

Misure a CIEMAT e Milano Bicocca e impatto sui filtri dicroici

Luca Meazza per il gruppo Milano-Bicocca



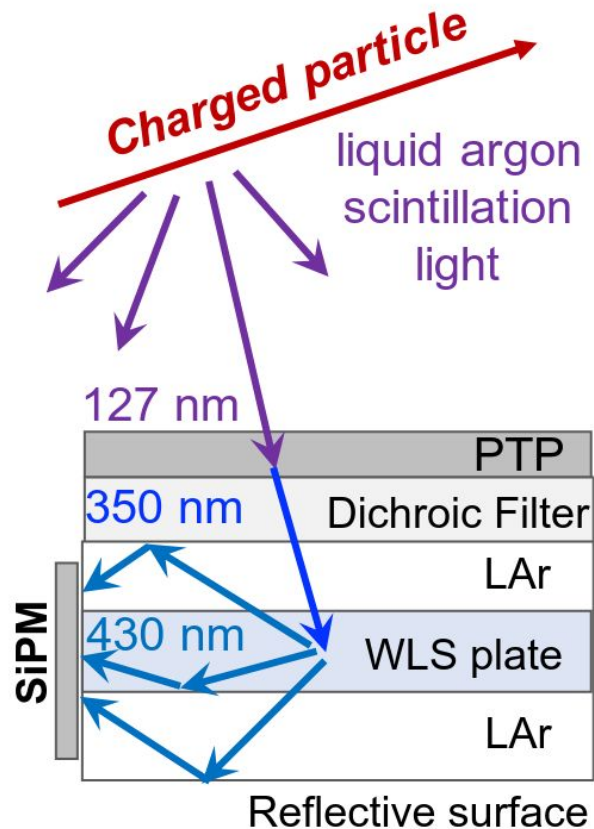
L'XArapuca

Dispositivo utilizzato dal PDS del Far Detector di DUNE per rivelare luce VUV da scintillazione del LAr

- fotoni **VUV** convertiti da pTP
- fotoni **attraversano filtro dicroico** (~350nm)
- nella **guida di luce (LG)** ulteriore conversione
- fotoni **intrappolati** da due meccanismi:
 - **riflessione interna totale in LG** per $\theta < 56^\circ$
 - riflessione da **dicroici** (~450nm)
- **trasporto verso i SiPM** disposti lungo i bordi della LG

Un filtro dicroico ideale sarebbe *contemporaneamente*:

- **completamente trasparente** all'emissione del pTP
- **completamente riflettente** per l'emissione della WLS-LG (BBT)



Motivo dello studio

La **finestra ottica con filtro dicroico** dell'XArapuca ha una **doppia funzione**:

- **convertire e accettare** luce di scinillazione da LAr (**VUV 128nm -> 350nm**)
- **intrappolare luce** convertita all'interno della guida di luce ma **fuoriuscita (450nm)**

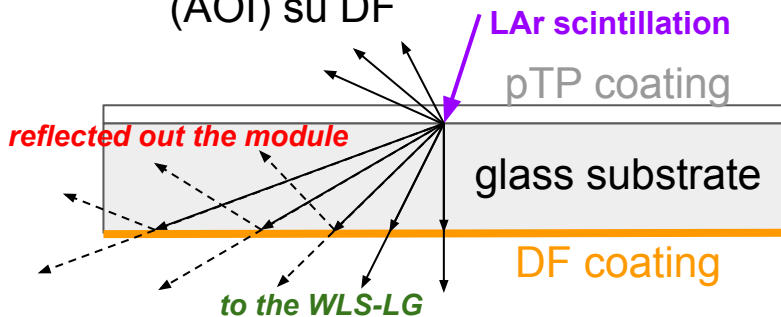
Tuttavia, il **filtro dicroico non è ideale**:

- **dipendenza** sia dalla **lunghezza d'onda** che dall'**angolo di incidenza** per
 - **trasmissione**
 - **posizione e “shape” del cutoff**
- **difficile ottimizzazione**
 - **struttura e produzione complessa** (multi layer coating interferometer)
 - **requisiti stringenti** dell'XArapuca

Motivo dello studio

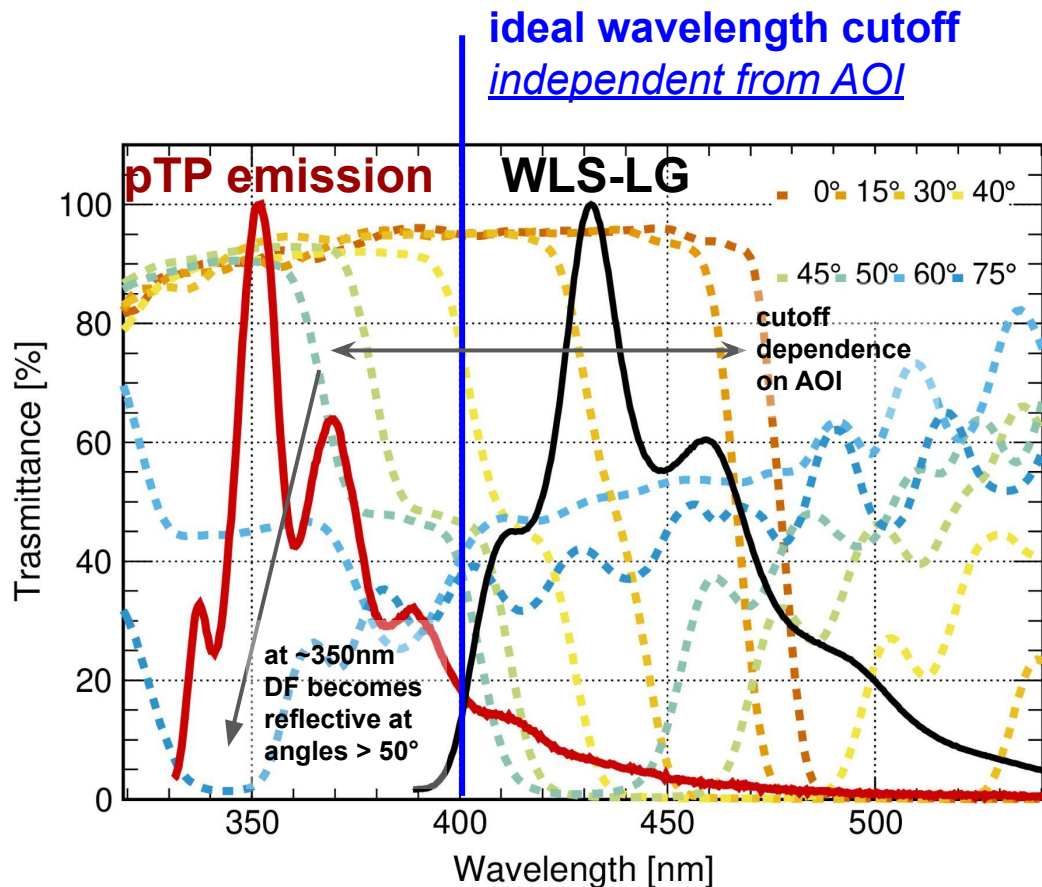
emissione di materiali cromofori (pTP, BBT) è isotropa

- distribuzione di angoli di incidenza (AOI) su DF



fotoni emessi a grandi angoli dal pTP vengono riflessi fuori dal modulo

vice versa, fotoni da guida di luce vengono trasmessi



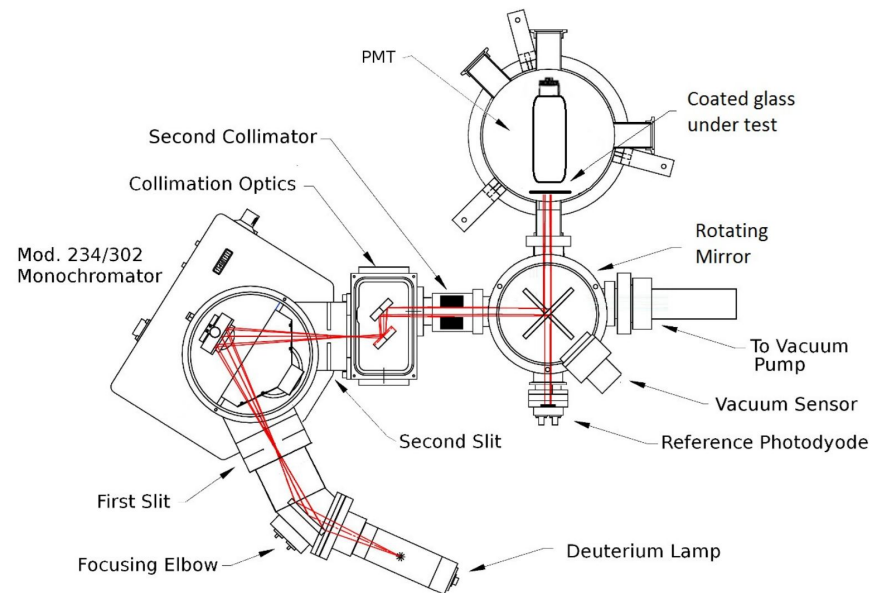
Misure Pavia - Trasparenza finestra ottica

Misure effettuate su finestre ottiche:

- **luce incidente VUV** da lampada al deuterio
 - in vuoto per eliminare assorbimento
- **specchio rotante** permette di illuminare:
 - **diodo di riferimento**
 - **PMT dietro a finestra** da misurare

Testate **finestre ottiche** con deposizione di **pTP** (per convertire fotoni VUV), **con e senza DF**

→ **finestra con DF** perde il **27% di luce** rispetto al solo substrato in vetro



Misure PDE in Argon Liquido

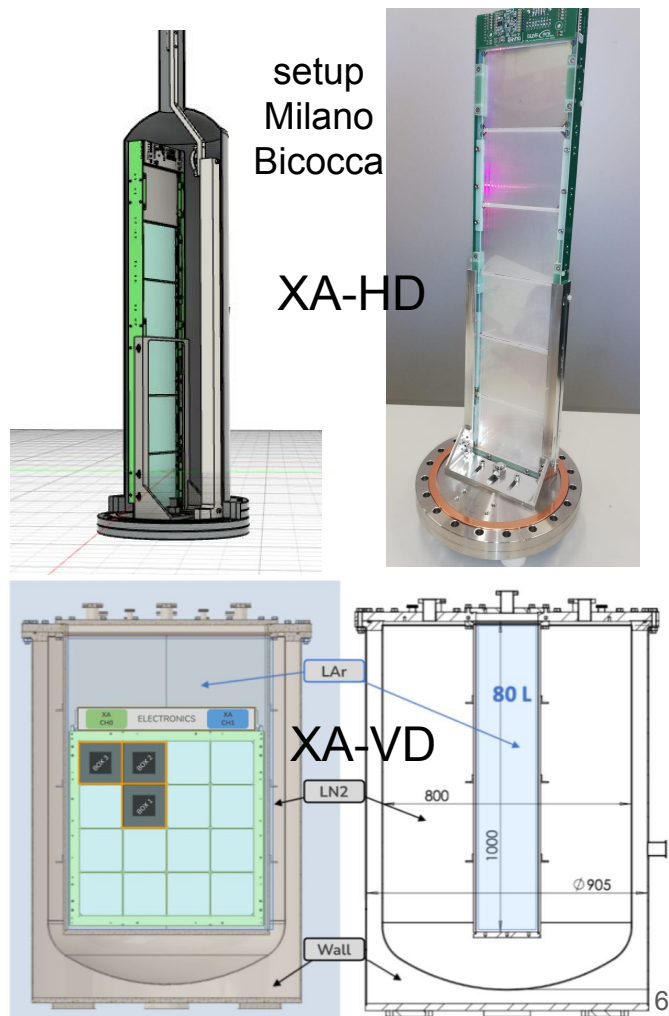
A Milano-Bicocca e CIEMAT **testati i moduli in LAr**:

- Luce di **scintillazione** causata da **sorgente alfa di 241Am**
- **misurata la Photon Detection Efficiency (PDE)**
 - numero **fotonelettroni rivelati** / **fotoni incidenti**

Testate configurazioni con e senza filtri dicroici

La **misura dell'intero modulo** permette di osservare l'**effetto combinato** di entrambe le funzioni del dicroico:

- **trasparenza alla luce VUV in ingresso**
- **riflessione della luce in fuga dalla guida di luce**



Misure Milano-Bicocca - XA-HD

A Milano-Bicocca testate 4 configurazioni:

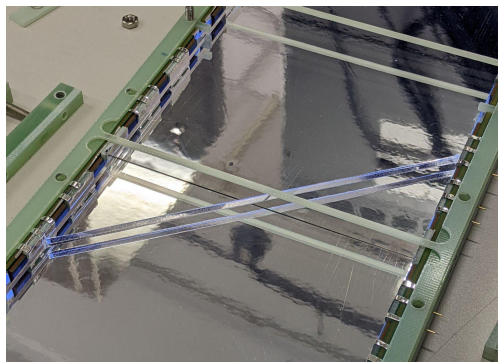
- *meccanica* (**baseline - modificata**)
- *finestre ottiche* (ZAOT nov22 **DF - no DF**)

→ meccanica di **baseline**

◆ **DF** è ~**10-20%** più performante

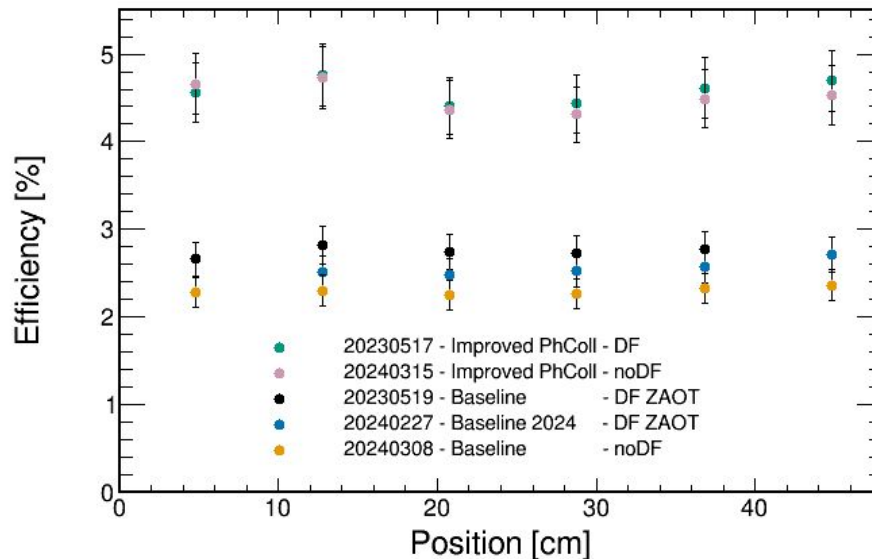
→ meccanica **modificata**

◆ **DF** $\approx$ no DF



***la meccanica
modificata
permette di
raccogliere più
luce tramite la
guida di luce***

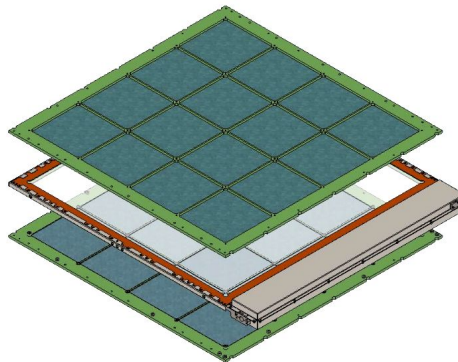
Configuration	Avg PDE %
improved PhColl - DF	4.57
improved PhColl - no DF	4.51
baseline - DF	2.74
baseline - no DF	2.30



Misure CIEMAT - XA-VD

Campagna di misure 2024 XA-VD, di cui:

- confronto **DF - no DF**
 - **DF ZAOT nov22**
 - meccanica baseline VD



Modulo di **dimensioni maggiori** (60cmx60cm)
penalizza l'intrappolamento da dicroico

**rimuovendo i DF misurato un
aumento di efficienza di $17\% \pm 3\%$**

configuration	OV 3.5V	OV 4.5V	OV 7V
DF	3.2 ± 0.2	3.7 ± 0.3	4.7 ± 0.3
no DF	3.9 ± 0.4	4.5 ± 0.4	5.8 ± 0.6
no DF - 24mg WLS-LG	3.6 ± 0.4	4.3 ± 0.4	5.5 ± 0.6

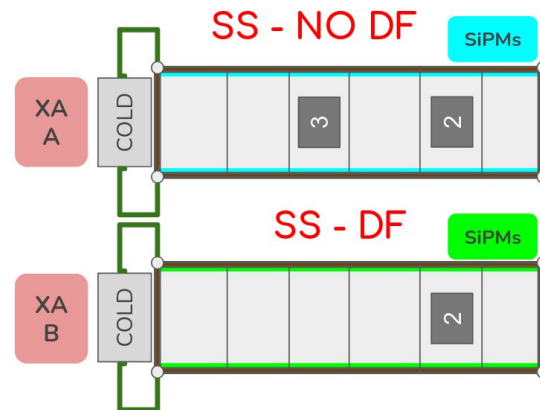
Misure CIEMAT - XA-HD

Campagna di misure 2025 XA-HD di cui:

- confronto **DF - no DF**
 - **DF OPTO nuovo design**
 - nuova meccanica frame

→ *non direttamente confrontabile con misure effettuate a Milano-Bicocca*

rimuovendo i DF (*OPTO nuovo design*)
misurato un **aumento di efficienza di**
40% ± 2%



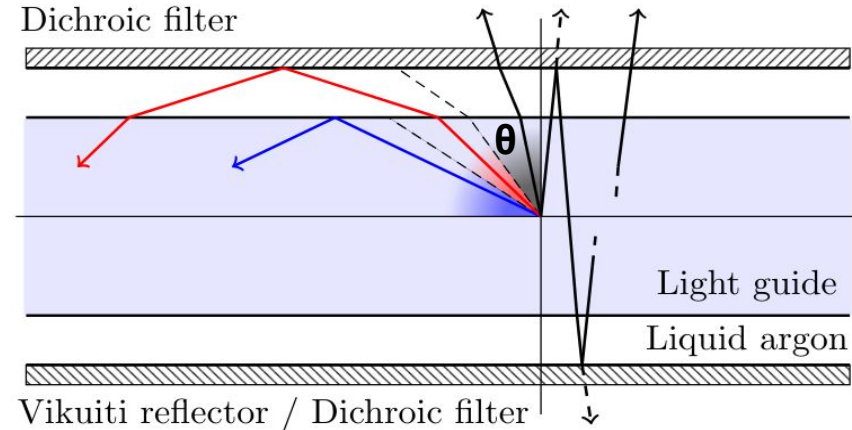
config	DF	no DF	
OV	pos 2	pos 2	pos 3
3V	$2.0 \pm 0.2 \%$	$2.8 \pm 0.3 \%$	$2.9 \pm 0.3 \%$
2.5V	$1.8 \pm 0.2 \%$	$2.6 \pm 0.2 \%$	$2.6 \pm 0.3 \%$
2V	$1.6 \pm 0.2 \%$	$2.3 \pm 0.2 \%$	$2.4 \pm 0.2 \%$

XA-HD - MiB testing - Results and Discussion I

Previous **results** can be explained considering the **photon** trapping and **transport mechanism**

2 components:

- **A - Light guide** (mostly TIR)
 - working for angles $\theta > 56^\circ$
 - **very efficient** (<1% loss)
 - **B - Dichroic filter** (+ reflector)
 - designed for **angles** $>45^\circ$
 - required **broad range of angles and wavelengths** lowers reflectivity (~98%)
- the **dichroic filter** is also **less transparent to incoming light** from the first shifter
- ◆ **affects both components**
 - ◆ **measured a ~30% decrease in transparency** compared to clear glass substrate



XA-HD - MiB testing - Results and Discussion II

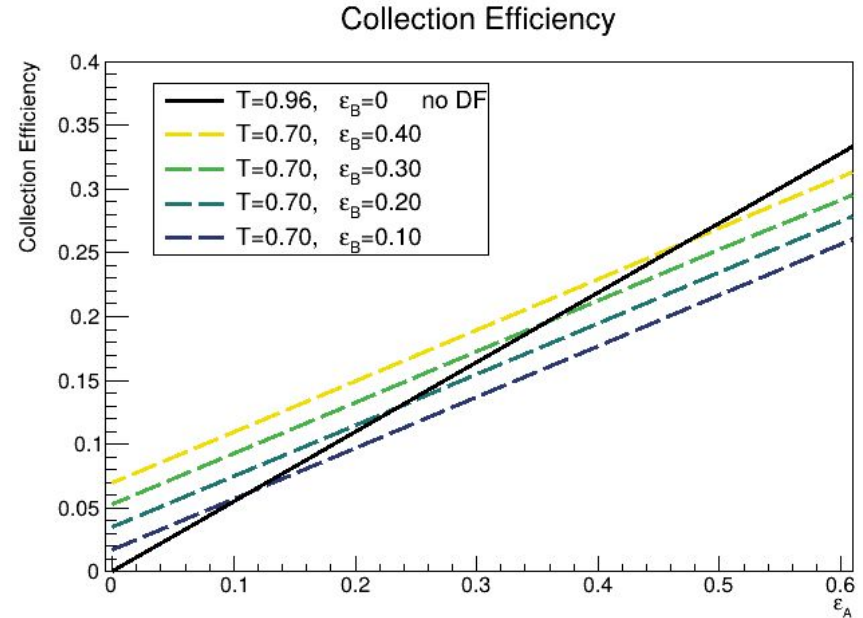
The **number of collected photons can be modeled** with the approximated formula:

$$\gamma_{collected} = T \cdot (0.57 \epsilon_A + 0.25 \epsilon_B) \cdot \gamma_{pTP}$$

- **T** optical window transparency
- γ_{pTP} photons coming from pTP (=1)
- ϵ collection efficiency
 - **A** - LG TIR
 - **B** - dichroic reflection

the **coefficients** to the trapping components (**0.57** and **0.25**) correspond to the **maximum fraction of collectable photons**

- given by analytical geometrical computation
- upper limit - ϵ is realistically < 50%



Due to the **lower transparency**, for a given **dichroic filter** coating there is a module configuration, with **LG trapping efficient enough**, for which the **DF is counterproductive**

Conclusioni

Misure effettuate nei laboratori di **Milano-Bicocca** e **Ciemat** (*Madrid, Spagna*) hanno dimostrato che:

- il **filtro dicroico** comporta un compromesso tra
 - **ingresso di luce** nel modulo
 - **intrappolamento via DF**

In particolare, **rimuovendo il filtro dicroico**:

- per il **modulo VD** aumenta la performance del **17%**
- per il **modulo HD**, a seconda della configurazione, (**-10% - +40%**)

Grazie per l'attenzione!