

# Rivelatori e radiazione in applicazioni mediche

L. Servoli, K. Kanxheri  
e altri ...

*Ma non  
solo...*



[leonello.servoli@unipg.it](mailto:leonello.servoli@unipg.it), [keida.kanxheri@unipg.it](mailto:keida.kanxheri@unipg.it)

# Sviluppo e/o uso innovativo di sensori di radiazione ionizzante

**Scopo:** fornire risposte a problemi reali di misura delle radiazioni ionizzanti (rivelatori esistenti non adeguati).

**Caratteristiche comuni a tutte le proposte:**

- 1) **esiste un problema definito da altri ;**
- 2) **gruppo di lavoro variabile ma solitamente interdisciplinare (fisici, ingegneri, medici, fisici medici, ....);**
- 3) **i rivelatori e le tecniche di lavoro possono essere diverse da caso a caso, ma sempre necessaria una fase di analisi dati.**

Possibili sia tesi triennali che magistrali per quasi tutte le tematiche

# Collaborazioni:

Variano da argomento ad argomento.....

Dip. di Fisica, Ingegneria, Medicina ....

Un elenco non esaustivo:

Uni. Italiane → Univ. Firenze, Univ. Lecce, Univ. Sapienza

Uni. Estere → Univ. Manchester (UK), Univ. Wollongong (AU)

Istituti ricerca → EPFL Neuchatel (CH), GSI Darmstadt (D),  
CNR, INFN, ASI.

Istituti clinici → CNAO Pavia, Centro Adroterapia Trento,

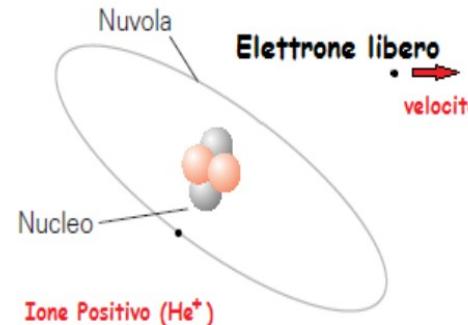
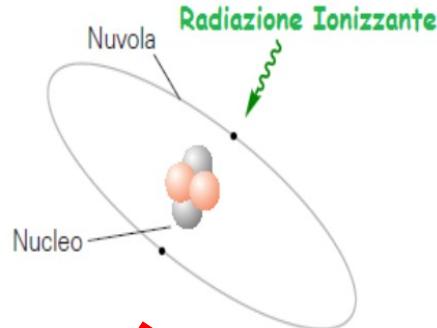
Ospedali → Perugia, Foligno, Città di Castello, Terni, Viterbo...

# Cosa si impara in generale:

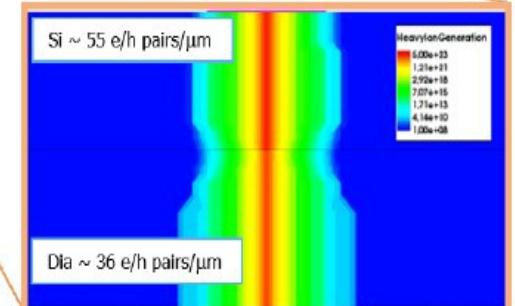
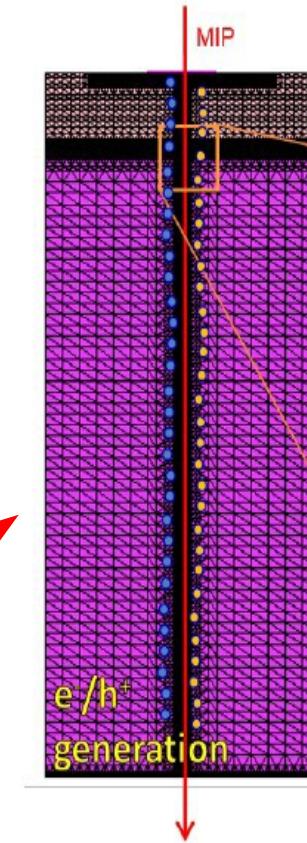
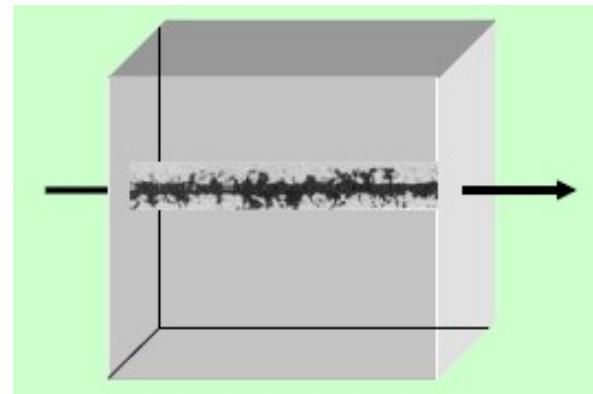
- Cosa sono le radiazioni ionizzanti;
- Come interagiscono con la materia;
- Come possono essere rivelate;
- Come si imposta una analisi dati;
- Come si valutano segnale e rumore;

# Cosa è un sensore di radiazione ionizzante?

Radiazione ionizzante: elettroni, protoni, ioni, fotoni..... portano energia e quantità di moto

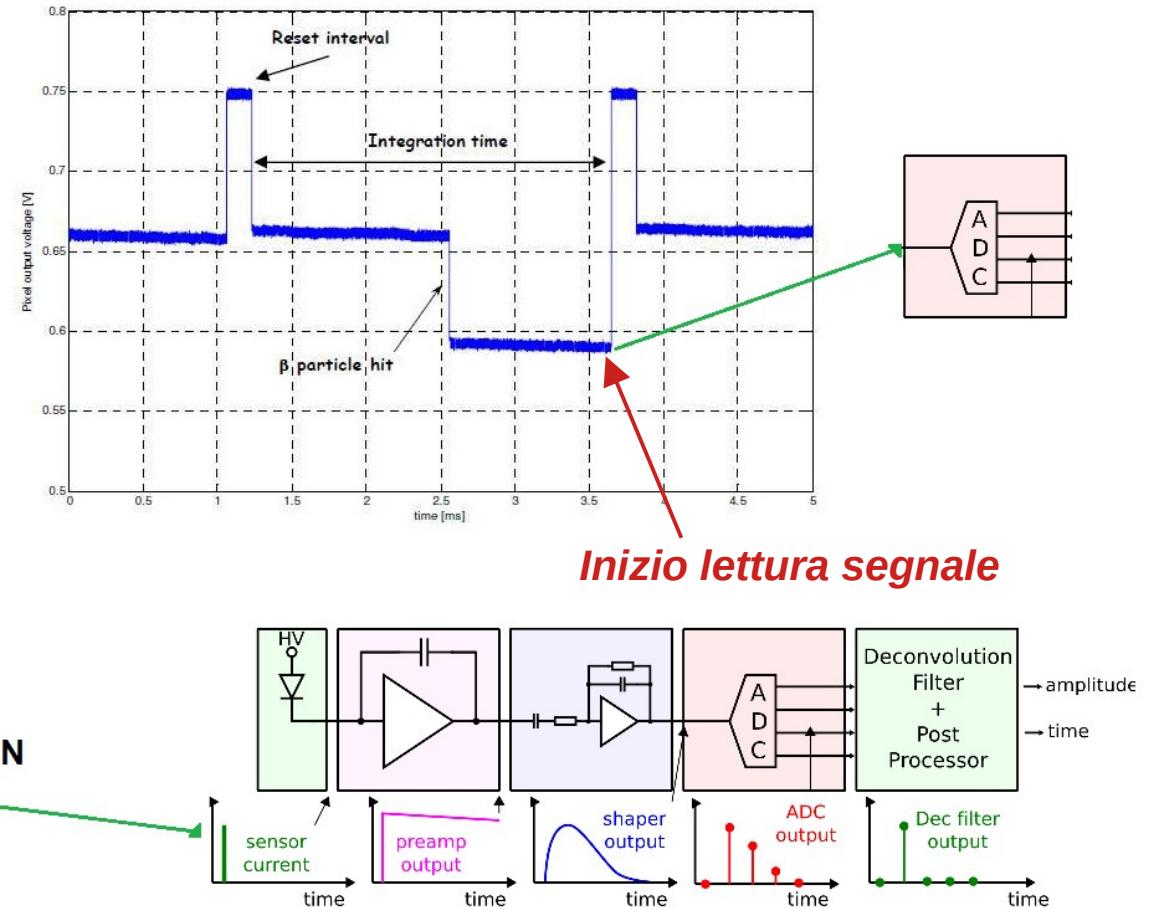
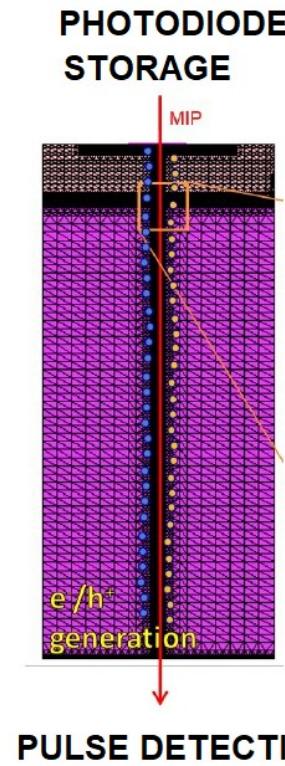


Ionizzazione di un protone in un materiale solido



Different Linear Energy Transfer (LET) for Silicon and Diamond

Come si legge  
il segnale di  
un sensore di  
radiazione  
ionizzante?



# Quali tipi di sensore di radiazione ionizzante?

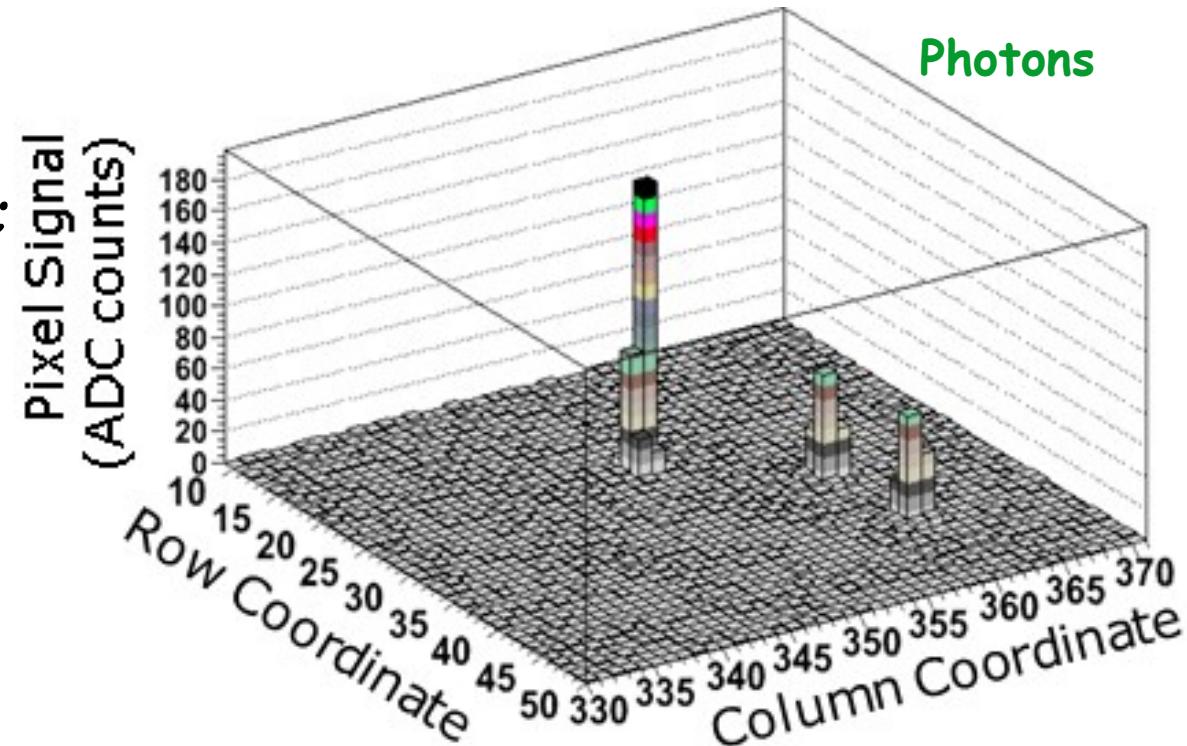
Varie tipologie di rivelatori per ottenere varie informazioni:

Posizione:

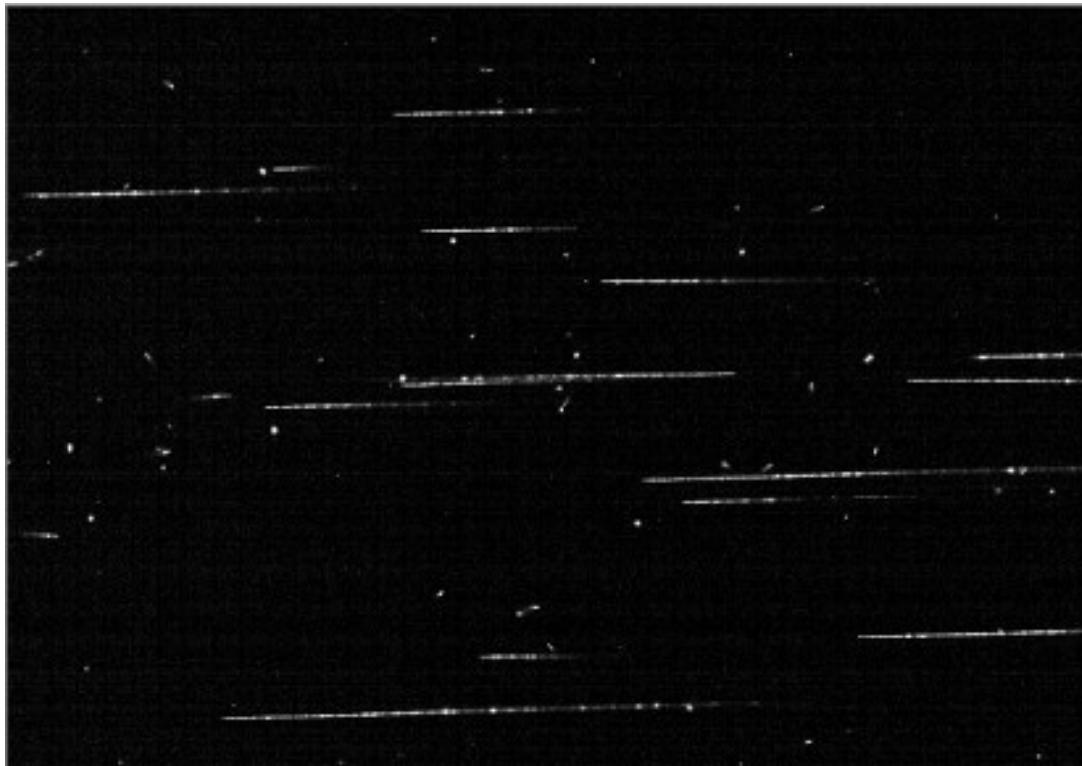
1-Dimensione: silicon microstrip;

2-Dimensioni: silicon pixel  
diamond pixel

3-Dimensioni: *ci stiamo  
lavorando...*

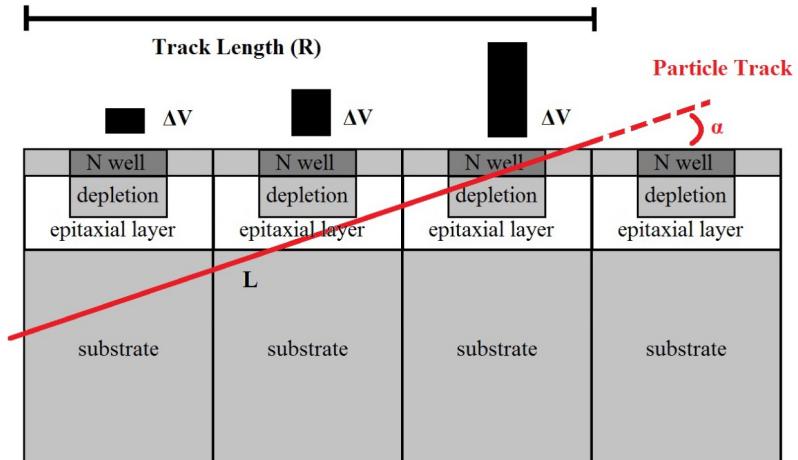


# Altri modi di uso di sensori di radiazione ionizzante.



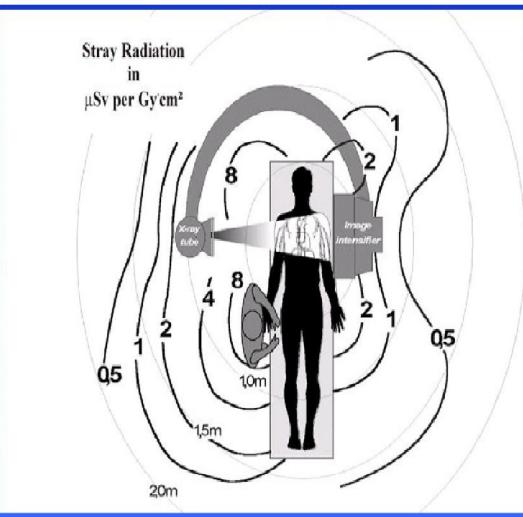
Elettroni 100 MeV

Configurazione ad angolo radente



Misurare quantità di moto della particella, angolo di incidenza, divergenza angolare del fascio di radiazione.....

# RAPID3: dosimetro wireless per medici (pixel, silicio)



**Molto importante:**  
**ridurre la dose assorbita**  
**mantenendo la qualità**  
**dell'intervento.**

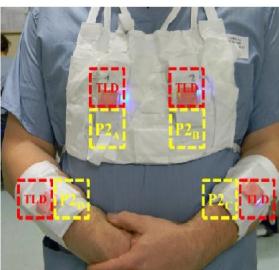
- conoscenza di come si riceve la dose;
- misura tempo reale;

## Problema iniziale:

**Radiazione diffusa dal corpo del paziente colpisce il medico.**  
**Esistono dispositivi di protezione individuale (camice, occhiali, guanti**  
**ma presentano alcuni problemi.**



Già utilizzato in  
> 50 procedure  
di radiologia  
interventionistica e  
emodinamica  
(Ospedale Foligno)



Prototipo esistente e calibrato;  
indossabile; > 8 ore di autonomia

Servoli L. (INFN)

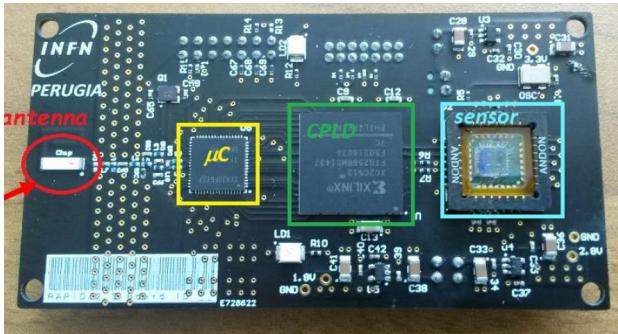
Kanxheri K. (Dip. Fisica e Geologia)

Placidi P. (Dip. Ing. Elettronica)

Paolucci M. (Fisica medica Foligno)

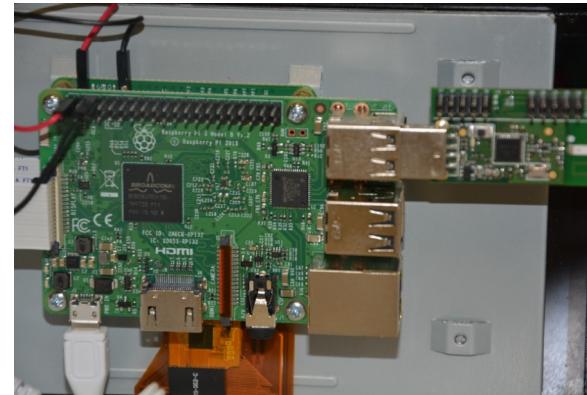
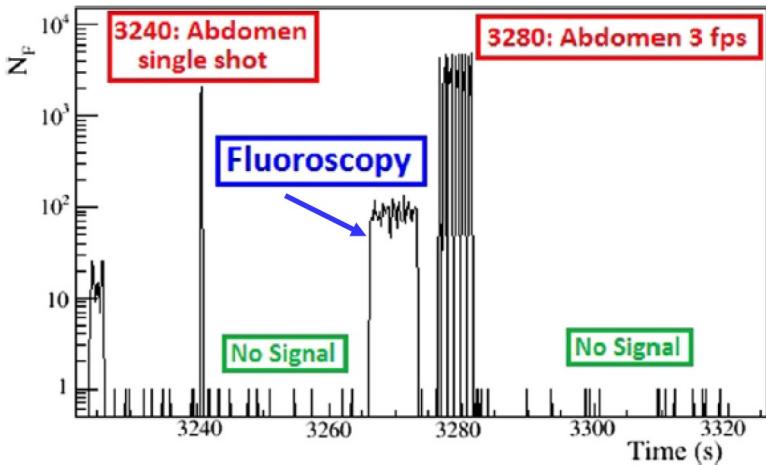
Italiani M. (Fisica medica Terni)

# Progetto RAPID3: argomenti tesi



1) caratterizzazione del nuovo prototipo (RAPID3) con differenti tipi di radiazione (elettroni, fotoni).

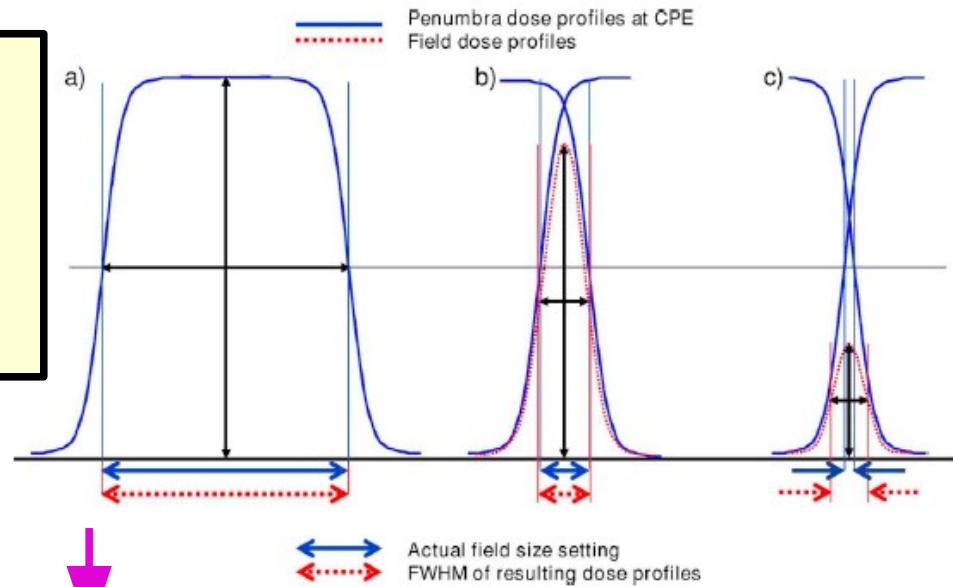
2) Calibrazione su fascio certificato presso centro taratura LAT.



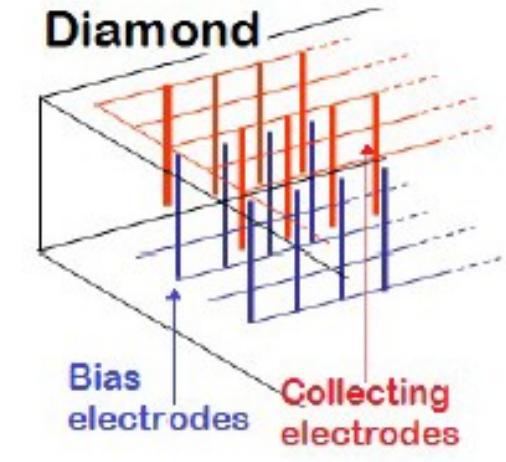
3) Acquisizioni durante le procedure in sala operatoria e analisi dei dati.  
(Ospedali di Foligno, Terni)

# 3DOSE: Uso di sensori a diamante con elettrodi 3D per dosimetria fasci radioterapia a piccolo campo

Servoli L.  
Kanxheri K.  
Talamonti C.  
(Uni.Firenze)

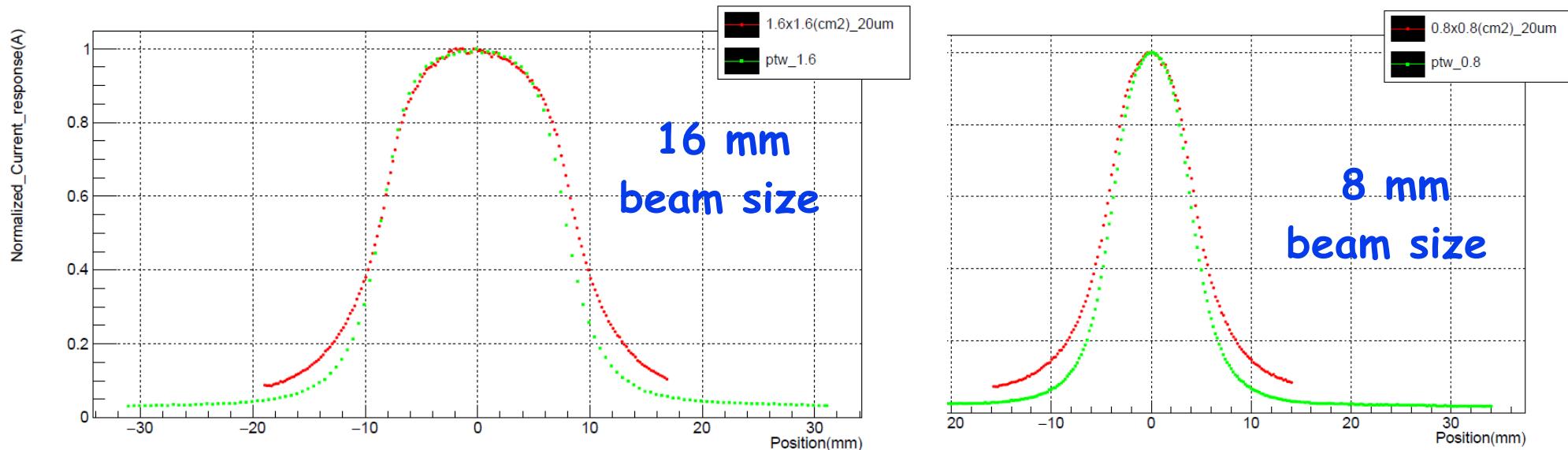


Diminuendo le dimensioni del fascio è sempre più difficile caratterizzarlo attraverso i rivelatori standard (camere a ionizzazione)



Nuovo tipo di rivelatore a diamante per migliorare la misura a livello dell'1% di incertezza globale.

# 3DOSE: Uso di sensori a diamante con elettrodi 3D per dosimetria fasci radioterapia a piccolo campo



Sensore 3D: 0.5 mm pixel size

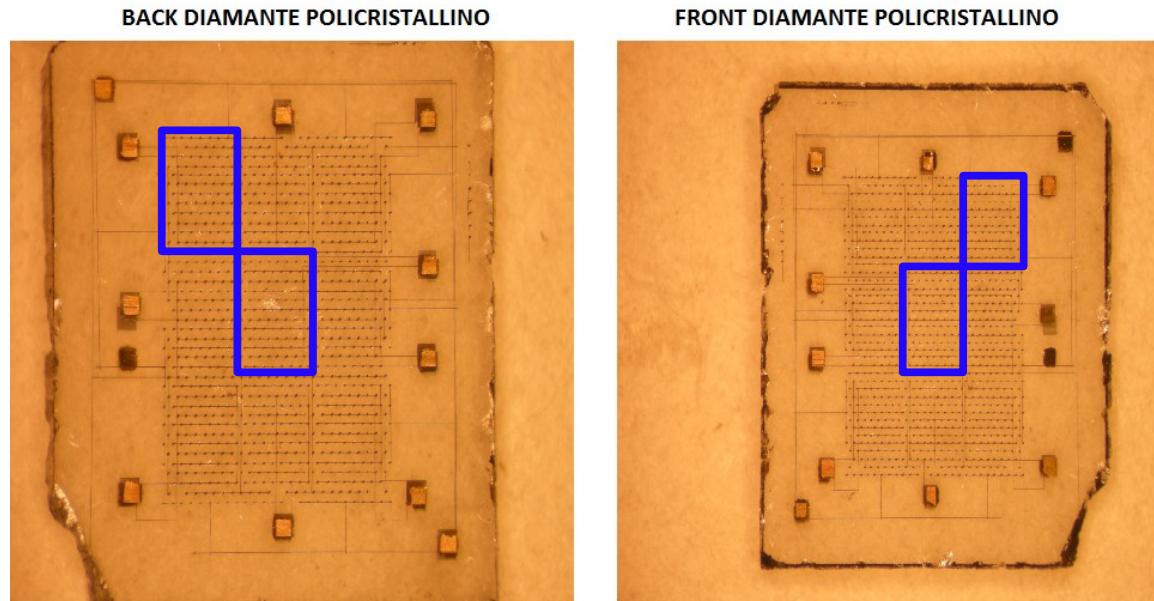
Sensore PTW: 2.2 mm diameter

# 3DOSE: Uso di sensori a diamante con elettrodi 3D per dosimetria fasci radioterapia a piccolo campo

## Tipologia di tesi disponibili: sperimentali

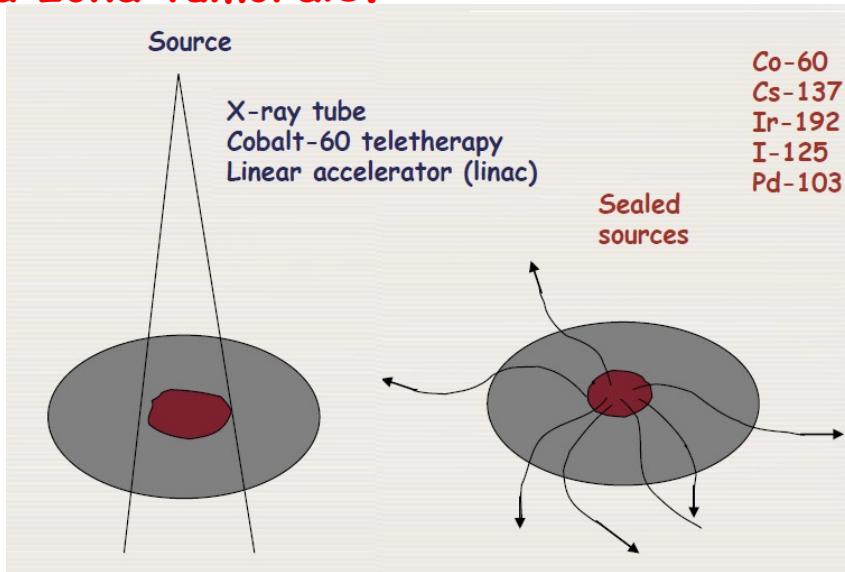
Caratterizzazione prototipi sensori con elettrodi 3D:

sia in laboratorio che presso un centro di taratura LAT, che con misure presso Ospedali (Perugia, Firenze).

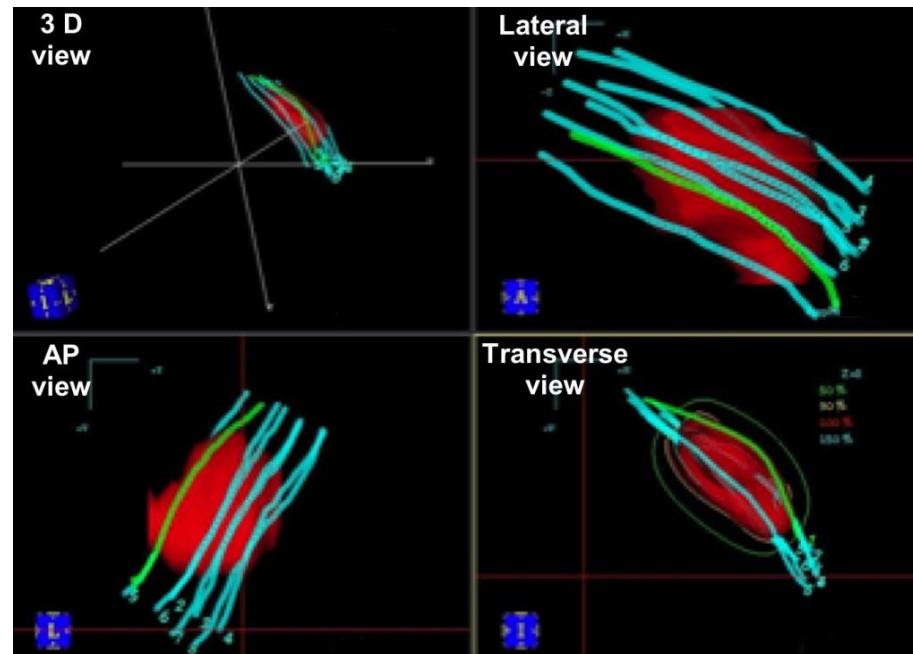


# Brachiterapia HDR: Uso di sensori pixel di silicio per dosimetria irraggiatori brachiterapia High Dose Rate

La Brachiterapia NON usa fasci esterni di radiazione, ma impianta temporaneamente o permanentemente sorgenti radioattive all'interno del corpo del paziente attorno alla zona tumorale.



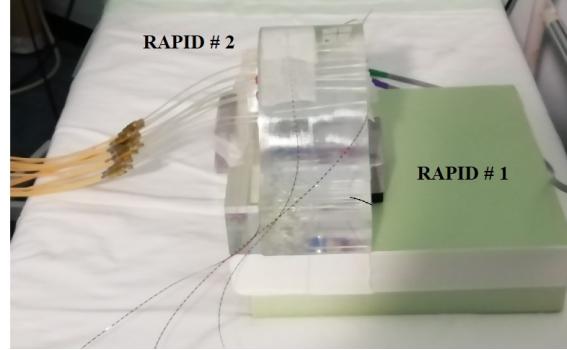
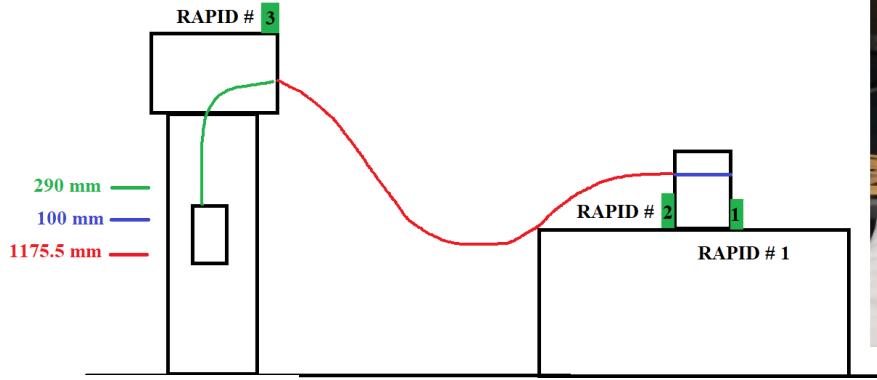
Impiantazione di cateteri per passaggio di sorgente con radioisotopi.



Servoli L.  
Kanxheri K.  
Italiani M.  
(Osp.Terni)

# Applicazioni(3): Uso di sensori pixel di silicio per dosimetria irraggiatori brachiterapia High Dose Rate

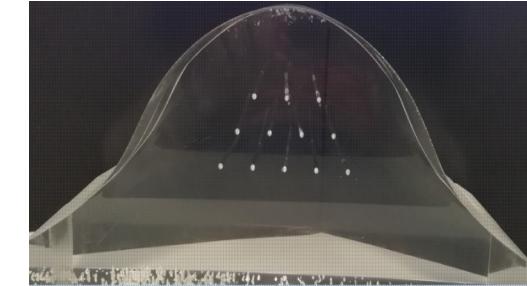
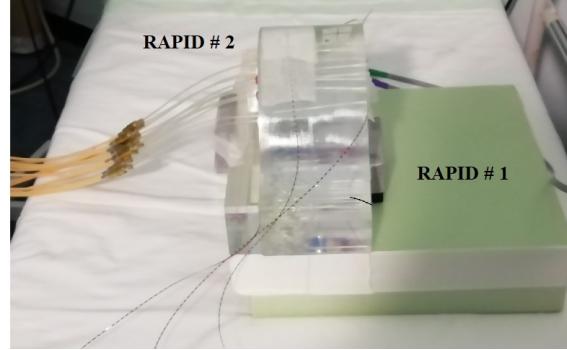
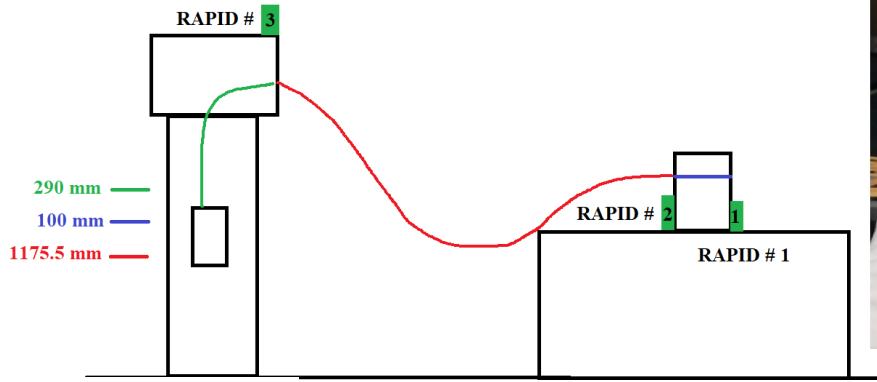
Problema: la caratterizzazione della sorgente ha alcuni aspetti non ben misurati.



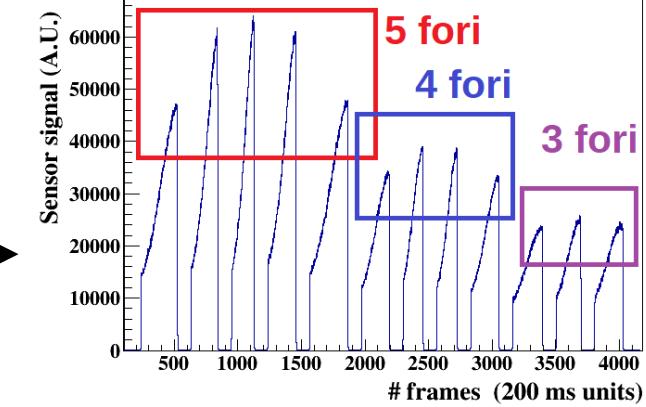
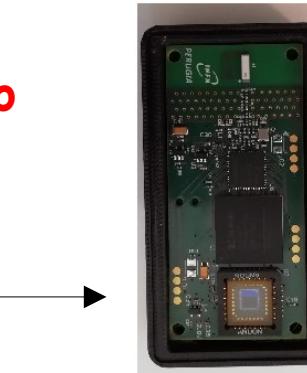
La dose assorbita dal corpo durante il percorso tra macchina e zone di irraggiamento.  
→ Caratterizzazione in tempo reale

# Applicazioni(3): Uso di sensori pixel di silicio per dosimetria irraggiatori brachiterapia High Dose Rate

Problema: la caratterizzazione della sorgente ha alcuni aspetti non ben misurati.



La dose assorbita dal corpo durante il percorso tra macchina e zone di irraggiamento.  
→ Caratterizzazione in tempo reale



# Applicazioni(3): Uso di sensori pixel di silicio per dosimetria irraggiatori brachiterapia High Dose Rate

## Tipologia di tesi disponibili: sperimentali

- 1) Caratterizzazione risposta sensori a pixel di silicio con misure presso Ospedale di Terni (nuova macchina arrivata lo scorso anno).
- 2) Confronto con dosimetria standard per piani di trattamento realistici.



# Esperimento HASPIDE: Hydrogenated Amorphous Silicon Pixel Detectors

L.Servoli<sup>PG</sup>, C.Grimani<sup>UR</sup>, L.Calcagnile<sup>LE</sup>, A.P. Caricato<sup>LE</sup>  
G.A.P.Cirrone<sup>LNS</sup>, T.Croci<sup>PG</sup>, R.Di Lorenzo<sup>PG</sup>, M. Fabi<sup>UR</sup>, P.P.  
Falciglia<sup>LNS</sup>, L. Frontini<sup>MI</sup>, G. Cuttone<sup>LNS</sup>, B. Gianfelici<sup>PG</sup>, M.  
Ionica<sup>PG</sup>, M. Italiani<sup>PG</sup>, K. Kanxheri<sup>PG</sup>, M. Large<sup>UOW</sup>, V. Liberali<sup>MI</sup>,  
M. Martino<sup>LE</sup>, G. Maruccio<sup>LE</sup>, G. Mazza<sup>TO</sup>, M. Menichelli<sup>PG</sup>, G.G.  
Milluzzo<sup>LNS</sup>, A.G. Monteduro<sup>LE</sup>, A. Morozzi<sup>PG</sup>, F. Moscatelli<sup>PG</sup>, S.  
Pallotta<sup>FI</sup>, M. Paolucci<sup>PG</sup>, D. Passeri<sup>PG</sup>, I.V. Patti<sup>LNS</sup>, M. Pedio<sup>PG</sup>, M.  
Petasecca<sup>UOW</sup>, F. Peverini<sup>PG</sup>, L. Piccolo<sup>TO</sup>, P. Placidi<sup>PG</sup>, G. Quarta<sup>LE</sup>,  
S. Rizzato<sup>LE</sup>, G. Rossi<sup>PG</sup>, A. Stabile<sup>MI</sup>, C. Talamonti<sup>FI</sup>, A.L.  
Torrisi<sup>LE</sup>, R.J. Wheadon<sup>TO</sup>, M. Villani<sup>UR</sup>, N. Wyrsch<sup>EPFL</sup>.



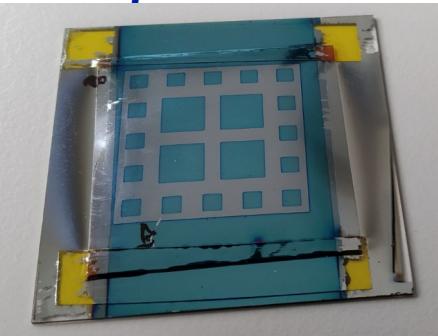
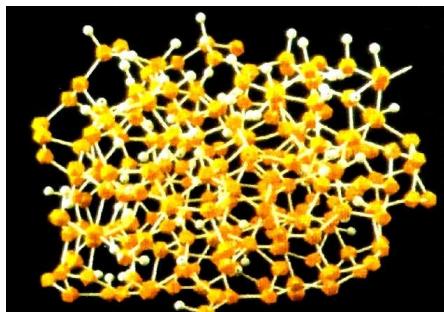


# Esperimento HASPIDE: Hydrogenated Amorphous Silicon Pixel DEtectors



Uso di strati sottili di Silicio Amorfo idrogenato depositati su substrati isolanti come rivelatori radiazioni ionizzanti.

- Semiconduttore disordinato
- alto assorbimento di fotoni ottici
- bassa mobilità portatori di carica
- resistenza alla radiazione elevatissima
- banda proibita: 1.75 eV → bassa corrente di buio



- tecnologia di deposizione molto sviluppata (pannelli fotovoltaici, flat panel per radiografie)
- spessori anche molto sottili (1 - 20  $\mu\text{m}$ ) depositabili su vari substrati anche flessibili

# How a device will look like?



Intrinsic a-Si:H detector layer  
10-20  $\mu\text{m}$



70  $\mu\text{m}$  kapton



p-doped a-Si:H junction layer



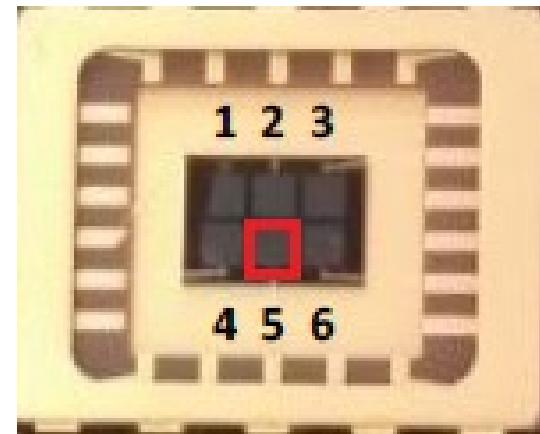
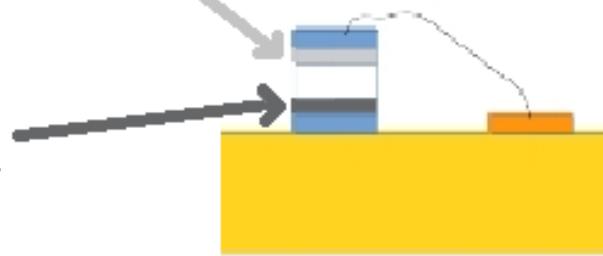
Metal layer (Cr + Al)



n-doped a-Si:H junction



detector pad or bias  
Pad in Copper



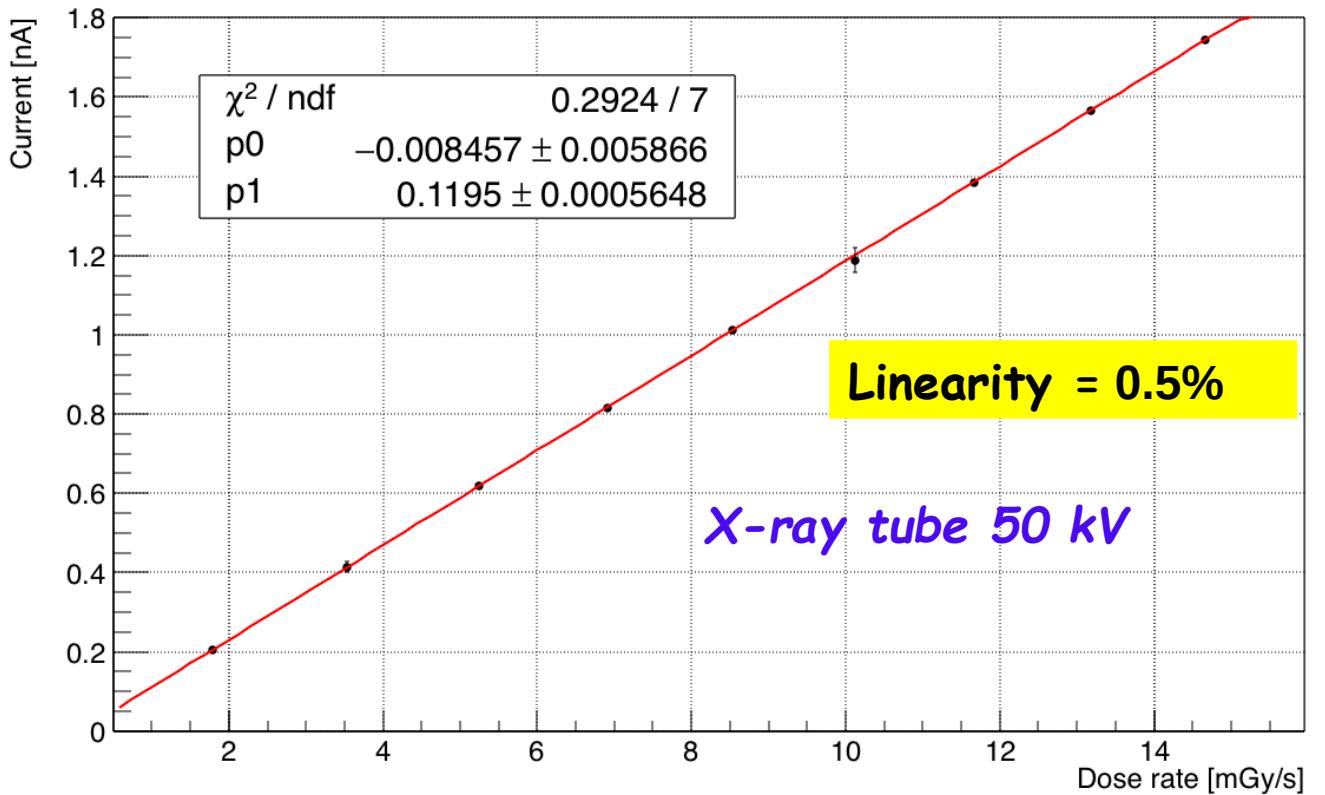
**6 diodes:  $1 \times 1 \text{ mm} \times 10 \mu\text{m}$**



# Preliminary results:



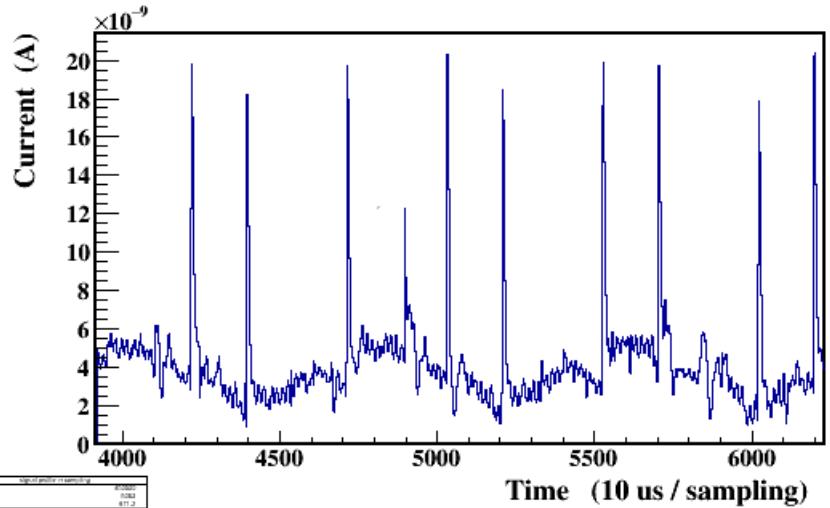
Diode prototype 3AC (0 V bias)



Similar results for exposition to clinical beams and electron beams



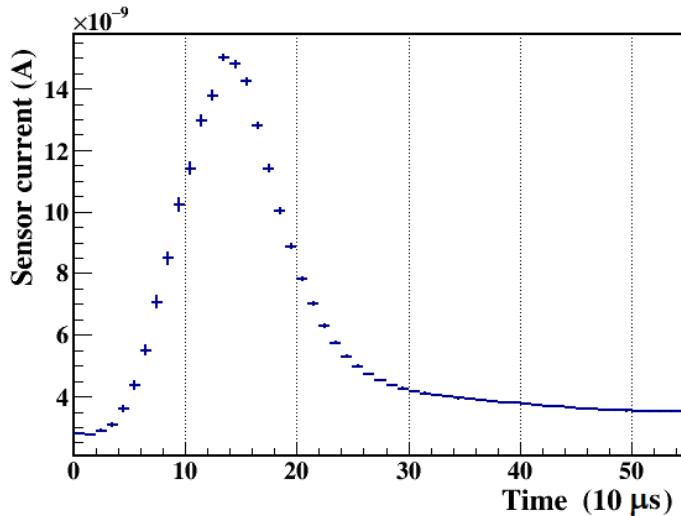
# Preliminary results:



Capacità di ricostruire la forma media di un singolo impulso e la sua variabilità. In questo momento limitati dalla risoluzione del sistema di lettura del segnale.

Capacità di vedere i singoli impulsi di un acceleratore per radioterapia.

Contando gli impulsi si può misurare la dose e anche il dose-rate



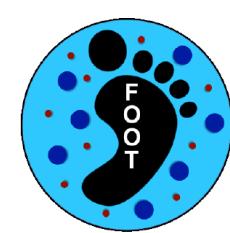


## Preliminary results:



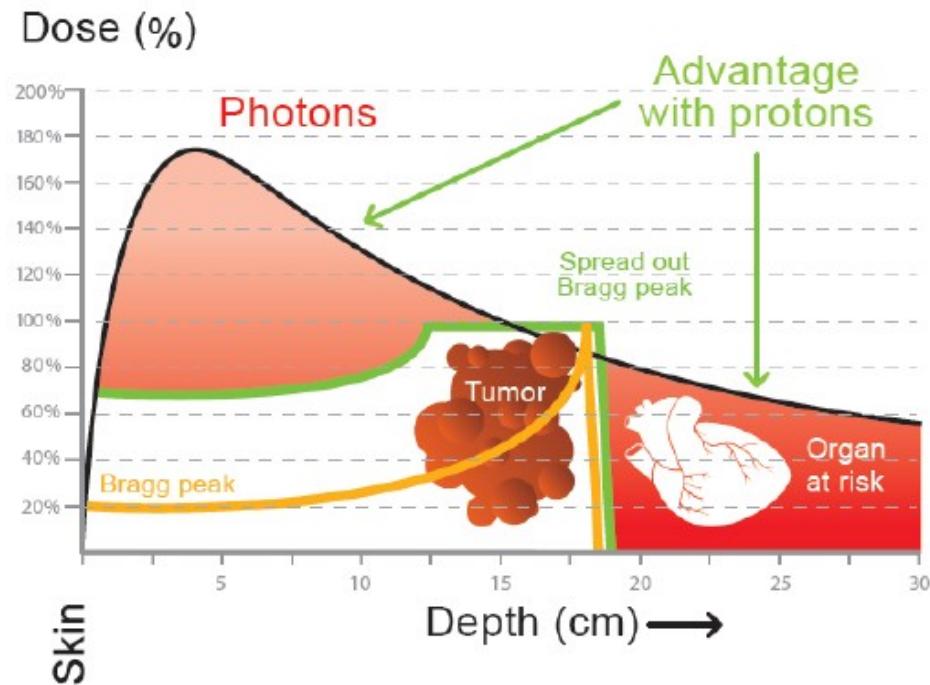
### Tipologia di tesi disponibili: sperimentali

- Caratterizzazione in laboratorio (raggi X, spettrometria)
- Caratterizzazione su fasci clinici negli ospedali
- Calibrazione su centri di taratura LAT
- Simulazione di dispositivi e comparazione con dati sperimentali
- Studio capacità di rivelazione eventi di Space Weather  
Solar Emission Particles e come early warning per astronauti
- Studio capacità di rivelazione di neutroni previo deposito di  $^{10}\text{B}$



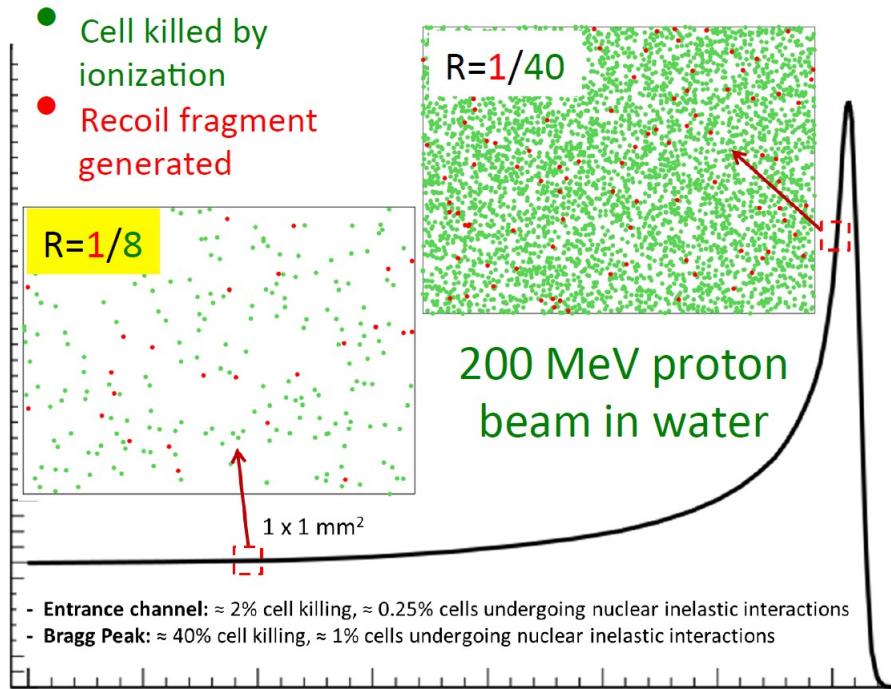
# Esperimento FOOT: FragmentatiOn Of Target

La adroterapia si basa sul fatto che le particelle cariche più pesanti degli elettroni rilasciano meno energia durante il percorso per arrivare alla zona tumorale, sono meno sottoposti a scattering multiplo (fascio lateralmente contenuto) e non rilasciano energia oltre una certa distanza precisamente definita dalla energia iniziale.



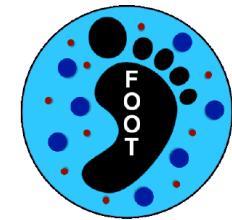


# Problema attuale in adroterapia



Manca una comprensione adeguata del deposito di energia nei tessuti sani antecedenti alla zona tumorale.

I protoni producono anche reazioni nucleari e **occorre studiare la frammentazione dei nuclei per capire le particelle rilasciate e il loro effetto sulle cellule circostanti.**



# Problema attuale in adroterapia

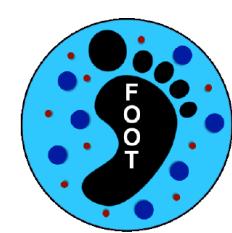
I frammenti fanno poca strada → non si riescono a misurare.

Approccio della cinematica inversa →

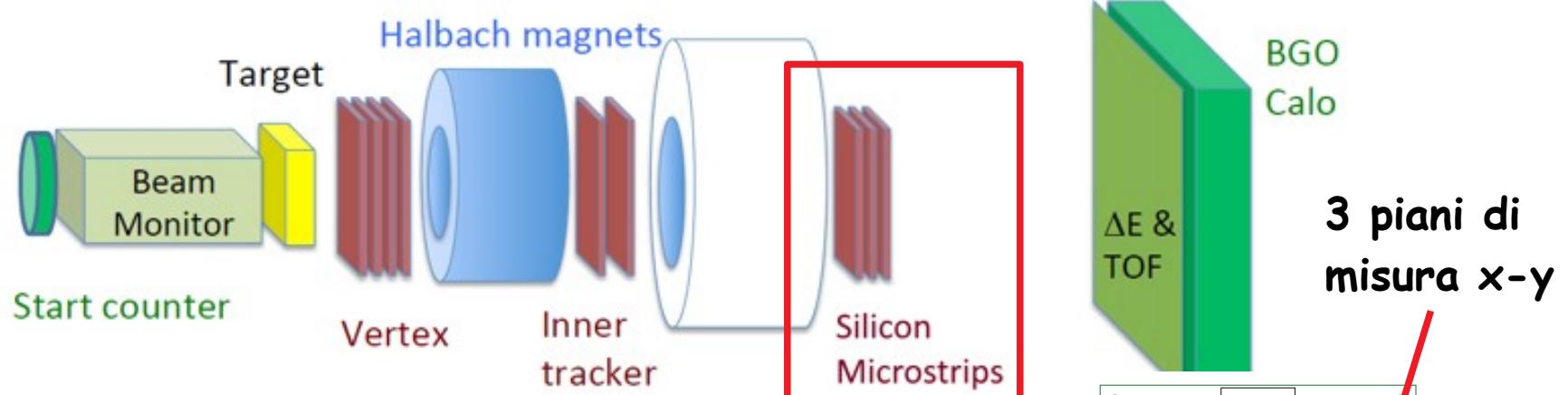
*Ioni accelerati colpiscono un bersaglio con protoni.*

Fragment	E (MeV)	LET (keV/ $\mu$ m)	Range ( $\mu$ m)
$^{15}\text{O}$	1.0	983	2.3
$^{15}\text{N}$	1.0	925	2.5
$^{14}\text{N}$	2.0	1137	3.6
$^{13}\text{C}$	3.0	951	5.4
$^{12}\text{C}$	3.8	912	6.2
$^{11}\text{C}$	4.6	878	7.0
$^{10}\text{B}$	5.4	643	9.9
$^8\text{Be}$	6.4	400	15.7
$^6\text{Li}$	6.8	215	26.7
$^4\text{He}$	6.0	77	48.5
$^3\text{He}$	4.7	89	38.8
$^2\text{H}$	2.5	14	68.9

Stessa dinamica → frammenti percorrono metri... → misurabili



# Struttura Esperimento FOOT (~ 100 ricercatori)

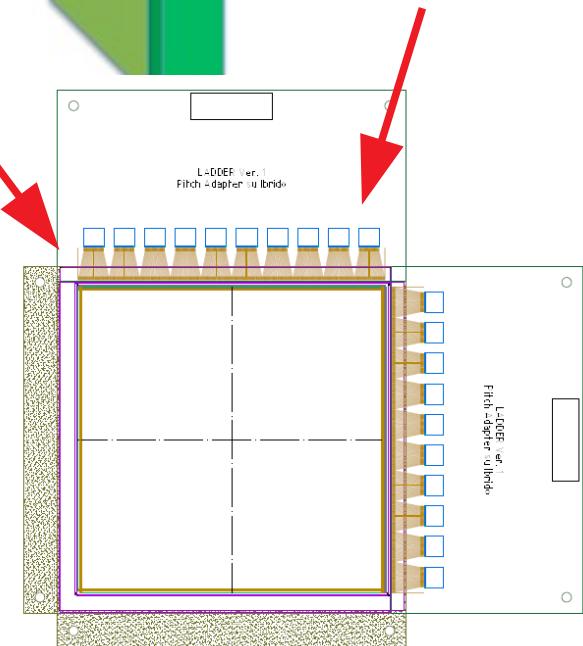


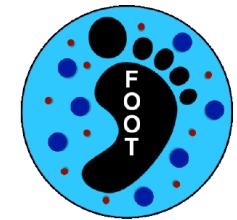
Membri del gruppo di Perugia:

INFN: Servoli L., Ambrosi G., Movileanu M., Kanxheri K.

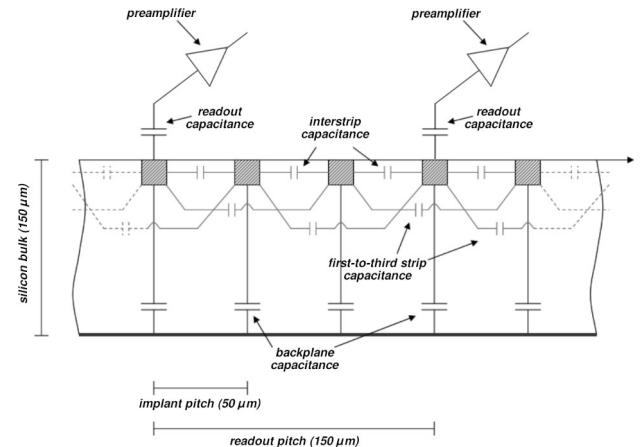
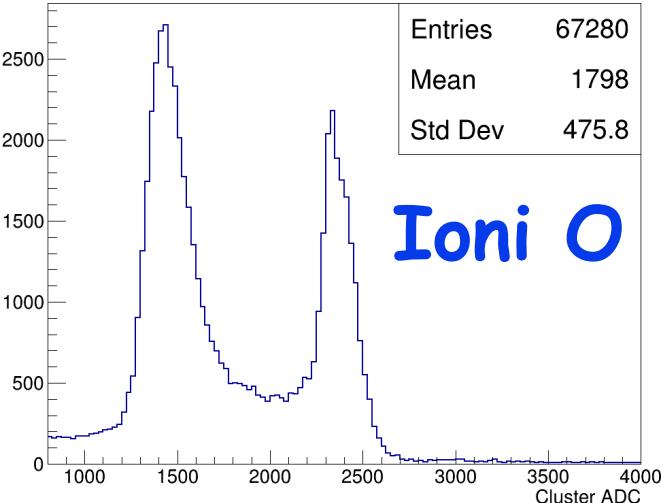
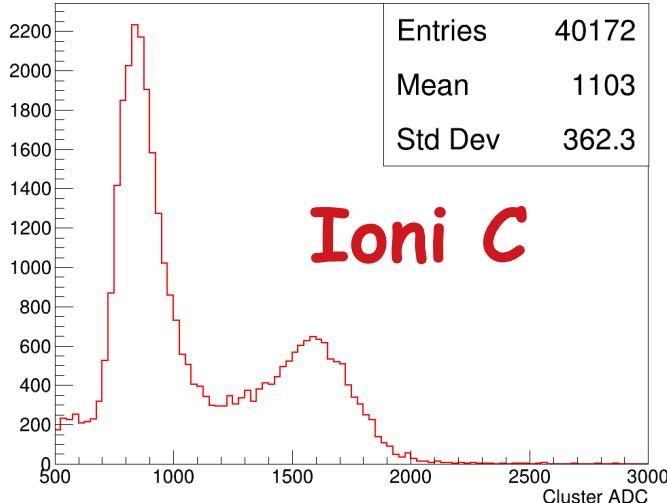
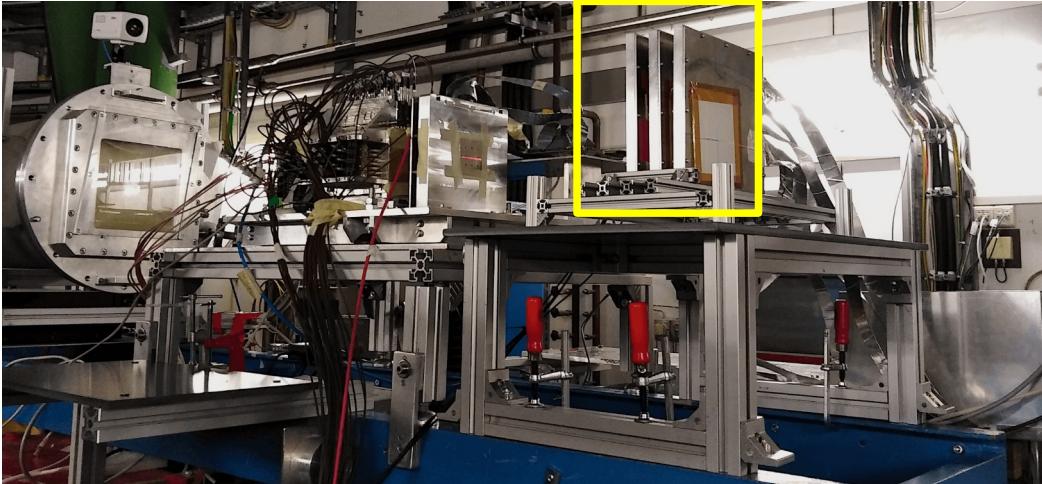
Dip. Fisica e Geologia: Fiandrini E. , Silvestre G.

Dip. Ingegneria: Placidi P.

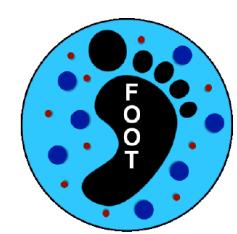




# Apparato MSD costruito e primi prese dati



La presenza di due floating strip altera il valore della carica raccolta e della risoluzione spaziale.



# Tipologia di tesi esperimento FOOT: sperimentali

- 1) Caratterizzazione sensori al silicio usando particelle cariche di vario genere sia in laboratorio che presso acceleratori: Centro Prototerapia (Trento), CNAO (Pavia), GSI (Darmstadt), HIT (Heidelberg).
- 2) Studio delle prestazioni previste dal tracciatore usando i programmi di simulazione sviluppati dall'esperimento (GEANT4, FLUKA).
- 3) Analisi dati dell'esperimento FOOT, sia caratterizzazione MSD che misure di sezioni d'urto;
- 4) Partecipazione alle prossime prese dati:  
HIT (Heidelberg) luglio 2022, CNAO (Pavia) autunno 2022, .....