



R&D Muon detector

C. AIMÈ^{1,2}, D. FIORINA^{1,2}, C. RICCARDI^{1,2}, P. SALVINI^{1,2}, N. VALLE^{1,2},
I.VAI^{1,3}, P.VITULO^{1,2}

¹INFN SEZIONE DI PAVIA

²UNIVERSITÀ DI PAVIA

³UNIVERSITÀ DI BERGAMO

Muon system @muon collider experiment

	radius [mm]	z [mm]	layers	sensor area [m ²]
Barrel	4461 < r < 6450	< 4179	7	1942
Endcap	446 < r < 6450	4179 < z < 5700	6	1547

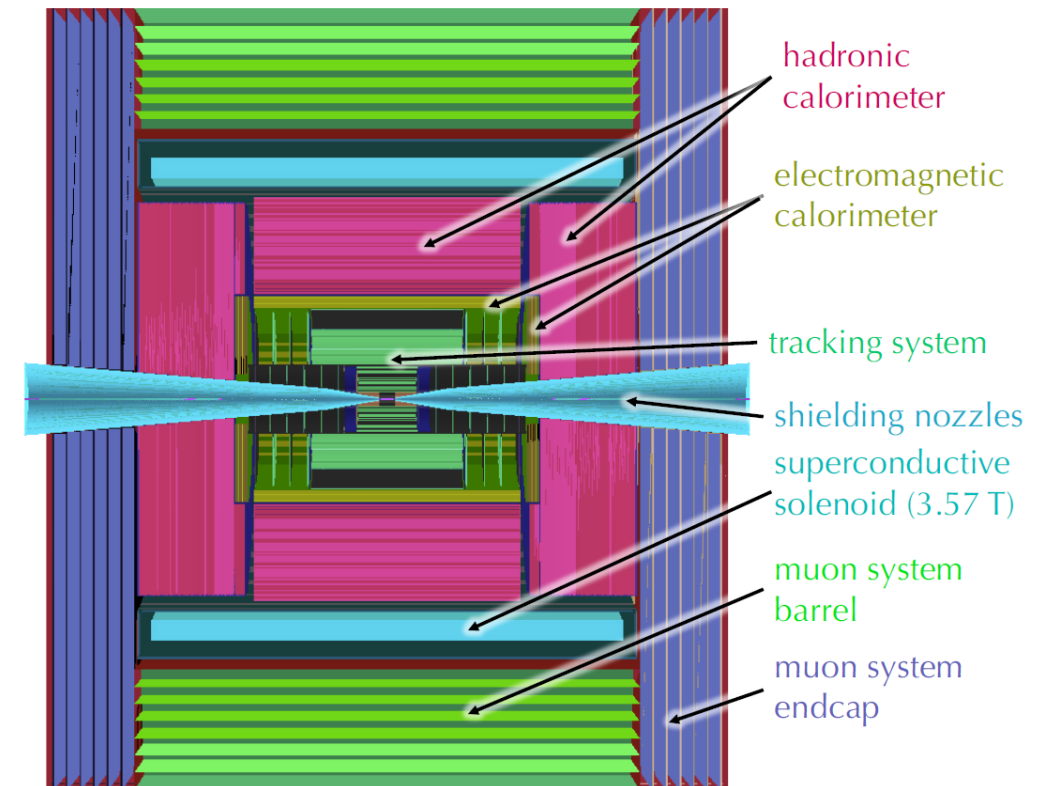
Return yoke: 8 iron slabs di 24.4 cm nel barrel e 7 slabs di 19.7 cm nell'endcap

Campo magnetico:

- 1.34 T nel barrel
- 0.01 T nell'endcap

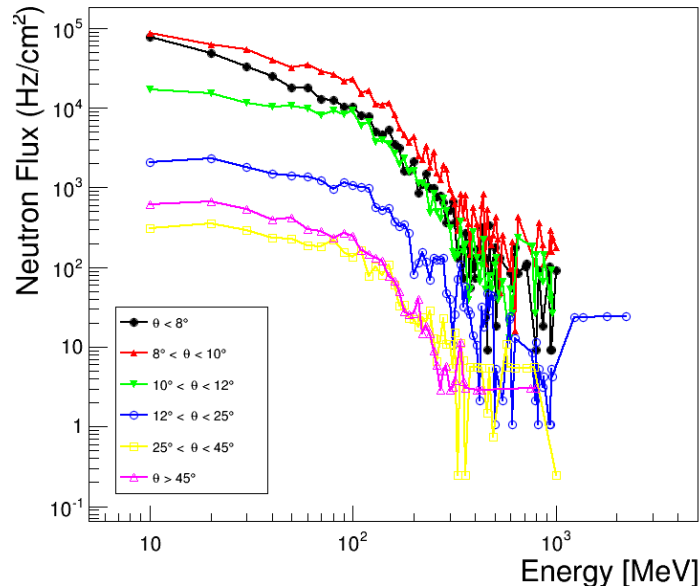
Sistema a muoni (ILCSoft - CLIC) equipaggiato con:

- 7 layers di rivelatori nel barrel
- 6 layers nell'endcap



Beam Induced Background

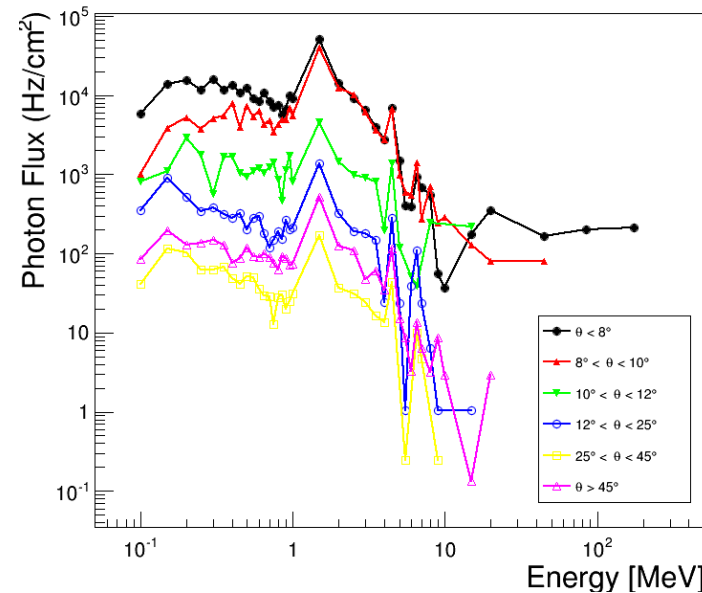
BIB Energy distribution - Neutrons vs θ



Distribuzioni ottenute da simulazione MARS+Geant4+[v02-05-MC](#) selezionando le particelle che arrivano nel sistema a muoni

Beam Induced Background (BIB) nel sistema a muoni è prevalentemente composto da neutroni e fotoni. Nelle regioni più interne, il flusso è circa 3 ordini di grandezza maggiore che all'esterno.

BIB Energy distribution - Photons vs θ



A $\sqrt{s} = 1.5 \text{ TeV}$:

- Neutroni: energie fino a 2.5 GeV
- Fotoni: energie fino a 200 MeV

Tecnologie per il muon system

Rivelatore	σ_t	σ_x	Rate capability
RPC (HPL o Glass)	1 ns (single-gap) < 100 ps (multi-gap)	~mm	~ 1 kHz/cm ²
Standard MPGD (GEM, Micromegas)	5-10 ns	~100 μ m	> 100 kHz/cm ²

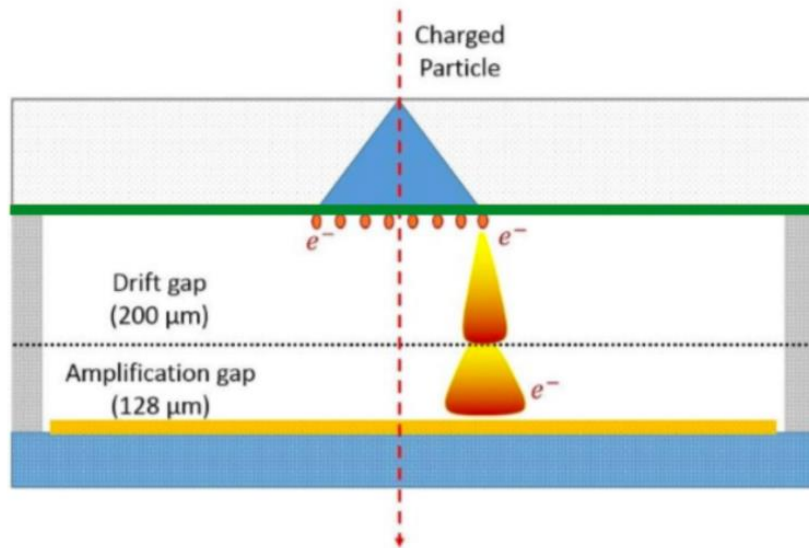
Goal: sviluppare un rivelatore che permetta di raggiungere ottime performance su tutti e 3 gli item

→ utilizzo per il muon collider come:

- Rivelatore completo per il muon system, sfruttando σ_t , σ_x e rate capability
oppure
- Timing layer dedicato, da combinare con un layer di rivelatori per tracking

R&D prototipo PicoSec

<https://gdd.web.cern.ch/activities-picosec>

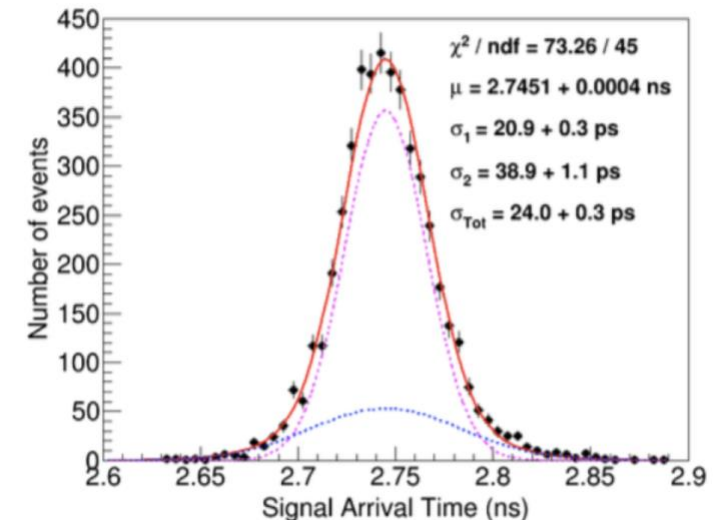


- Attività finora svolta da RD51 + gruppi da Grecia, Francia, Spagna, Portogallo e China.
- No coinvolgimento INFN fino ad ora.
- R&D del rivelatore non incluso in finanziamenti AIDAInnova (solo partecipazione di RD51 a WP relativo al DAQ)

Nuovo MPGD composto da:

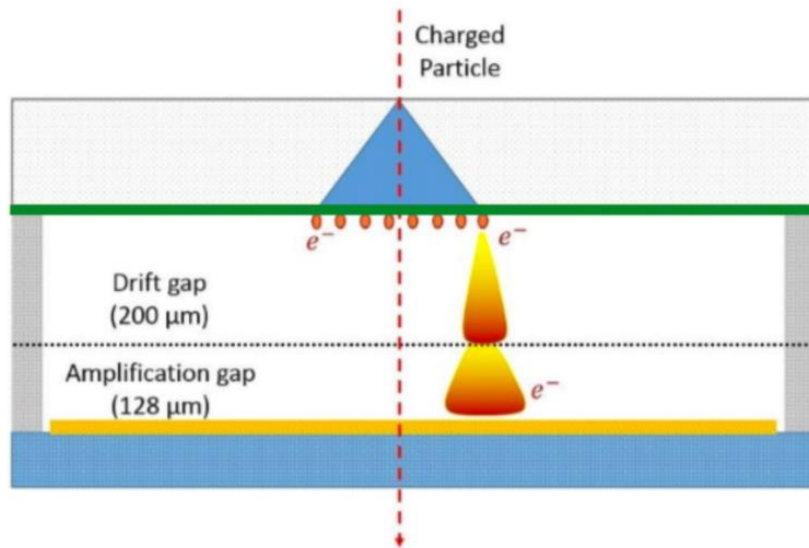
- Convertitore Cherenkov (3-4 mm) di MgF_2
- Fotocatodo (10 nm), attualmente di CsI
- Standard Micromegas con gap di drift di spessore ridotto

→ Risoluzione temporale misurata ~ 25 ps
(Ne/C₂H₆/Cf₄ – 80/10/10)



R&D prototipo PicoSec

<https://gdd.web.cern.ch/activities-picosec>



- *Stato attuale*: R&D a livello di prototipi, non ancora declinato ad una applicazione specifica.
- *R&D necessario su*: fotocatodo (CsI o altro materiale), spessore convertitore, large size, miscela di gas, schema readout, ecc..

Interessante perché essendo un MPGD può affiancare alla risoluzione temporale anche un'ottima risoluzione spaziale e rate capability (vantaggio rispetto a RPC).

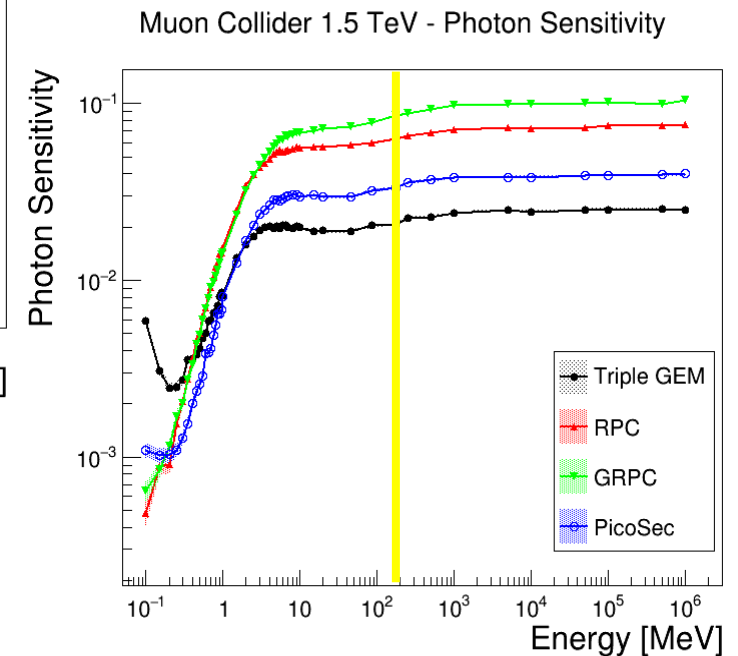
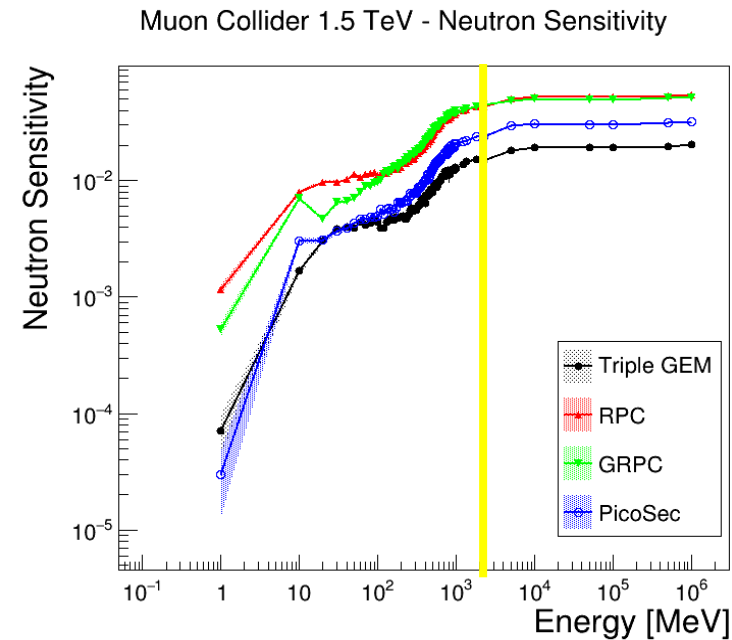
Sensibilità

Attività svolta nel 2021: simulazione standalone Geant4 (*Geant4.10.06 p02*) per studiare risposta dei rivelatori al BIB @ 1.5 TeV.

Confronto tra varie tecnologie:

- Double-gap Glass RPC
- Double-gap HPL RPC
- Triple-GEM
- PicoSec

Sensibilità PicoSec minore di quella degli RPC perché MPGD con material budget minore.



Stima dell'hit rate attesa

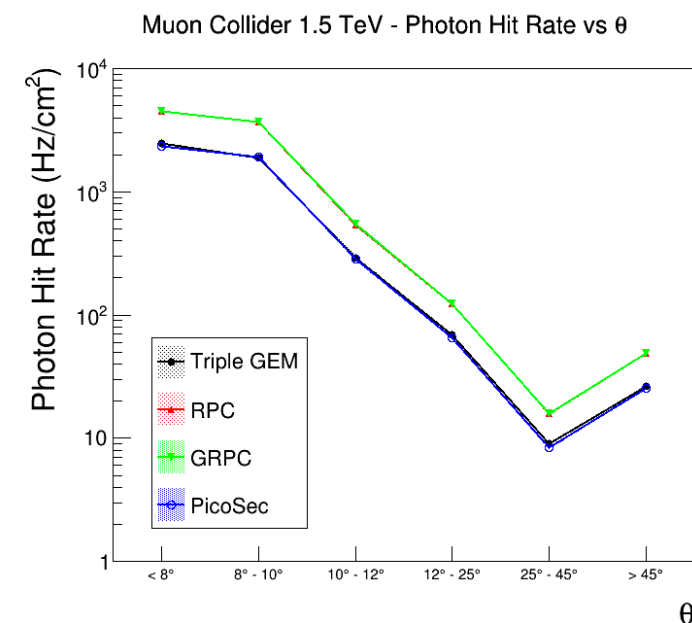
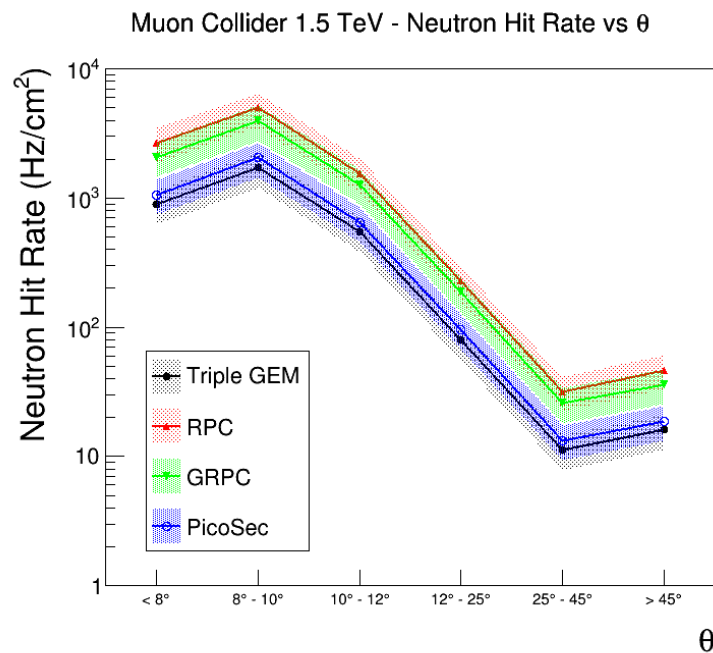
Attività svolta nel 2021: simulazione standalone Geant4 (*Geant4.10.06 p02*) per studiare risposta dei rivelatori al BIB @ 1.5 TeV.

$$\text{Hit Rate} = \text{Sensitività} \times \text{Flusso BIB}$$

→ PicoSec ha rate attesa minore delle RPC (perché sensitività è minore)

→ Rate attesa RPC è al limite dell'attuale tecnologia

Risultati presentati a EPS-HEP2021: <https://indico.desy.de/event/28202/contributions/105657/>



Piano dei test

- Risultati delle simulazioni svolte nel 2021 già discussi con membri della collaborazione RD51.
- Piano di test da svolgere con un nuovo prototipo nel 2022 concordato con RD51:
 - Misura di carica
 - Risposta al singolo fotoelettrone usando un Led UV o un fotodiodo
 - Misure con i cosmici usando il MCP-PMT per il timing

Richieste

Item	Richiesta	Categoria
Prototipo completo	12 kE	Consumo
Fast Timing MCP-PMT detector	8 kE	Inventariabile

Stima preliminare delle tempistiche:

- Entro maggio 2022: produzione prototipo
- Maggio-settembre 2022: caratterizzazione prototipo
- Settembre-dicembre 2022: test con cosmici

Dettagli del prototipo

Il prototipo di base è costituito da una micromegas con gap di drift di spessore ridotto (fino a 200 μm); sopra al rivelatore sono posizionati un fotocatodo - attualmente di CsI - e un radiatore cherenkov di 3-4 mm. I costi stimati delle varie componenti sono i seguenti:

- Radiatore cherenkov:
 - 100x100 mm^2 , spessore 3 mm $\rightarrow$ 2 kE
- Picosec micromegas:
 - 100x100 mm^2 , 100 pads $\rightarrow$ 6 kE
- Detector cage + connectors $\rightarrow$ 4 kE

Per un totale di circa 12 kE per un prototipo completo 10x10 cm^2

Per svolgere tali test si prevede l'acquisto di un **Micro Channel Plate - PhotoMultiplier (MCP-PMT)**, necessario per ottenere misure di risoluzione temporale con cosmici dell'ordine della decina di ps. Modelli con le caratteristiche necessarie (150 ps time resolution e 10 mm active area) sono disponibili in commercio, con un costo indicativo di **8 kE + IVA**.

Backup

GRPC Geometry

```
"AluminumT1","AirT1",  
"PyrexGlassT1",  
"GasGap1",  
"PyrexGlassB1",  
"AirB1","AluminumB1",  
"AluminumT2","AirT2",  
"PyrexGlassT2",  
"GasGap2",  
"PyrexGlassB2",  
"AirB2","AluminumB2",
```

```
1*mm,3.5*mm,  
2*mm,  
2*mm,  
2*mm,  
3.5*mm,1*mm,  
1*mm,3.5*mm,  
2*mm,  
2*mm,  
2*mm,  
2*mm,  
3.5*mm,1*mm,  
//Aluminum + Air  
//Pirex Glass  
//GasGap1  
//Pirex Glass  
//Aluminum + Air  
//Aluminum + Air  
//PirexGlass  
//GasGap2  
//PirexGlass  
//Aluminum + Air
```

- Geometry as it is currently implemented in MuCollv1
- Dominant materials are:
 - Aluminum
 - Pyrex Glass = SiO_2 (80.6%) + B_2O_3 (13%) + Na_2O (4%) + Al_2O_3 (2.3%)
- Gas: isobutane (4.5%) + $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ (95.2%) + SF_6 (0.3%)

PicoSec Geometry

<https://arxiv.org/pdf/1901.03355.pdf>

```
"Radiator",          3*mm,          //Cherenkov radiator
"Photocathode",      20*nm,          //Photocathode
"PCSupport",         10*nm,          //PC Support
"GasGap1",           200.*um,        //Drift Gap
"Mesh",              8.*um,          //Mesh
"GasGap2",           128*um,         //Transfer I Gap
"ReadCopper1","ReadoutBoard" 35.*um,3.2*mm, //Readout Board
```

- Prototype geometry
- Dominant materials are:
 - Cherenkov Radiator = MgF_2
 - Need to understand from interaction position study which are the more relevant materials (photocathode is CsI, PC support is Cr, Mesh is Al...)
- Gas: Ne (80%) + C_2H_6 (10%) + CF_4 (10%)