



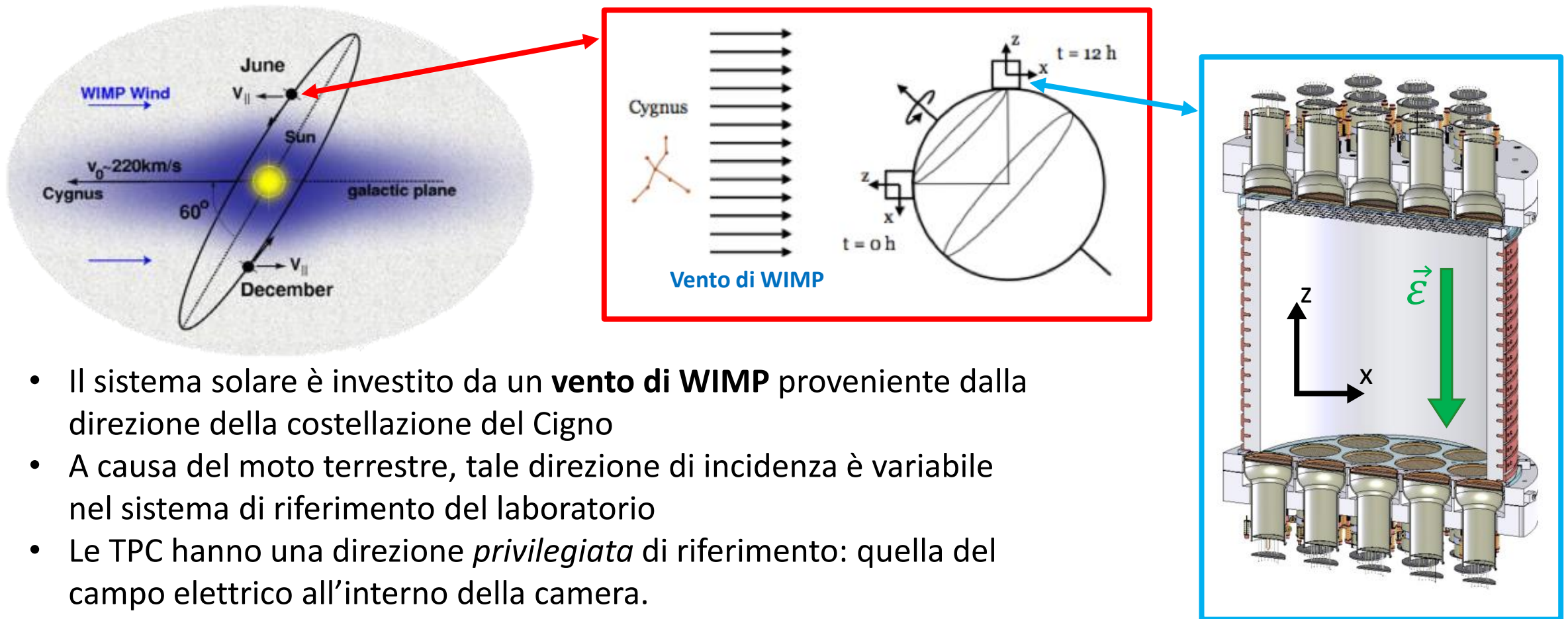
Il progetto ReD

SENSIBILITÀ DIREZIONALE PER LA RICERCA DI WIMP

SPEAKER: GIUSEPPE MATTEUCCI

25 SETTEMBRE 2019

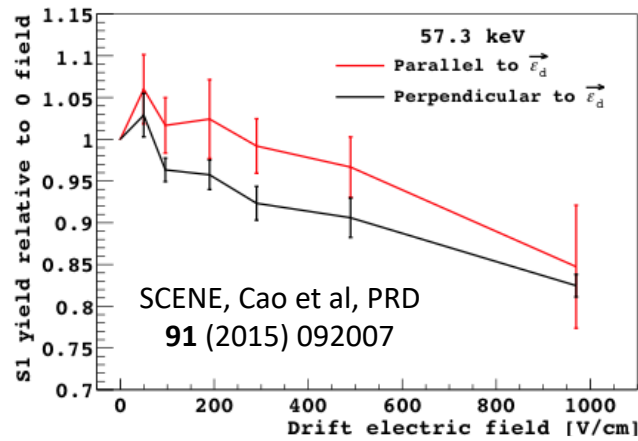
La chiave per superare il *neutrino floor*



- Il sistema solare è investito da un **vento di WIMP** proveniente dalla direzione della costellazione del Cigno
- A causa del moto terrestre, tale direzione di incidenza è variabile nel sistema di riferimento del laboratorio
- Le TPC hanno una direzione *privilegiata* di riferimento: quella del campo elettrico all'interno della camera.
- Una misura di direzione della particella incidente permetterebbe la **discriminazione tra WIMP e neutrini**

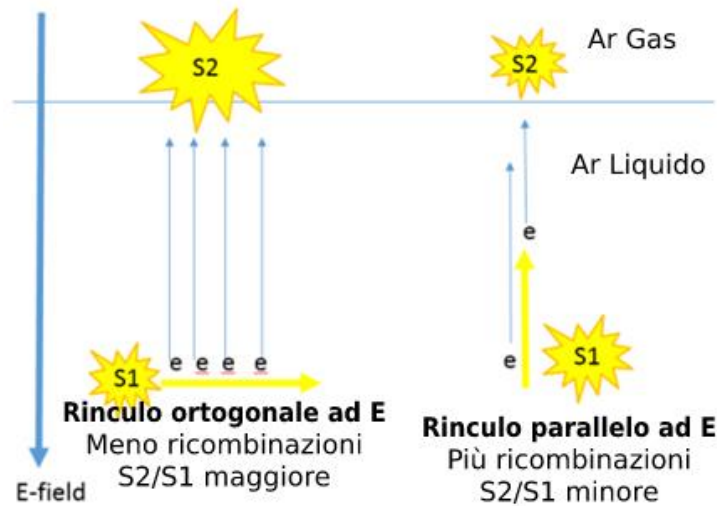
È possibile una misura di direzione?

Indizi di un effetto direzionale nella scala di energie attese per urti WIMP-Nucleo



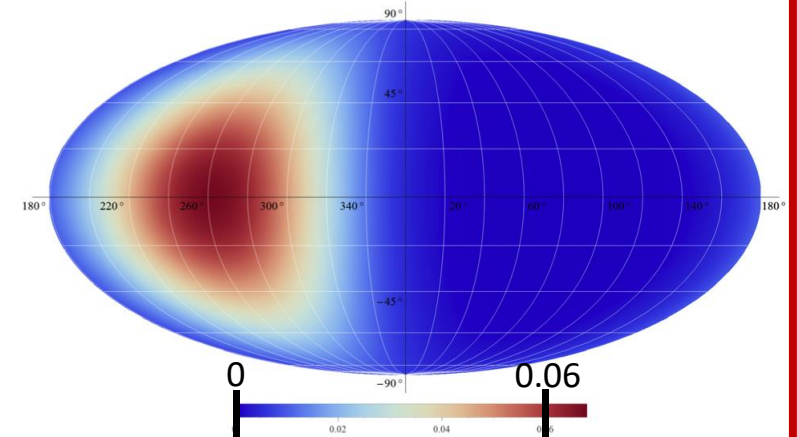
Un'indicazione proviene da SCENE: In figura la variazione del Light Yield per il segnale di scintillazione in due configurazioni: rinculo **parallelo** o **perpendicolare** al campo elettrico.

Modello teorico che giustifichi la dipendenza direzionale dei segnali



Il modello di ricombinazione colonnare prevede che il tasso di ricombinazione (e di conseguenza l'intensità dei due segnali S1 ed S2) dipenda dall'angolo di rinculo rispetto al campo elettrico.

Il rinculo nucleare preserva la direzione della particella incidente?



L'argon preserva la direzione della particella incidente. L'immagine mostra il tasso di eventi di rinculo atteso in coordinate galattiche (l,b) su proiezione Mollweide della sfera celeste.

Assunti $M_\chi = 200 \text{ GeV}$, $\sigma = 10^{-46} \text{ cm}^2$.
 La scala di colori è in eventi/100t/day/sr.

Il progetto ReD



- **ReD** nasce nella collaborazione **DarkSide** con lo scopo di caratterizzare la risposta di una TPC a rinculi nucleari:

Obiettivi:

- Verifica e caratterizzazione di **una dipendenza direzionale dei segnali**
- Caratterizzazione della risposta per **rinculi nucleari a bassissime energie (<1 keV)**
- Implementare e testare in una TPC le novità tecniche da introdurre in DarkSide-20k, rendendo ReD a tutti gli effetti un **prototipo di DS-20k**

I rinculi nucleari dell'Ar vengono prodotti con un fascio di neutroni. Un sistema a cinematica chiusa permette di conoscere **energia** e **direzione** del rinculo nucleare.

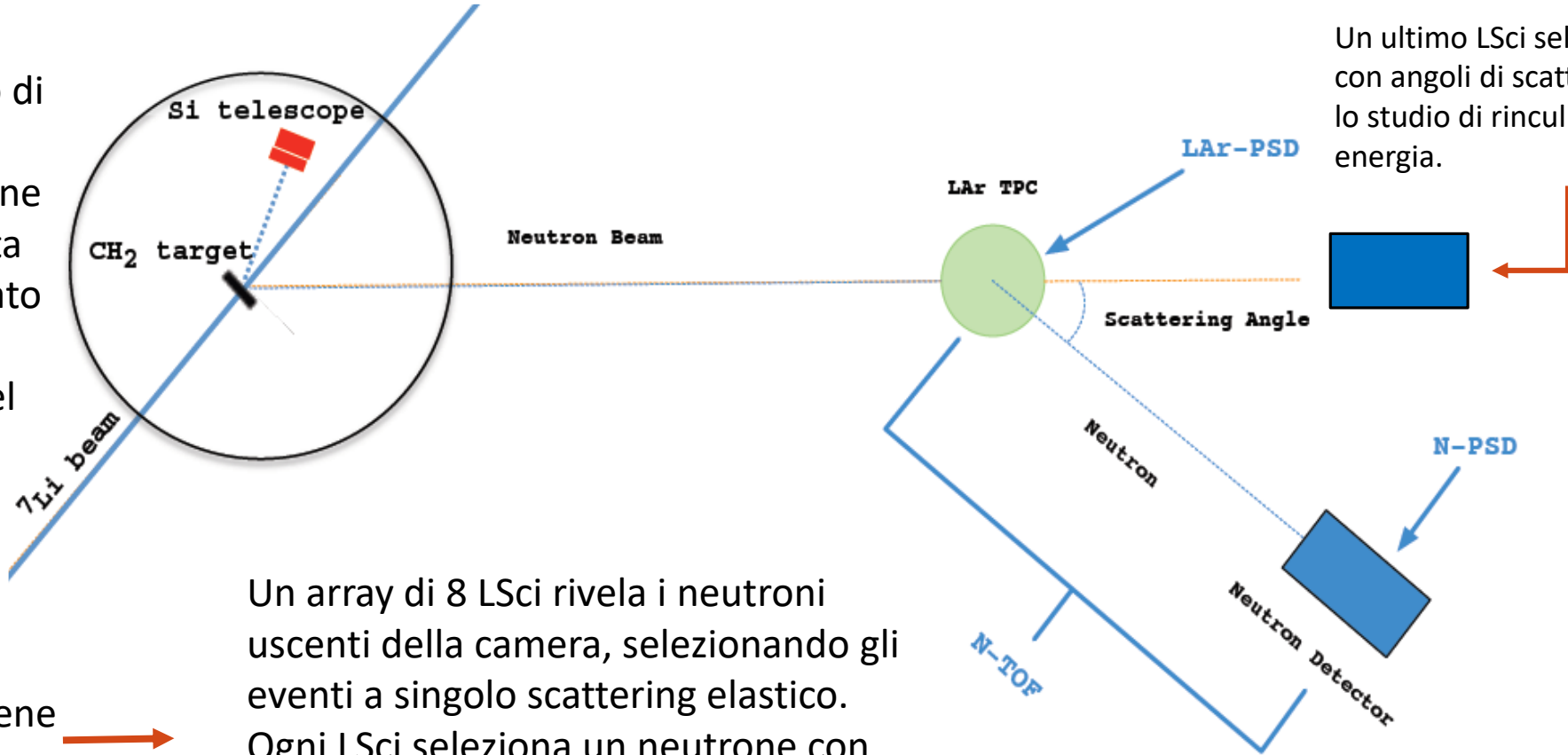
Task-List di ReD:

- ✓ Ideazione e progettazione del sistema
- ✓ Costruzione e messa in uso di una TPC a doppia fase
- ✓ Costruzione di un fascio di neutroni monoenergetico e collimato per produrre rinculi nucleari
- Assemblaggio del sistema e misura finale (fine 2019 / inizio 2020)

Schema concettuale di ReD

Scattering chamber:

Produzione di un fascio di neutroni dalla reazione $p(^7\text{Li}, ^7\text{Be})n$. La rivelazione della particella associata (^7Be) ad un angolo fissato di 5° permette di selezionare l'energia del neutrone evento per evento.



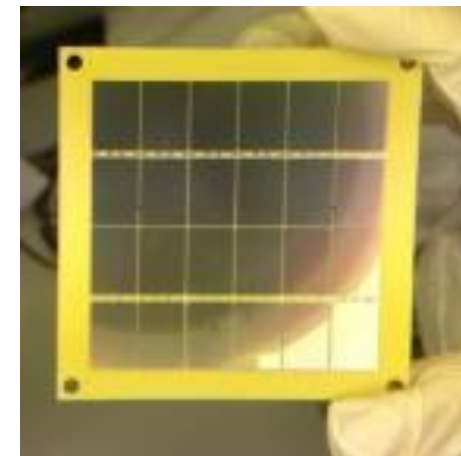
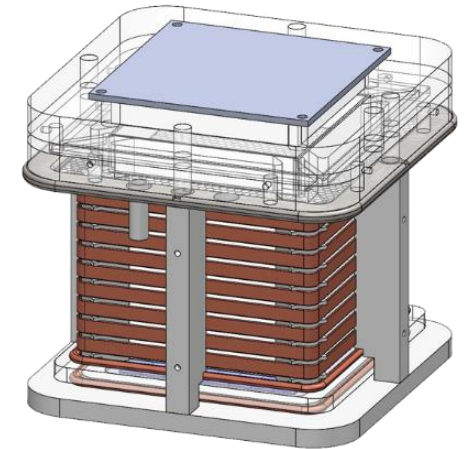
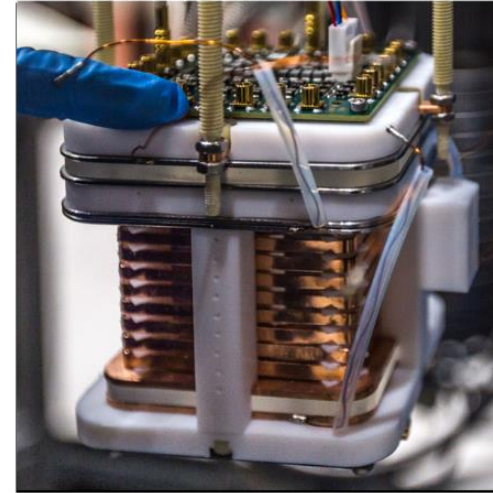
Il fascio di neutroni viene collimato e indirizzato verso la TPC

Un array di 8 LSci rivela i neutroni uscenti della camera, selezionando gli eventi a singolo scattering elastico. Ogni LSci seleziona un neutrone con **diverso angolo di scattering** rispetto alla direzione del campo elettrico.

Un ultimo LSci seleziona neutroni con angoli di scattering piccoli per lo studio di rinculi nucleari a bassa energia.

La TPC di ReD

- Prototipo mini della TPC di DarkSide-20k
 - Volume attivo: $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$
 - Gas Pocket di 7 mm
 - Rivestimento in TPB come *wavelength shifter* ($128 \rightarrow 420 \text{ nm}$)
- **Fotosensori:** 2 tiles di $5 \times 5 \text{ cm}^2$ da 24 SiPM cad.
 - 24 canali di readout (tile superiore) per migliorare la risoluzione (x,y)
 - 4 canali di readout (tile inferiore)
- **Schede elettroniche di Front End** costruite a Napoli (FEB superiore) e LNGS (FEB inferiore)
- **Ricostruzione 3D** degli eventi
 - (x,y) sfruttando la distribuzione di S2 sulla tile superiore
 - z misurato dalla distanza temporale tra S1 e S2 (drift time)
- **Discriminazione tra rinculi nucleari/elettronici** usando il parametro di discriminazione f_{prompt} su S1.

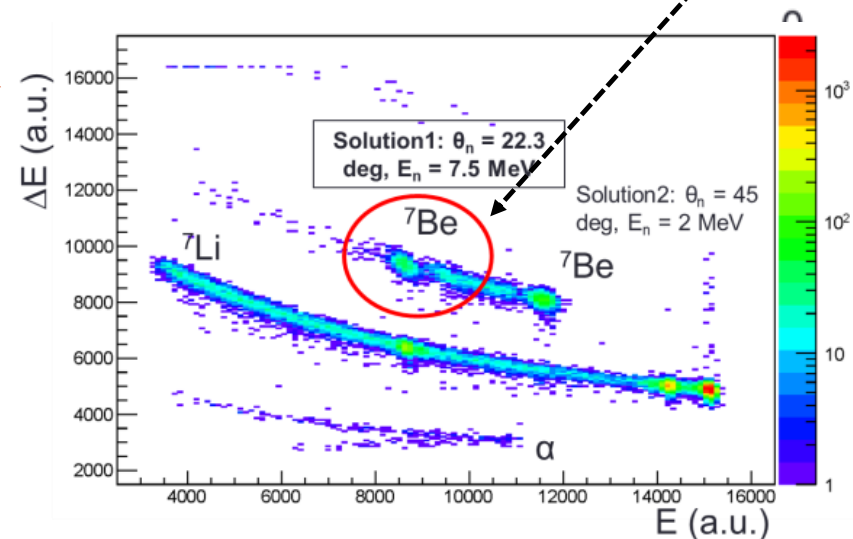
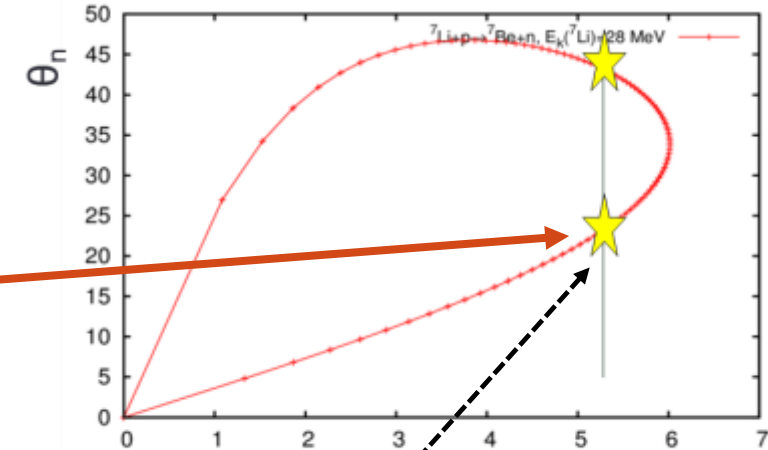


Il fascio di neutroni

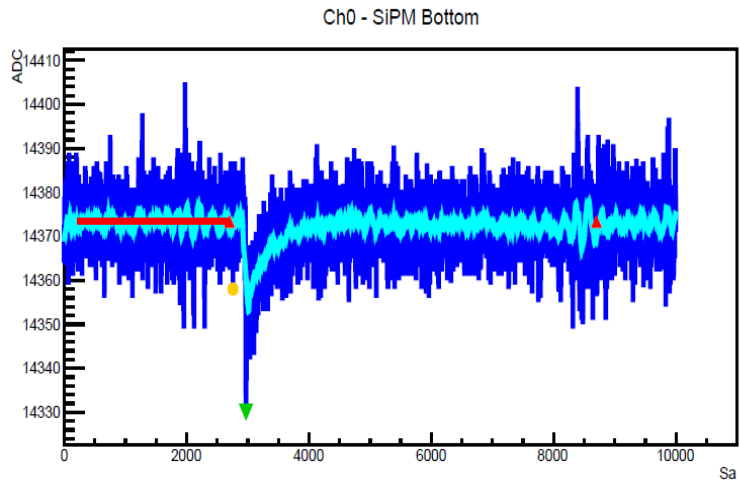
Il fascio di ${}^7\text{Li}$ a 28 MeV viene prodotto con l'acceleratore **TANDEM** di **LNS** e direzionato contro una targhetta di CH_2

- Due soluzioni del problema cinematico con $\theta_{\text{Be}} = 5^\circ$
 - Si è optato per $\theta_n = 22.3^\circ$, $E_n = 7.4 \text{ MeV}$
- Un telescopio ΔE - E permette una discriminazione in numero atomico (Li – Be)

Il sistema è stato progettato e costruito per produrre, in questa configurazione, rinculi di ${}^{40}\text{Ar}$ a 66 keV nella TPC. Per ottenere altre energie di rinculo viene variata esclusivamente l'energia del fascio di ${}^7\text{Li}$.



Calibrazione al singolo fotoelettrone

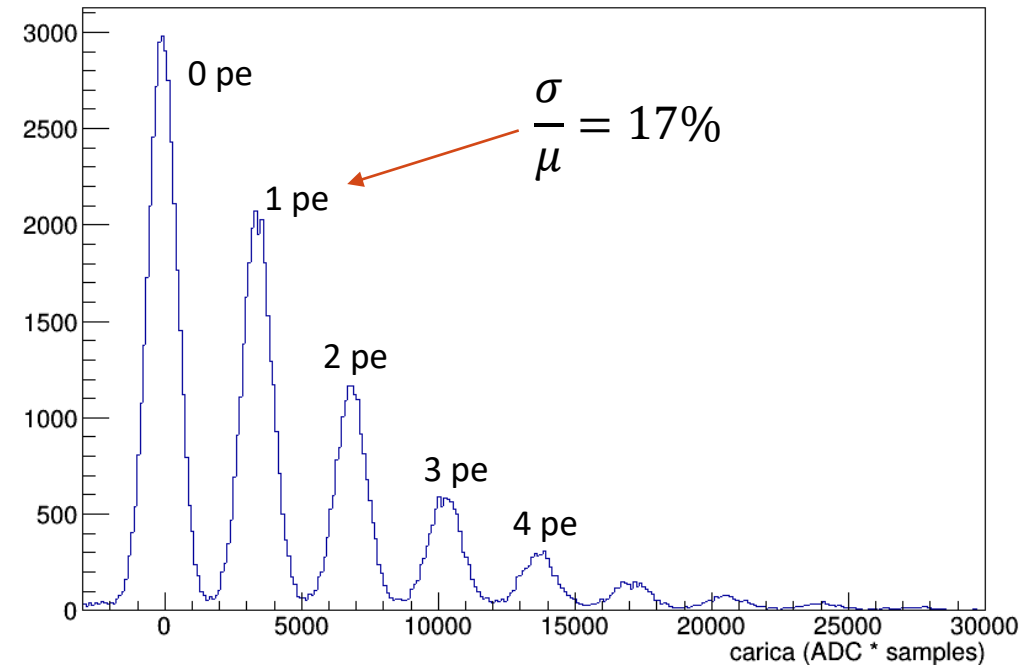


Singolo evento ottenuto da run di calibrazione laser per uno dei canali della FEB inferiore. L'integrale della forma d'onda viene registrato come carica.

La forma d'onda mostra l'andamento tipico di un **segnale S1**.



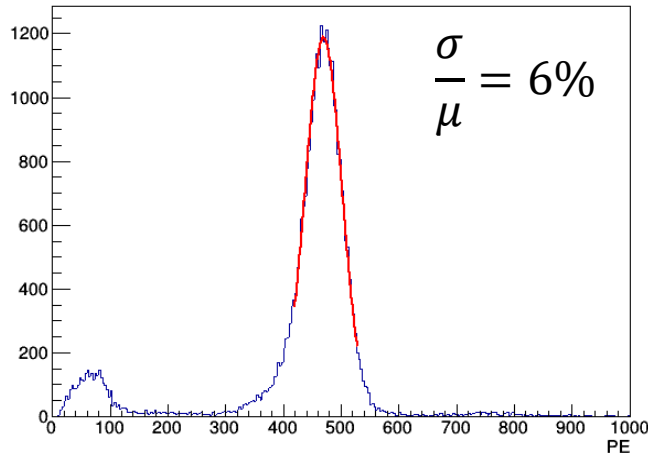
Spettro in carica - ch0



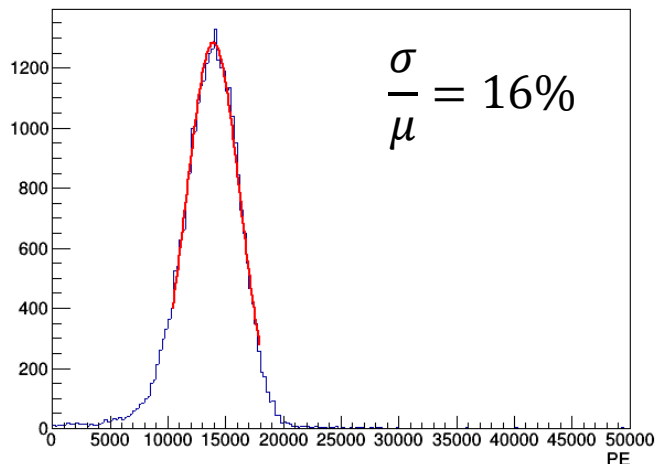
Spettro in carica per il canale 0 (FEB inferiore). Ogni picco corrisponde ad un numero di **fotoelettroni (pe)**. Dalla posizione e dalla distribuzione dei picchi si ricava la risposta al singolo fotoelettrone e il fattore di correzione per **effetto cross-talk** dei SiPM.

Calibrazione con ^{241}Am (γ 59.5 keV)

Spettro in carica per S1 - $E_d = 200$ V/cm



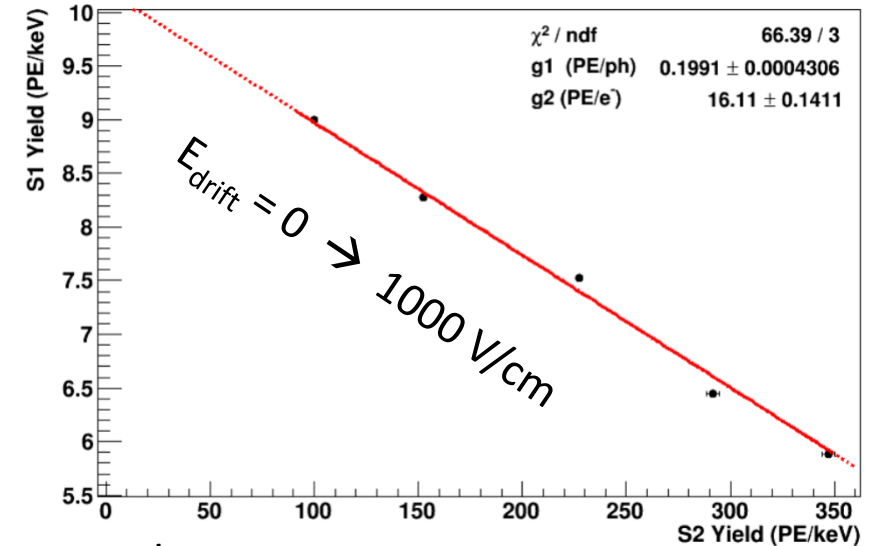
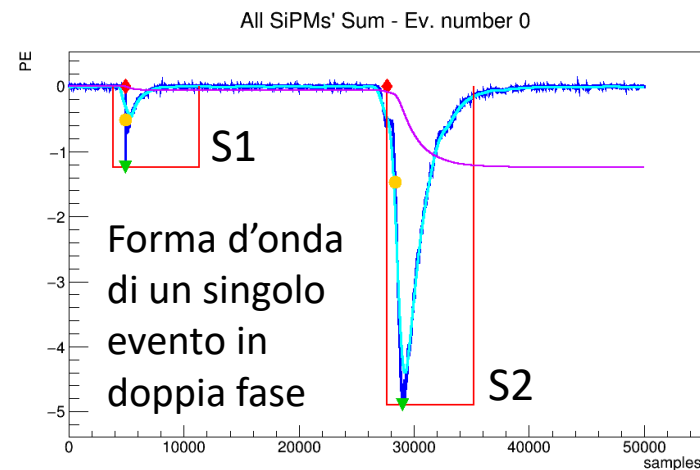
Spettro in carica per S2 - $E_d = 200$ V/cm



A sinistra:

Spettri in carica per S1 ed S2 che mostrano il fotopicco del γ emesso da ^{241}Am a 59.5 keV in uno stesso run in condizioni standard, alias:

- $E_{\text{drift}} = 200$ V/cm
- $E_{\text{elettrolum.}} = 5.79$ kV/cm



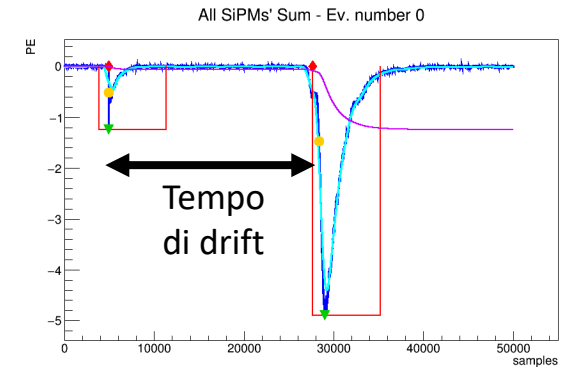
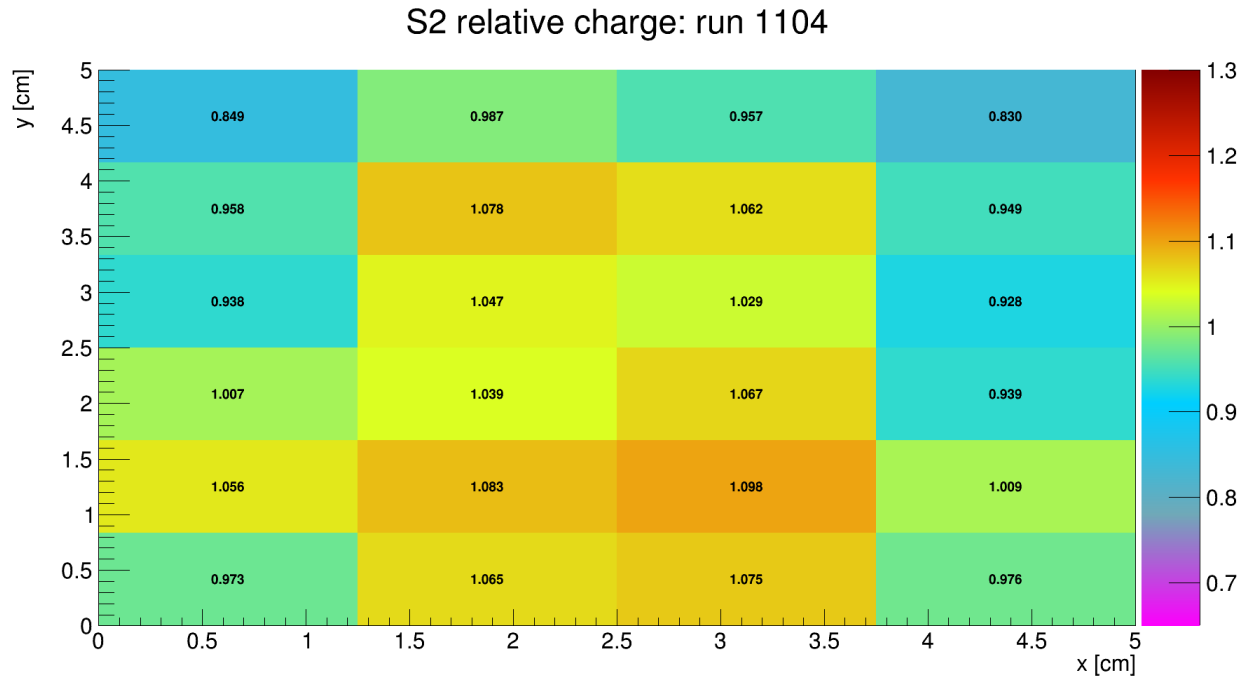
In alto:

Studio della anticorrelazione tra i segnali S1 ed S2 dalla quale è stato ricavato il guadagno per entrambi i segnali.

$$g(\text{S1}) = (0.1991 \pm 0.0004) \text{ PE/ph}$$

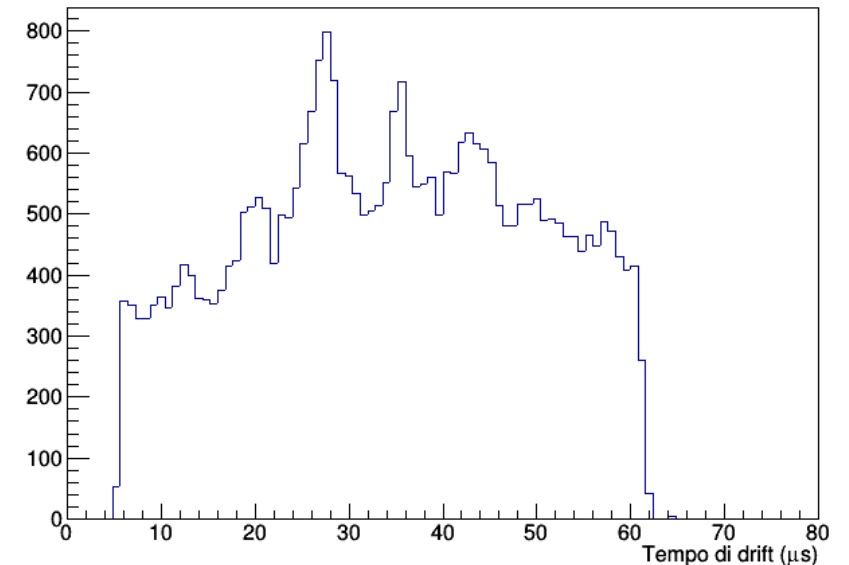
$$g(\text{S2}) = (16.1 \pm 0.1) \text{ PE/e}^-$$

Risoluzione tridimensionale



Il grafico *in alto* mostra la distribuzione spaziale in (x,y) ottenuta dal run con ^{241}Am mostrato nella slide precedente. Il readout a 24 canali per la FEB superiore permette tale risoluzione sfruttando il segnale S1. *A destra* la distribuzione in tempo di drift degli eventi. La conoscenza del tempo di drift per un evento permette di conoscere la sua posizione in z .

N. Eventi al variare del tempo di drift

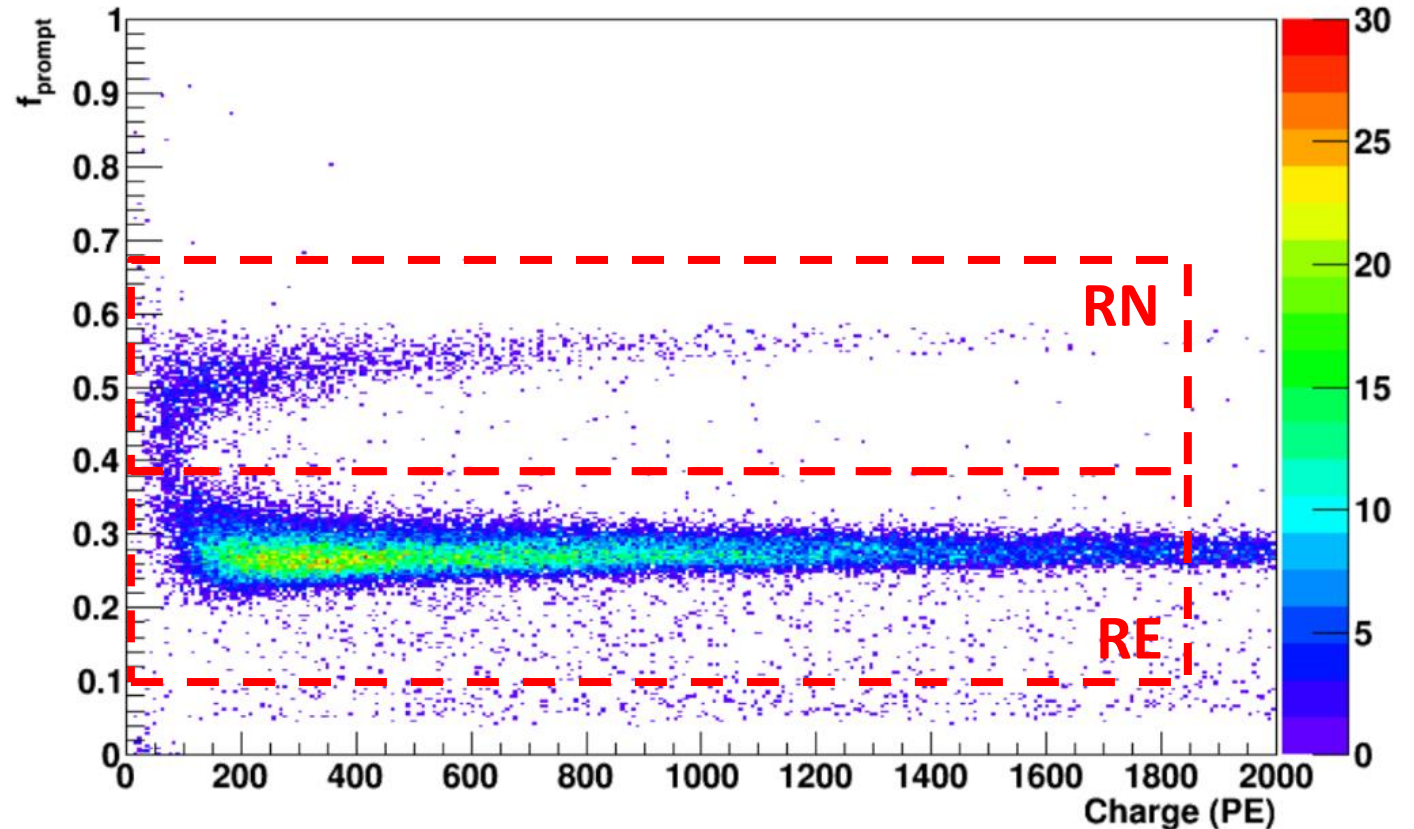


Fattore di discriminazione f_{prompt}

Nel grafico, ottenuto dal run effettuato con sorgente ^{252}Cf , è disegnato uno scatter plot per segnale S1 di f_{prompt} (PDS) vs carica.

È netta la distinzione tra rinculi nucleari e rinculi elettronici.

È in programma una serie di run con un DD Neutron Gun a Napoli per analizzare ed ottimizzare ulteriormente la risposta della TPC ai rinculi nucleari.



Conclusioni

ReD – Recoil Directionality:

- Prototipo per il futuro esperimento di DarkSide: DarkSide-20k
- Enorme impatto nel futuro della ricerca del candidato WIMP per la materia oscura
- Ogni componente è stato testato e caratterizzato individualmente
- La misura finale verrà effettuata una volta riassemblato il sistema a Catania, ai LNS

Grazie per l'attenzione!