

Recycler Ring

Debuncher Ring

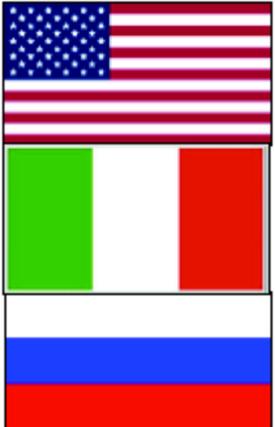
Mu2e

Muon Campus

Mu2e a Fermilab
Preventivo 2016

Sezione INFN Pisa
Pisa, 8 Luglio 2015

The Mu2e international collaboration



3 countries, 35 Institutions, ~200 Physicist

In Italy: Pisa, Frascati, Lecce, Genova

Mu2e a Pisa: Anagrafica per il 2016

RICERCATORI

Bellettini 0.2 prof. ord.

Cervelli 0.8 dir. ric.

Di Falco 0.5 ric.

Donati 0.3 ric.

Lomtadze 0.3 1 ric.

Morescalchi 1.0 dott.

Pezzullo 1.0 dott.

Vannini 0.5 1. ric.

4.4 FTE (+0.8 vs 2015)

TECNOLOGI

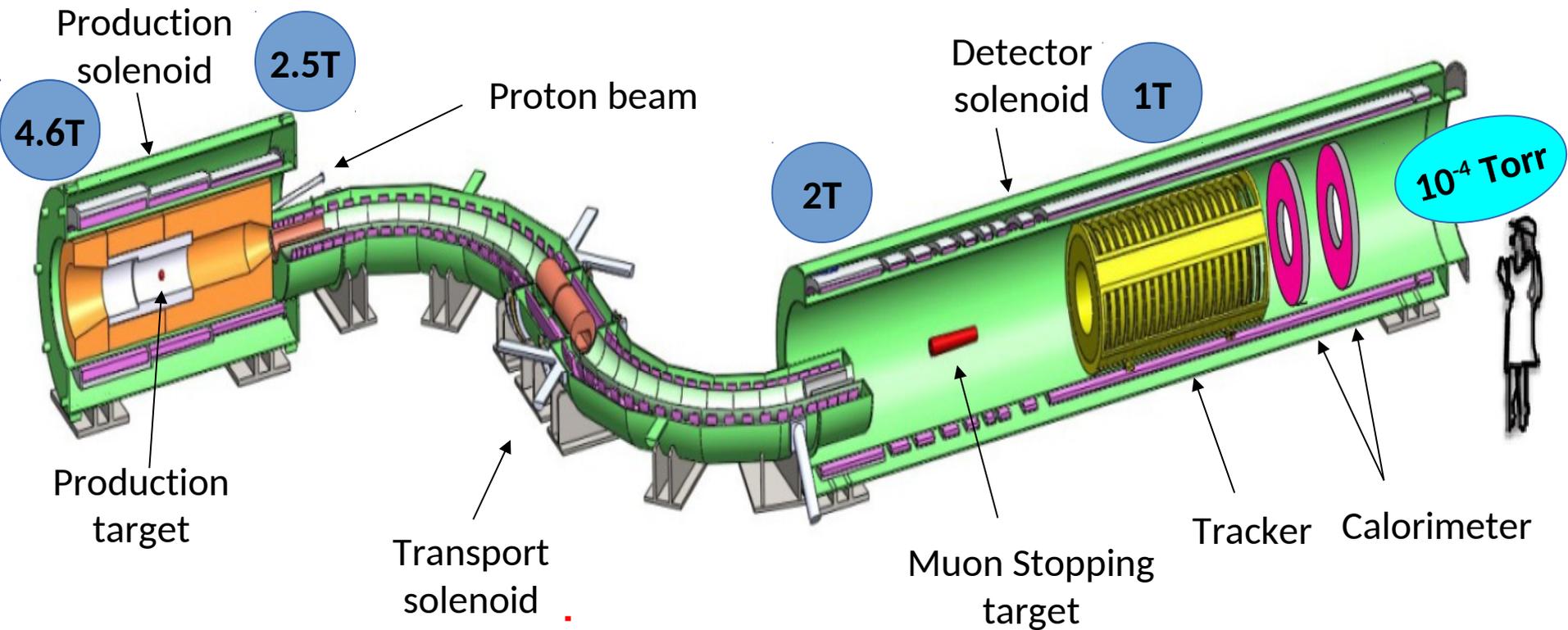
Raffaelli 0.3 dir. tecn. **L3 mecc. Calor.**

Spinella 0.45 tecn. **L3 digitizer calor.**

0.75 FTE (+0.45 vs 2015)

+ 1 laureando ingegnere (Pasciuto)
 + 2 laureandi fisici
 Altri 5 summer student ingegneri...

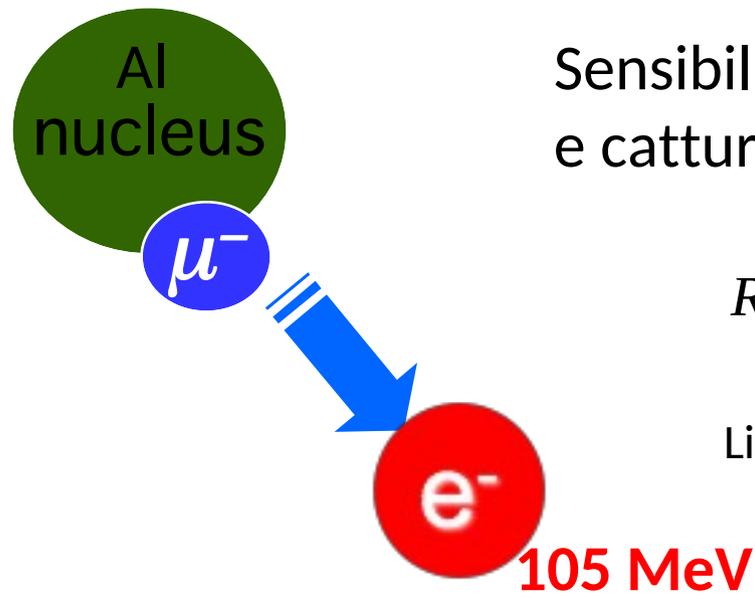
L'esperimento Mu2e



Sensibilità sul rapporto tra conversione coerente $\mu \rightarrow e$ e cattura dei μ nel nucleo di Alluminio

$$R_{\mu e} = \frac{\mu^- + A(Z, N) \rightarrow e^- + A(Z, N)}{\mu^- + A(Z, N) \rightarrow \nu_\mu + A(Z-1, N)} < 2.87 \cdot 10^{-17}$$

Limite esistente $R_{\mu e} < 7 \cdot 10^{-13}$ (SINDRUM II, 2000: usando atomi di Au)



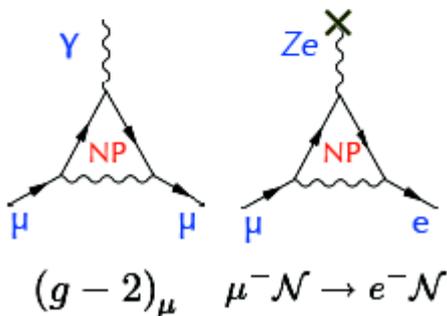
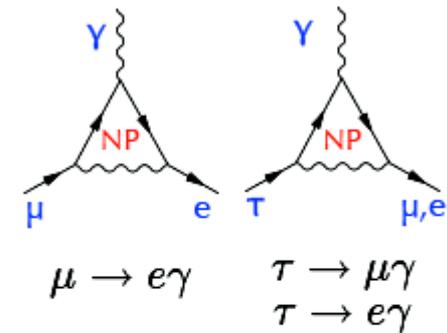
La CLFV come segnale di nuova fisica

Lagrangiana efficace per la violazione del numero leptonico nei leptoni carichi (CLFV):

$$\mathcal{L}_{\text{CLFV}} = \frac{m_\mu}{(\kappa + 1)\Lambda^2} \bar{\mu}_R \sigma_{\mu\nu} e_L F^{\mu\nu} + \frac{\kappa}{(1 + \kappa)\Lambda^2} \bar{\mu}_L \gamma_\mu e_L (\bar{u}_L \gamma^\mu u_L + \bar{d}_L \gamma^\mu d_L)$$

Termine di dipolo:

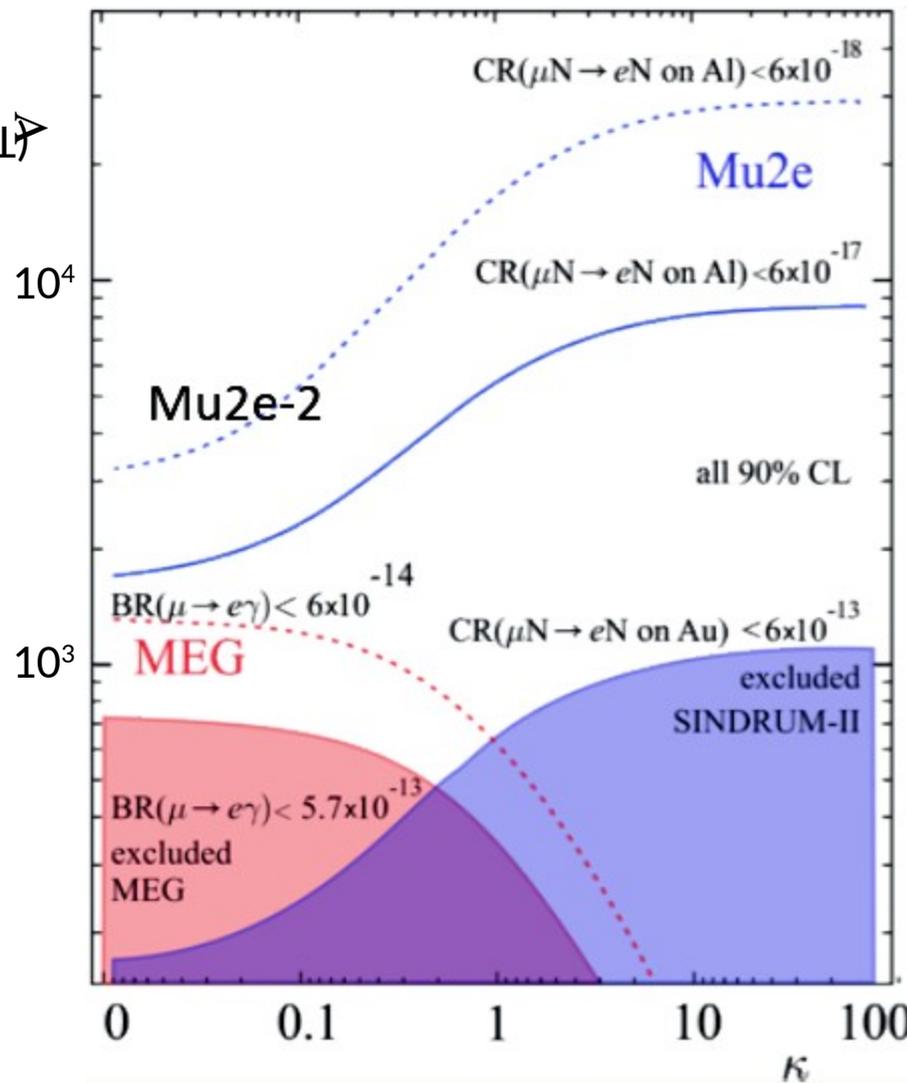
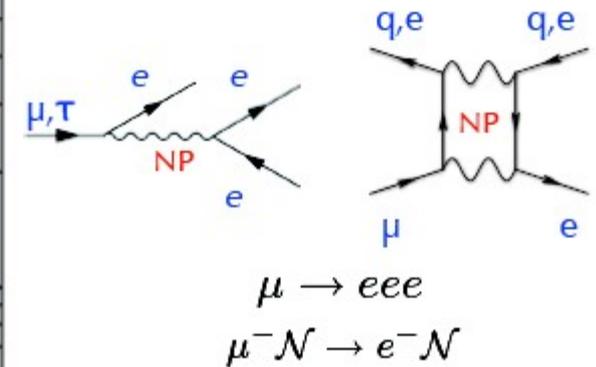
$\mu \rightarrow e\gamma, \mu N \rightarrow eN, \mu \rightarrow eee$
 $\kappa \ll 1$



Interazione a 4 fermioni:

$\mu N \rightarrow eN, \mu \rightarrow eee$

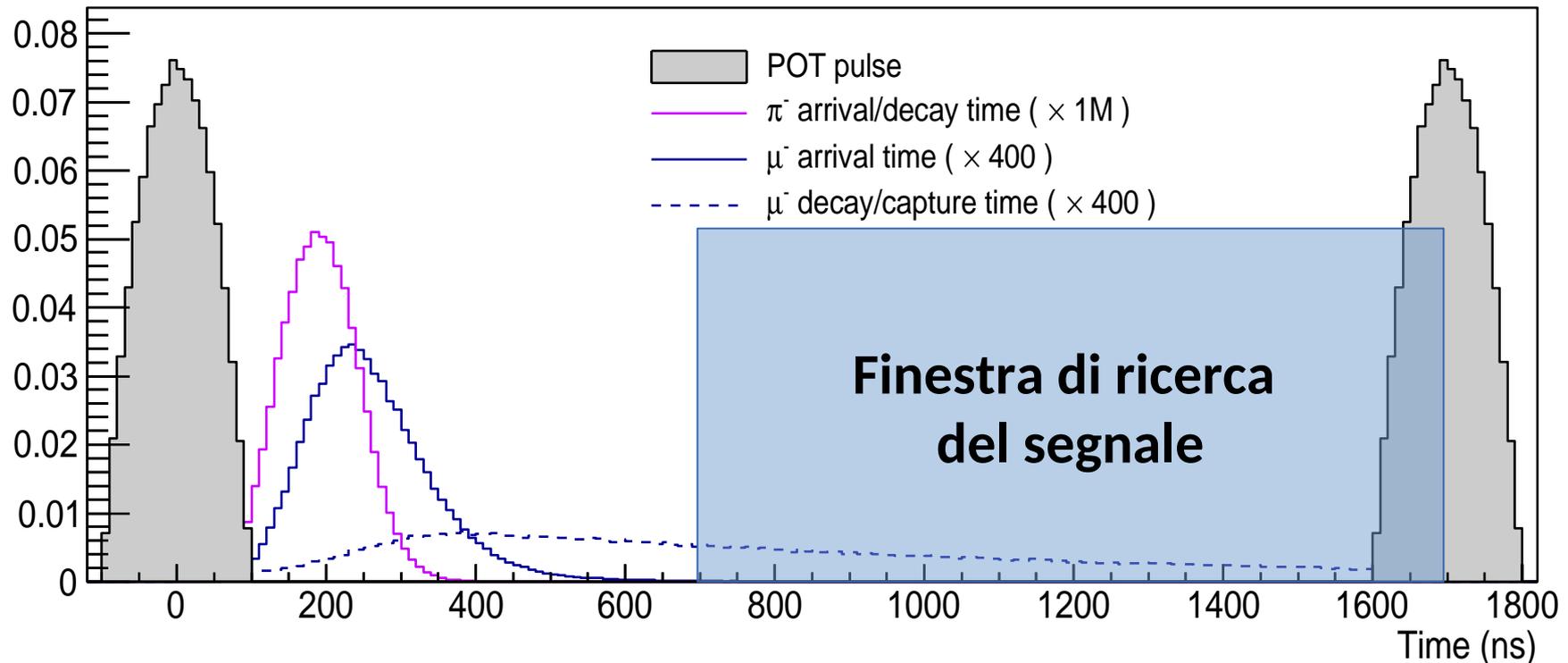
$\kappa \gg 1$



Principali fondi in Mu2e

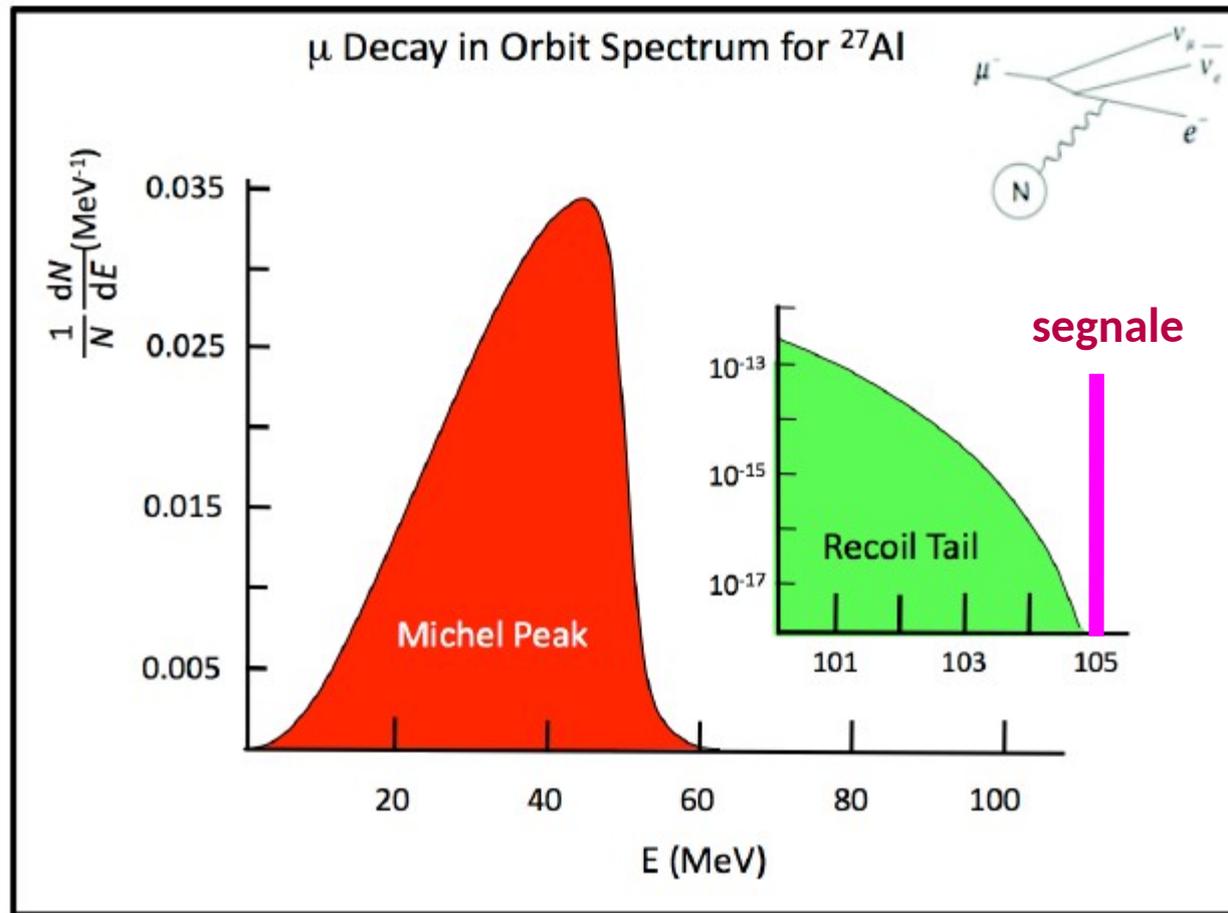
- **Muon decay in orbit (DIO)**
- **Radiative pion capture (RPC)**
 $\pi^- N \rightarrow \gamma N', \gamma \rightarrow e^+e^-$ and $\pi^- N \rightarrow e^+e^- N'$
- Antiprotons: produce pions when they annihilate in the target .. antiprotons are negative and they can be slow!
- Pion/muon decay in flight
- Electrons from beam
- **Cosmic rays**

Reiezione dei fondi in Mu2e



- I protoni fuori bunch sono meno di 10^{-10}
- Gli antiprotoni (lenti) sono soppressi a monte nel Transport Solenoid
- La vita media dell'Al muonico è 864 ns: il beam flash e i decadimenti di pioni e muoni sono esclusi da un gate
- I cosmici sono in larga parte rigettati da un apposito veto
- Restano le catture nucleari radiative (trascurabili) e i decadimenti in orbita

Reiezione dei decadimenti in orbita (DIO)

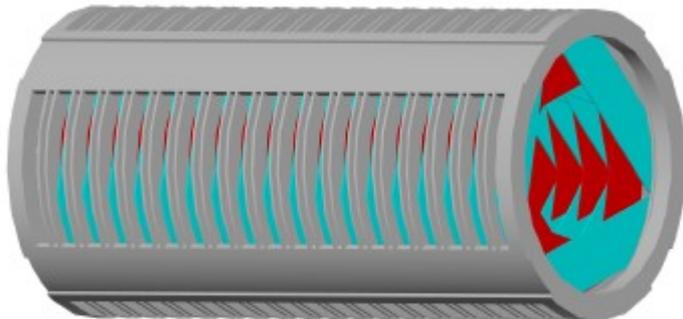
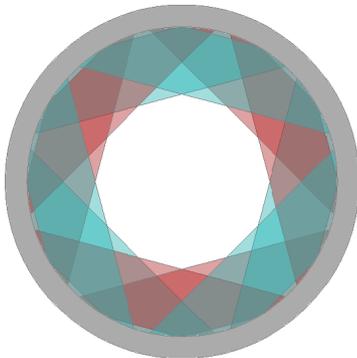
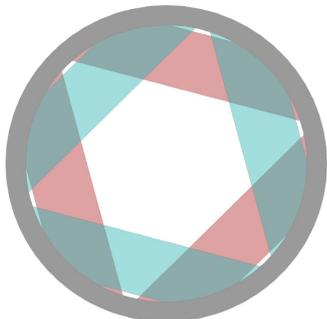
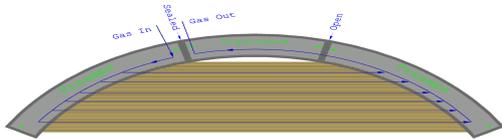
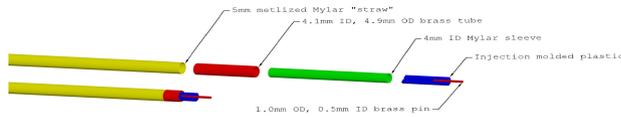


I decadimenti in orbita possono essere rigettati attraverso una misura accurata dell'impulso dell'elettrone → **Tracciatore**

Anche le code della risoluzione in impulso sono determinanti:

- Tagli di qualità sulla traccia (riduzione della sensibilità)
- Validazione della traccia (timing, posizione e impulso) con un rivelatore indipendente → **Calorimetro**

Il tracciatore di Mu2e



STRAW TUBE: 5 mm diametro, 15 μm mylar, riempiti con Ar/CO_2

PANNELLO: 2 strati di 48 straw tubes

PIANO: 6 pannelli

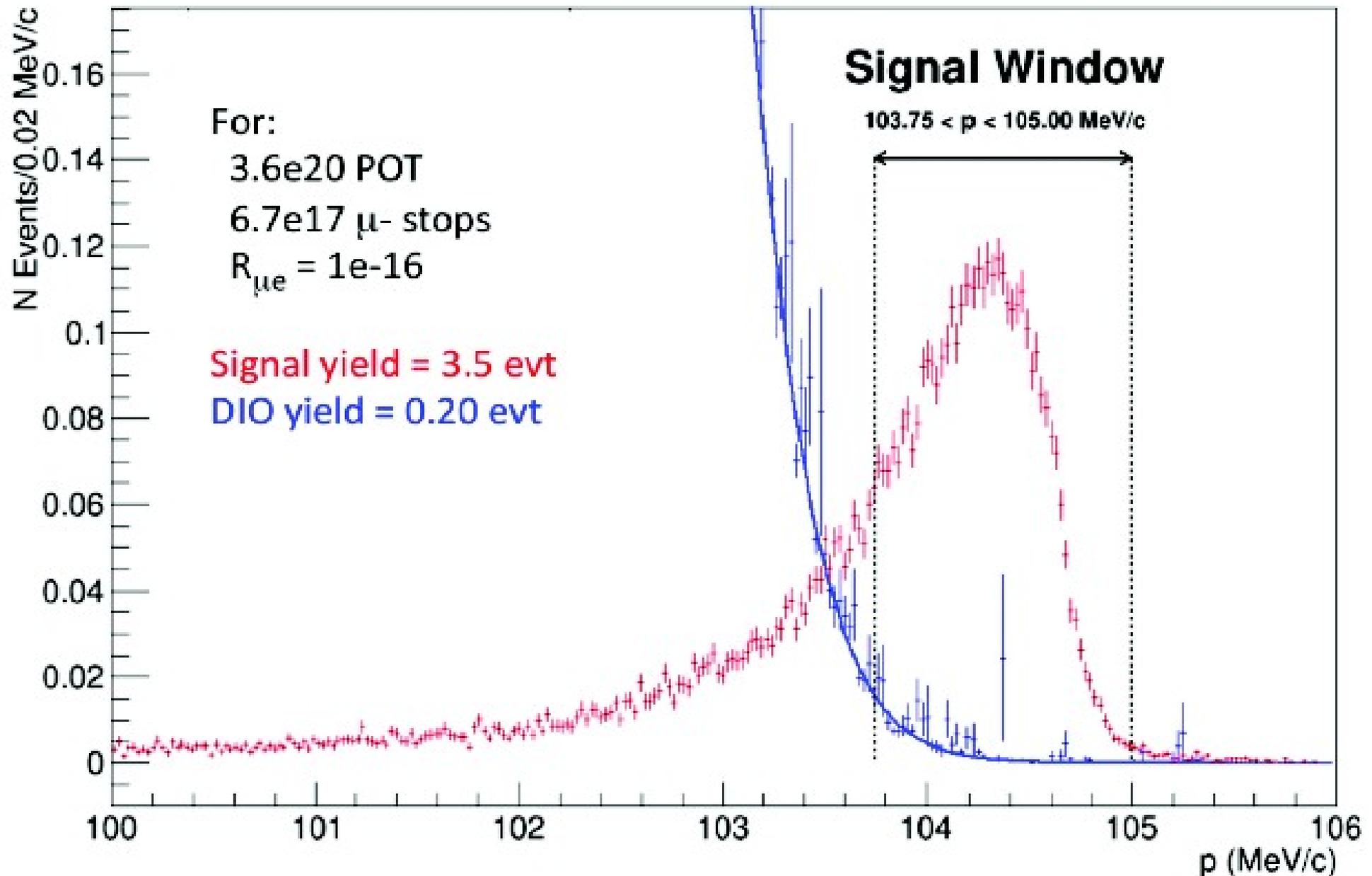
STAZIONE: 2 piani

TRACCIATORE: 18 stazioni

$$\sigma_p \sim 180 \text{ keV}$$



La sensibilità di Mu2e in 3 anni



Il calorimetro di Mu2e: requisiti

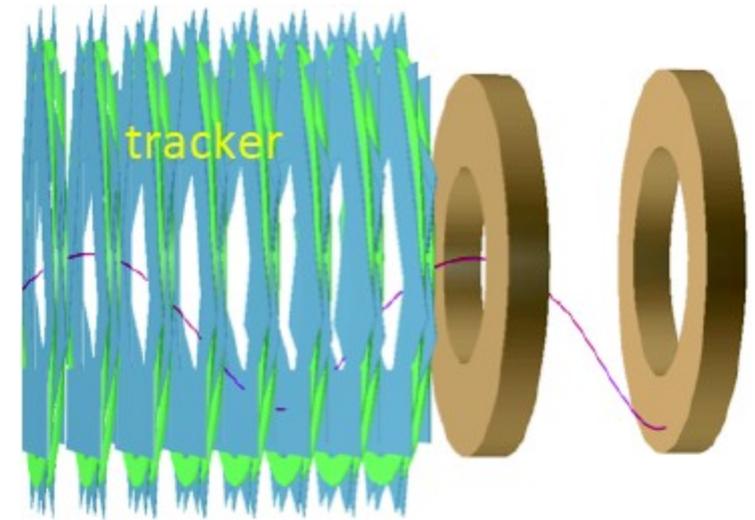
Deve:

- essere **radiation hard**
- lavorare in vuoto spinto (**no degassing, raffreddamento per conduzione**)
- lavorare in un campo magn. di **1 Tesla**
- distinguere e/μ
- rivelare quasi tutti gli e^- visti dal tracker
- **fornire il seed per il pattern recognition**
- **validare la qualità delle tracce**
- fornire un trigger (anche solo di livello 3)

Richieste:

- pulse shape
- $\sigma(E)/E$ 5% a 100 MeV
- **$\sigma(t) < 500$ ps** a 100 MeV
- **$\sigma(x,y) < 1$ cm** a 100 MeV

2 dischi distanziati di $\lambda/2=70$ cm



Condizioni di lavoro ostili:

$B=1T$

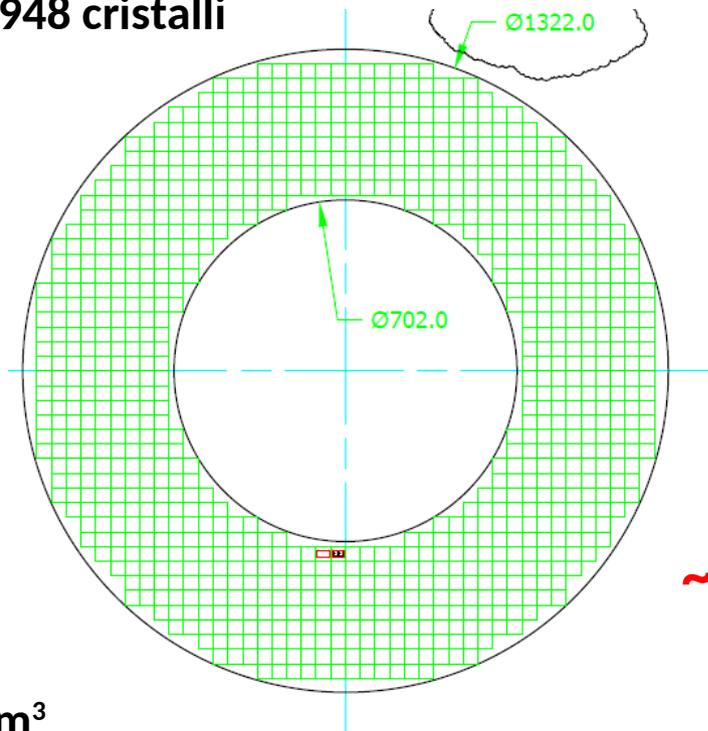
$P=10^{-4}$ Torr

Dose ionizzante fino a 15 kRad/anno

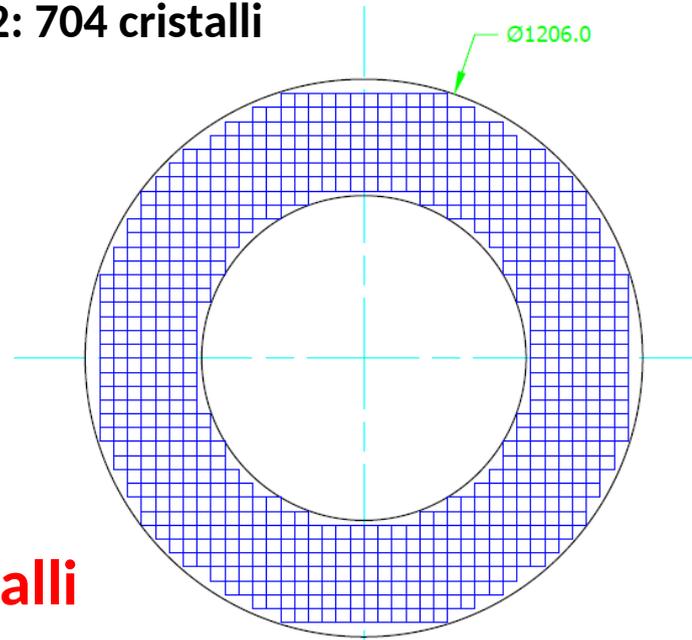
Dose neutroni $=10^{12}/\text{cm}^2/\text{anno}$

Il calorimetro di Mu2e: i cristalli

Disco 1: 948 cristalli



Disco 2: 704 cristalli



~1650 cristalli

3x3x20cm³



Due possibili cristalli (Scelta tecnica fine Luglio 2015):

BaF₂: fast peak ($\tau \sim 0.9\text{ns}$) @220 nm

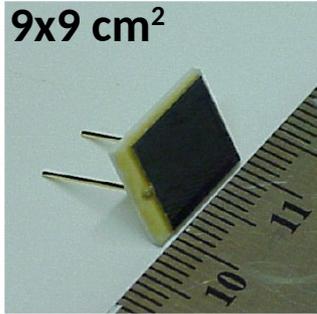
Slow peak ($\tau \sim 650\text{ ns}$) @300 nm
~30 p.e./MeV

+ APD 'solar blind'

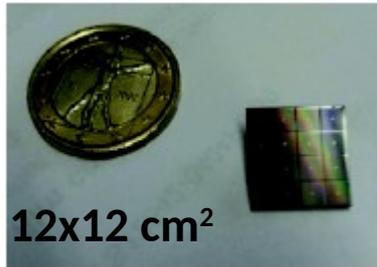
CsI: fast peak ($\tau \sim 26\text{ns}$) @310nm
~30 p.e./MeV

+ MPPC UV extend.

Il calorimetro di Mu2e: i fotosensori



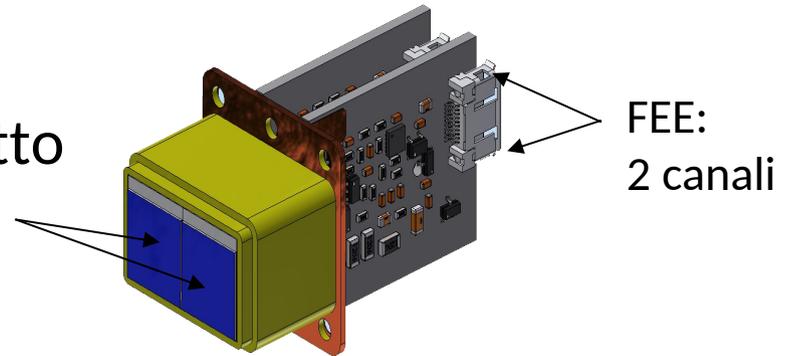
- APD solar blind:**
- QE~30% @220nm QE~0.1% per $\lambda > 300$ nm
 - HV~1800 V (guadagno 500)
 - rumore ancora a un livello critico



- MPPC UV ext:**
- QE~30% @310 nm
 - Tensione di lavoro <55 V
 - rumore sotto controllo



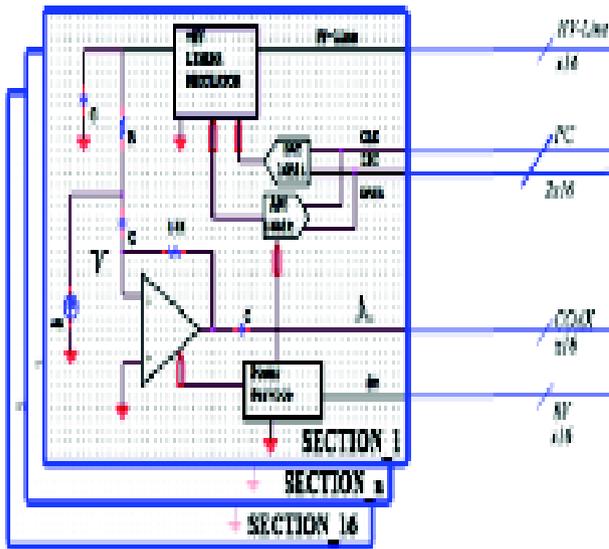
Ogni cristallo verrà letto
da 2 fotosensori



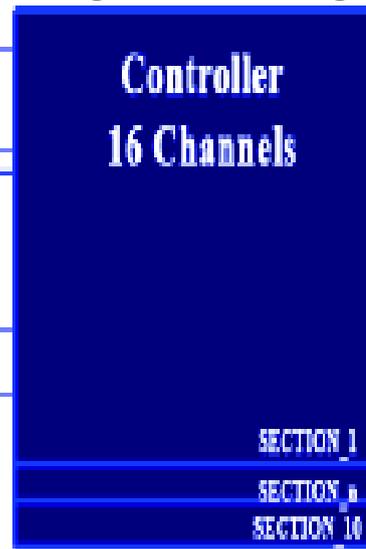
Tutti i ~3300 fotosensori verranno testati a Pisa usando la stazione di test allestita nel sotterraneo

Il calorimetro di Mu2e: l'elettronica

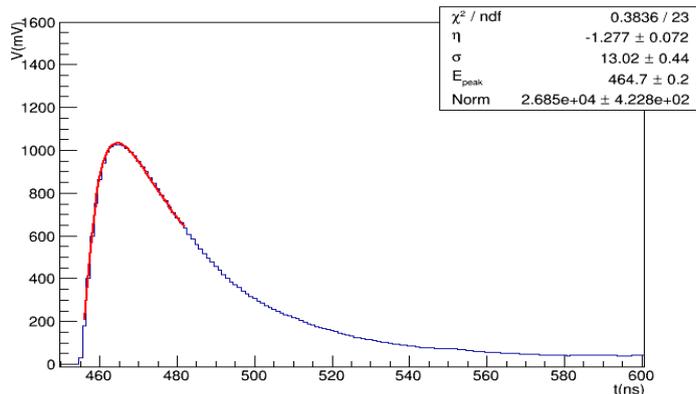
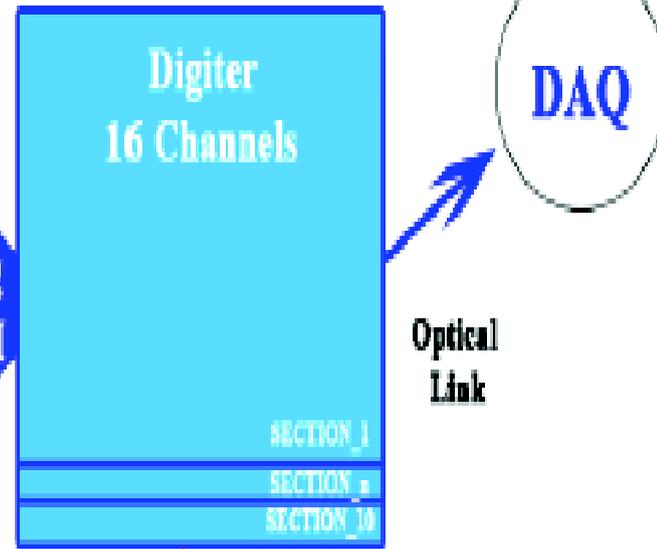
FEE:
Linear regulator+
Amplificatore



ARM Controller:
HV e LV
Ponte per
segnali analogici



Wave Form Digitizer:
Digitalizzazione
dei segnali

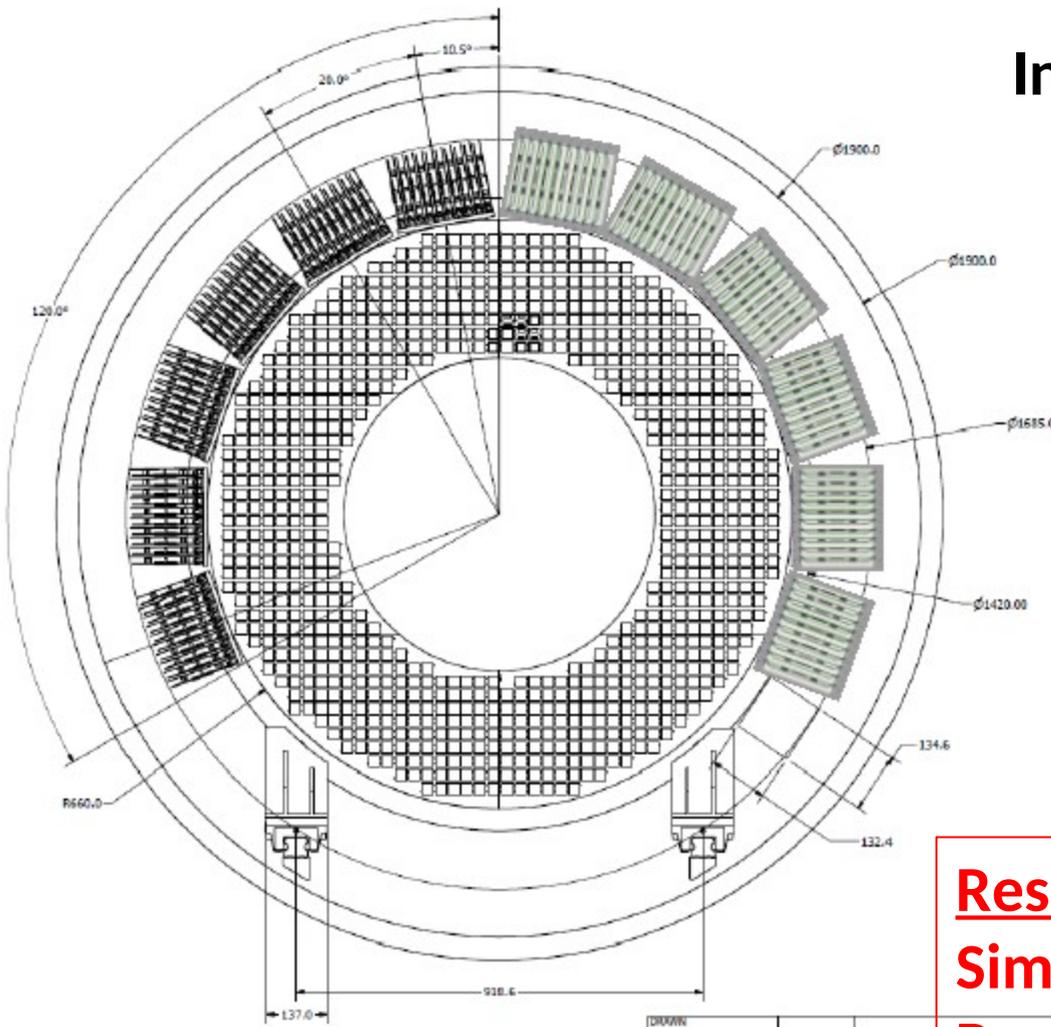


Esempio di Forma d'onda digitalizzata

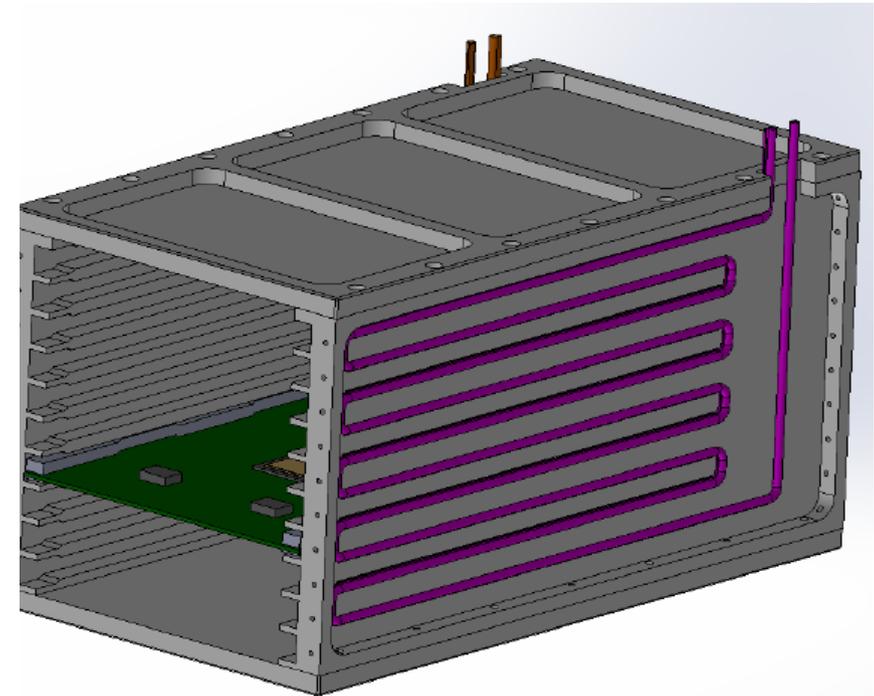
Responsabilità di Pisa (F.Spinella):
Costruzione, programmazione
e test delle 230 schede
Wave Form Digitizer

Il calorimetro di Mu2e: la meccanica dei crate

In ogni crate: 10 WFD + 10 Arm contr.

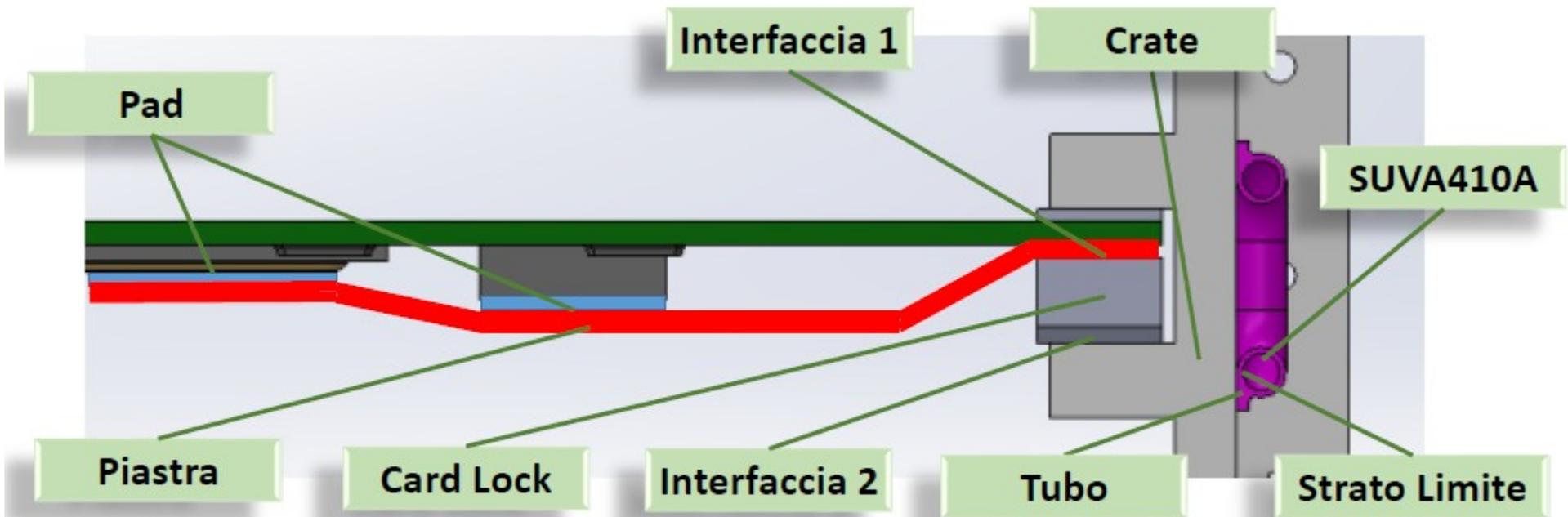


12 crates per disco

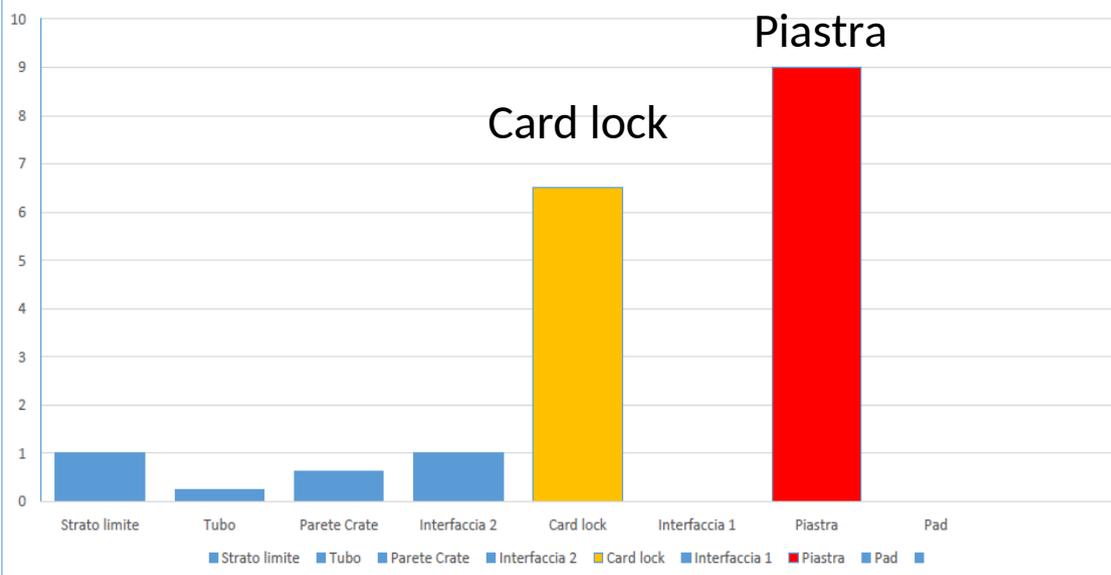


Responsabilità di Pisa (F.Raffaelli):
Simulazione termica (D.Pasciuto)
Progettazione e costruzione
Test termici
Test del circuito di raffreddamento
6 crate da costruire per il test beam
del modulo 0 nel 2016

Il calorimetro di Mu2e: modello termico dei crate



Contributi termici



$\Delta T_{\text{tot}} \sim 18.5^\circ$ (D. Pasciuto)

Con fluido a 20° ,
pressione 22 bar,
Portata 22 l/min
Si ha $T(\text{FPGA}) \sim 39^\circ$

Il modello sarà validato
sperimentalmente a Pisa

Sviluppo del Digitizer: componenti chiave



Evaluation board dell'FPGA:
da una prima programmazione
(L.Morescalchi) si deduce che riesce
a gestire 16 canali ADC

Scheda di interfaccia per l'ADC
in sviluppo (F. Spinella)

Da ordinare scheda interfaccia con PC

Scelta dei componenti operata
in base a:

- rad. Hardness
- rate acquisizione
- campo magnetico
- consumo
- costo (!)

FPGA: Smart Fusion 2 M2S150T

ADC: ADS4229 (da validare con il FEE)

DCDC converter: LTM8033

Sviluppo del Digitizer: test dei componenti

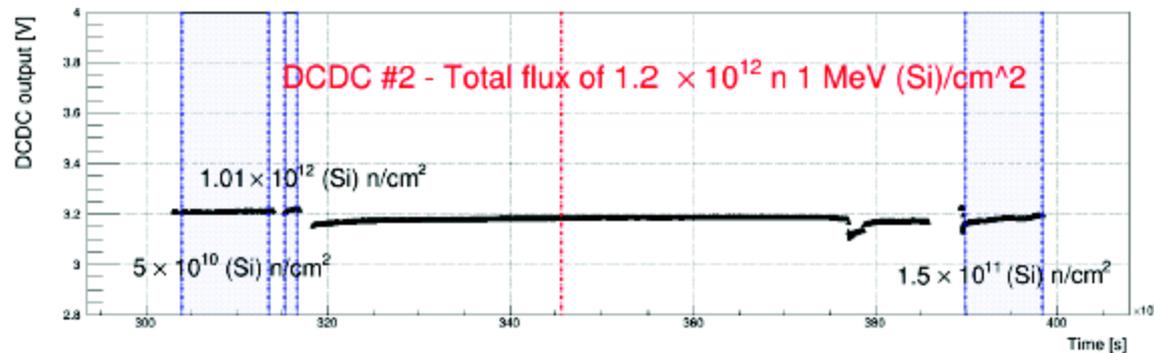


Maggio 2015:

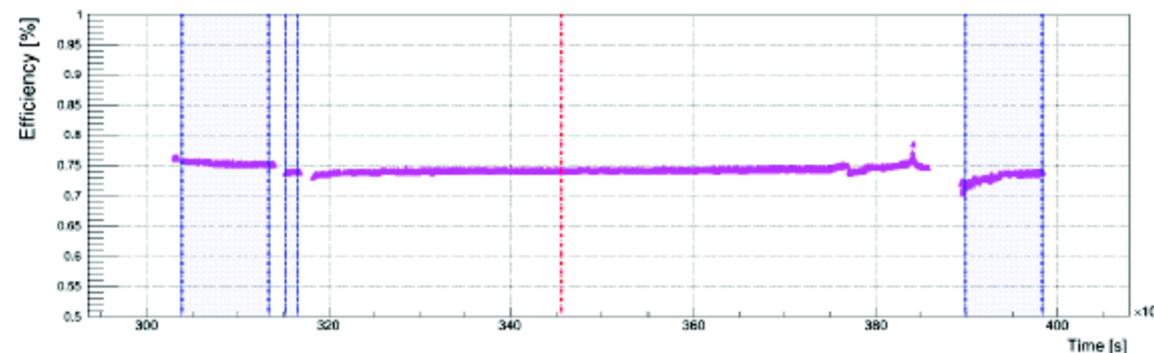
Irraggiamento di due DC DC converter
alla neutron facility dell'ENEA di Frascati

Energia dei neutroni: 14 MeV

Irraggiamento equivalente a 10 Mu2e!



Nessuna variazione
apprezzabile in tensione ed
efficienza



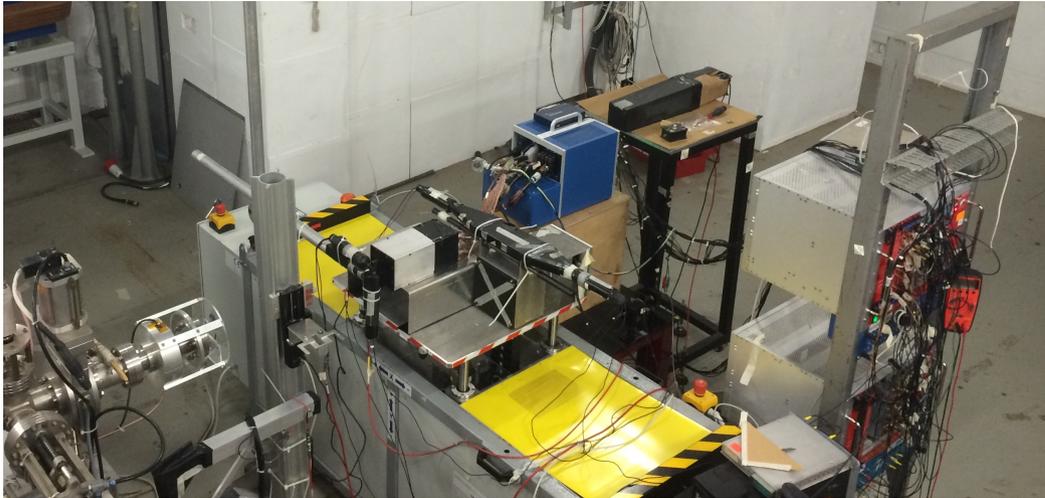
Luglio 2015:

Test in **campo magn.** a Milano

2015 (inizi 2016?):

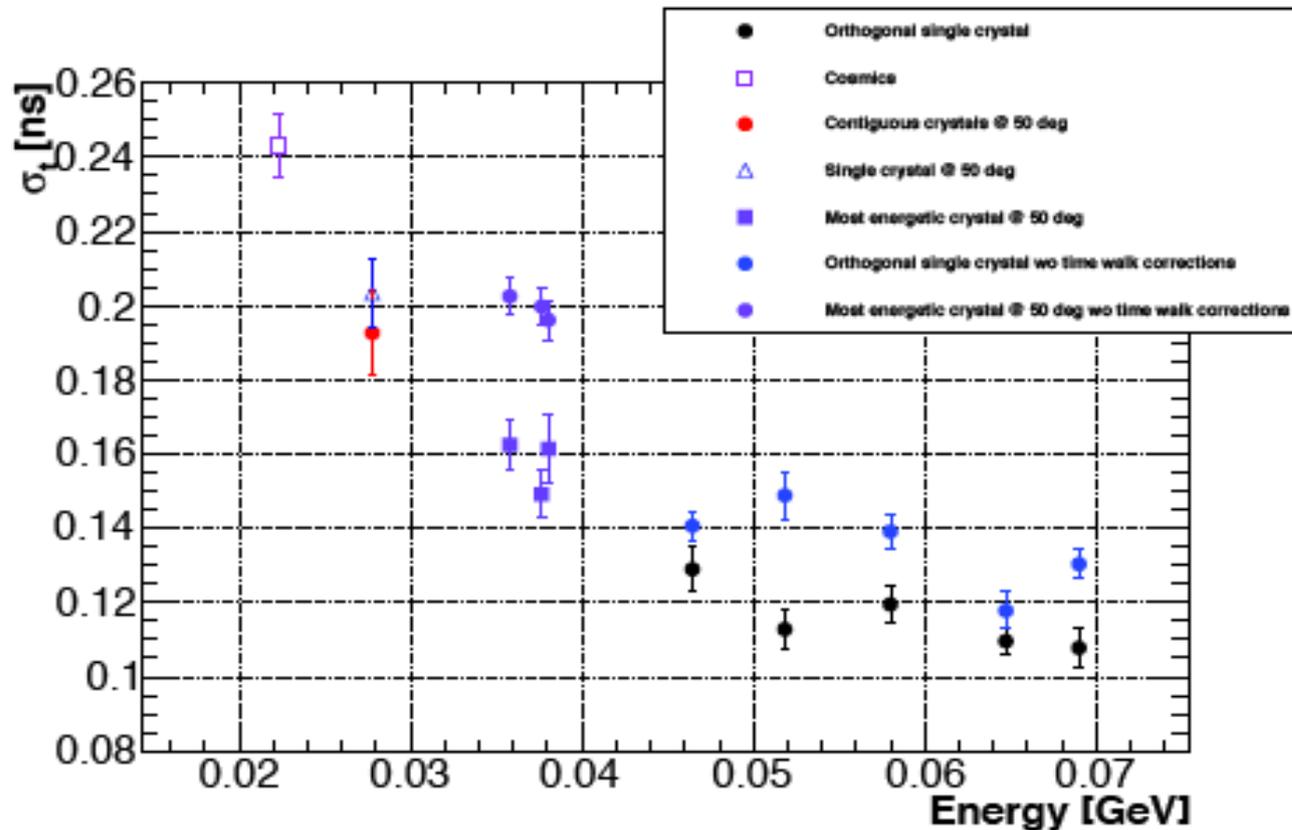
Test di tutti i componenti
con **fascio collimato** di neutroni

Risoluzione in tempo con il CsI (G.Pezzullo)



Aprile 2015:

Test beam di una matrice di **3x3 cristalli** di CsI alla Beam Test Facility dei LNF con elettroni da **80 a 120 MeV** a **0°** e **50°** (angolo di incidenza degli elettroni sul calorimetro in Mu2e)

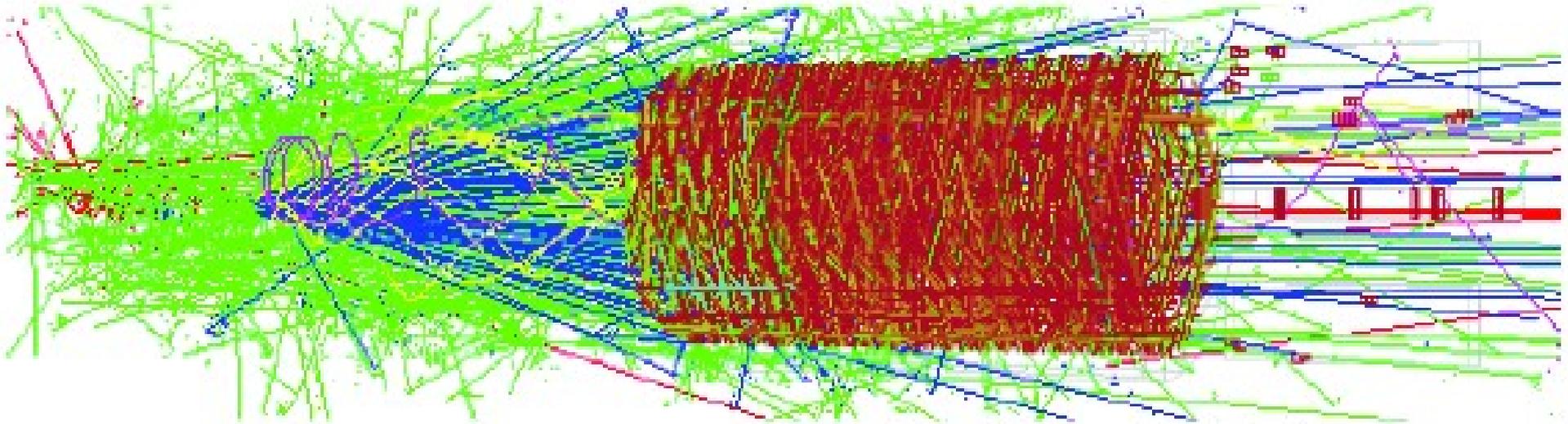


Il tempo di passaggio della particella veniva dato dai due scintillatori usati per il trigger

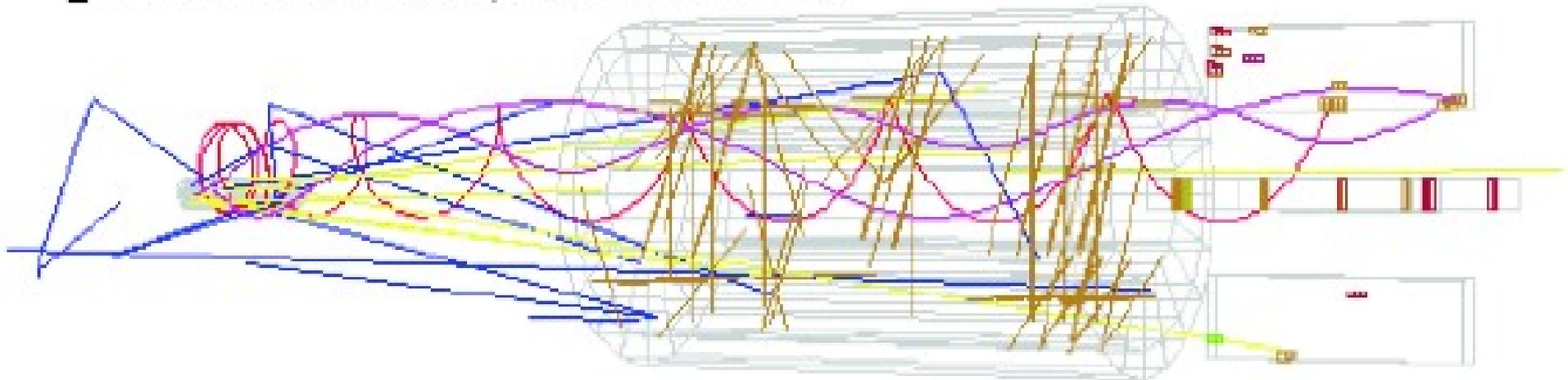
La risoluzione in tempo è **inferiore ai 500 ps** richiesti anche per energie depositata molto piccole (MIP~20 MeV)

Calorimeter seeded track pattern recognition: why?

500 - 1695 ns window

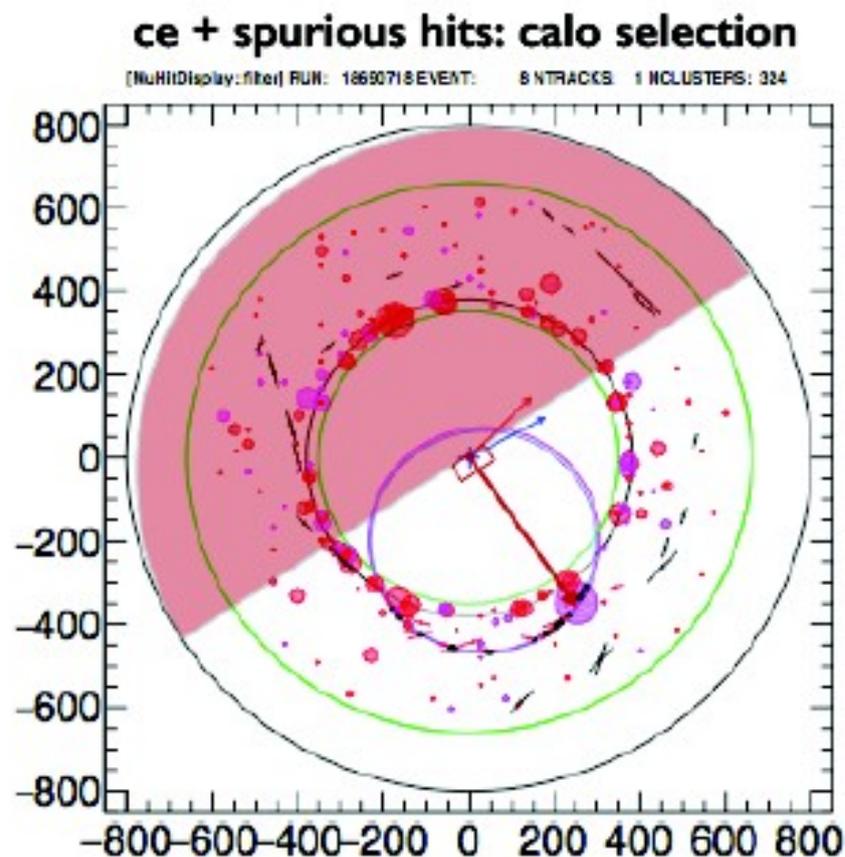
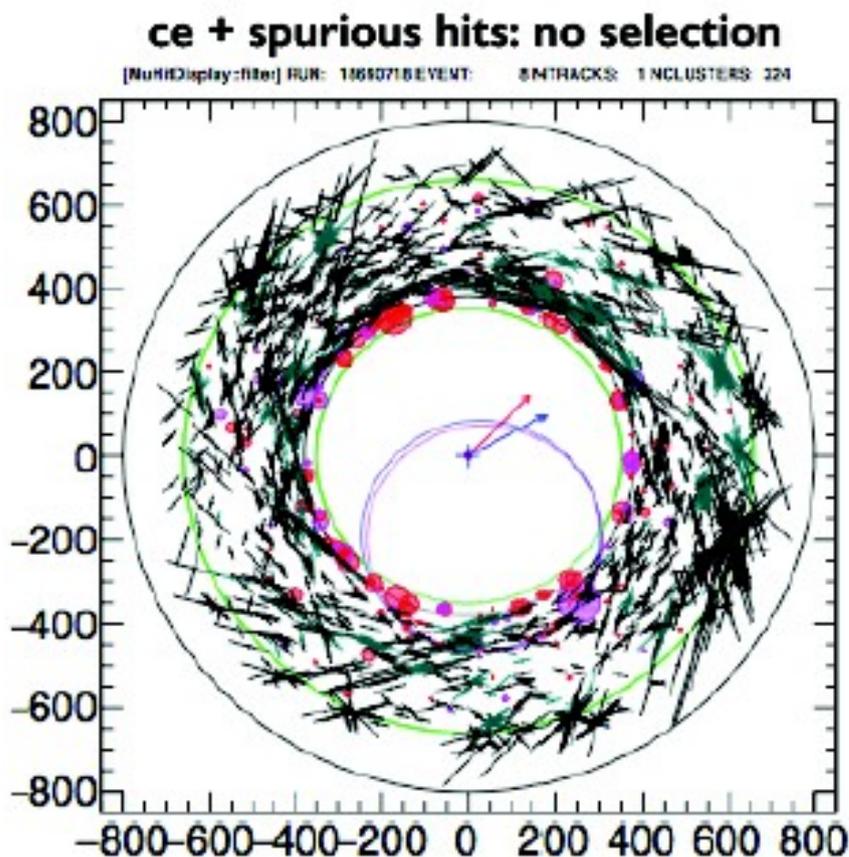


± 50 ns around conversion electron



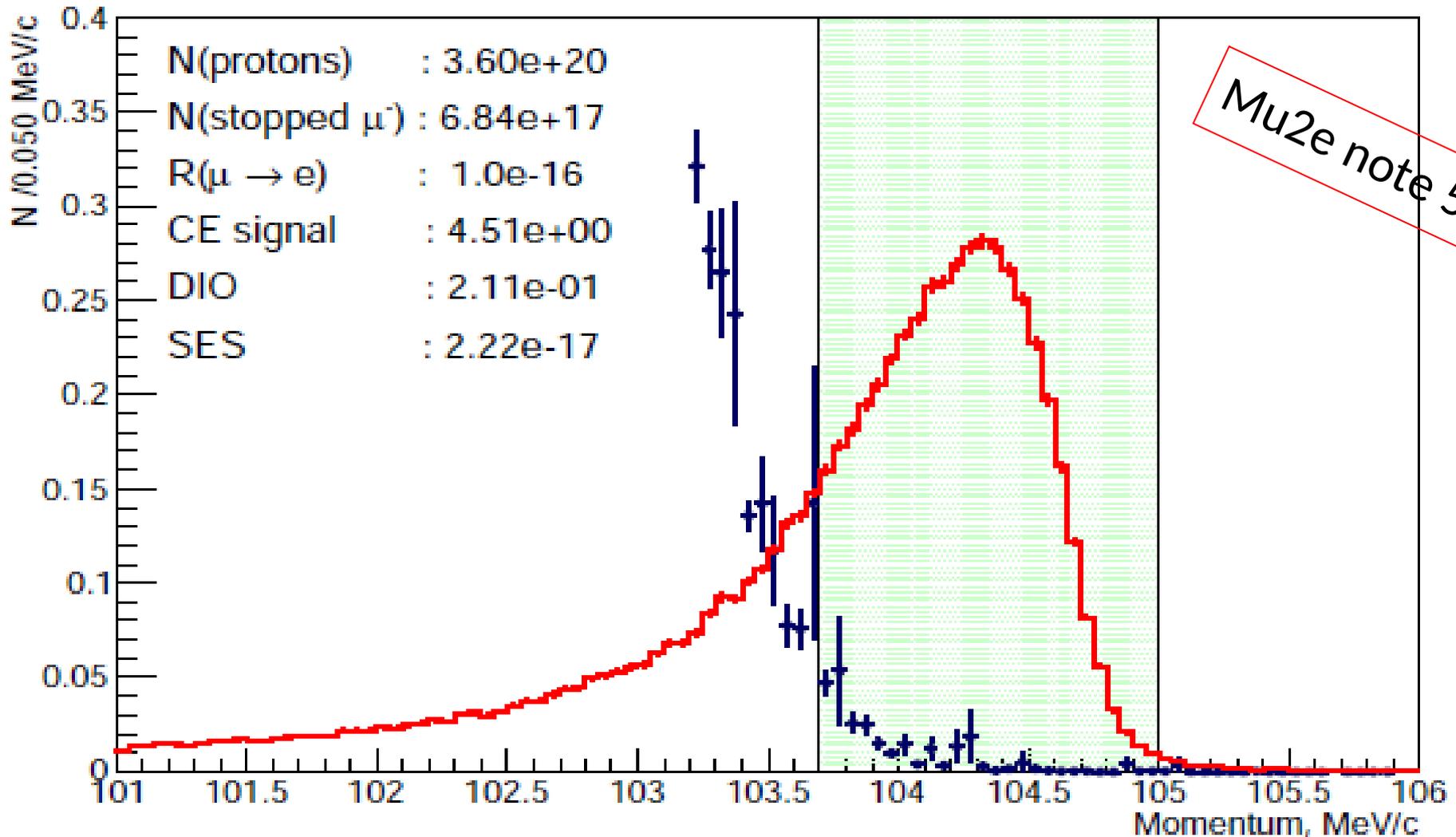
Calorimeter seeded track pattern recognition (G.Pezzullo)

Selezionando solo gli hit negli straw tubes compatibili in **tempo** e in **posizione** (azimuth) con il cluster dell'elettrone, il problema della track pattern recognition si semplifica molto



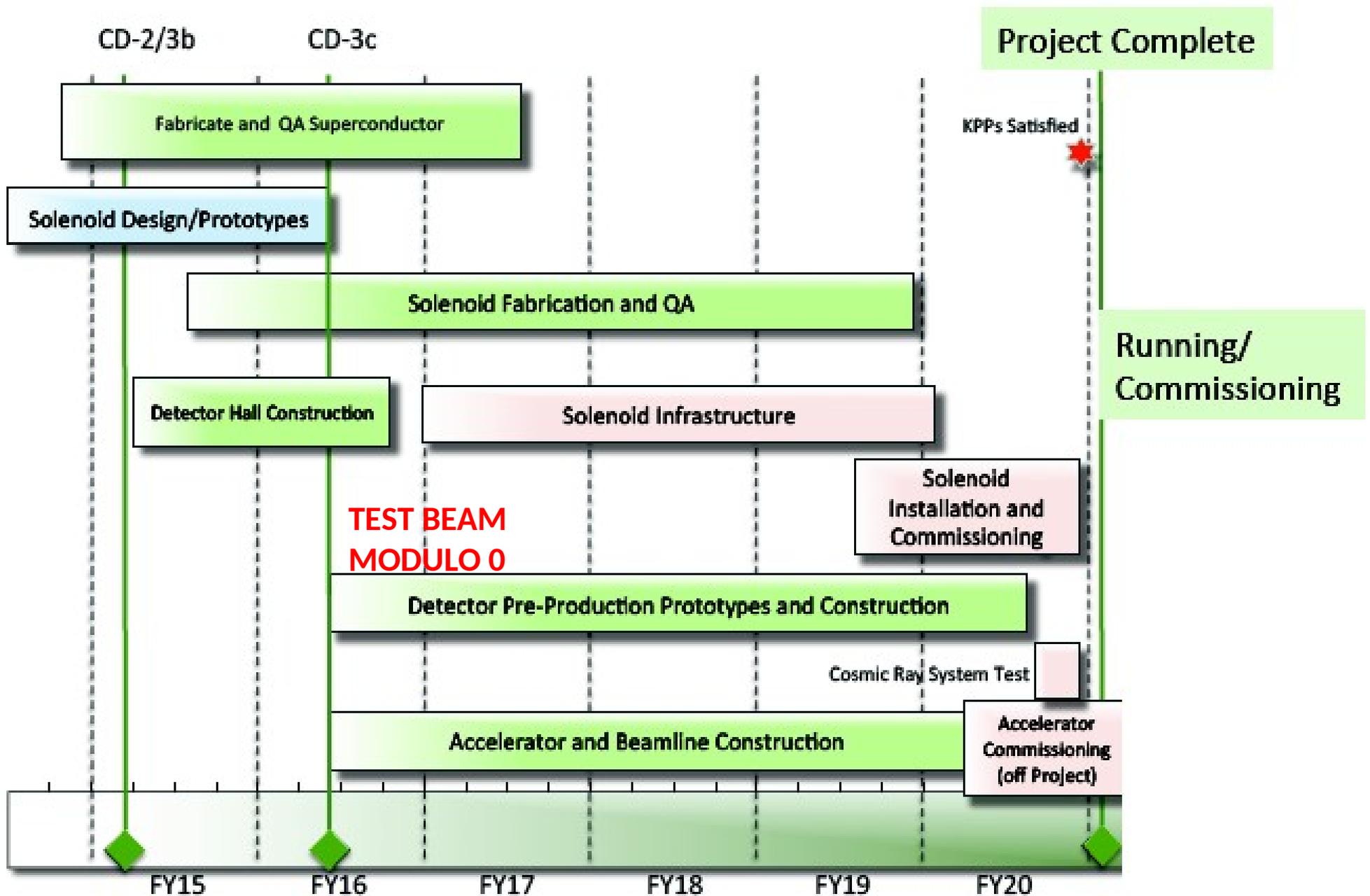
Solo gli hit compatibili con un'**elica** passante per il cluster sono tenuti. Si elimina l'**ambiguità sinistra-destra** rispetto al filo dello straw tube.

Calorimeter seeded track pattern recognition (G.Pezzullo)



Rispetto al TDR la sensibilità dell'esperimento aumenta del **19%**!

Time schedule



Richieste finanziarie 2016

	Rich. 2016		Rich. 2015	Ass. 2015
MISSIONI	74,5	k€	54	32,5
ITALIA	24	k€	4	4
ESTERO	50,5	k€	50	28,5
CONSUMI	20	k€	39,5	22,5
APPARATI	60	k€	0	0
INVENTAR.	14	k€	0	0
TOTALE	168	k€	93,5	54,5

Richieste servizi 2016

Officina: 3 m.u. Per costruzione crate

Nel prossimo futuro...

Elettronica: 6 m.u. di un tecnologo per sviluppo e test dei 230 digitizer