm~~ 180 mm

LensRadius = ~~5 mm~~ 30 mm

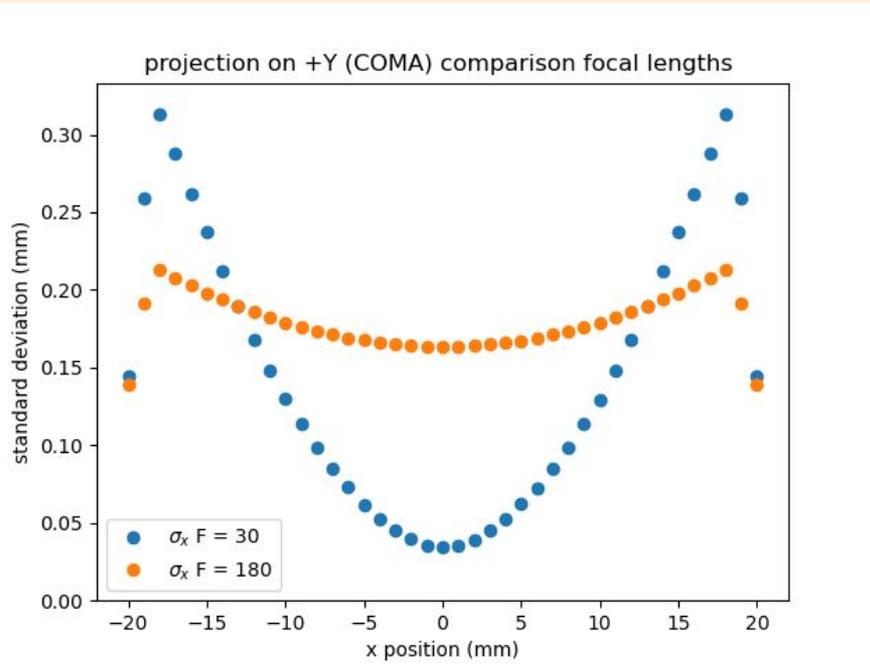
SensorSide = 20 mm

Aberrazione comatica



non si spiega se si considera solo
l'aberrazione comatica

Aberrazione comatica



S550

APPLICATION OF THE ALGEBRAIC ABERRATION EQUATIONS TO OPTICAL DESIGN

By I. C. Gardner

ABSTRACT

The phase of optical engineering which deals with lens design and the measurement of the aberrations of a lens system is worthy of a more comprehensive treatment than is available in English. Even in our technical schools and universities it is seldom that one finds a course dealing adequately with optical imagery which goes beyond the first order or Gaussian equations. In geometrical optics there are two applications of the aberration equations. In the first, one has what may be termed the direct problem. The specifications of the lens system are given and the aberrations are to be determined. In the inverse problem one is to determine the specifications of the lens system which will have the desired aberration characteristics. Although the second problem is much the more important the literature dealing with it is relatively meager. There is no treatise entirely satisfactory, either in German or English, which gives the third order aberrations in a convenient form for the inverse solution with a simple and consistent notation and sign convention.

And yet the control of the aberrations of a projected system is the central prob-

Aberrazione sferica

$$(\text{Ang. Sph.}) = \frac{o^3}{4} h^4 \varphi^3 A \quad (21)$$

$$(\text{Lon. Sph.}) = \frac{o^2}{8} s'^2 h^2 \varphi^3 A \quad (22)$$

The coefficient of spherical aberration A is defined by either of the two equations:

Taylor system

$$A = \frac{n+2}{n(n-1)^2} \sigma^2 + \frac{4(n+1)}{n(n-1)} \sigma \pi + \frac{3n+2}{n} \pi^2 + \frac{n^2}{(n-1)^2} \quad (23)$$

Continental system

Longitudinal spherical aberration: $l'' - l'$

$$s' = d$$

$$\varphi = 1/f$$

$$h = 1$$

$$o = R \text{ (LensRadius)}$$

σ = shape factor dipende dai due raggi di curvatura della lente (r e r')

π = position factor (dipende da D e d)

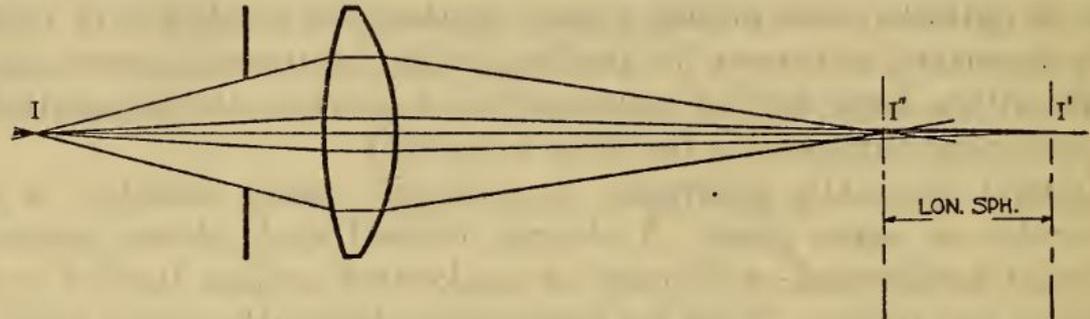


FIG. 6.—Longitudinal spherical aberration of the axial image point I'

Aberrazione comatica

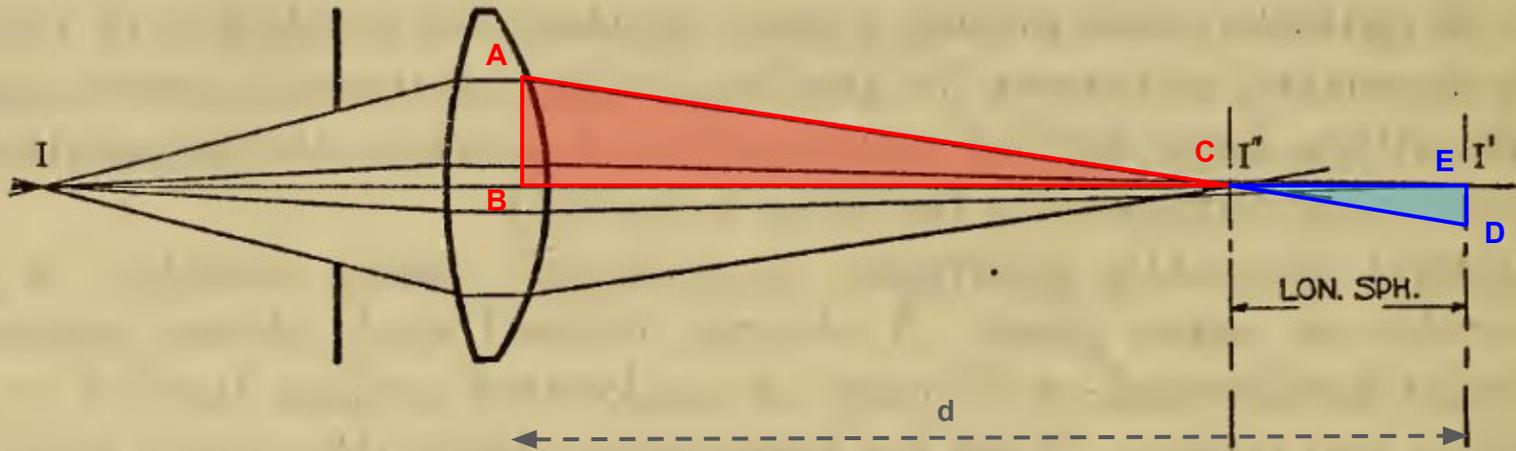


FIG. 6.—Longitudinal spherical aberration of the axial image point I'

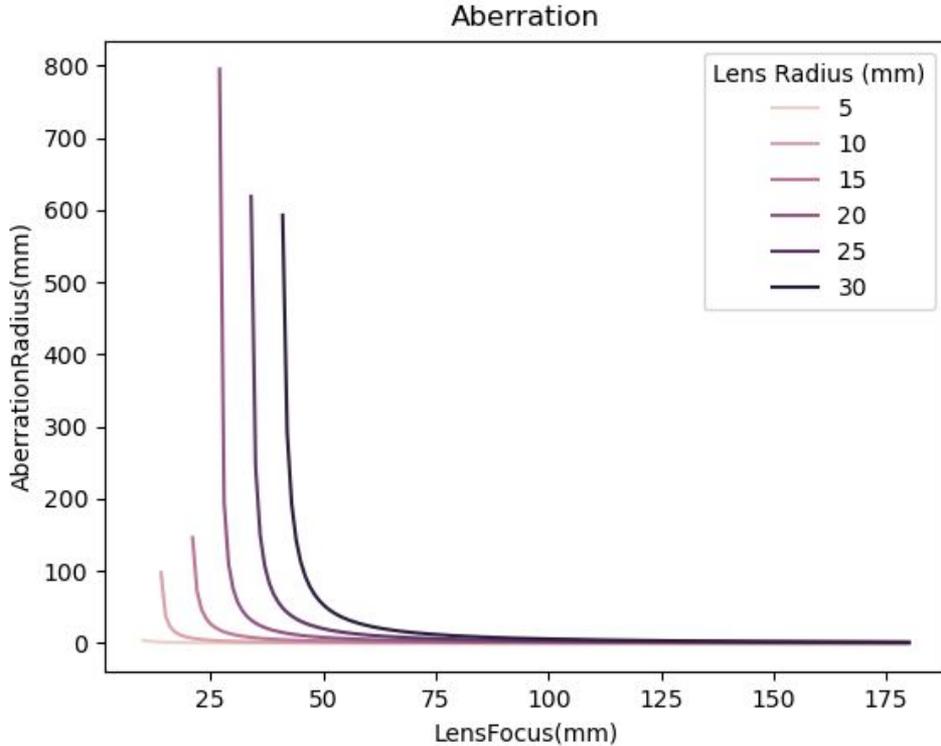
$$Lon.Sph. = \Delta d = \frac{R^2}{8} d^2 \left(\frac{1}{f}\right)^3 A$$

ABC e CED sono
triangoli simili, quindi:

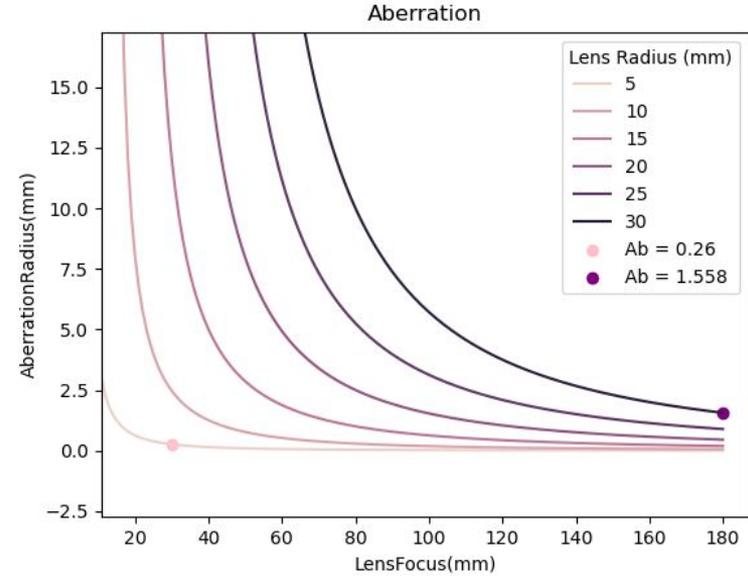
$$Sph.Radius = \frac{R\Delta d}{d - \Delta d}$$

Aberrazione sferica

NB: questo è il raggio massimo di aberrazione, non la deviazione standard della distribuzione dei punti.



zoom



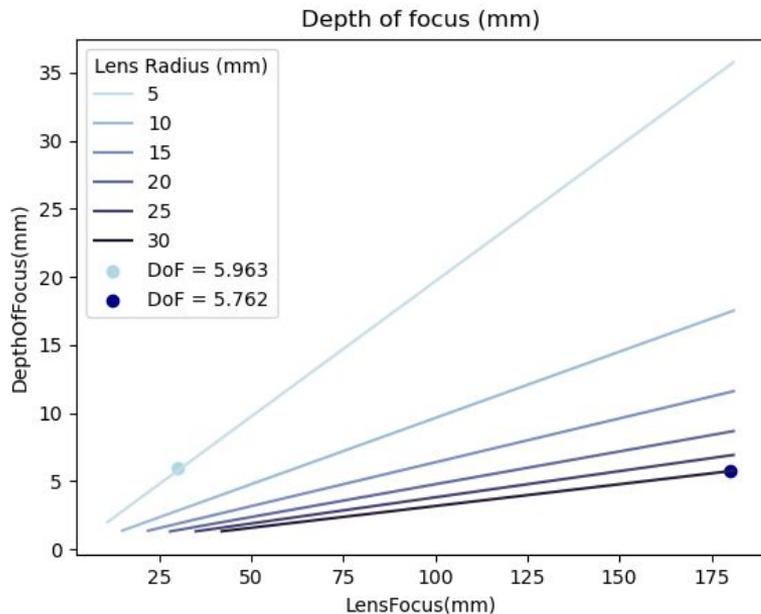
- al diminuire di F mi avvicino alla sorgente di fotoni, quindi l'angolo di incidenza dei fotoni aumenta (+ aberrazione).
- l'aberrazione aumenta de aumento il raggio della lente (obv)
- diverge quando supera la lunghezza focale (se $q - \Delta q < F$)

Field of View

Qual è la profondità di campo entro la quale l'immagine di una sorgente puntiforme ha un raggio di sfocatura minore di 0.1 mm sul sensore (=0.2 mm nello scintillatore?)

$L = 0.1 \text{ mm}$

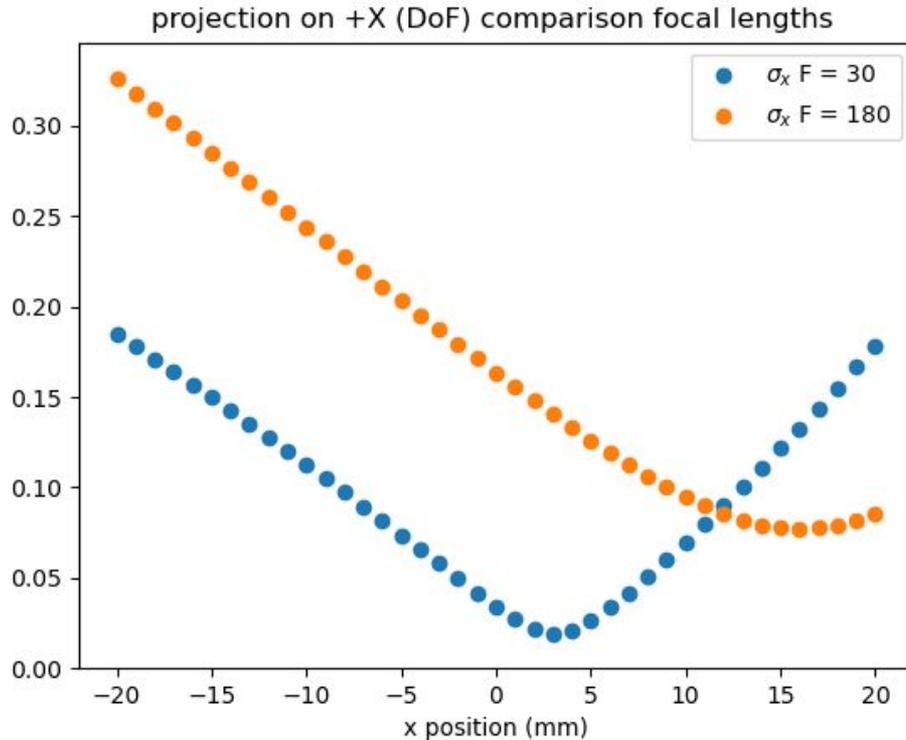
$$DoF = \left[\frac{L + R}{Rd} Df - D + f \right] \cdot \frac{1}{1 - \frac{L+R}{Rq} f} \cdot n_{BC408}$$



- L è la 'sfocatura' massima che considero accettabile sul sensore (vedi)
- R è il raggio della lente
- q è la distanza lente sensore
- p è la distanza oggetto lente
- f è la lunghezza focale della lente

DoF è ricalcolato all'interno dello scintillatore (moltiplico per n_{BC408})

Profondità di campo



??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??
??

fine

Angolo solido di emissione fotoni

$$l = \tan^{-1}(R / L_{\text{corretto}}) \approx 0.064 \text{ (x2 melius est abundare quam deficere)}$$

$$\varphi \in (-l, +l)$$

$$\theta \in (\pi/2 - l, \pi/2 + l)$$

$L_{\text{corretto}} =$ considerando il punto più vicino alla lente (l'angolo l è il maggiore) e considerando l'effetto dell'indice di rifrazione dello scintillatore ($x' = x/n$)

