

Stato dell'esperimento MUonE

Aldo Arena

INFN – Sezione di Trieste

Per la collaborazione MUonE

Incontri di Fisica delle Alte Energie

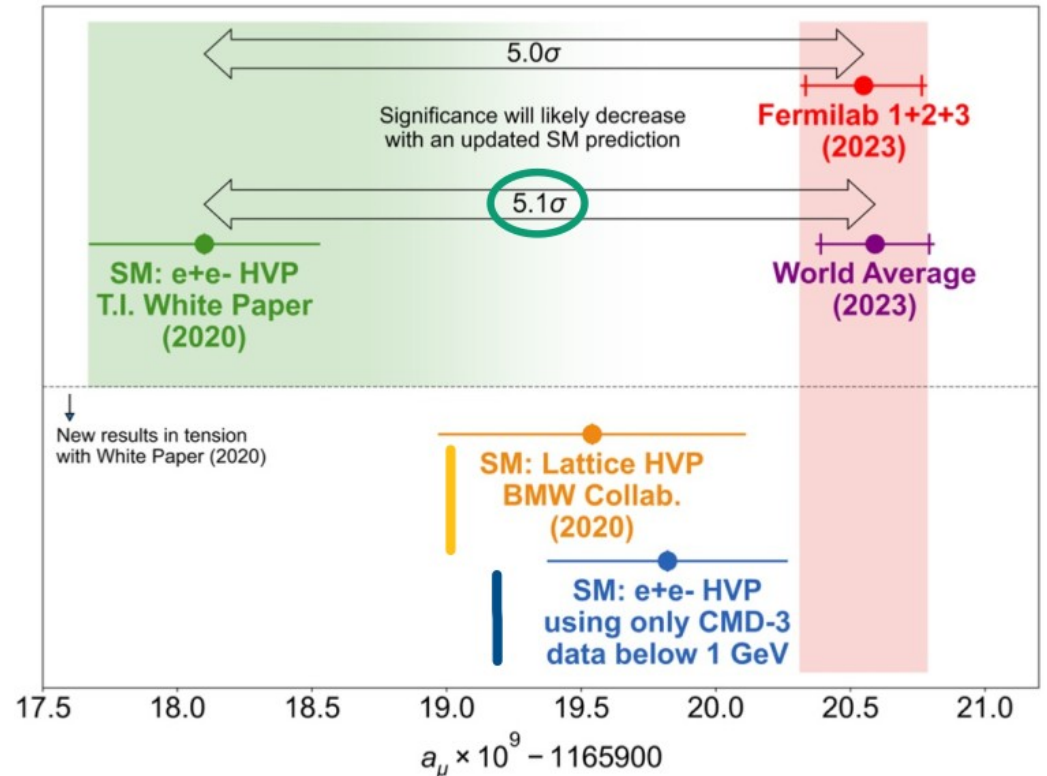
Firenze

3-5 Aprile 2024



Momento magnetico anomalo del muone

- **Ampia discrepanza** tra i risultati della **collab. Muon g-2** e le **previsioni teoriche SM** (White Paper 2020)
- **WP 2020** è in disaccordo (2σ) con i nuovi risultati tramite **QCD su reticolo** (BMW)
- **Opportuno** migliorare la precisione del calcolo teorico e l'errore sperimentale per **risolvere il problema**



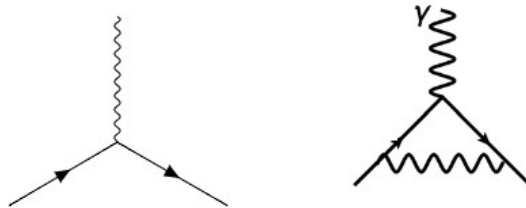
Momento magnetico anomalo del muone

$$g_\ell = 2(1 + a_\ell) \rightarrow a_\ell = \frac{g_\ell - 2}{2}$$

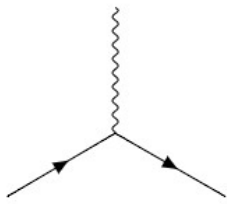
- ℓ rappresenta il **leptone**
- g è una **costante di proporzionalità** tra lo spin e il momento magnetico
- a rappresenta l'anomalia magnetica
- Al primo ordine $a=0$ (Dirac)
- La prima correzione e' stata calcolata da Schwinger nel 1948.

$$a_\ell = 0 + \frac{\alpha}{2\pi} + \dots$$

α è la costante di struttura fine



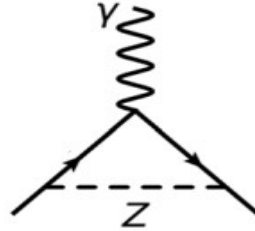
Momento magnetico anomalo del muone



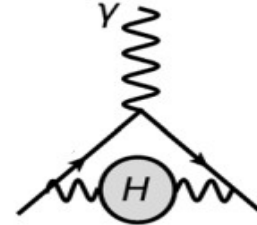
Dirac



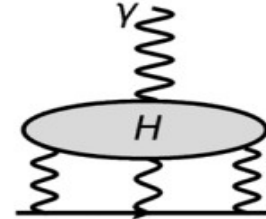
QED



EW



HVP



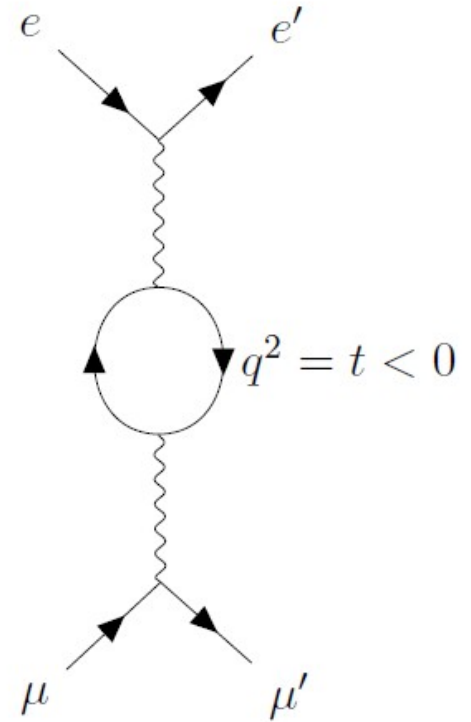
HLbL

$$a = [0 + 116584718.931(104) + 153.6(1.0) + 6845(40) + 78.7(30.6)_{\text{stat}}(17.7)_{\text{sys}}] \times 10^{-11}$$

- QED domina il valore stesso
- L'incertezza è legata alle previsioni QCD, in particolare dal "Hadronic Vacuum Polarization" (HVP)
- I valori legati alle interazioni QED e Elettrodebole (EW) sono previsti con grande precisione tramite calcolo perturbativo
- Il valore del Modello Standard di a è preso da Muon $g-2$ Theory Initiative (White Paper: Phys. Rept. 887 (2020) 1-166)

MUonE

- Proposta di esperimento da realizzare al CERN, in fase di sviluppo.
- Determinazione diretta ed indipendente del contributo adronico all'anomalia magnetica
- Misura della distribuzione angolare dei prodotti di collisione μ -e
- Precisione statistica di progetto $\sim 0.3\%$
 - ~ 3 anni di presa dati (luminosità integrata $\sim 1.5 \times 10^4 \text{ pb}^{-1}$)



MUonE

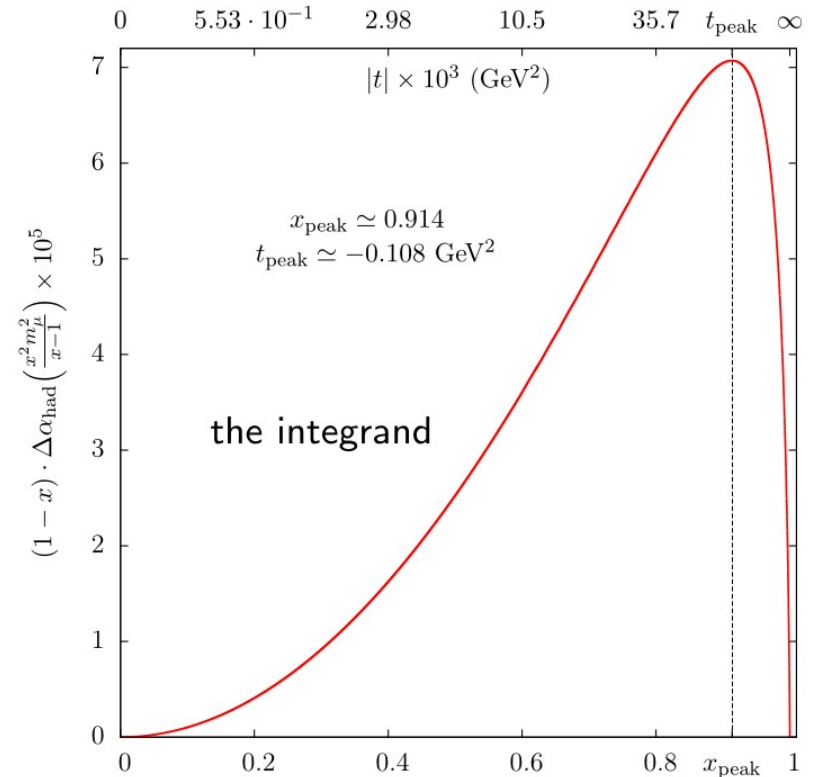
- Estrapolazione del contributo adronico $\Delta\alpha_{\text{had}}$ tramite canale-t
- C.M. Carloni Calame, et al. Phys.Lett.B746(2015)325

$$a_{\mu}^{HLO} = \frac{\alpha_0}{\pi} \int_0^1 dx (1-x) \Delta\alpha_{\text{had}}[t(x)]$$

$$t(x) = \frac{x^2 m_{\mu}^2}{x-1} < 0 \quad \frac{d\sigma}{dt} = \frac{d\sigma_0}{dt} \left| \frac{\alpha(t)}{\alpha(0)} \right|^2$$

$$\alpha(t) = \frac{\alpha(0)}{1 - \Delta\alpha(t)}, \quad \Delta\alpha(t) = \Delta\alpha_{\text{lep}}(t) + \Delta\alpha_{\text{had}}(t)$$

$$R_{\text{had}} = \frac{d\sigma_{\text{data}}(\Delta\alpha_{\text{had}})}{d\sigma_{\text{MC}}(\Delta\alpha_{\text{had}} = 0)} \sim 1 + 2\Delta\alpha_{\text{had}}(t)$$

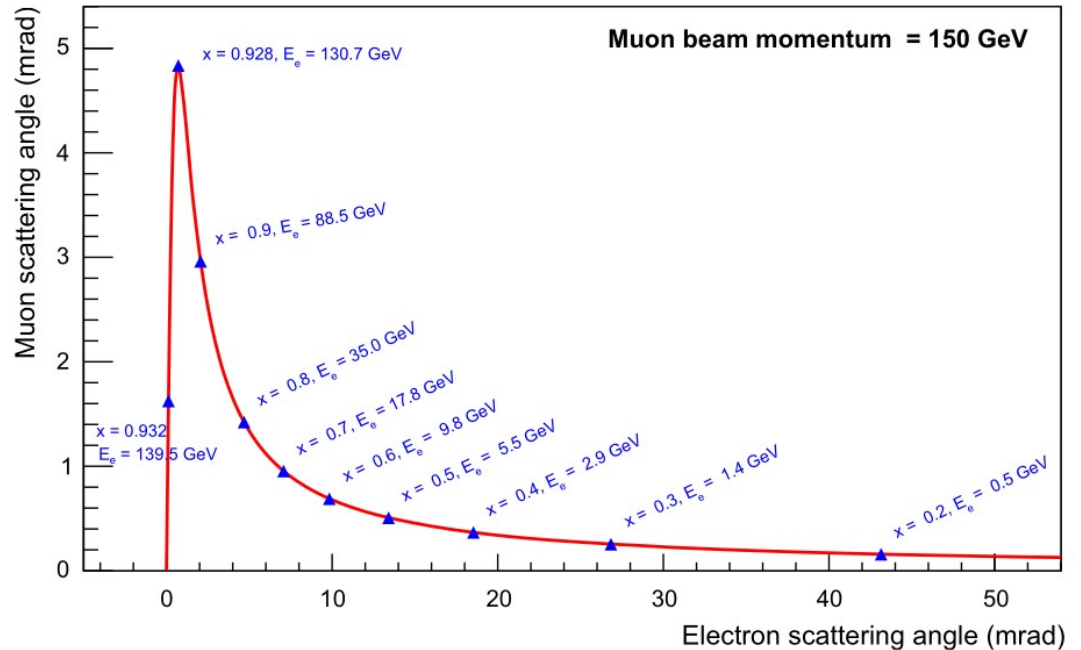


MUonE

- Curva di elasticità ideale (leading order)
- Angoli di diffusione dei leptoni:

$$0 < \theta_{\mu} < 5 \text{ mrad}$$

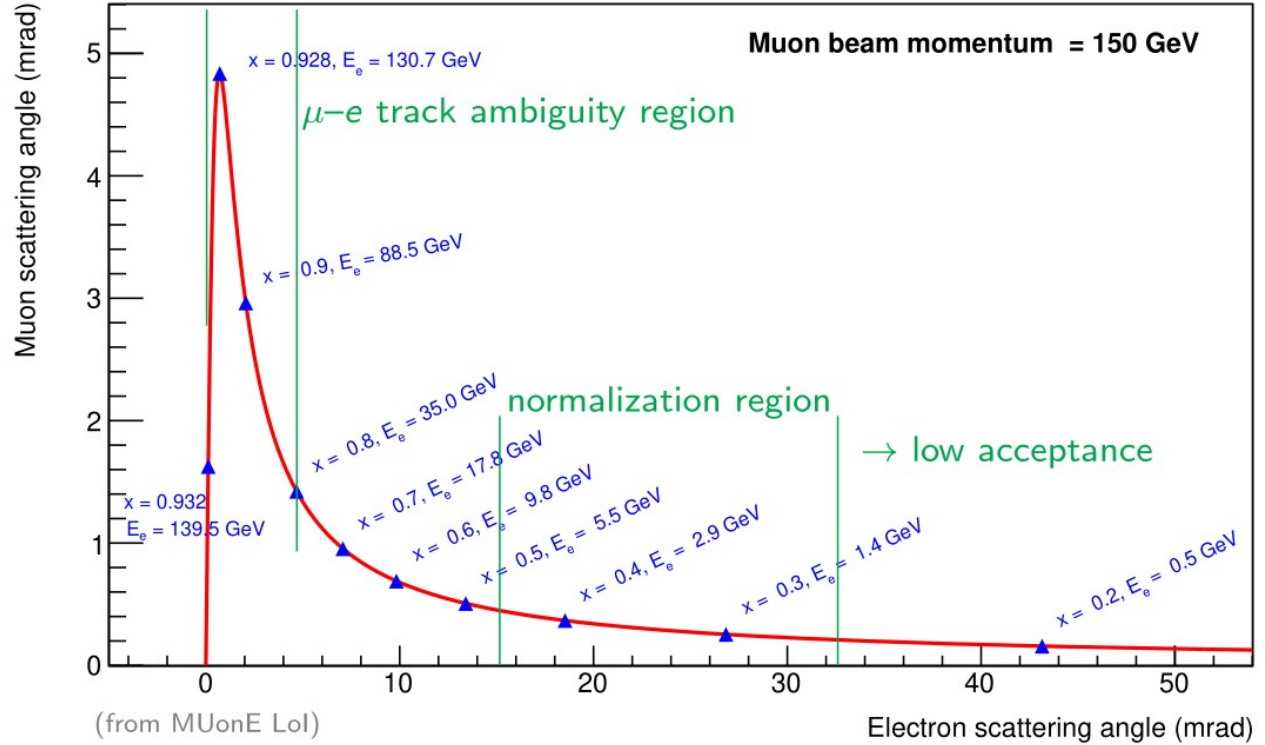
$$0 < \theta_e \lesssim 32 \text{ mrad}$$



Abbiendi et al, Eur. Phys. J. C 77.3 (2017), 139

MUonE

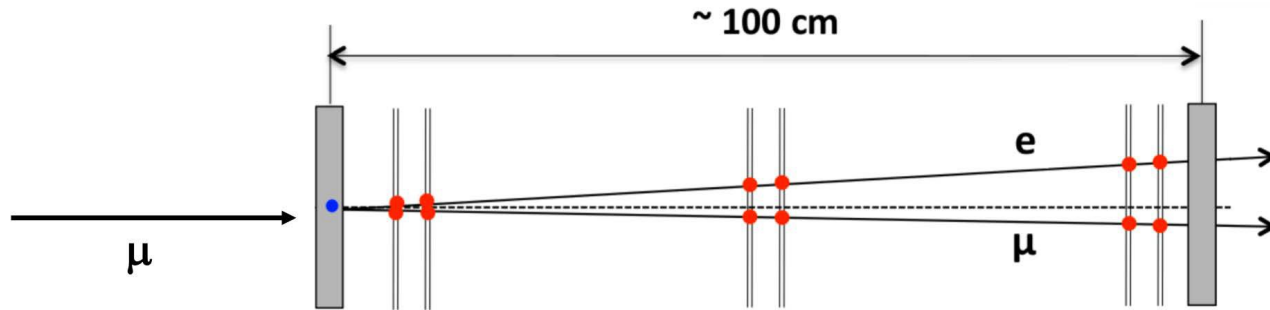
- **Eventi elastici** selezionati tramite gli **angoli correlati** alle tracce
- **Zona di segnale** di interesse per angoli θ_e **piccoli** e θ_μ **grandi**



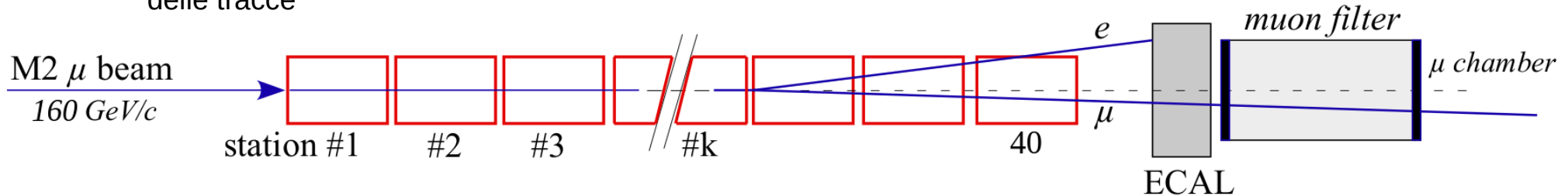
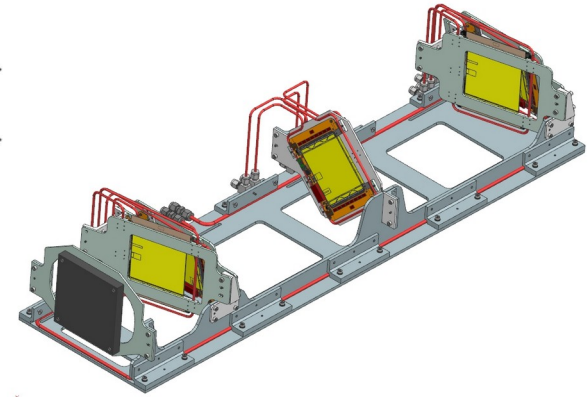
Considerazioni e requisiti

- Requisiti essenziali per controllare la sistematica di misura:
 - Allineamento con estrema precisione e stabilità del rivelatore
 - Efficienza di rivelazione uniforme nelle variabili angolari.
 - Controllo accurato del fondo, dovuto principalmente alla produzione di coppie, mediante misura diretta e simulazioni.
 - Misura di precisione della energia del fascio
 - Misura della risoluzione angolare
 - Misura degli effetti di Multiple Scattering.

MUonE: Schema dell'esperimento

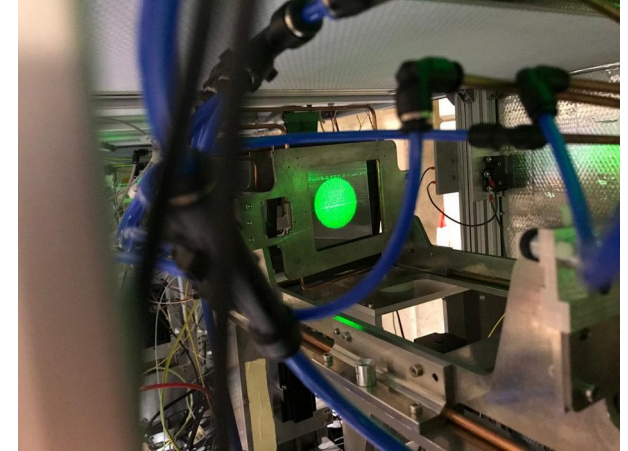
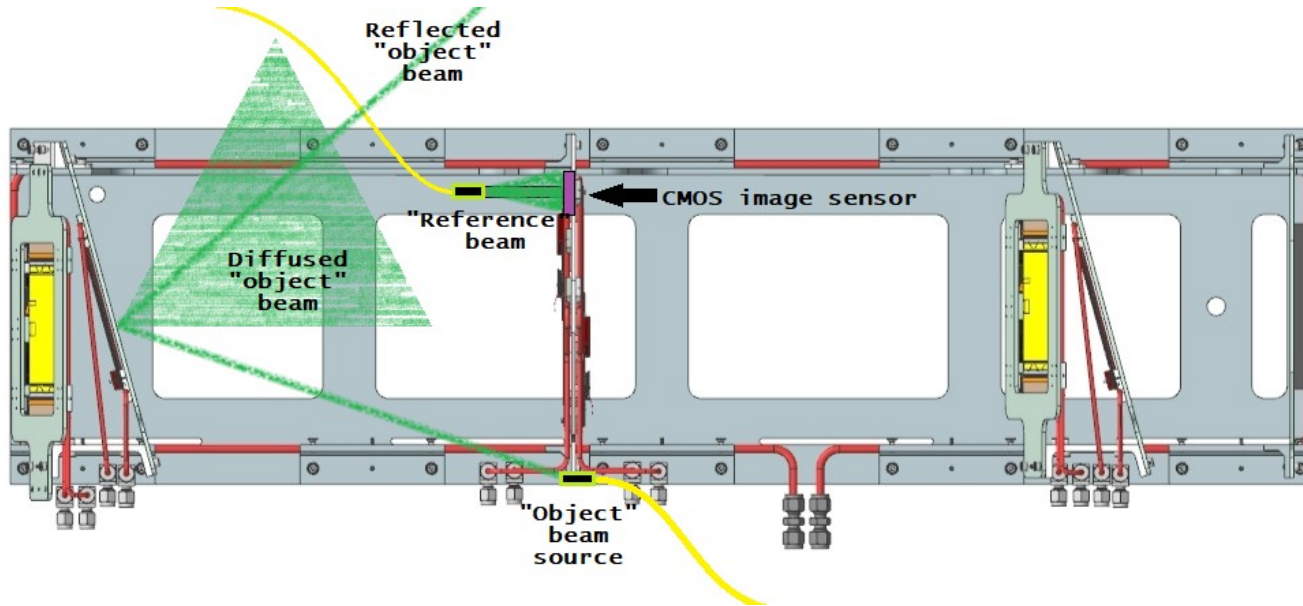


- Sistema di tracciamento composto da 6 piani di **sensori a strisce di silicio (CMS 2S Modules)**
- **Moduli** disposti in **coppie** (coordinate X e Y)
- **Bersaglio** in Be o C di 1.5 cm
- Versione finale: **40 stazioni** di tracciamento
- **Calorimetro EM** e **filtro di muoni** per risolvere ambiguità delle tracce



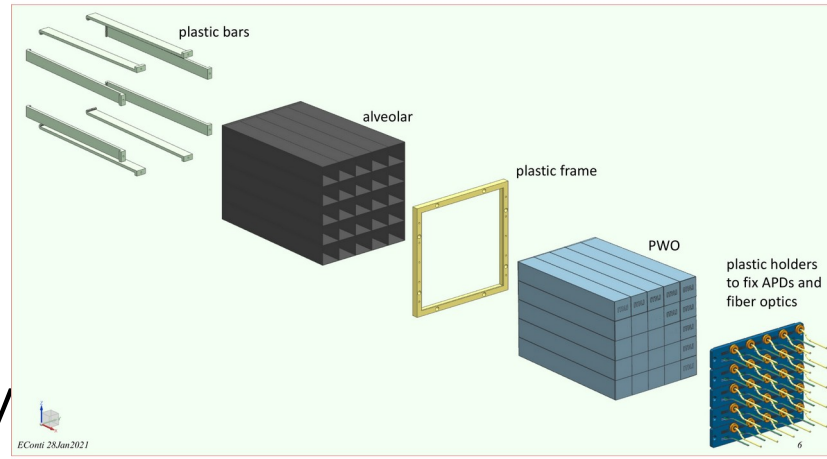
Holographic Alignment Monitor

- Sistema di monitoraggio del dislocamento relativo dei piani di tracciamento
- Sviluppato sistema di interferometria olografica digitale
- Sensibilità ~ 0.25 micron



Calorimetro MUonE

- 25 cristalli di tungstato di piombo, PbWO_4
- APD accoppiati ai cristalli
- Misura delle energie elettrone da 1-150 GeV
- Utile per una misura indipendente diretta del running adronico $\Delta\alpha_{\text{had}}$.



Sistema di
calibrazione
laser del
calorimetro →



Test Run 2023 (21/8-10/9)

- Obiettivi:
 - Conferma di funzionamento del sistema
 - Test delle performance dei rivelatori
 - Test dell'algoritmo di ricostruzione e selezione degli eventi
 - Studio degli eventi di fondo e della sistematica
 - Misura della $\Delta\alpha_{lep}$ con precisione $\sim 5-10\%$

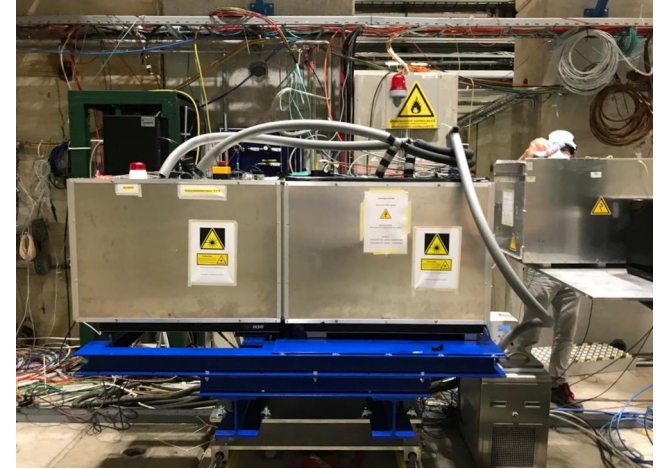
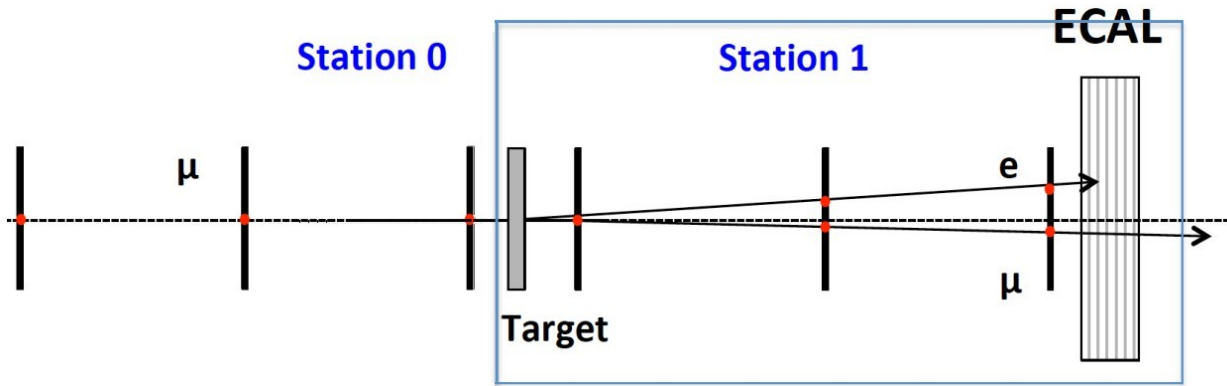
Test Run 2023

- 2 stazioni di tracciamento
- ECAL
- Ambiente a temperatura e umidità controllata



Stazione con sistema
Holographic Alignment Monitor
(HAM) installato

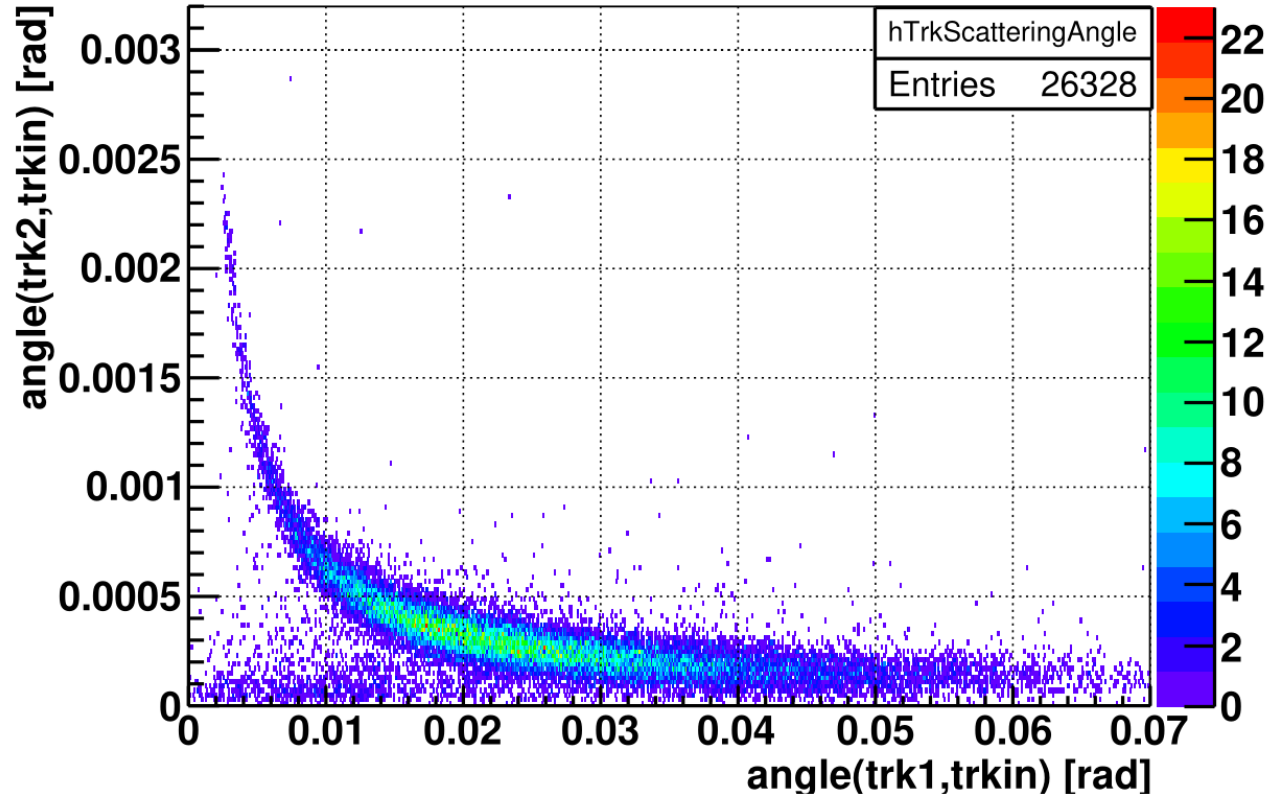
Test Run 2023



- Stazione senza target + stazione con target (C da 2 cm) + calorimetro

Test Run 2023: Risultati Preliminari

- **Distribuzione angolare** di diffusione delle tracce ricostruite su **dati parziali**
- Selezionati **solo** eventi “ideali”, con **1 traccia entrante e 2 uscenti**
- I dati fuori dalla curva derivano da eventi di **fondo**, produzione di **coppie e^+e^-** da interazione con il nucleo



Conclusione e prospettive

- Esperimento in sviluppo al CERN, North Area
- Utilizzo di fascio di muoni da **160 GeV** fino a **50 MHz** (fascio **M2**)
- Misura **indipendente** del **contributo adronico** all'**anomalia magnetica del muone**
- Estrapolazione del **contributo adronico** tramite **canale-t**
- Precisione competitiva **~0.3%** (WP20 ~0.6%, BMW 0.8%)
- Piani per il **2024**:
 - **Test Run** su fascio M2 con **3 stazioni, calorimetro e filtro muoni**
 - Migliorare la DAQ, allineamento e sincronizzazione dei rivelatori (test delle efficienze)
 - Eliminare **problemi** di **inefficienza e stabilità**
 - **Migliorare algoritmo** di selezione degli eventi e eliminazione del fondo
 - Primi test del **filtro muoni**
 - **Analisi** dei dati **TR2023**
- Inizio **presa dati** con setup ridotto (**mini MUonE**) nel **2025**
- Setup completo con 40 stazioni dopo il Long Shutdown 3