



MAGNEX Focal Plane Detector per l'esperimento NUMEN @ INFN-LNS

Mattia Ivaldi

Corso di Laurea Magistrale in Fisica Nucleare, Subnucleare e Biomedica

Laboratorio di Fisica Nucleare e Subnucleare II

Outline

1. Introduzione
 - A. NUMEN e $0\nu\beta\beta$
 - B. MAGNEX
2. Focal Plane Detector - FPD
 - C. design
 - D. misure
 - E. PID
3. SiC update
4. Outlook





L'esperimento **NU**clear **M**atrix **E**lements for **N**eutrinoless **d**ouble **b**eta **d**ecay (INFN-LNS) ha l'obiettivo di determinare gli elementi di matrice nucleare del decadimento $0\nu\beta\beta$ attraverso misure di sezione d'urto $d_\Omega\sigma(q, E_x) = f(NME)$ di processi Double Charge Exchange [1].

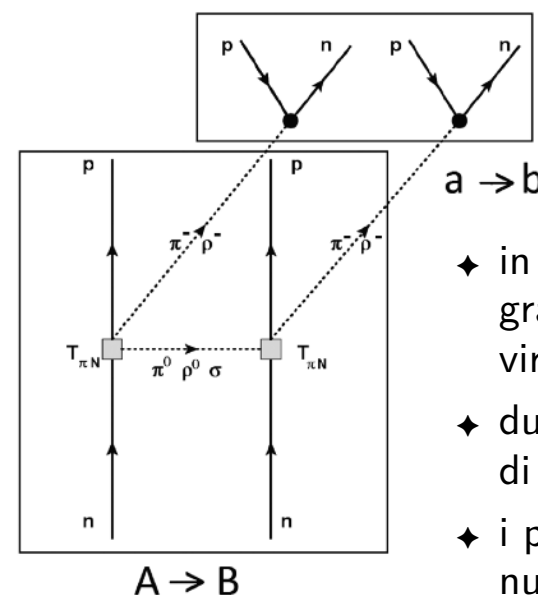
Sotto l'ipotesi $\nu \equiv \bar{\nu}$ è possibile osservare un doppio decadimento β senza l'emissione di neutrini, con rate:

$$\Gamma = G_{0\nu} |M_{0\nu}|^2 |f(m_i, U_{ei}, \xi_i)|^2$$

$$|M_{0\nu}| = | \langle \varphi_f | \hat{O}^{0\nu\beta\beta} | \varphi_i \rangle | \quad (NME)$$

Se NME è determinato con sufficiente precisione, è possibile estrarre informazioni su $f(m_i, U_{ei}, \xi_i)$ da misure di Γ .

Una reazione di tipo Double Charge Exchange (DCE) è un processo del tipo:



Analogie con $0\nu\beta\beta$:

- ♦ gli stati (φ_i, φ_f) per $0\nu\beta\beta$ sono gli stessi per il sistema DCE
- ♦ in entrambi i processi è presente un grande momento lineare in un canale virtuale intermedio
- ♦ due vertici sono localizzati in una coppia di nucleoni di valenza
- ♦ i processi avvengono nello stesso mezzo nucleare
- ♦ et al.

MAGNEX

MAGNEX è uno spettrometro magnetico costruito per l'identificazione di ioni pesanti ($\delta A/A \sim 1/160$), con grande risoluzione angolare ($\delta\theta \sim 0.3^\circ$) ed energetica ($\delta E/E \sim 1/10^3$), entro un angolo solido $\Omega \sim 50$ msr e momento $\delta p/p \in (-14\%, 10\%)$ [2].

Dipole

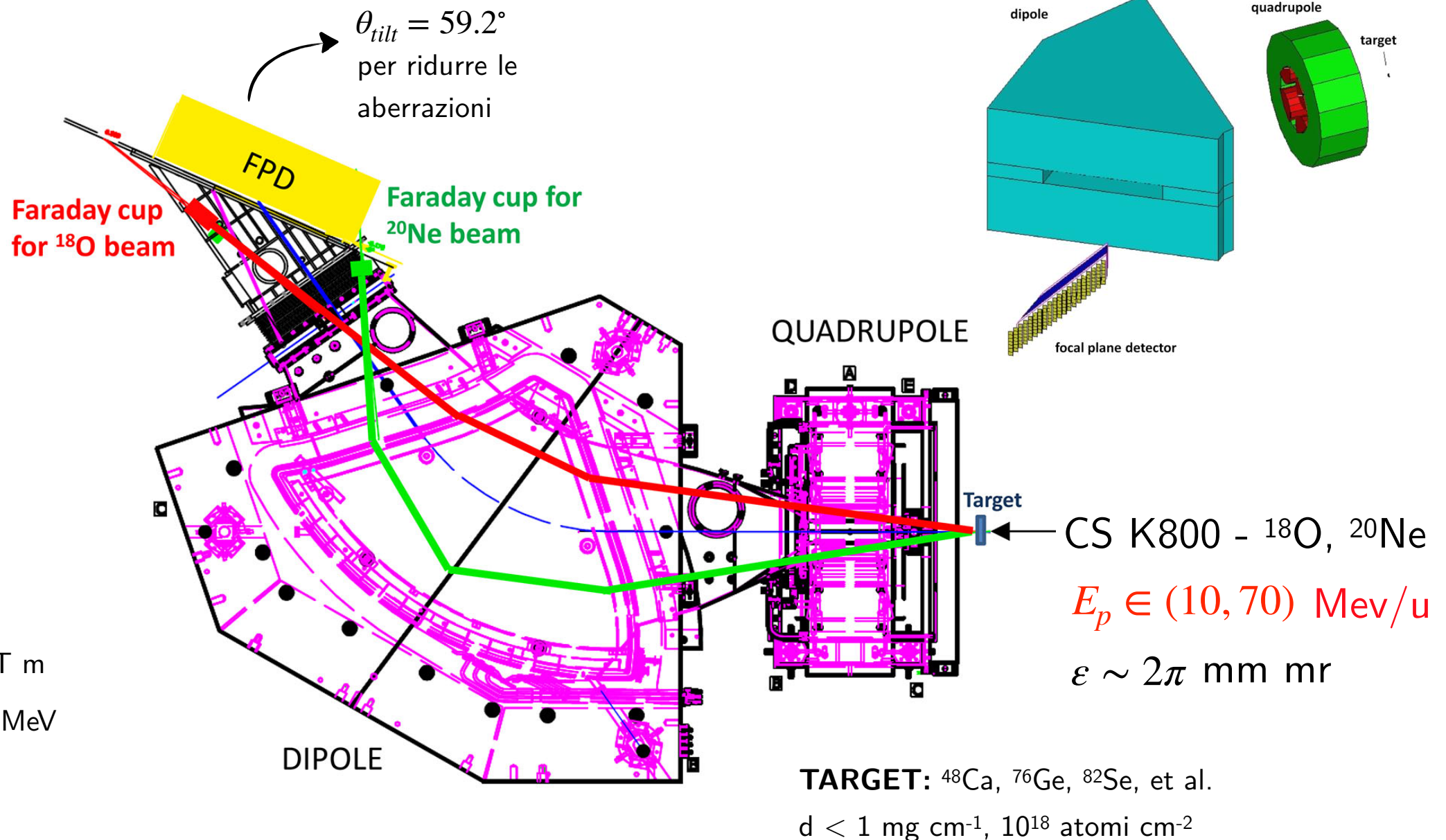
Max B	1.15 T
Bending angle	55°
Bending radius	1.6 m
Face rotation	18°

Quadrupole

Max B Strength	5 T m^{-1}
Aperture radius	20 cm
Effective Length	58 cm

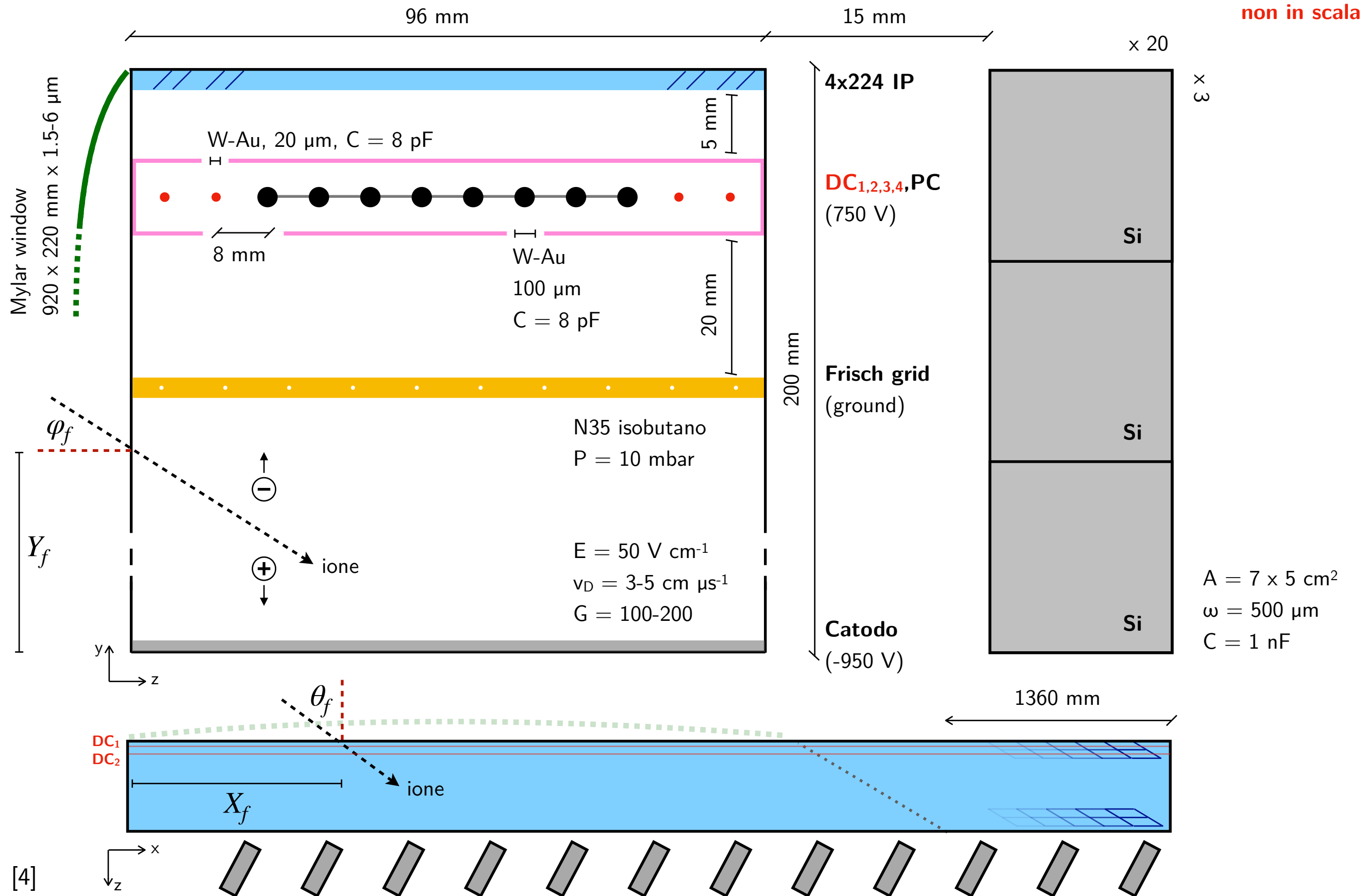
MAGNEX

Accepted $B\rho$	(0.2, 1.8) T m
Accepted E	(0.2, 40) A MeV
FP length	92 cm
FP height	20 cm



$$\delta E \sim \sqrt{\delta E_{\text{MAGNEX}}^2 + \delta E_{\text{CS}}^2 + \delta E_{\text{TARGET}}^2}$$

FPD - design



FPD - misure

DC_i → ΔE_i (Y_f, φ_f) **TRIGGER_{STOP}**

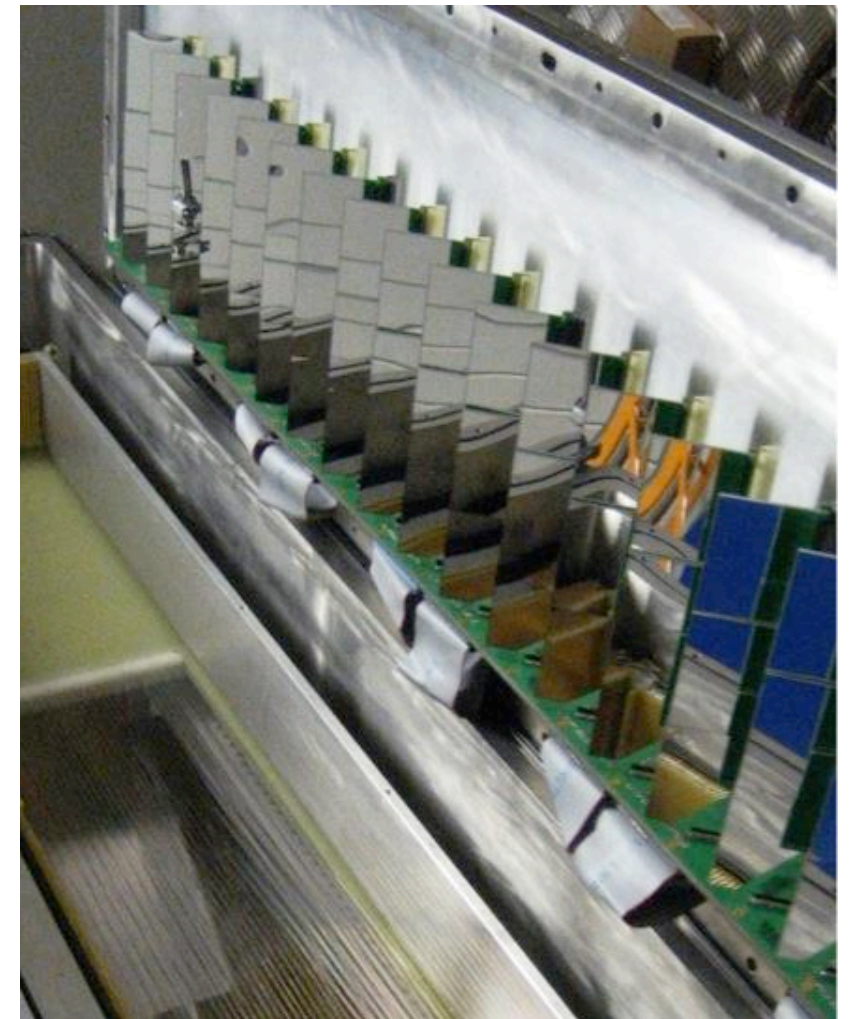
PC → ΔE_{PC}

IP → (X_f, θ_f)

Si → E_r **TRIGGER_{START}**

- PID
- Trajectory-reconstruction

L'utilizzo di rivelatori al Si per la misura di E_r garantisce un'alta risoluzione della misura della massa ed evita l'utilizzo di uno START addizionale per misure TOF, ma presenta performance insufficienti per l'upgrade di NUMEN.



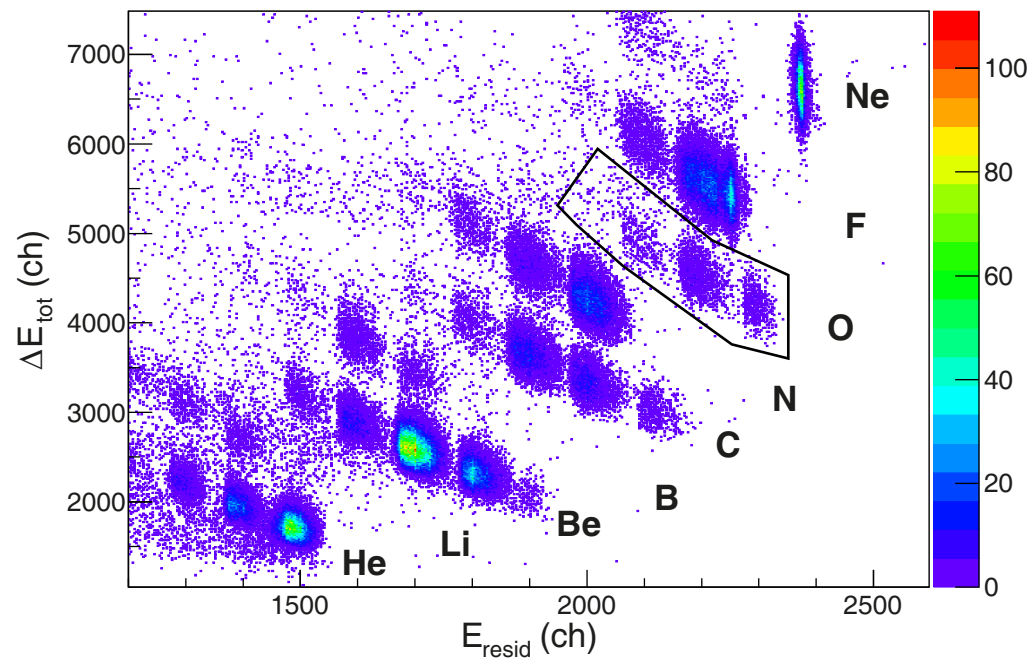
FDP Si detectors

FDP - PID

Gli ioni sono prodotti con $A \in [18,22]$ e $Z \in [8,10]$. Dopo il superamento del bersaglio lo stripping elettronico non è completo e diversi stati di carica q sono presenti per lo stesso isotopo [1].

Numero atomico

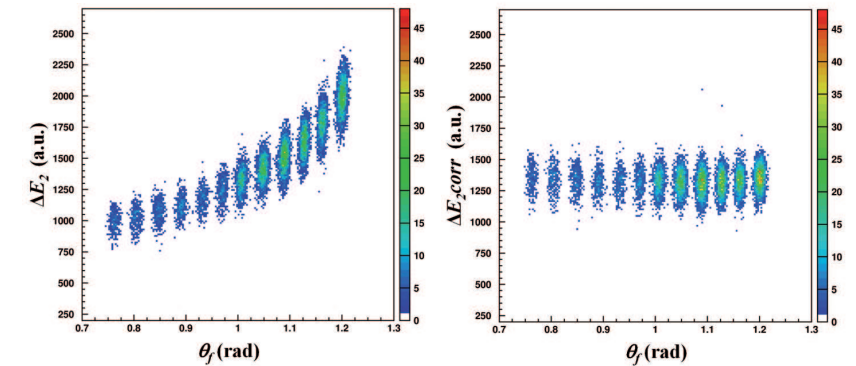
$$\text{DC}_i, \text{PC} \rightarrow \Delta E_{\text{tot}} = \sum_i \Delta E_i \quad \text{Si} \rightarrow E_r$$



$$\delta Z/Z \sim 1/48$$

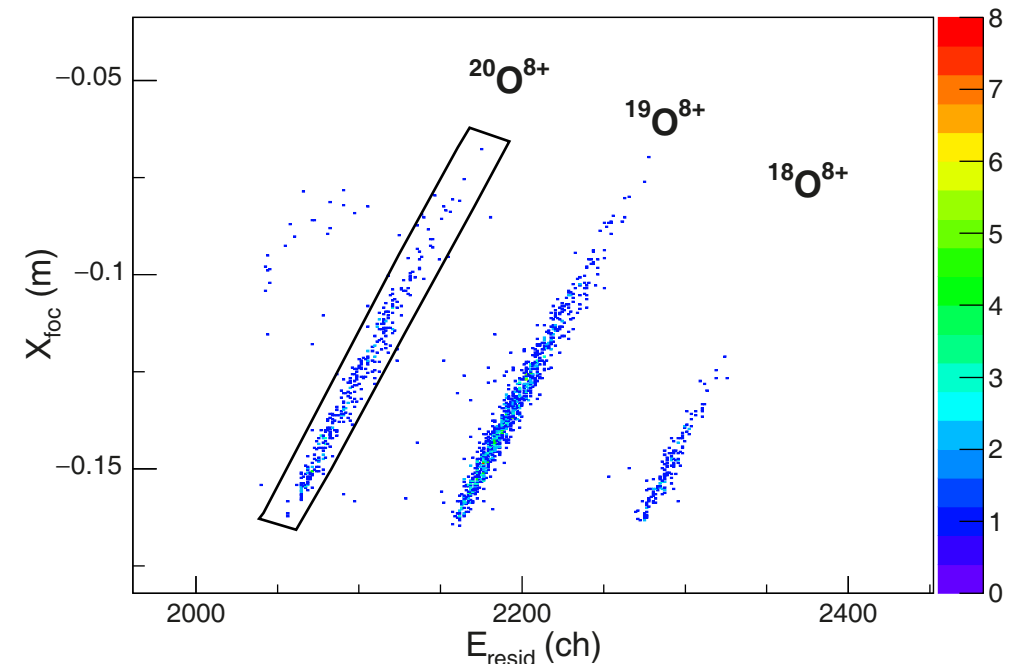
Poiché $\theta_f \in (40, 72)^\circ$ si ha $l_M/l_m \sim 2.5$ ed è necessario correggere ΔE come [4]:

$$\Delta E_C = \Delta E \frac{\cos \theta_f}{\cos \theta_{\text{tilt}}}$$



Massa

$$\text{IP} \rightarrow X_f^2 \propto \frac{m}{q} E_r$$



$$\delta A/A \sim 1/160$$

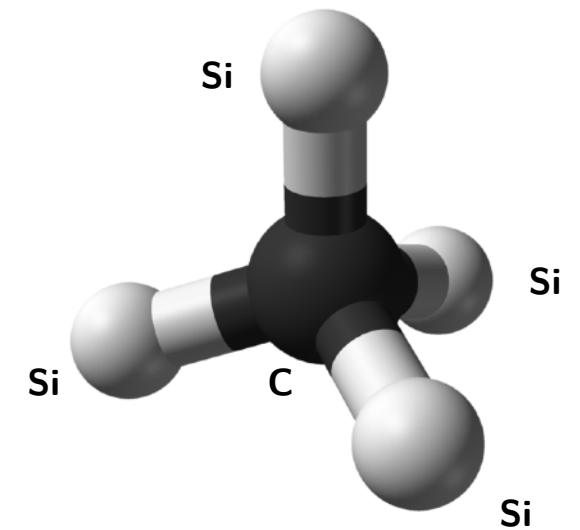
SiC update

Current FPD performances

H-V position resolution (FWHM)	0.6 mm
H-V angular resolution (FWHM)	0.3°
$\delta A/A$	0.6%
$\delta Z/Z$	2%
$\delta E/E$	0.1%
Max incident ion rate	5 kHz

New PID requirements

ϕ	1 T-ions cm ⁻² yr ⁻¹
Incident ion rate	500 kHz
$\delta E/E$	0.2%
σ_t	2-3 ns
Double-hit probability	< 3%
Low-pressure tracker coupling	10-50 mbar



Property

Property	Si	SiC
E_g [eV]	1.12	3.28
μ_e [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	1450	800
μ_h [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	450	115
Displacement [eV]	13-20	25
E_{e-h} [eV]	7.6-8.4	3.6
E_{bd} [MeV]	2.2	0.3

rumore termico ridotto

3x portatori di carica wrt/Si
minore ampiezza del segnale

$$I_{gen}^{(SiC)} \sim 10^{-5} I_{gen}^{(Si)}$$

energia alla quale la P di dislocazione è 50%
resistenza ai danni da radiazione

alta velocità di saturazione

$$E = 10^5 \text{ V cm}^{-1}$$

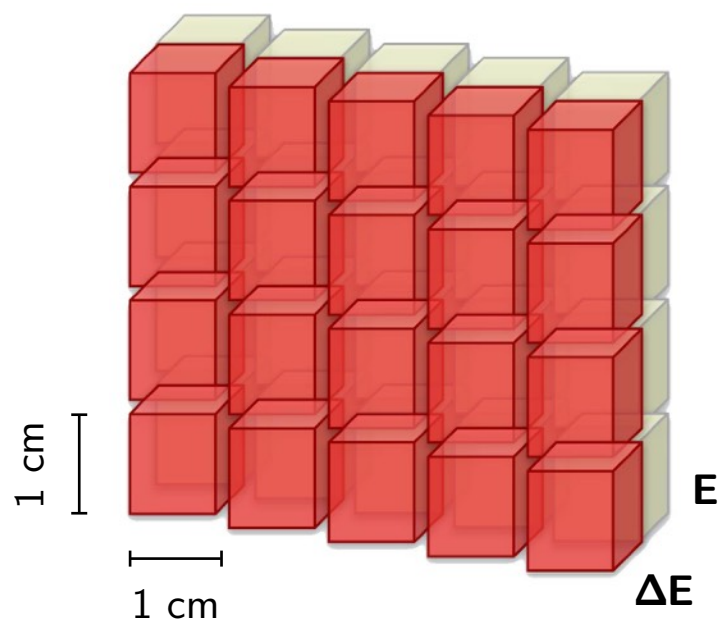
$$\sigma_t \sim 10^2 \text{ ps}$$

SiC

- ♦ alta conduttività termica
- ♦ bassa espansione termica
- ♦ chimicamente inerte
- ♦ stabile fino a 2 k°C

SiC update

ΔE -E SiC telescope



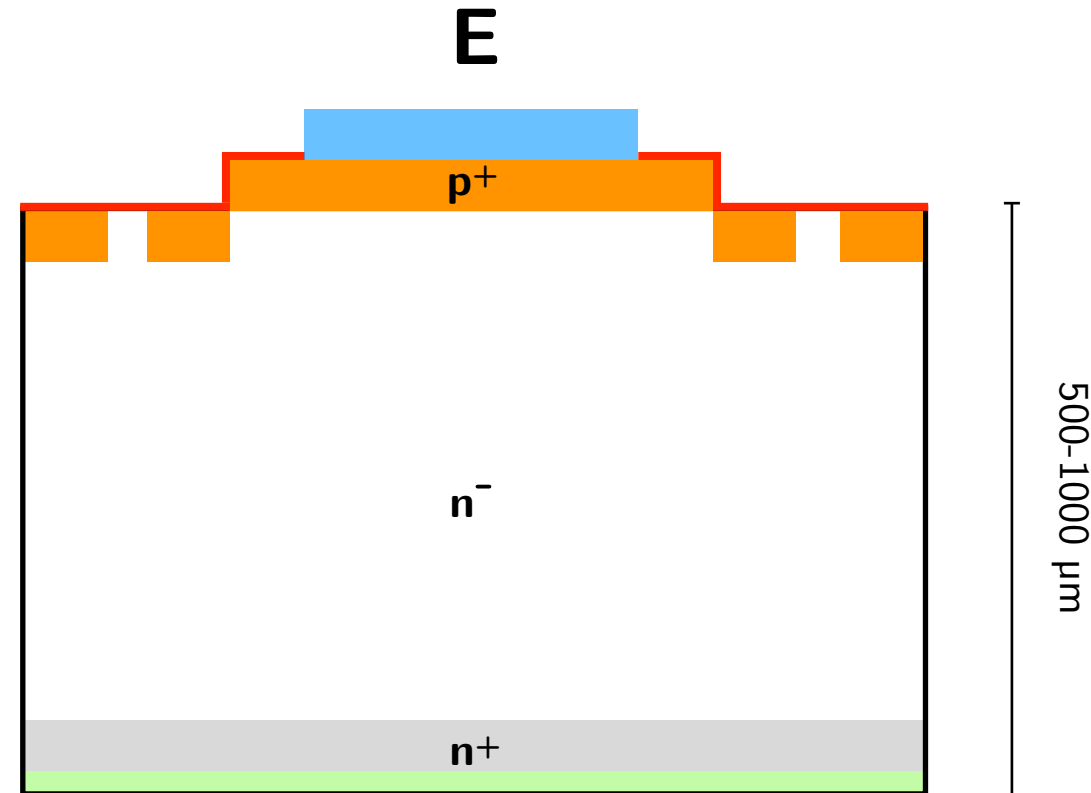
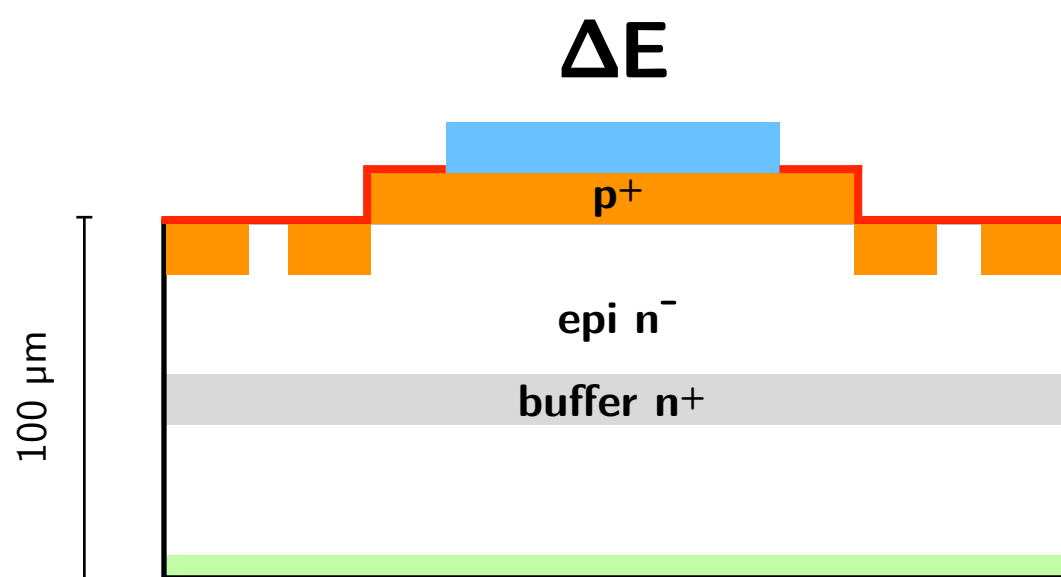
Lo spessore della *PID wall* dev'essere tale da consentire la rivelazione di ioni di energia $E_p \in (10, 70)$ MeV/u.

Considerando che $R^{(SiC)} \in (150, 2700)$ μm si ha [1]:

Stage	ΔE	ω [μm]	ΔE [MeV]
^{20}O		100	25 (40 MeV/u)
^{18}Ne		100	180 (10 MeV/u)
Stage E		500-1000	

Inoltre:

$$S/N^{(SiC)} > S/N^{(Si)}$$



Conclusioni e outlook

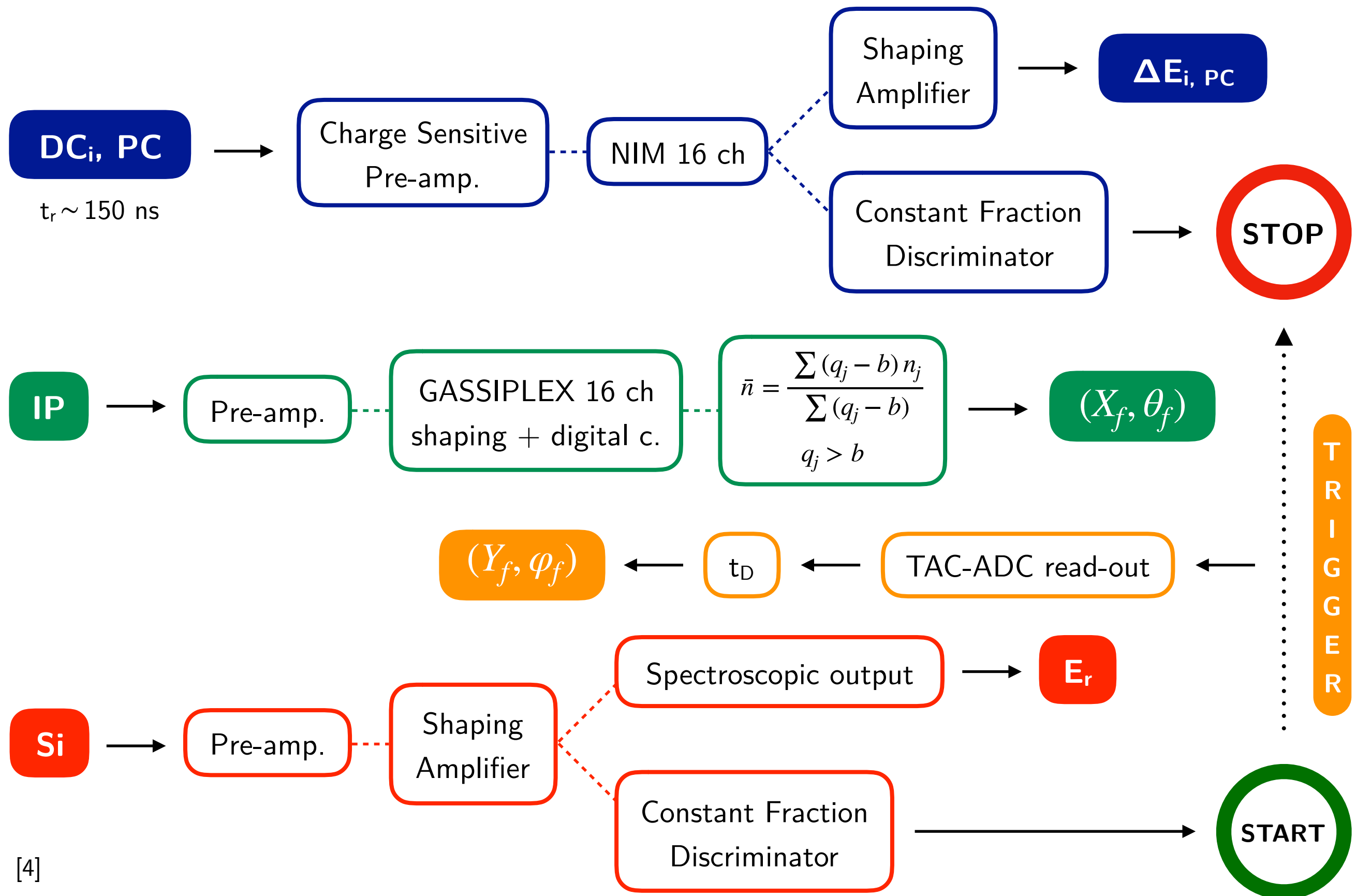
- ◆ NUMEN (INFN-LNS) ha l'obiettivo di determinare NME di $0\nu\beta\beta$ attraverso lo studio di processi DCE - utilizza lo spettrometro magnetico MAGNEX.
- ◆ FPD è costituito da un tracciatore a gas (DC + PC + IP) e da una PID wall al Si ($\delta A/A = 0.6\%$, $\delta Z/Z = 2\%$).
- ◆ L'update dell'esperimento richiede l'utilizzo di rivelatori più performanti ed è in fase di R&D un detector ΔE -E al SiC.
 - ▶ rumore termico e corrente di leakage ridotti
 - ▶ migliore resistenza ai danni da radiazione ($5 \rightarrow 500$ kHz, $10^9 \rightarrow 10^{12}$ ioni $\text{cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$)
 - ▶ tempo di risposta 10^2 ps, rapporto S/N ridotto
- ◆ Il rivelatore prevede una geometria $1 \text{ cm}^2 \times 600\text{-}1100 \text{ }\mu\text{m}$ e una configurazione $p^+ n^- n^+$.

Bibliografia

- [1] F. Cappuzzello et al. Eur. Phys. J. A (2018) 54, 72.
- [2] F. Cappuzzello et al. Eur. Phys. J. A (2016) 52, 167.
- [3] F. Cappuzzello et al. J. Phys. Conf. Ser. A (2018) 996 012008.
- [4] M. Cavallaro et al. Eur. Phys. J. A (2012) 48, 59.

Backup

FPD - principi di funzionamento



[4]