MONDO

MOnitor for Neutron Dose for hadrOntherapy

Un tracciatore per neutroni per misure di flussi di secondari in terapia con particelle

Riccardo Mirabelli

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

CENTRO FERMI
Museo Storico della Fisica e
Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi

INFN

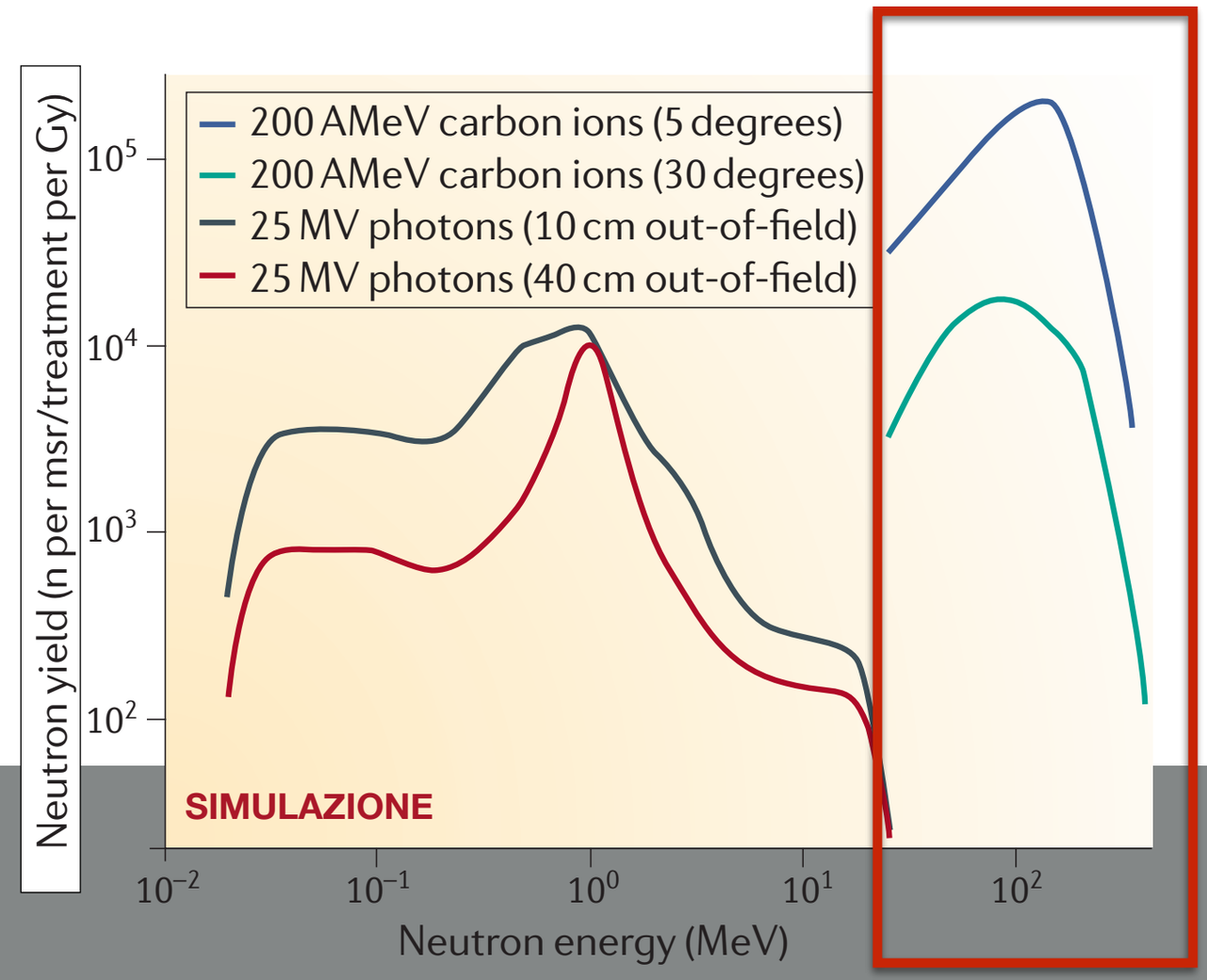
102° Congresso della Società Italiana di Fisica
Padova - 29 Settembre 2016

NEUTRONI SECONDARI

I neutroni vengono prodotti (come i protoni) nelle interazioni nucleari del fascio con i tessuti. La loro energia tipica è compresa tra qualche *MeV* e l'energia del fascio (tipicamente ~300 MeV):

L'energia dei neutroni secondari viene poi degradata tramite interazioni successive nel paziente e nella sala di trattamento (es. muri, lettino) fino a raggiungere energie di pochi keV...

I neutroni più dannosi sono quelli con energia di qualche MeV



PER CARATTERIZZARE I NEUTRONI SECONDARI BISOGNA MISURARE QUELLI DI ALTA ENERGIA

M.Durante W.D. Newhauser doi:10.1038/nrc3069

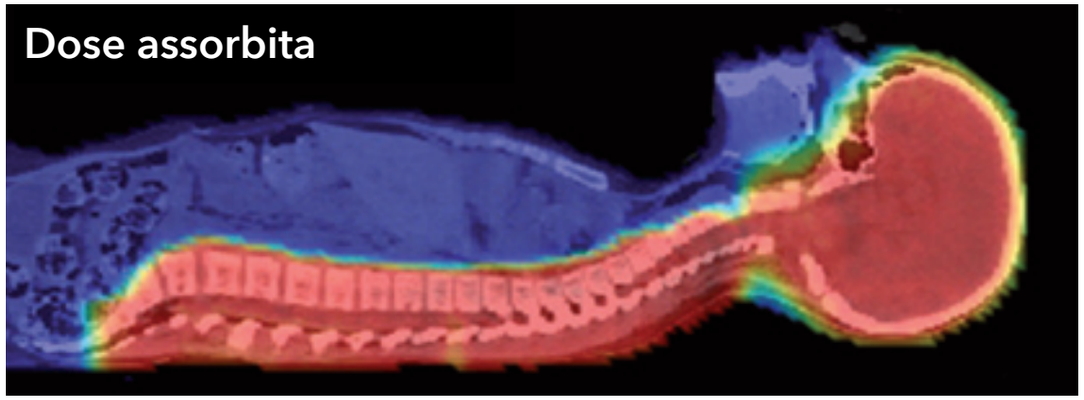
NEUTRONI E NEOPLASIE SECONDARIE

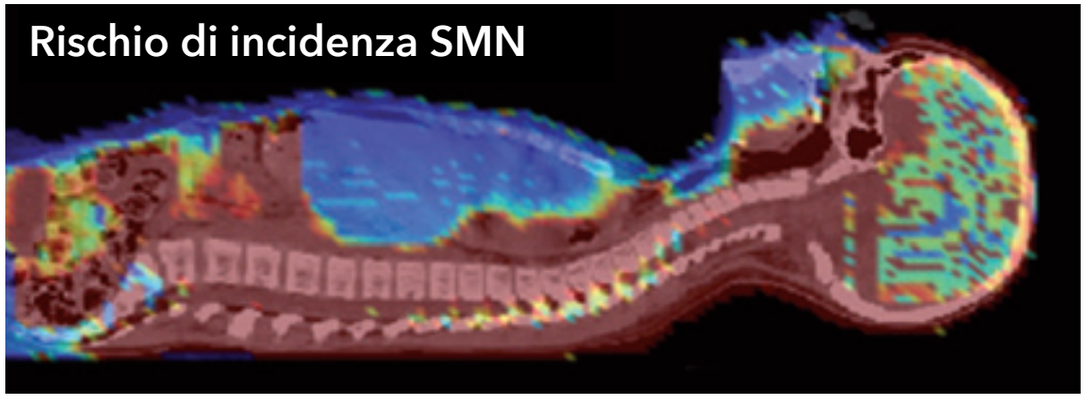
SMN: Secondary Malignant Neoplasie

Le possibili **ricadute** indotte dalla dose dei neutroni sono il limite principale alla Terapia con Particelle, in particolare nel caso dei **trattamenti pediatrici**

I neutroni secondari sono tra i principali produttori di dose addizionale sul paziente, inoltre tale dose viene rilasciata in modo non ancora totalmente noto anche in organi molto lontani dal volume in trattamento.

Questo fenomeno è alla base dello sviluppo (anche molti anni dopo il trattamento) di Neoplasie Secondarie con impatto diretto sulla valutazione dell'aspettativa di vita del paziente





Trattamento pediatrico di tumore cranio-spinale

M.Durante W.D. Newhauser doi:10.1038/nrc3069

NEUTRONI E PRINCIPIO DI RIVELAZIONE

Requisiti del rivelatore:

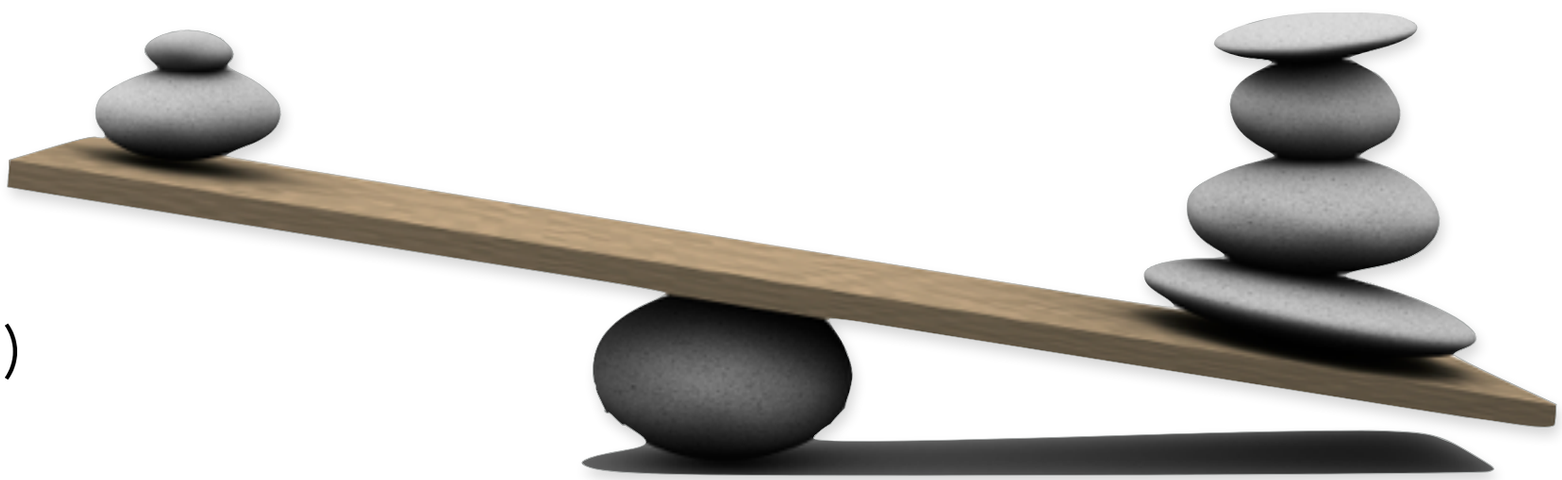
1. Alta risoluzione spaziale

2. Possibilità di misurare direzione ed energia

3. Alta sezione d'urto per i neutroni di E_{kin} [20-300] MeV (scattering elastico)

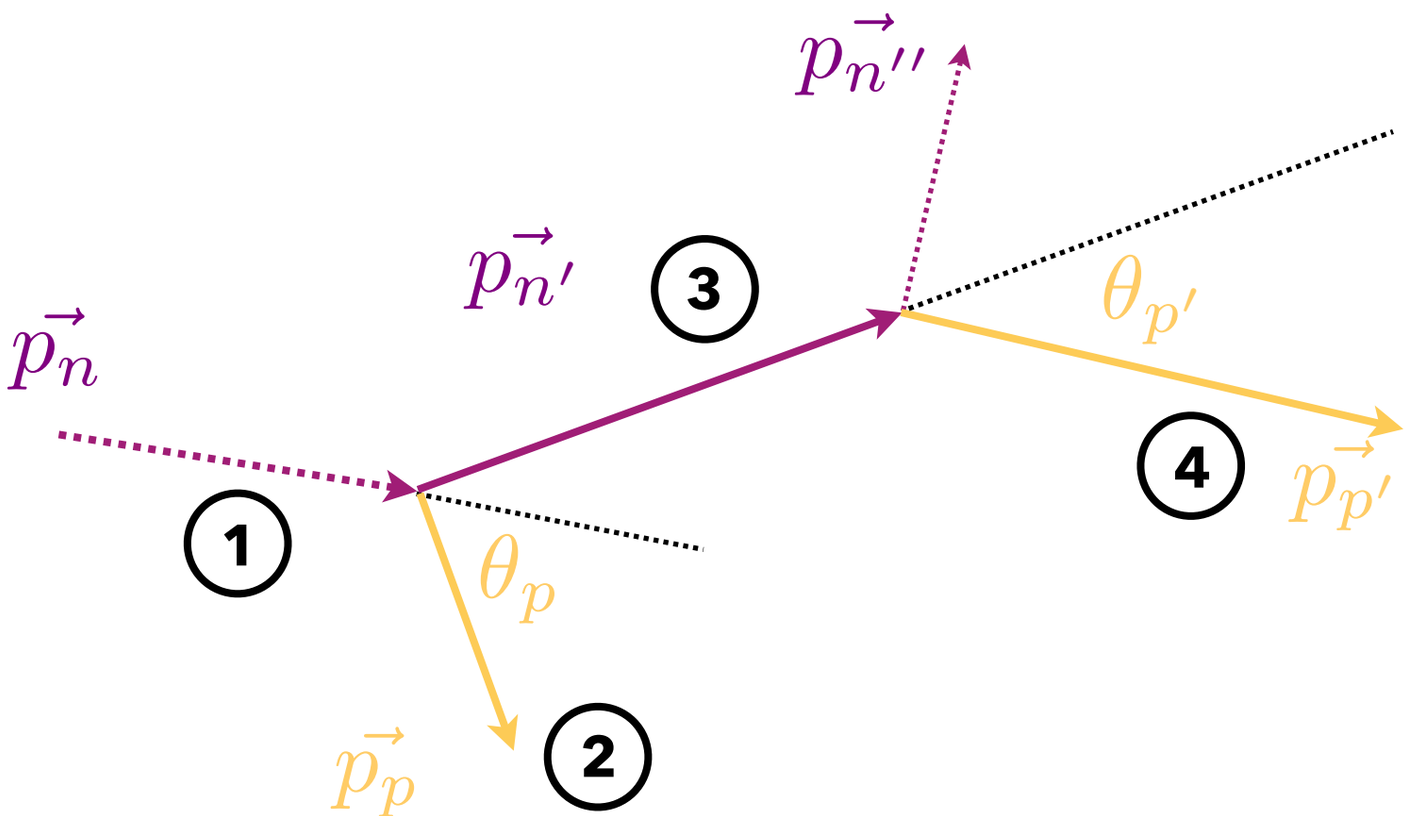
4. Compatto (deve poter entrare in sala di trattamento!)

- Il flusso di neutroni secondari atteso non è elevato (~10^{-3} sr^{-1}): le misure su secondari, non direttamente su fascio!
- I neutroni nelle loro interazioni producono anche particelle cariche => sono facili da tracciare



UN TRACCIATORE PER NEUTRONI

Sfruttiamo il doppio scattering elastico



1. Interazione scattering elastico (ES) del neutrone
2. Rinculo del protone

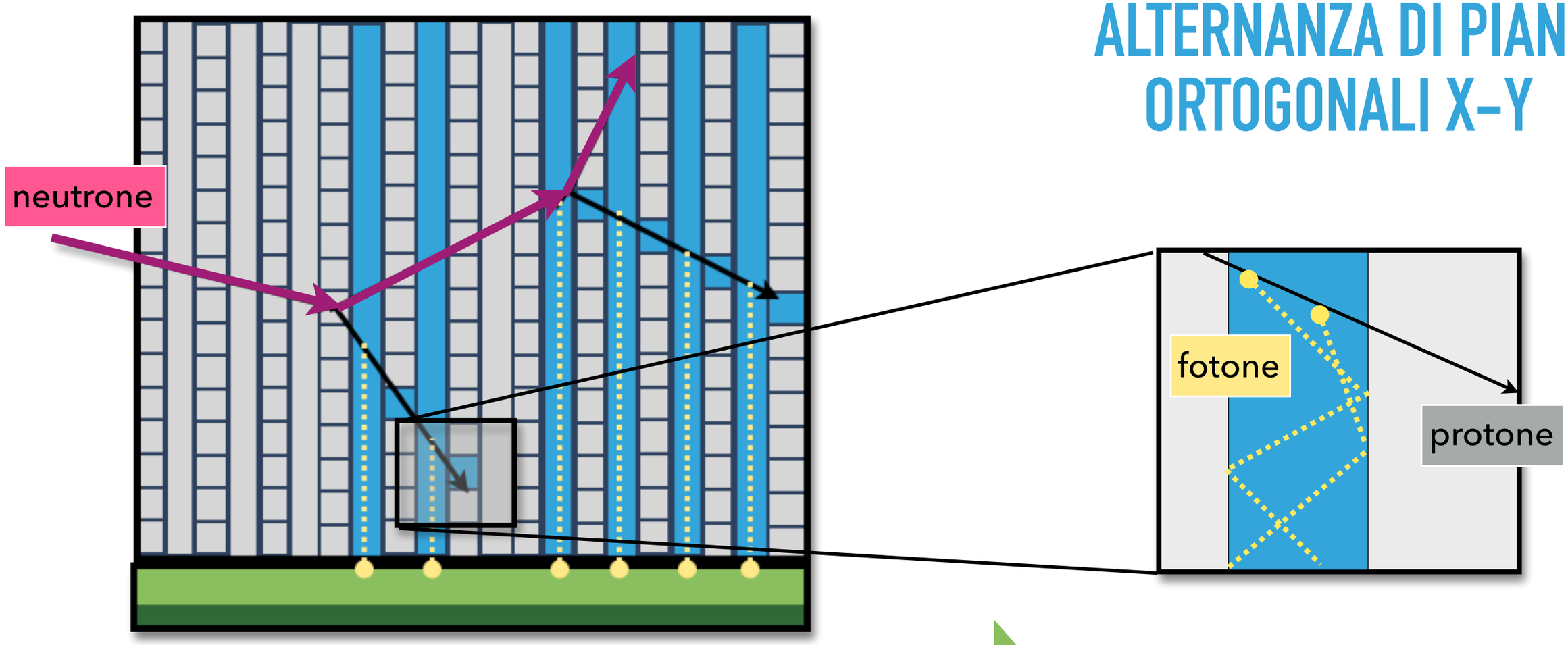
$$\vec{p_n} = \frac{p_p}{\cos\theta_p}\hat{n}$$

3. Il neutrone diffuso interagisce nuovamente tramite ES
4. Rinculo di un altro protone

$$\vec{p_{n'}} = \frac{p_{p'}}{\cos\theta_{p'}}\hat{n}'$$

UN TRACCIATORE PER NEUTRONI

Sfruttiamo il doppio scattering elastico



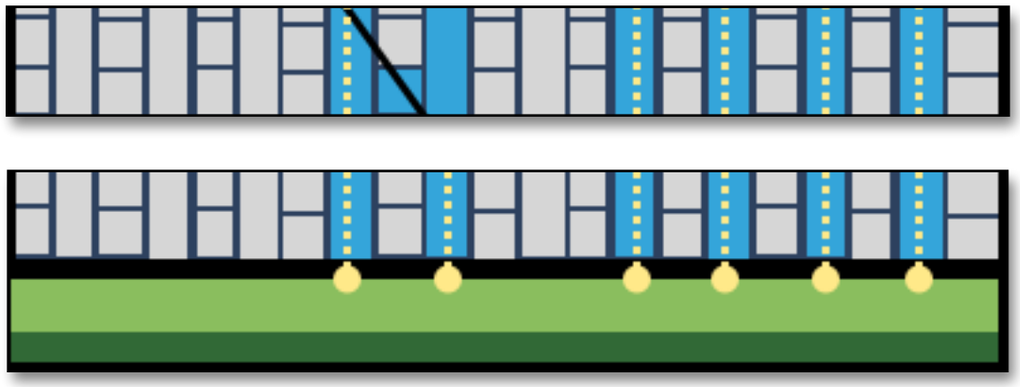
ALTERNANZA DI PIANI ORTOGONALI X-Y

il READOUT dei segnali

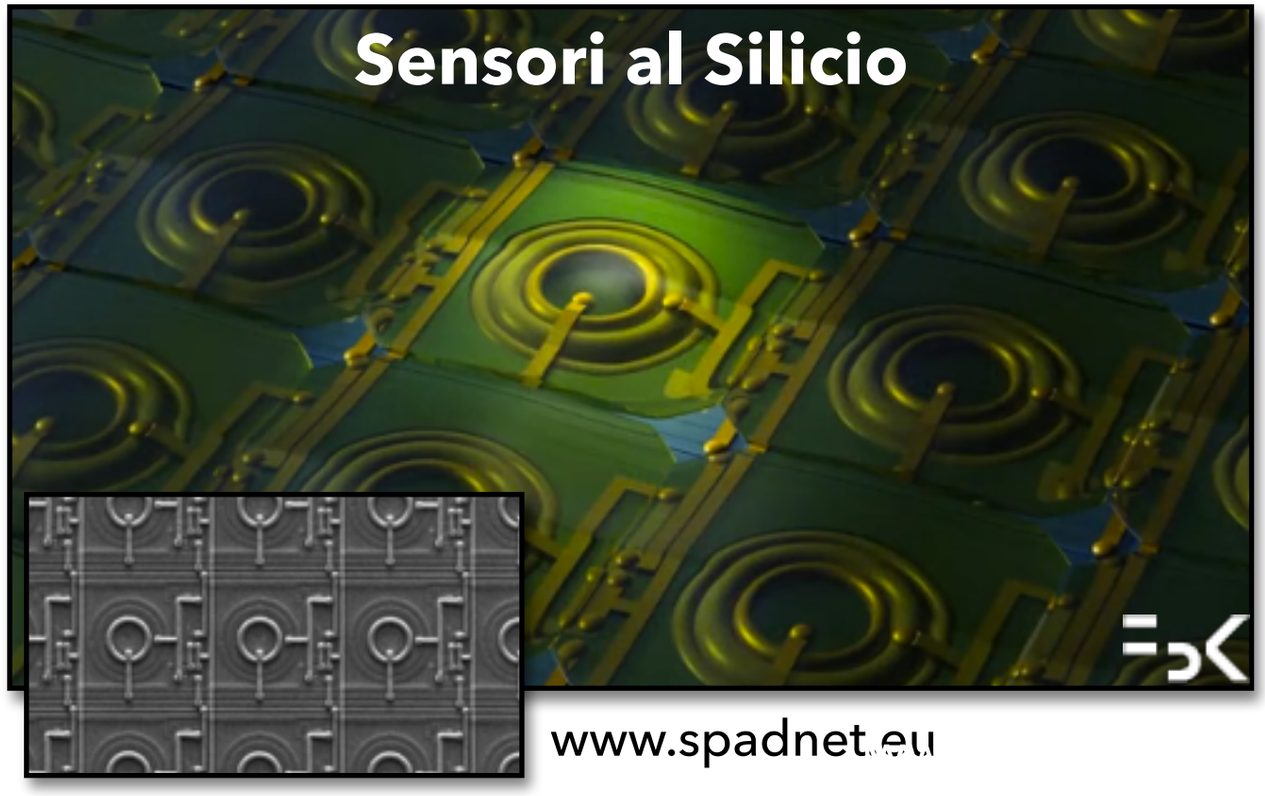
Dimensioni del tracciatore: 10x10x20 cm^3
Fibre scintillanti quadrate: 250 μm

UN TRACCIATORE PER NEUTRONI

Il READOUT dei segnali



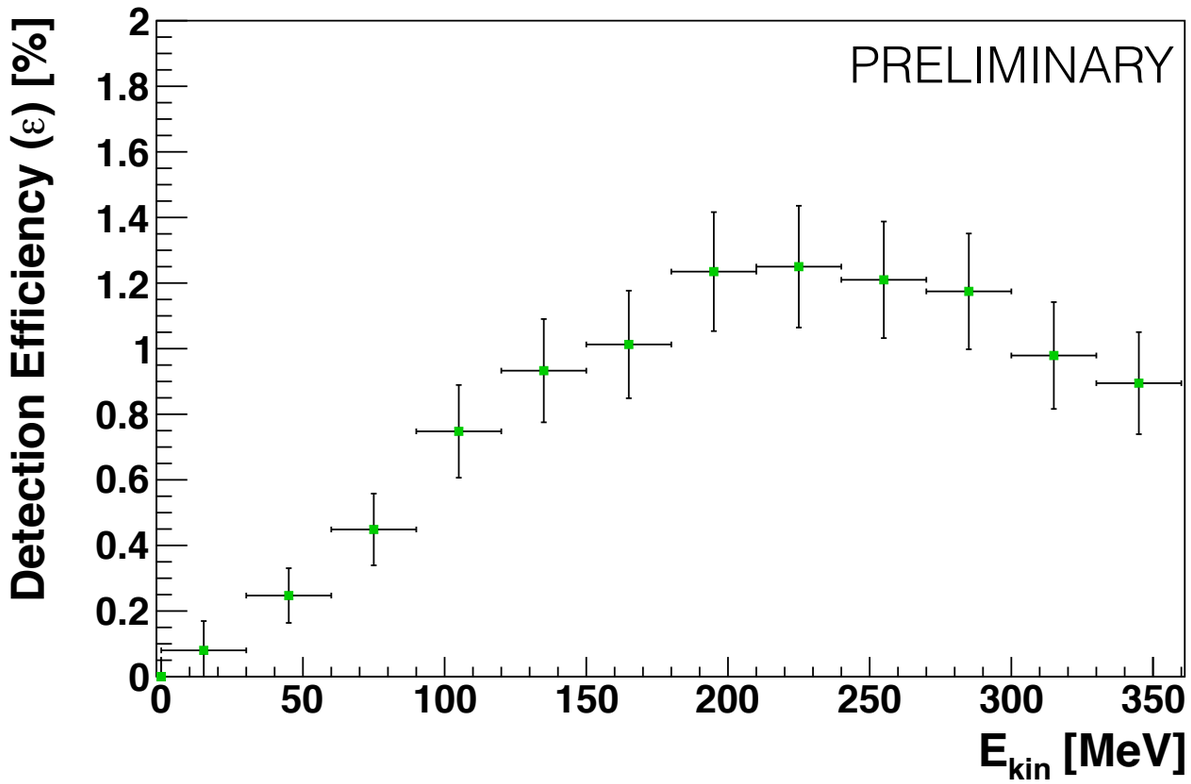
1. Necessità di mantenere la risoluzione spaziale delle fibre
2. Pochi fotoni da rivelare con un segnale di < 5ns

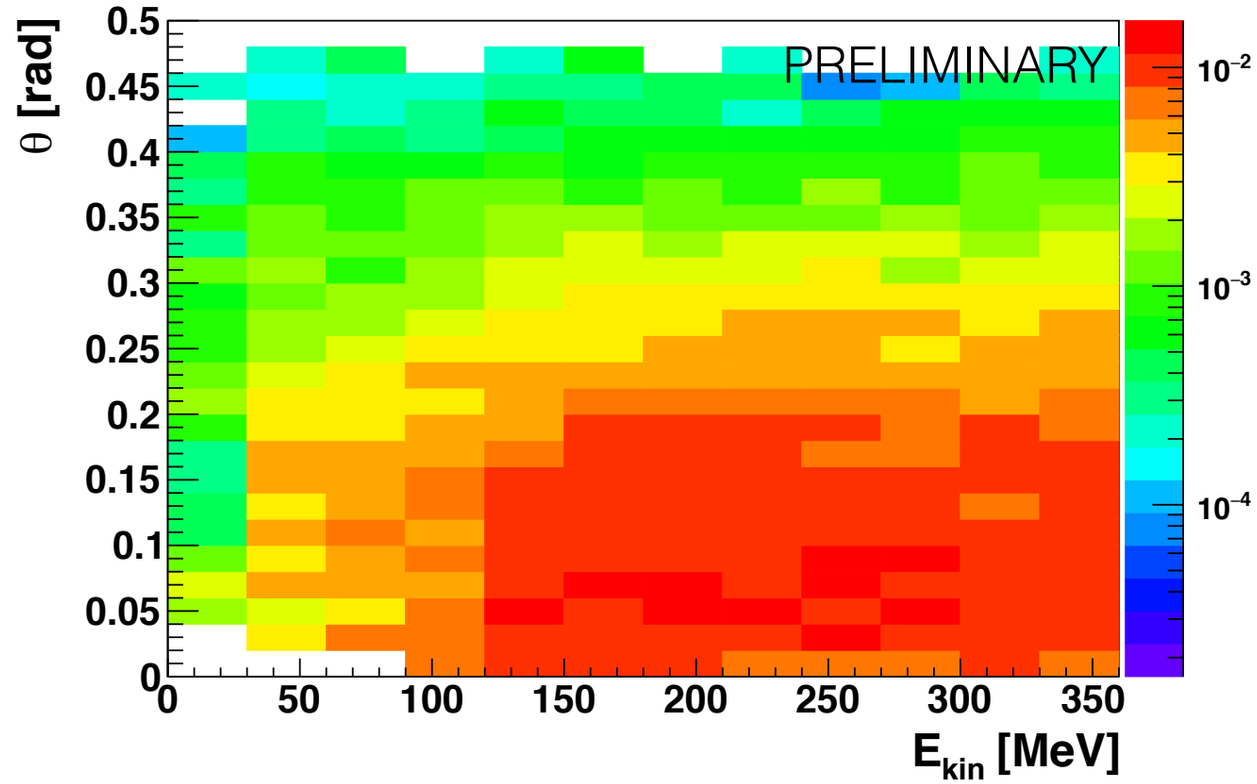


La dimensione dei pixel dei sensori al silicio può essere ottimizzata in base alle necessità

Le peculiarità di questo sensore sono la possibilità di sopprimere gli SPAD più rumorosi (limitando quindi la corrente di buio) e l'implementazione di una logica di trigger intelligente che rende l'oggetto in grado di separare efficientemente il segnale dal fondo.

SIMULAZIONE





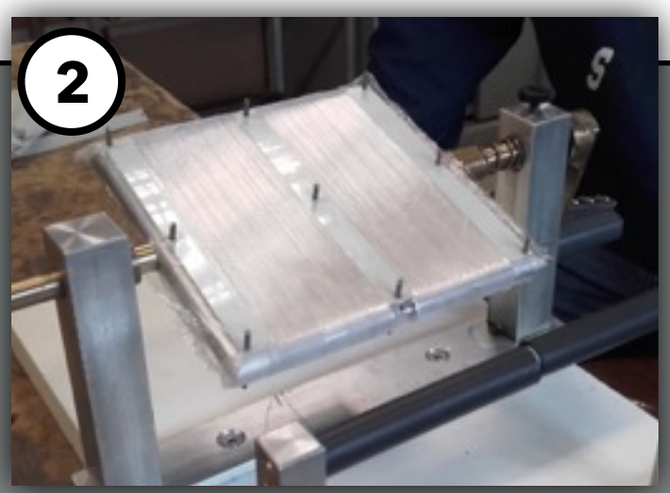
Attraverso una simulazione in FLUKA è stata calcolata la capacità dell'oggetto di contenere due protoni emessi per scattering elastico in funzione dell'energia cinetica del neutrone incidente e dell'angolo di emissione dei protoni stessi.

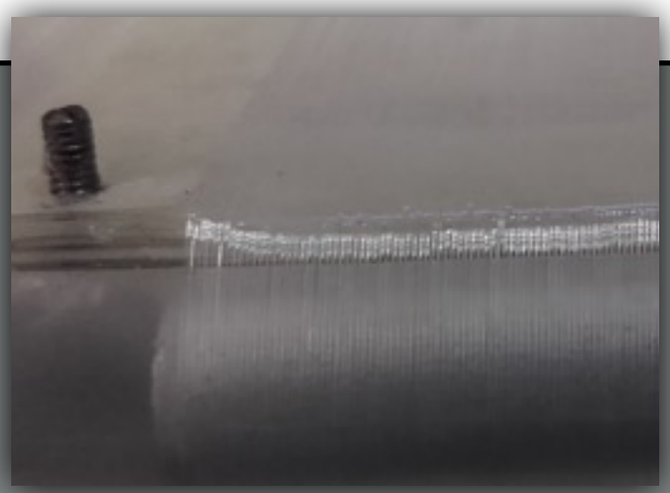
Ad alte energie l'efficienza è dominata dalla geometria del sistema.

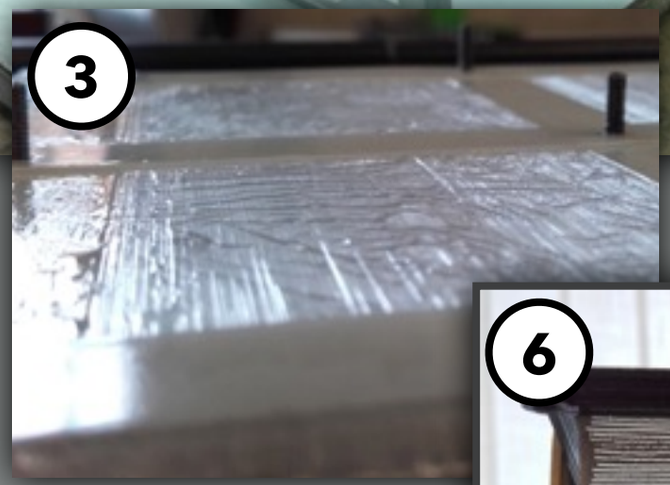
UN TRACCIATORE PER NEUTRONI

Realizzazione di un PROTOTIPO

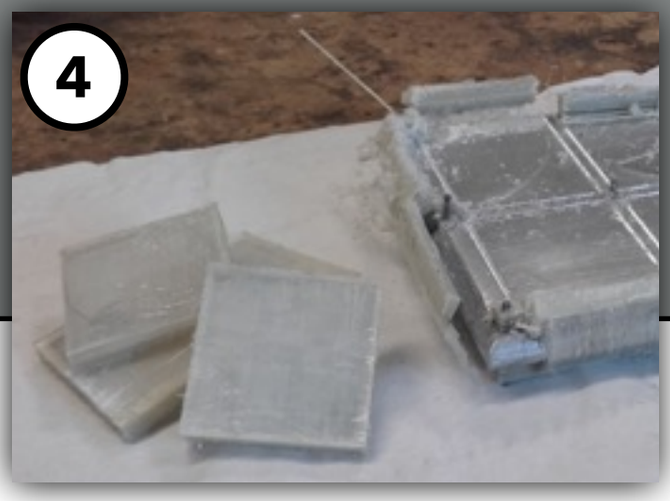
dimensioni: 4 x 4 x 4.8 cm^3

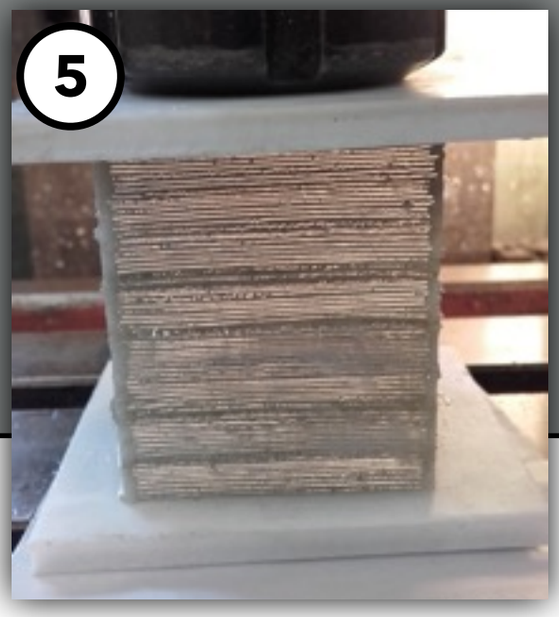






In ~ 45 ore di lavoro

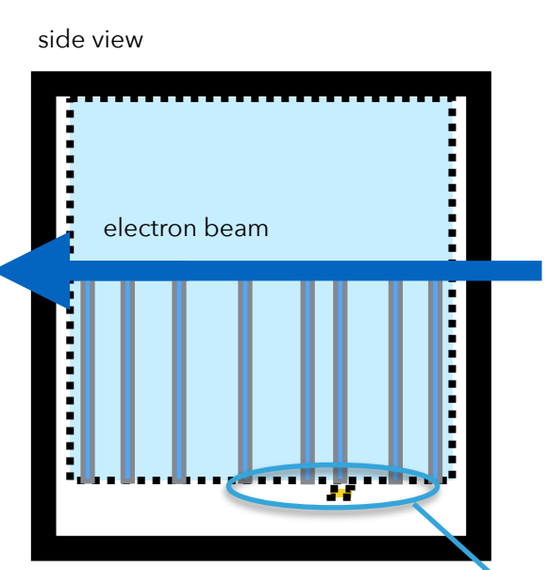


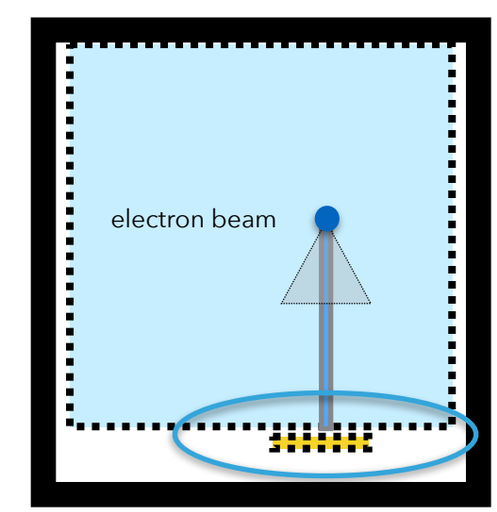


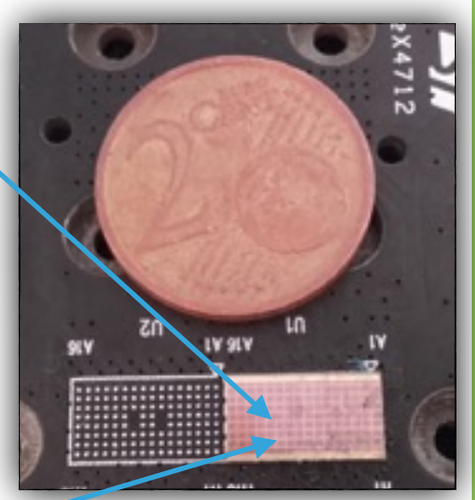
RICOSTRUZIONE DELLE TRACCE

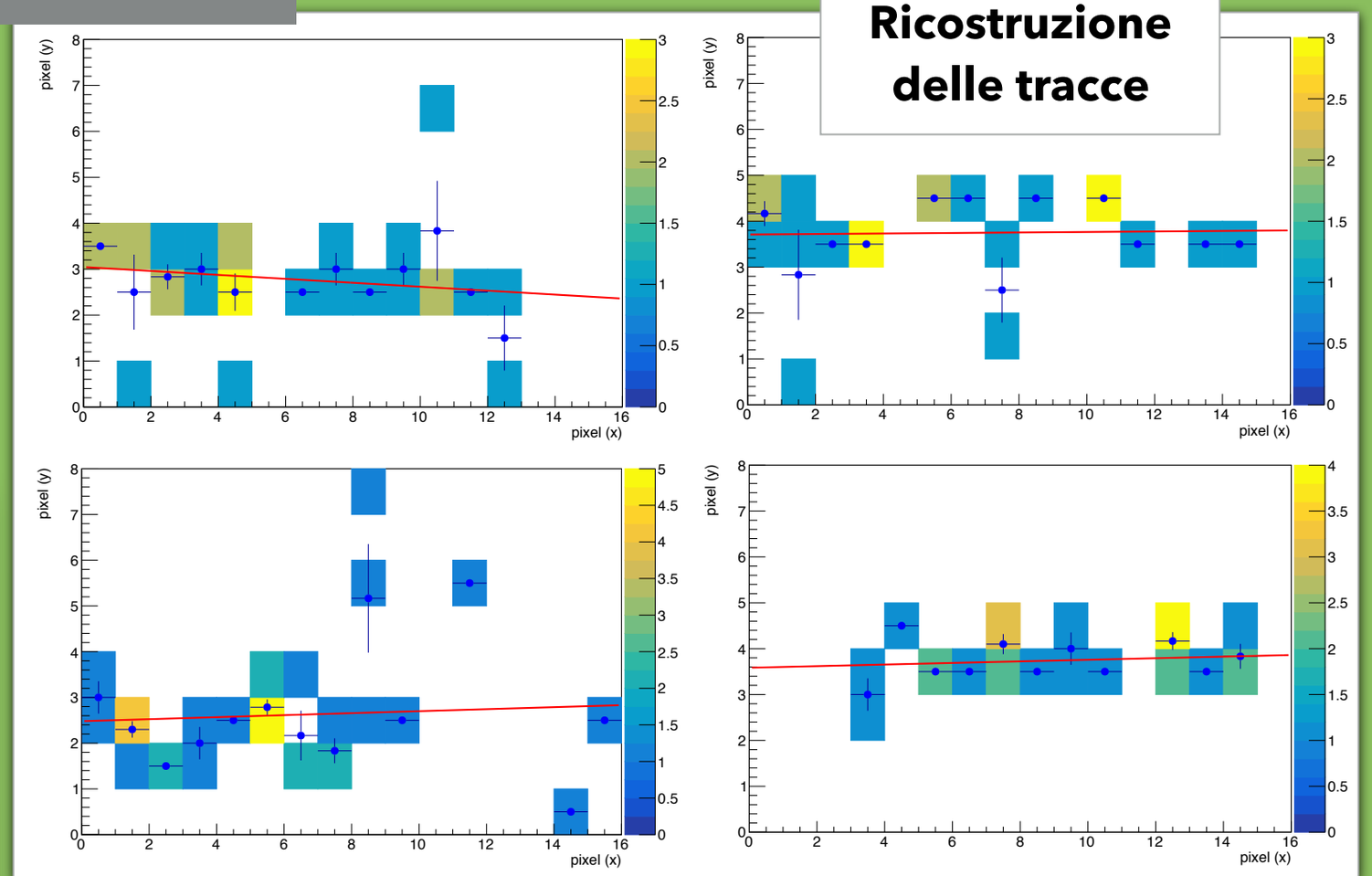
Il sensore finale è in fase di realizzazione; per le prime misure è stato utilizzato un prototipo ottimizzato per leggere dei cristalli LYSO. La caratterizzazione del prototipo ci ha permesso di individuare i parametri fondamentali e le criticità dell'oggetto esistente e di progettare un sensore ottimizzato per MONDO.

Fascio di elettroni monocromatici (~300 MeV):









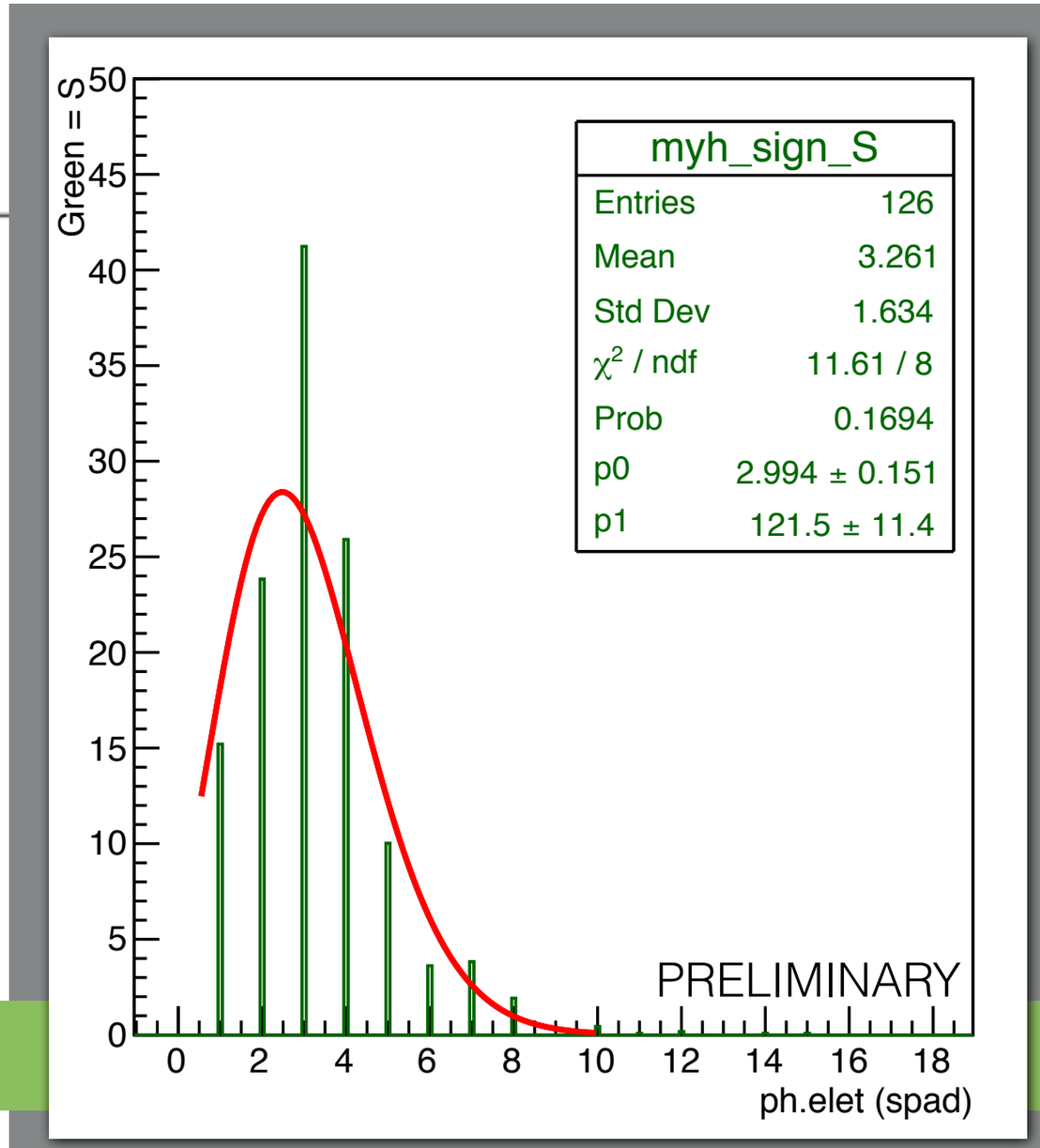
16 x 8 Pixel del sensore 600 μm : fibre di 250 μm di lato

VALUTAZIONE DEL SEGNALE

Il segnale atteso sulla superficie del sensore

Deposit energy in fiber	50 keV in 250 μm
Fiber light yield	8000 γ/MeV
Fiber trapping efficiency	7%
N_{γ}^{prod}	$\sim 30\,\gamma$
	Sensor
Quantum Efficiency	33%
Fill Factor	40%
N_{SpadOn}	60%
$N_{ph.el}$	~ 3

Un protone rilascia nella fibra ~3 volte l'energia di un elettrone al minimo di ionizzazione



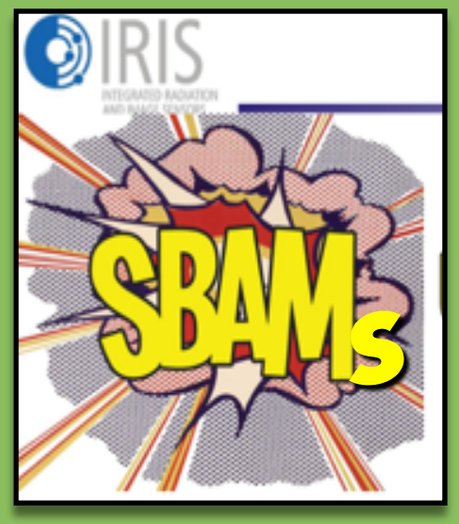
E' stato misurato il numero di fotoelettroni prodotti da un singolo piano di fibre in accoppiamento con il sensore.

per fibra Ph.el ~ 3 sul sensore

SENSORE AL SILICIO OTTIMIZZATO

PUNTO DI PARTENZA PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SENSORE

- Pixel 125 μm
- Sensori affiancabili
- Fill Factor → 40%
- Spazio morto omogeneo
- Efficienza quantica → 33%
- Dark currents per SPAD → 1KHz
- Logica di trigger adatta a segnali corti



Studio di fattibilità

CONCLUSIONI

1. L'interazione del fascio con i tessuti produce particelle secondarie. La componente secondaria dei **neutroni** richiede **una caratterizzazione più accurata → allargare i margini di rischio nei TPS.** I neutroni sono tra i possibili responsabili dell'**aumento di incidenza di neoplasie secondarie;**

2. Il progetto **MONDO** vuole realizzare il primo rivelatore direzionale per neutroni veloci ed ultra veloci. La piccola dimensione permetterà di caratterizzare il flusso e lo spettro in varie sale di trattamento;

TRACCIATORE

3. E' stato realizzato uno studio di fattibilità per la realizzazione di un nuovo sensore ed è ora in fase di costruzione la prima versione dei chip.
Il prototipo di tracciatore sarà interfacciato con il sensore ottimizzato e verrà contestualmente iniziata la procedura di costruzione del rivelatore finale.

WORK WITH US

michela.marafini@roma1.infn.it
vincenzo.patera@lnf.infn.it

http://arpg-serv.ing2.uniroma1.it/arpg-site/

GRAZIE!

Riccardo Mirabelli per la collaborazione MONDO

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

CENTRO FERMI
Museo Storico della Fisica e
Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi

INFN