



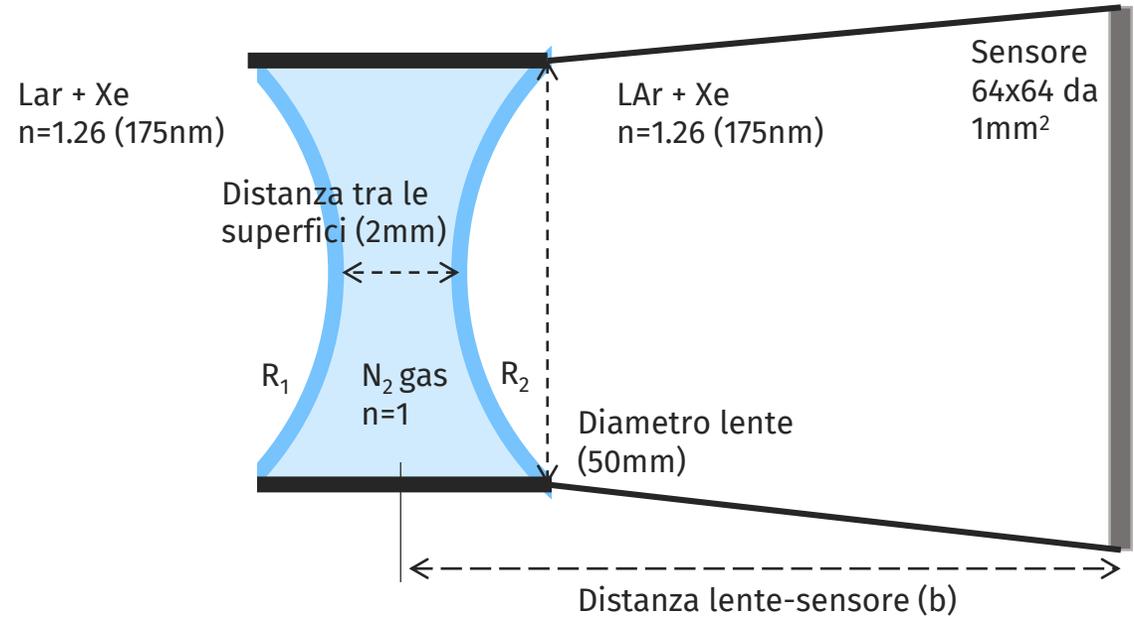
# SIMULAZIONI LENTI GENOVA

Meeting PRIN e menisco LAr, 23/12/2020

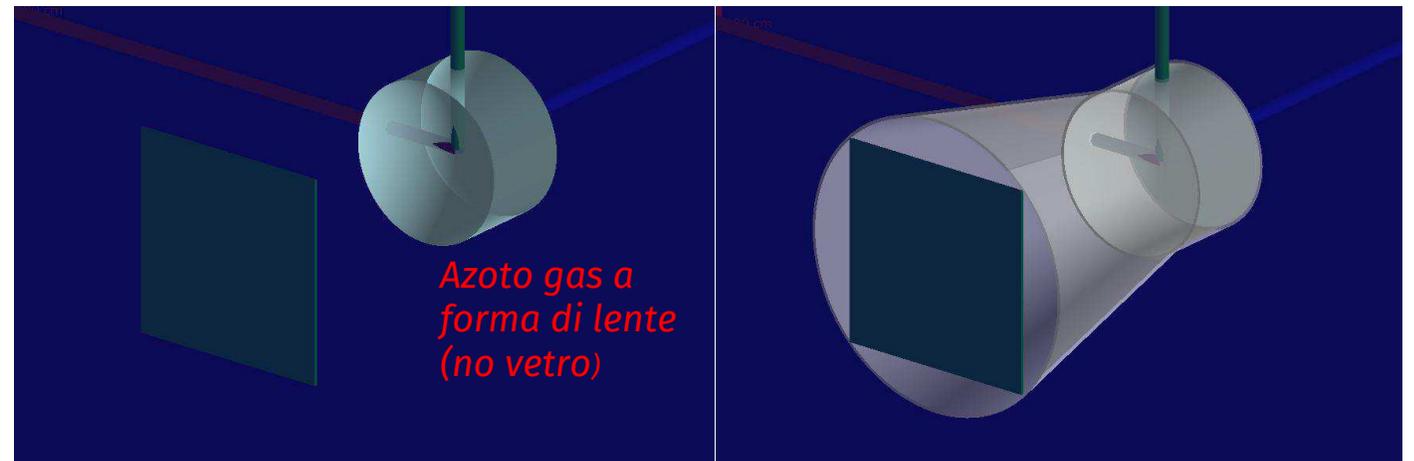
**Matteo Vicenzi, Lea Di Noto, Alessio Caminata, Federico Ferraro, Simone Copello, Bianca Bottino, Marco Pallavicini**

# Geometria

- LAr+Xe (175nm,  $n=1.26$ ): materiali con trasmissione  $>99\%/cm$
- ATILA: lenti biconcave a «gas» ( $N_2$ ,  $n=1$ )
- Simulazione ottica GEANT4 (riflessione e rifrazione con classe standard), con geometria semplificata



Prima implementazione in GEANT4:

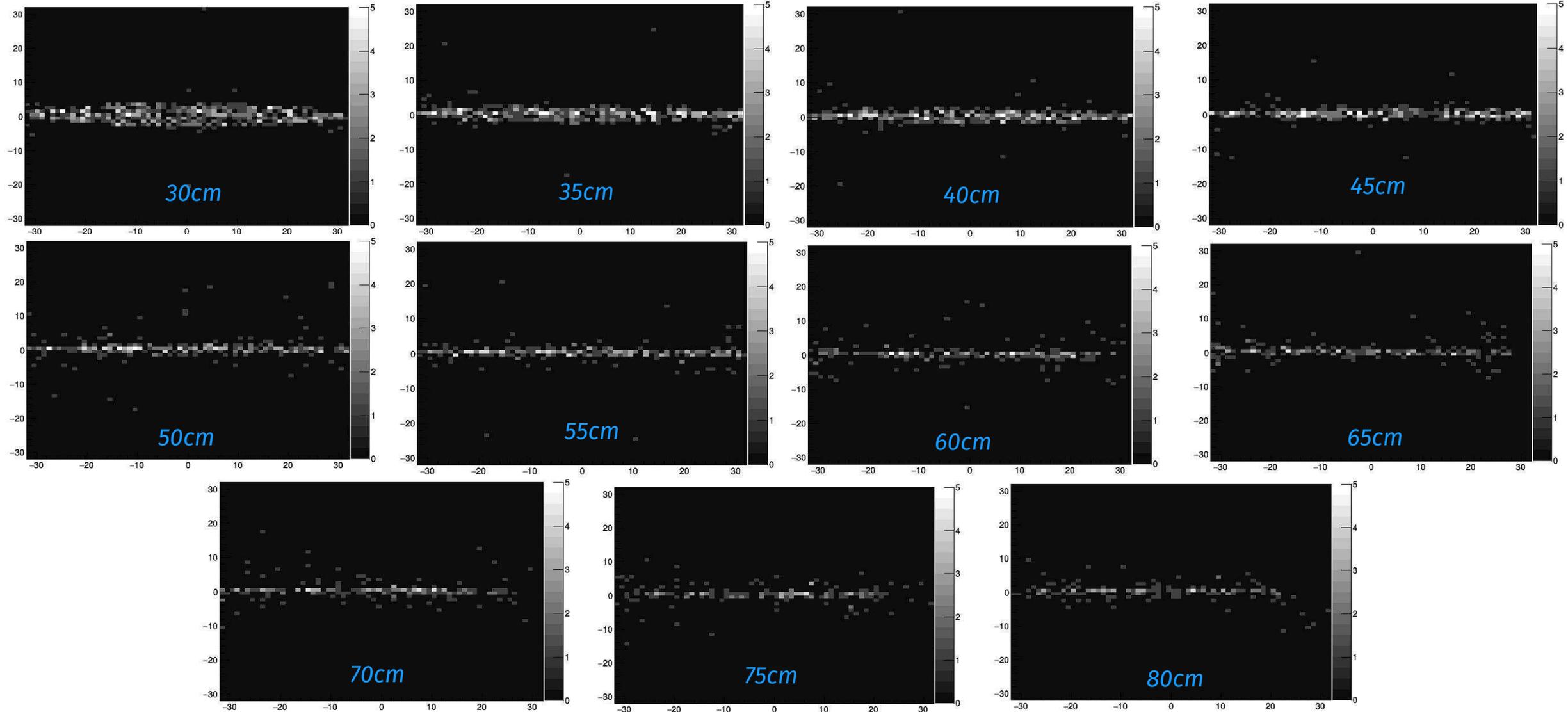


# Muone 1 GeV

Sensore 64x64  
SiPM 1mm<sup>2</sup>  
SiPM QE: 20%

Traccia di 40cm  
175 nm  
LY: 40000 ph/MeV

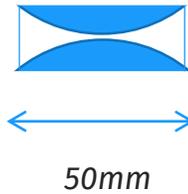
$R_1, R_2 = 36.5\text{mm}, f \approx 89\text{mm}$   
 $\Phi = 50\text{mm}, t = 2\text{mm}$   
 $b = 9\text{ cm};$



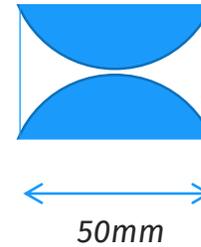
# Fotoni alla lente

- Fotoni alla lente determinati da accettazione geometrica (diametro 5 cm)
- Perdite per riflessione e riflessione totale (fino al 40% a R=25mm)
- Alone intorno alla traccia: fotoni provenienti dai bordi della lente

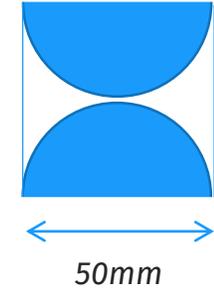
$R = 36.5\text{mm}$   
 $f = 89\text{mm}$



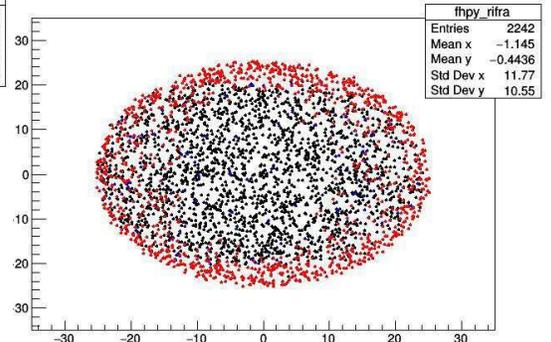
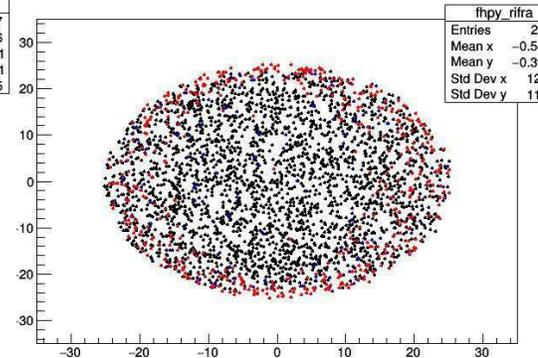
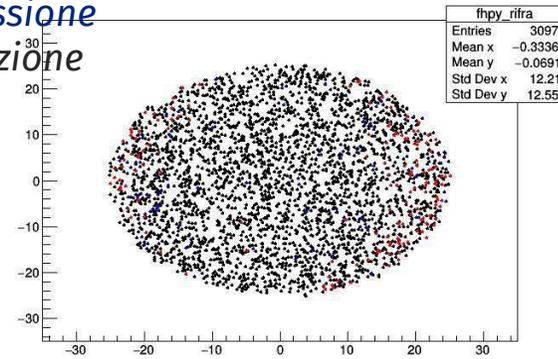
$R = 28.7\text{mm}$   
 $f = 70\text{mm}$



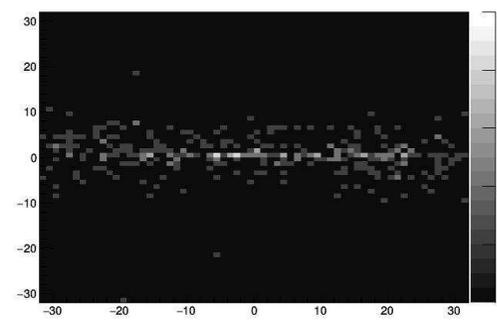
$R = 25\text{mm}$   
 $f = 61\text{mm}$



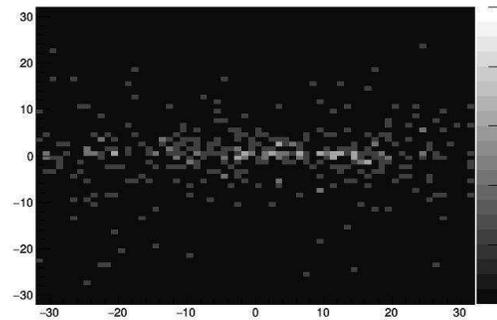
Rif. Totale  
Riflessione  
Rifrazione



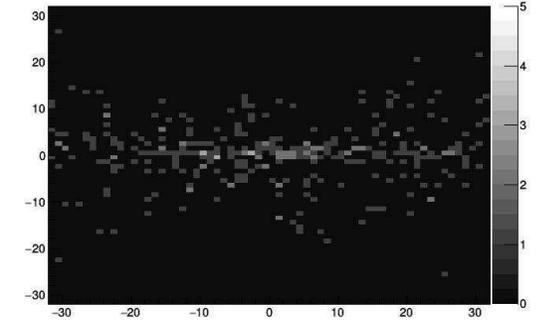
Traccia a 40 cm  
 $a_0 = 40\text{cm}$   
20% QE



$b = 114\text{mm}$



$b = 84,7\text{mm}$



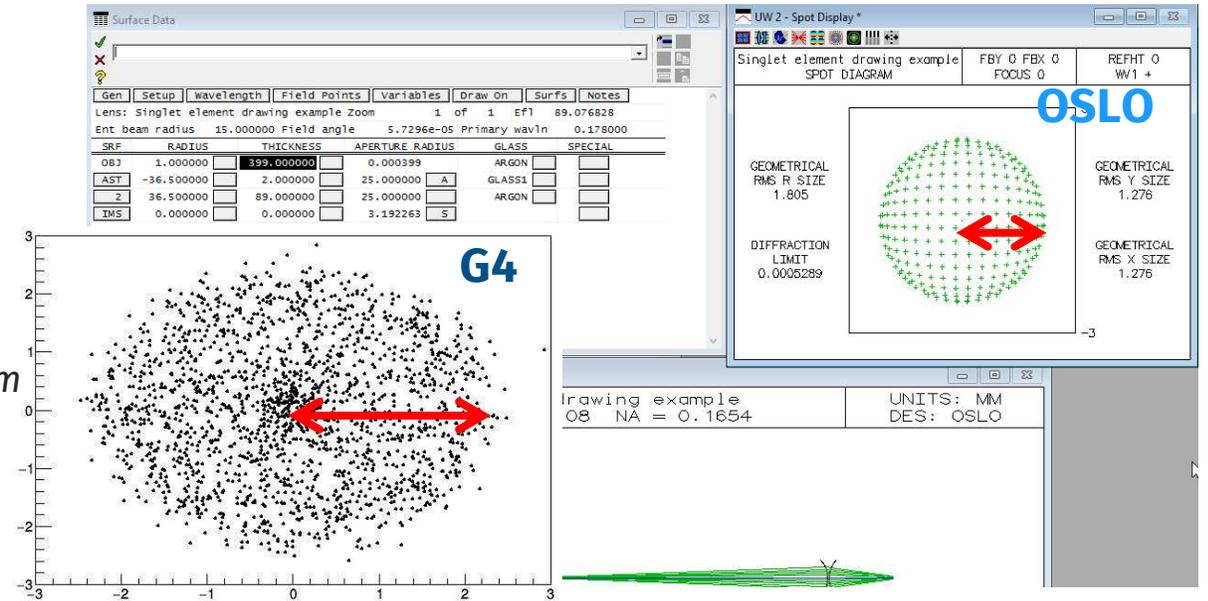
$b = 72\text{mm}$

# Validazione con ray-tracing

- Il funzionamento dell'ottica in GEANT4 è stato validato utilizzando simulazioni di ray-tracing indipendenti (OSLO).

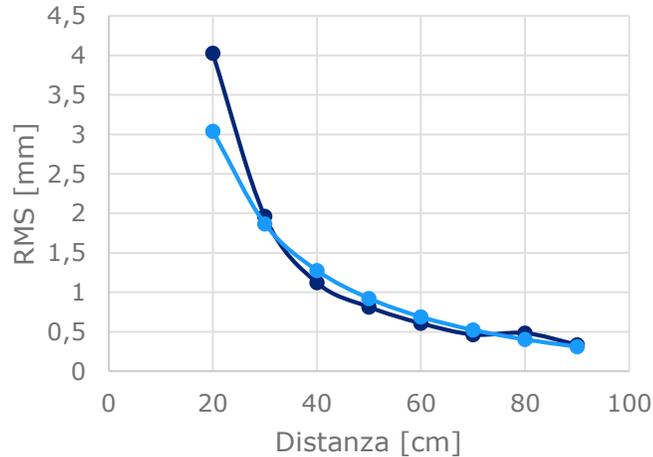
Lente:  
 $f = 89 \text{ mm}$   
 $R = 36.5 \text{ mm}$   
 $b = 90 \text{ mm}$

Punto ( $r = 1 \text{ mm}$ ) a  $40 \text{ cm}$  di distanza



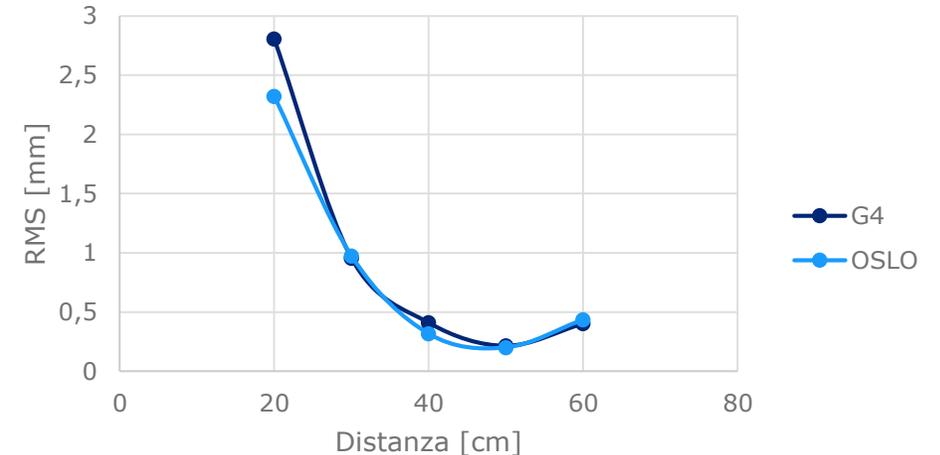
RMS x

$f = 89 \text{ mm}$   
 $R = 36.5 \text{ mm}$   
 $b = 90 \text{ mm}$

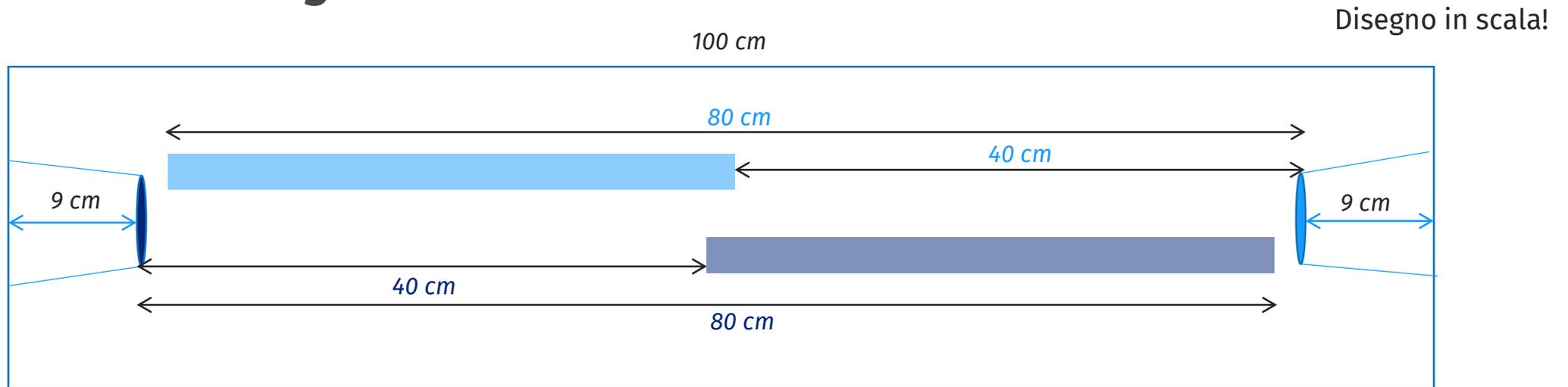


RMS x

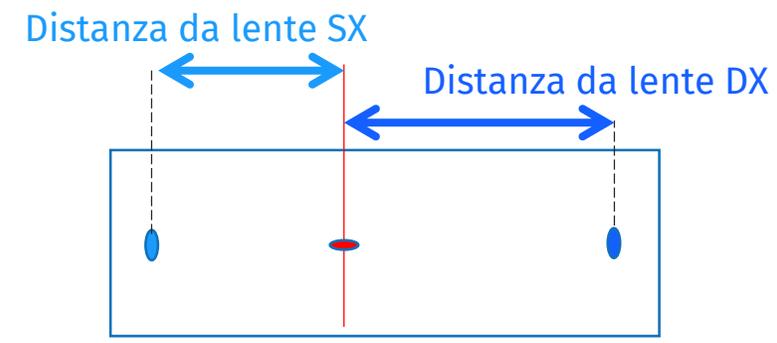
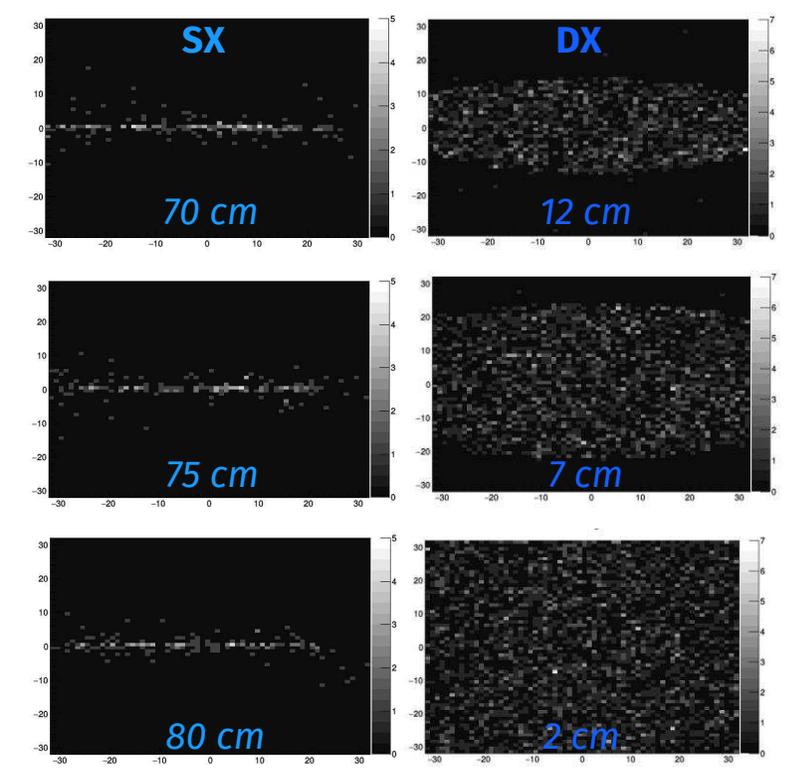
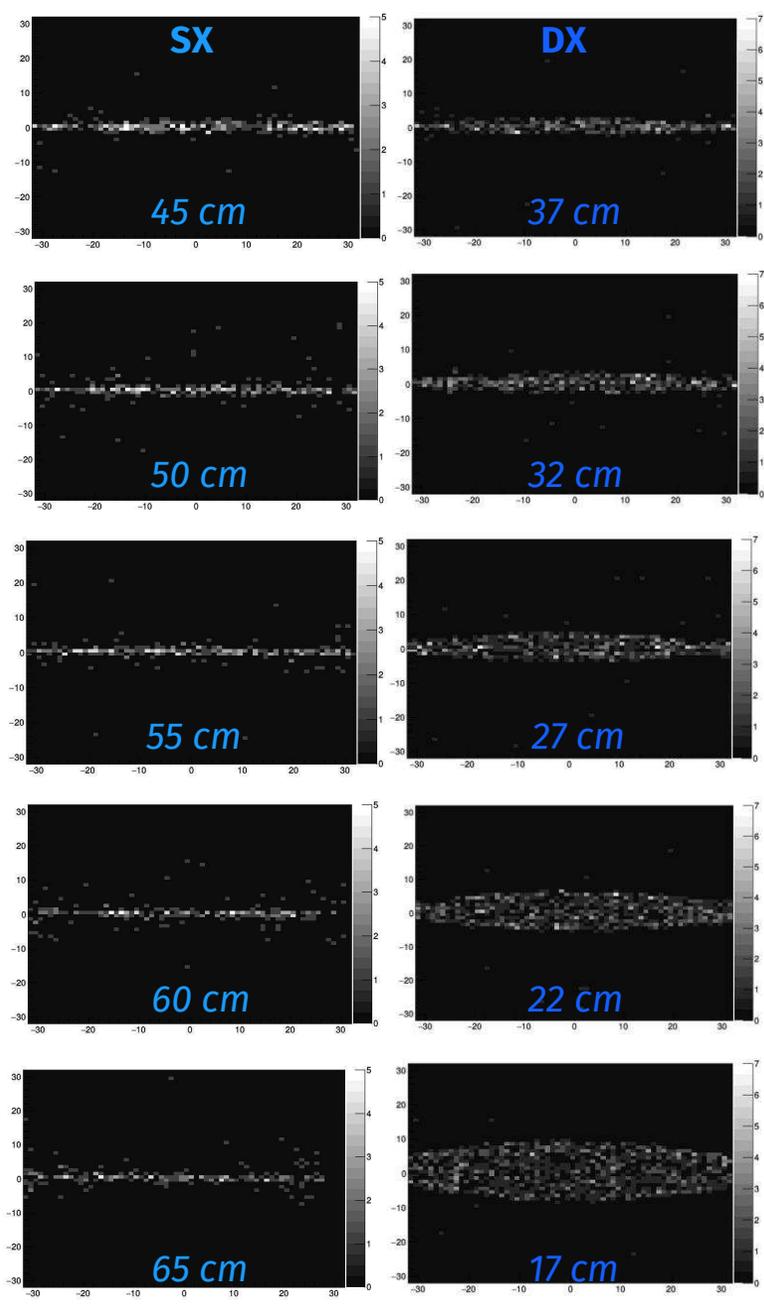
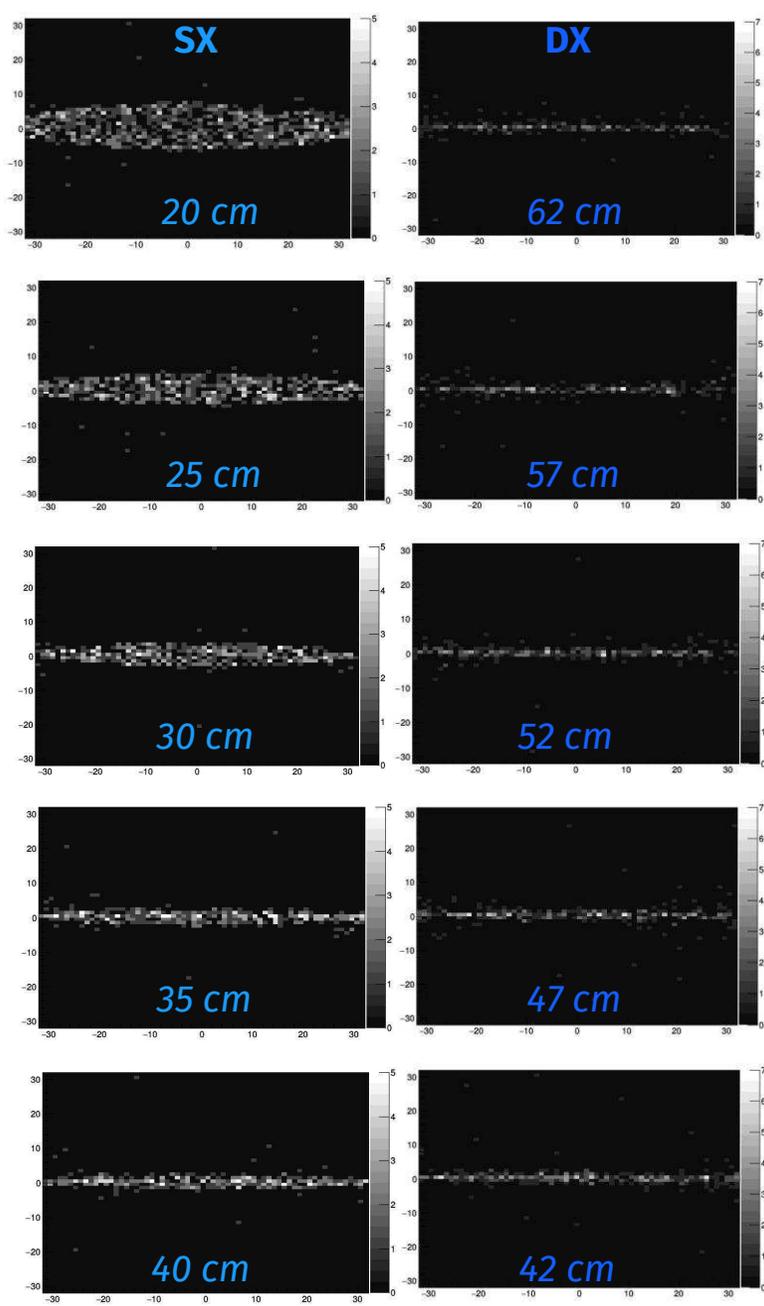
$f = 89 \text{ mm}$   
 $R = 36.5 \text{ mm}$   
 $b = 104 \text{ mm}$



# Possibile configurazione

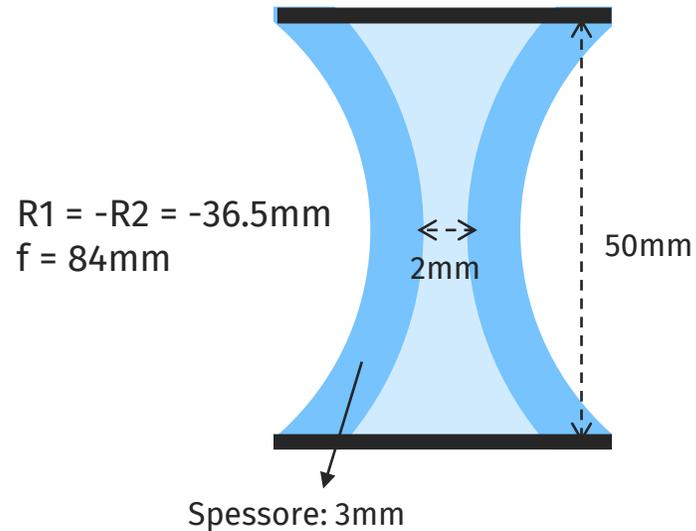


- Sistema di lenti ( $f = 90$  mm,  $R_1, R_2 = 36.5$  mm,  $b = 90$  mm): ricostruzione traccia «accettabile» tra 40cm (spessore  $< 5$  mm) e 80cm (iniziano a mancare i fotoni).
- Menisco  $L = 100$  cm: lenti ottimizzate per vedere la metà del modulo opposta a loro.
- Nel bulk entrambe le lenti non sono molto ottimizzate (tracce spesse 5-6 mm), poca sovrapposizione tra le due profondità di campo «accettabili»

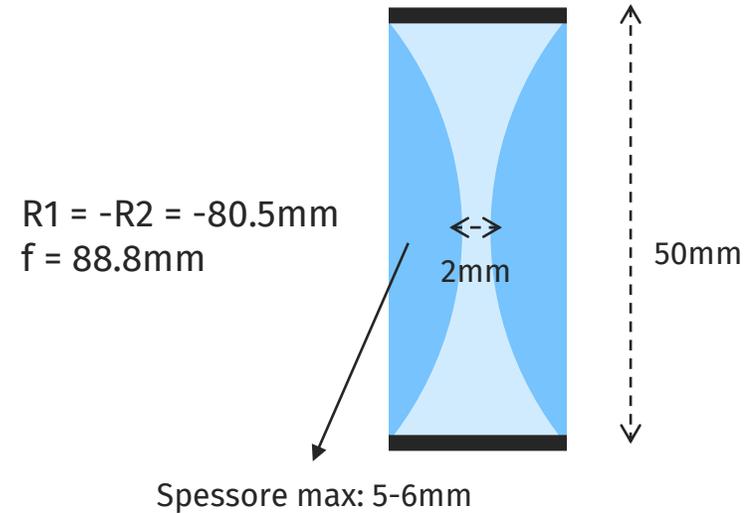


# Geometria con vetro

## Configurazione 1: lenti a menisco



## Configurazione 2: lenti piano-convesse



- Materiale: Fused Silica HPFS 8655 ( $n=1.59$  @ 175nm,  $T > 99.6\%/cm$ )
- Dal punto di vista meccanico, la configurazione piano-convessa è più facile da realizzare
- Recentemente implementata nella simulazione (studio in corso...)

# Riassumendo

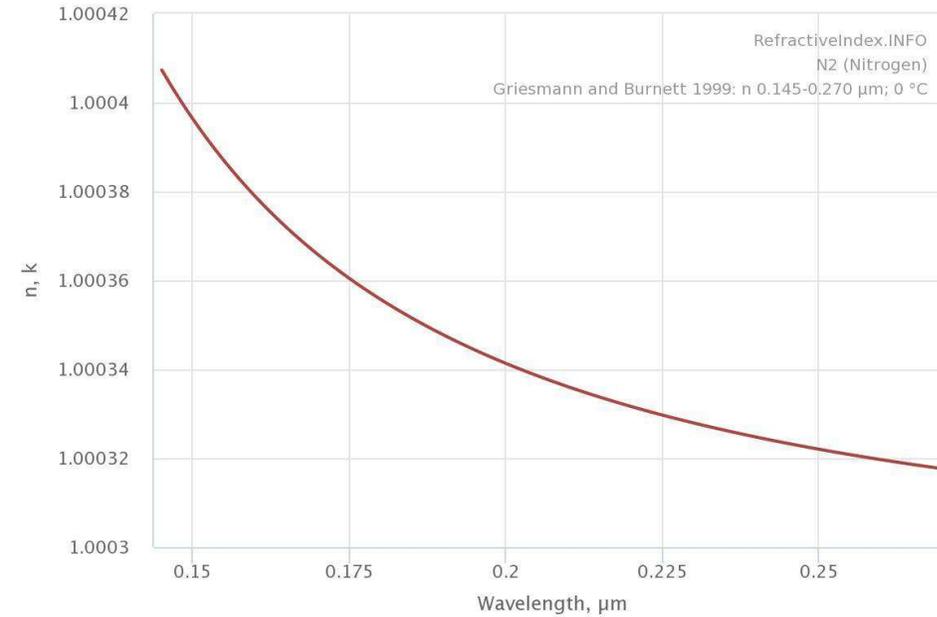
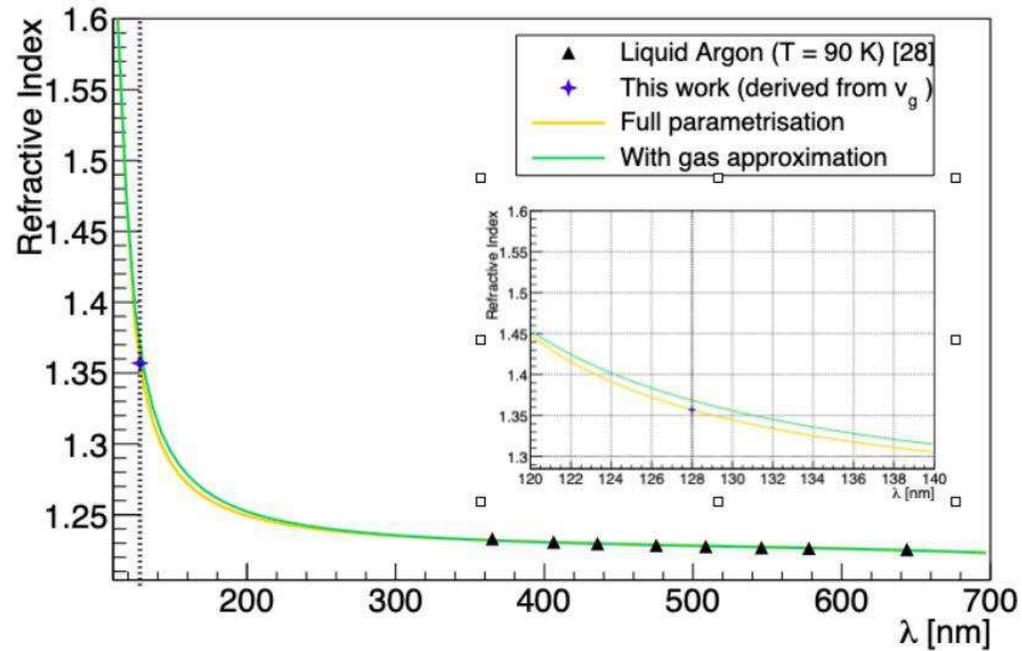
- Studi ottici con lenti tramite GEANT4 (propagazione ottica completa, riflessione e rifrazione con classe standard), validazione con ray-tracing.
- Configurazione possibile:  $R_1, R_2 = 36.5\text{mm}$ ,  $f \approx 89\text{mm}$ ,  $\Phi = 50\text{mm}$ ,  $t = 2\text{mm}$ ,  $b = 9\text{ cm}$ .  
Profondità di campo: 40cm-80cm; coppie di lenti su pareti opposte del menisco.
- Due geometrie possibili per lenti a «gas» a seguito dell'interazione con la ditta: lenti a menisco, lenti piano-convesse



# Back-up

Matteo Vicenzi – Meeting PRIN e menisco LAr, 23/12/2020

# Indici di rifrazione



- Argon liquido: estrapolazione da misure nel visibile e misura di velocità di gruppo a 128nm, per T=90K:

$$n(175\text{nm}) = 1.261$$

$$n(128\text{nm}) = 1.358$$

- Azoto: misure nel VUV, ma a T=273 K (0°C):

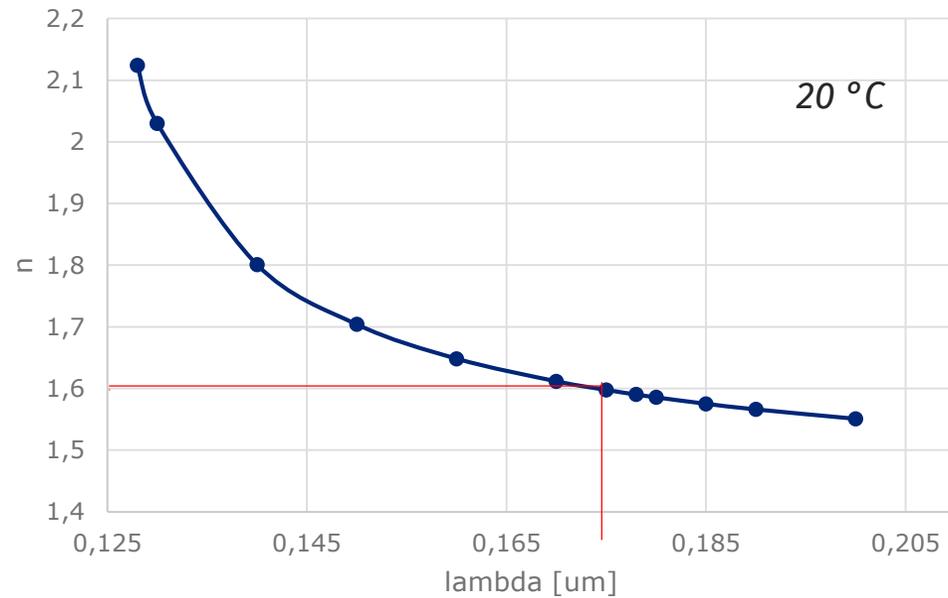
$$n = 1$$

Babicz et al. (2020) <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/P09009>

Griesmann and Burnett (1999) <https://doi.org/10.1364/OL.24.001699>

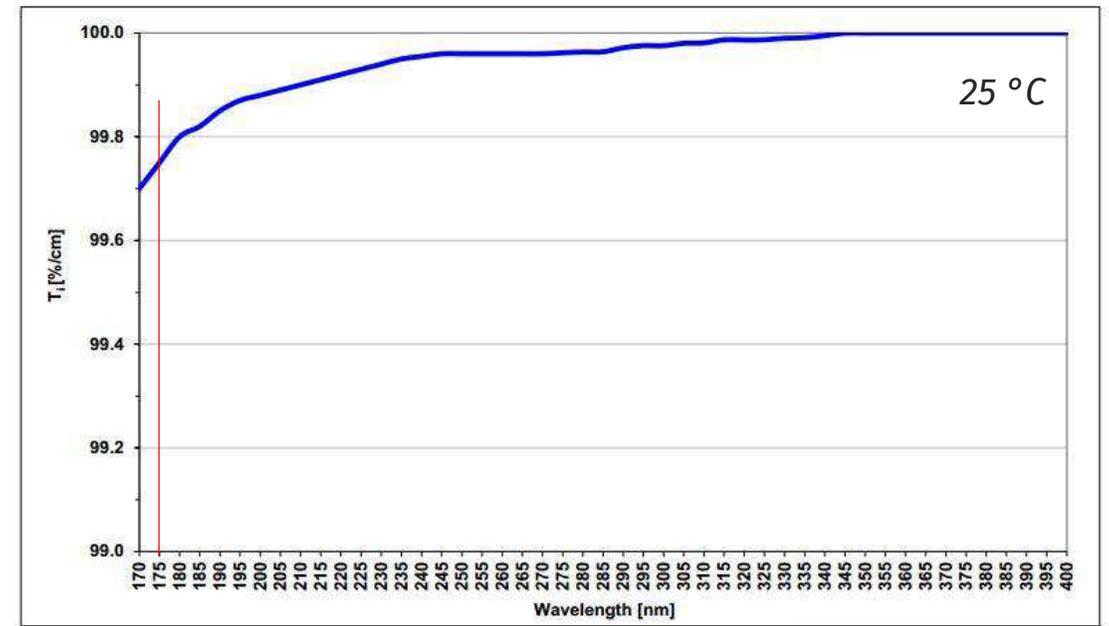
# Fused Silica HPFS 8655

## Indice di rifrazione



$$n(175\text{nm}) = 1.597$$

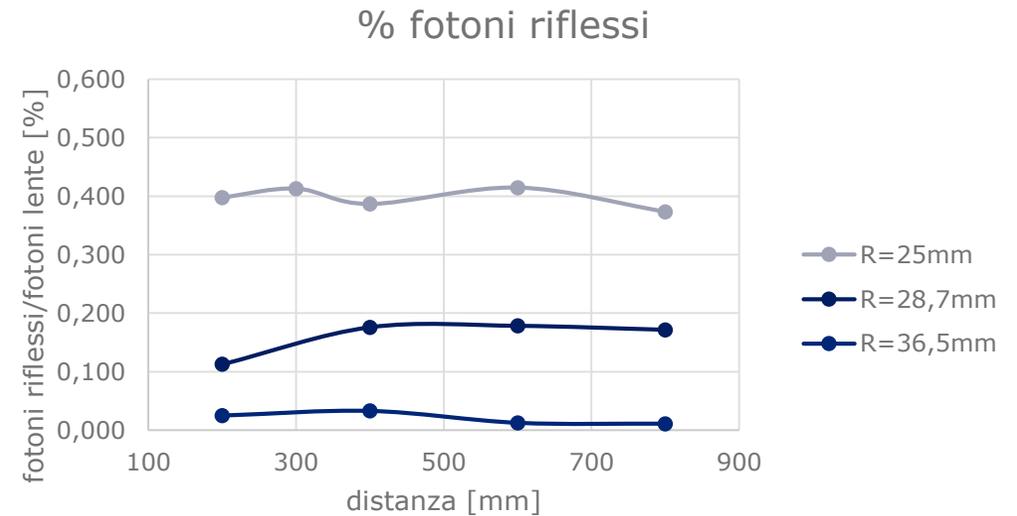
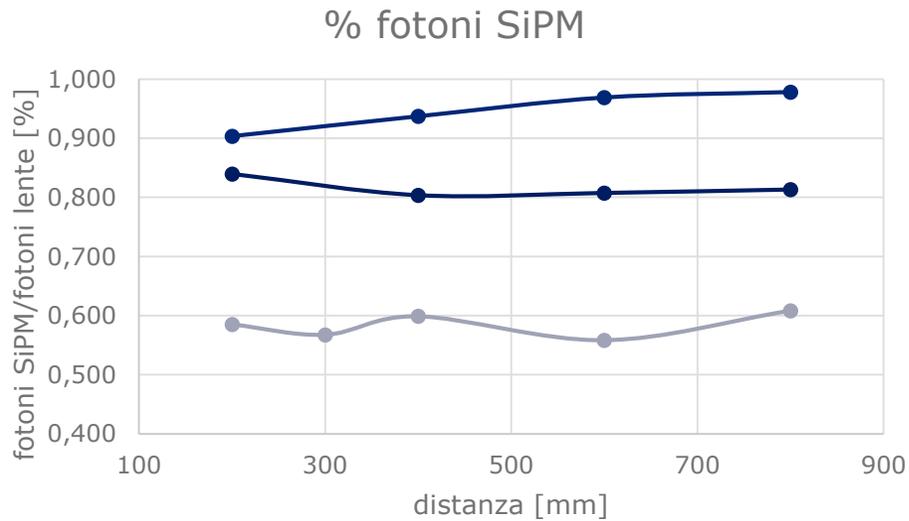
## Trasmissione



$$T(175\text{nm}) > 99.6\%/cm$$

# Fotoni sulla lente

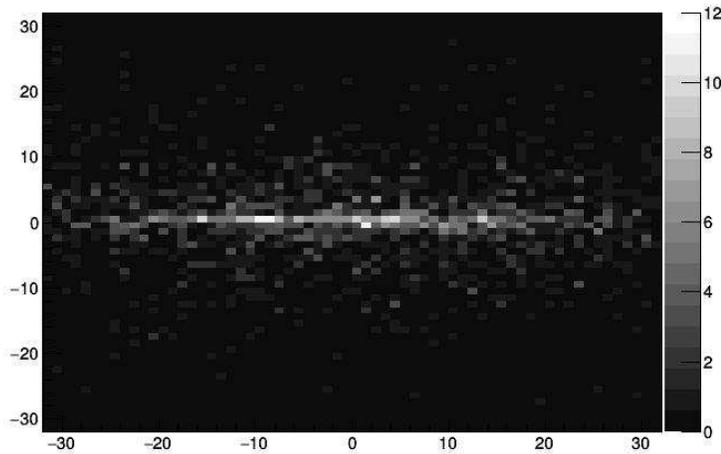
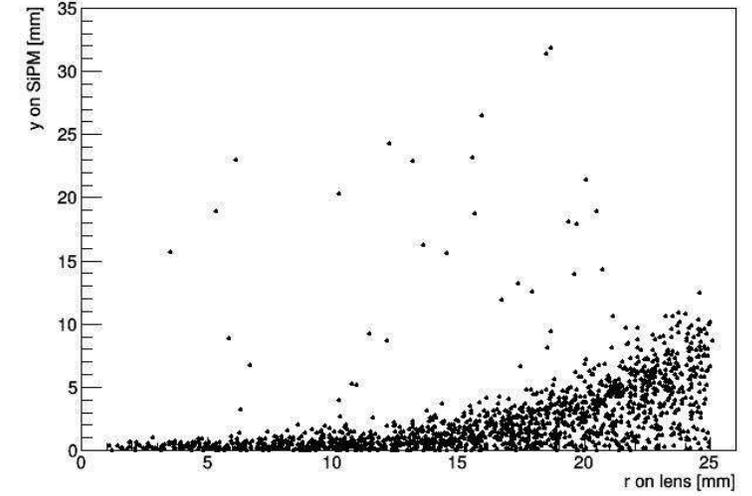
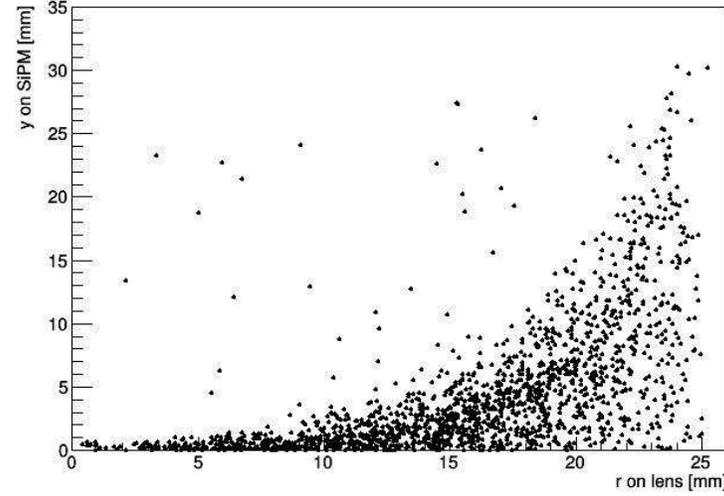
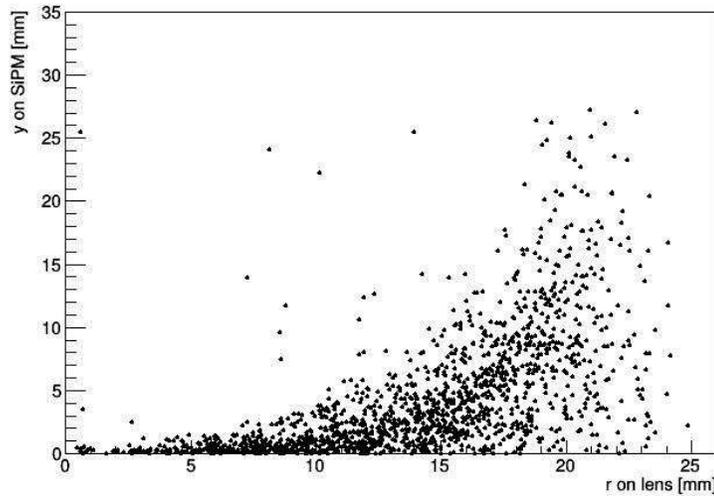
- 10 cm di traccia
- 2.1 MeV/cm, 40000 ph/MeV
- $R = 36.5\text{mm}$ ,  $\phi = 50\text{mm}$



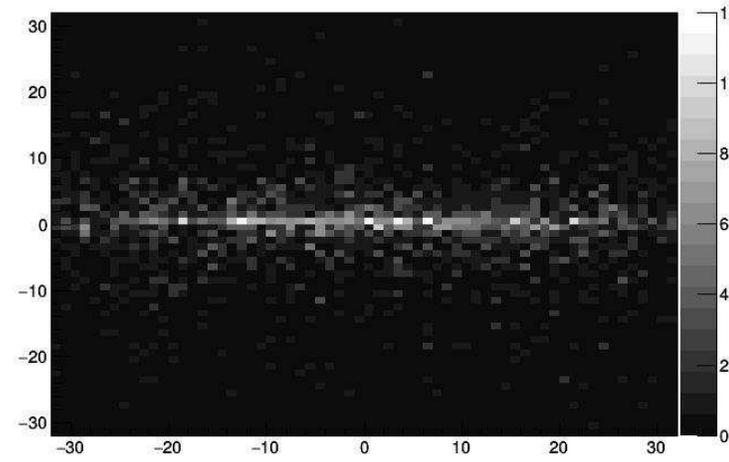
# Aberrazione

**Asse x:** *coordinata radiale sulla lente;*  
**Asse y:** *coordinata verticale nell'immagine sul sensore*

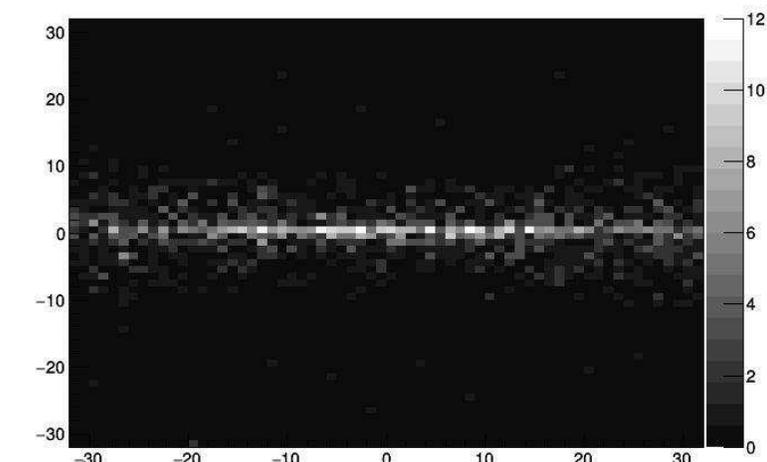
Traccia a 40 cm  
 $a_0 = 40\text{cm}$   
100% QE



$R = 25\text{mm}$   
 $f = 61\text{mm}$



$R = 28.7\text{mm}$   
 $f = 70\text{mm}$



$R = 36.5\text{mm}$   
 $f = 88.8\text{mm}$



**Università  
di Genova**



**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Sezione di Genova**

# Liquid Argon Refractive Index

*Bianca Bottino, Simone Copello, Federico Ferraro*

23 dicembre 2020

# LArRI

## **Obiettivo principale:**

Misura diretta dell'indice di rifrazione dell'Argon liquido alle lunghezze d'onda prossime a 178 nm.

## **Obiettivi Secondari:**

misura a varie lunghezze d'onda (relazione di dispersione), misura della lunghezza di attenuazione, misure ottiche con altri gas nobili liquefatti.

Finalizzato allo sviluppo di sistemi ottici, in particolare lenti, per imaging in LAr drogato con Xe.

# In letteratura

1. [Optical Properties of Liquid Noble Gas Scintillators](#), Alexander Maximilian Neumeier (Munich, Tech. U.), 2015  
⇒ **n** estrapolato da misure relative alla fase gassosa
2. [Index of refraction, Rayleigh scattering length, and Sellmeier coefficients in solid and liquid argon and xenon](#), E. Grace et al., NIM A 867 (2017) 204-208  
⇒ Estrapolazioni da lunghezze d'onda maggiori: **n=1,45**
3. [Light propagation in liquid argon](#), M. Babicz et al 2020 JINST 15 P09009  
⇒ Derivato dalla velocità di gruppo: **n=1,36**

# Strategia di misura

Vogliamo usare un tecnica interferometrica, in particolare sfruttando l'interferenza generata da un **reticolo di diffrazione**.

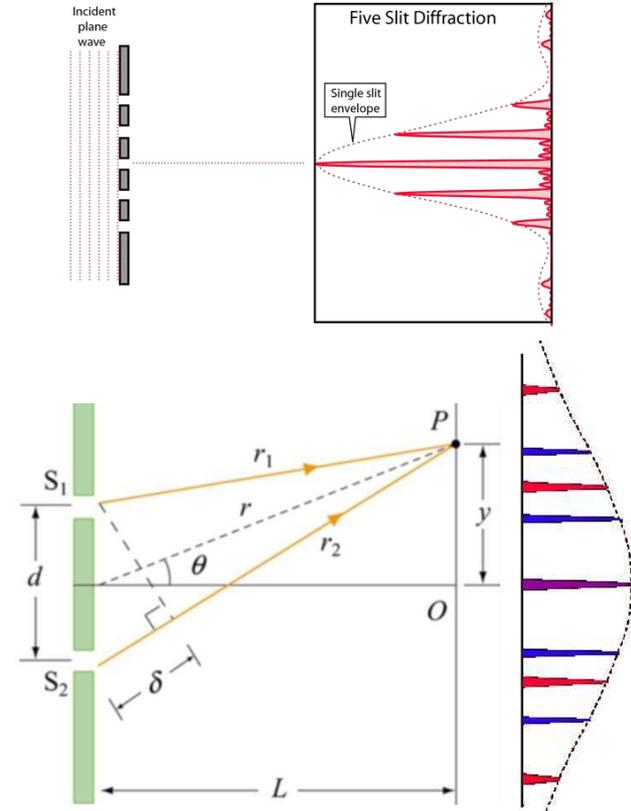
Immergendo il reticolo in LAr si ottiene che la posizione dei massimi di interferenza dipende da  $\lambda_L = \lambda_0/n$ .

Massimi in vuoto:  $d \sin \theta_0 = \lambda_0$

Massimi in LAr:  $d \sin \theta_L = \lambda_L$

Registriamo e confrontiamo i pattern di interferenza che si generano nelle due configurazioni (vuoto o Argon).

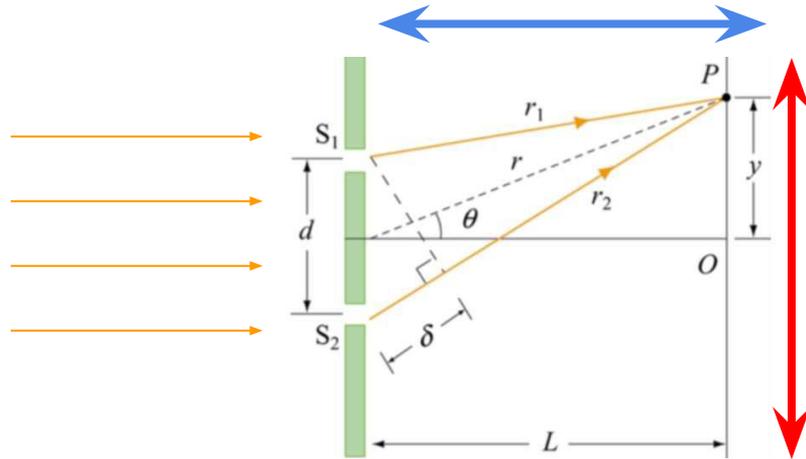
**Serve luce coerente e monocromatica**



# Strategia di misura

Il pattern viene registrato eseguendo una **scansione** lungo un determinato asse **con un SiPM**.  
La luce, coerente e monocromatica, proviene dall'esterno del criostato, entrando dall'alto.

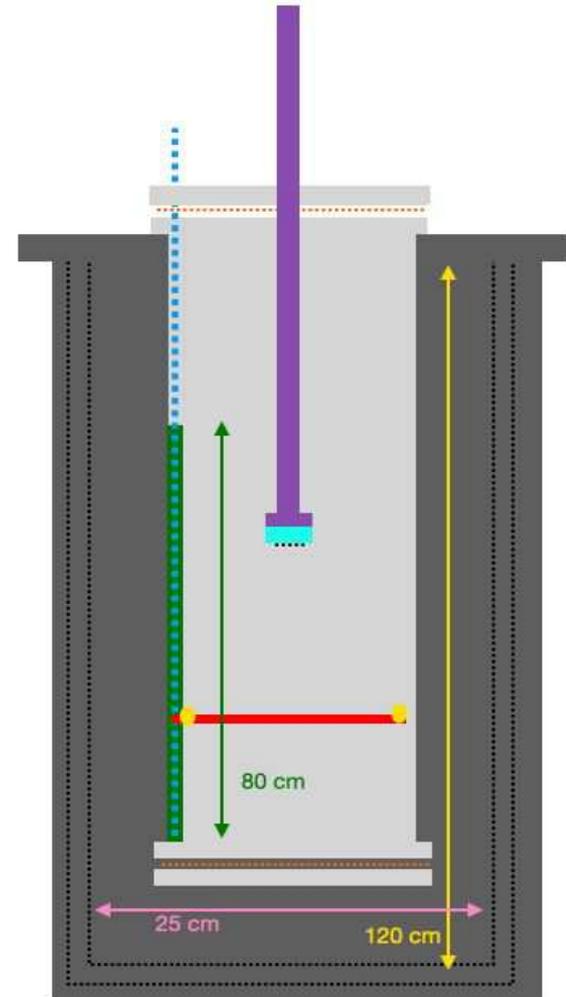
Per compattare l'apparato (adattandolo al criostato) non eseguiamo la scansione sul **lato opposto** al reticolo ma **sul fianco**.



# Schema concettuale

Gli elementi costitutivi dell'apparato sperimentale sono:

- **Sorgente di luce** con emissione nell'intorno dei 178 nm.
- **Sistema ottico** necessario per rendere il fronte d'onda coerente.
- **Reticolo di diffrazione** depositato sulla finestra (trasparente a luce VUV) che separa in sistema ottico dalla camera ottica.
- **SiPM** montati su un **sistema di movimentazione** per eseguire la scansione del pattern.
- **Camera ottica:** é il volume contenente il reticolo e i SiPM. A seconda della configurazione potrà essere mantenuta in vuoto o riempita di LAr.



# Sorgente di luce

La scelta della lampada e' guidata dai seguenti requisiti o fattori:

- Picco (vicino) a 178 nm
- Lunghezza di coerenza (picco stretto)
- Emettenza (ovvero anche dimensioni della sorgente e collimazione)

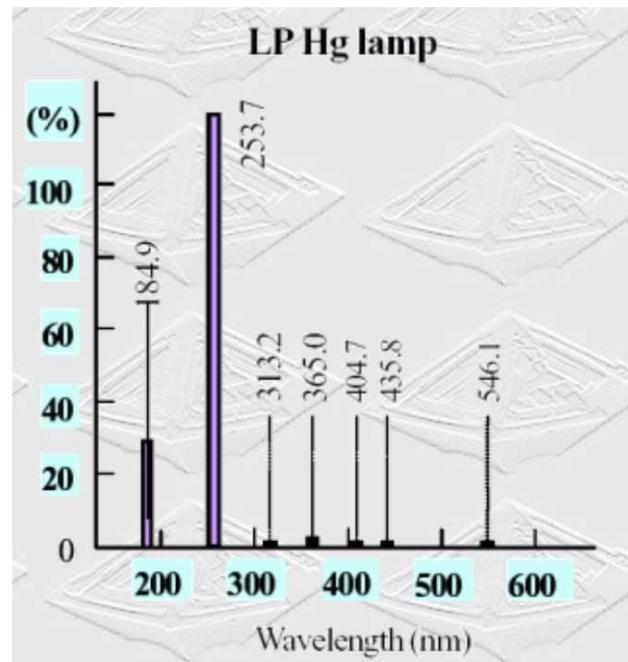
La **lunghezza di coerenza** é la massima distanza longitudinale tra due punti aventi fase correlata. La minima richiesta é data da:

$$L = N m \lambda = 1000 \cdot 2 \cdot 190 \text{ nm} = 380 \mu\text{m}$$

con ***N*** numero di fenditure del reticolo, ***m*** massimo ordine di interferenza che si intende osservare.

L'ipotesi piú promettente sembra quella della **lampade a mercurio a bassa pressione**

Presentano picchi a 185 e 254 nm (rapporto di potenza 1:5 circa)



# Sistema ottico

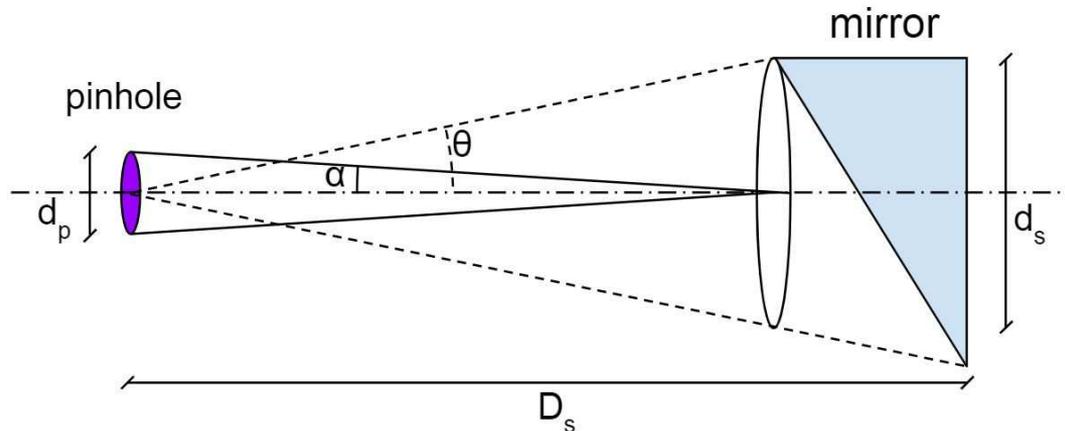
Serve a dare alla luce una maggiore **coerenza spaziale**:

*Massima distanza trasversa tra due punti aventi fase correlata*

Il modo piú semplice é utilizzare un pinhole seguito da uno specchio parabolico.

Dal principio di Heisenberg, fissata la distanza  $D_s$  (focale dello specchio), deduciamo la dimensione del pinhole

$$d_p \theta = d_p \frac{d_s}{2D_s} < \frac{\lambda}{2\pi}$$



Per esempio:

$$\lambda = 170 \text{ nm}$$

$$D_s = 60 \text{ mm}$$

$$d_s = 2 \text{ mm}$$

$$d_p = 2 \text{ } \mu\text{m}$$

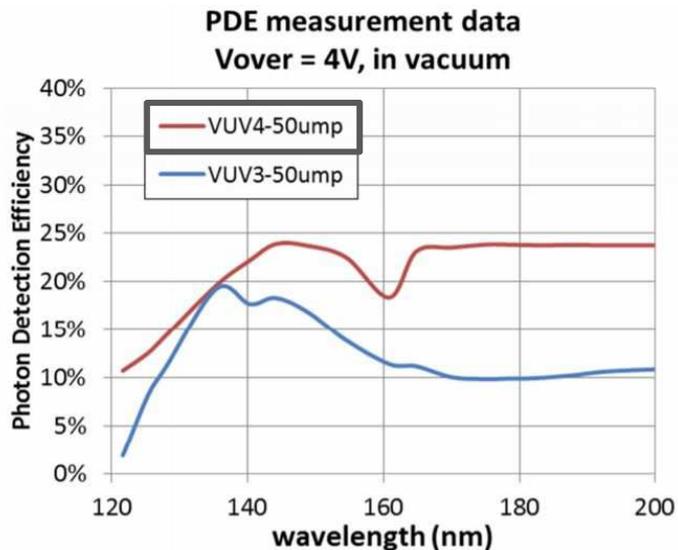
Flusso atteso oltre il reticolo:

$$10^2 - 10^4 \text{ fotoni/s}$$

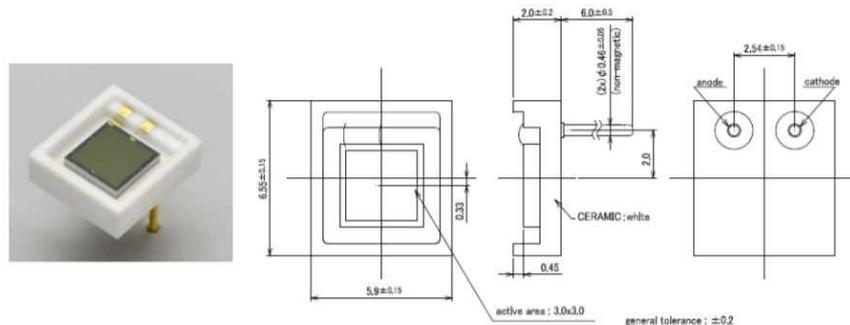


# SiPM Hamamatsu

Hamamatsu S13370-3075CN (9 mm<sup>2</sup>)  
DCR: < 1 Hz/mm<sup>2</sup> @ 165 K  
< 25 mHz/mm<sup>2</sup> @ 77K (S13360-DUNE)  
PDE: 24% @ 178 nm (nominale)



<S13370-3050CN / S13370-3075CN>



## Fondi da scintillazione

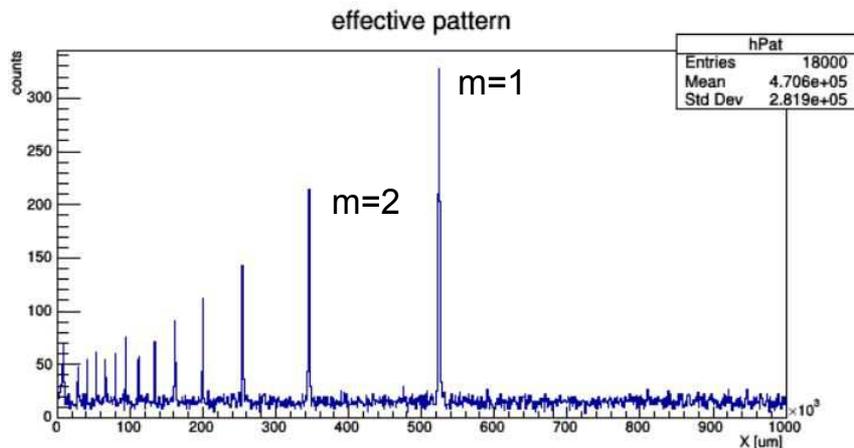
Per una camera di raggio 10 cm, alta 30-90 cm, i fondi aspettati sono

- raggi cosmici  $\Rightarrow$   $\sim 5-15 \text{ s}^{-1}$  in 50-150 MeV
- $^{39}\text{Ar}$   $\Rightarrow$   $\sim 10-30 \text{ s}^{-1}$  in 0-565 keV

Soluzione: piú SiPM in anti-coincidenza.

# Simulazioni

Figura di interferenza generata, su un solo binario, nel caso di misura in vuoto e in LAr



grating\_step = 2  $\mu\text{m}$   
slit\_width = 0.4  $\mu\text{m}$   
N\_slits = 1000  
screen\_radius = 70 mm  
SiPM\_width = 1 mm  
rail\_step = 1 mm  
seconds\_per\_step = 30  
light\_rate = 100 Hz  
dark\_rate = 0.5 Hz

Viene utilizzata solo la parte contenente i primi due massimi ( $m=1,2$ ). Fit simultaneo di entrambe le configurazioni mediante il cambio di variabile:  $x \Rightarrow x' = R \text{Cotan}(\text{Sin}^{-1}(n \text{Sin}(\text{Cotan}^{-1}(x/R))))$

Valore di  $n$  ricostruito con errore relativo dell'ordine di  $10^{-4}$ .