

Sviluppo Rivelatori Innovativi per Radiazioni Ionizzanti (e loro applicazioni)

***Servoli L., Menichelli M., Ambrosi G.,
Alpat B., Movileanu M.
Fiandrini E., Kanxheri K.
Pedio M., Moscatelli F.
Passeri D., Placidi P.***

***(INFN)
(Dip. Fisica e Geologia)
(IOM-CNR)
(Dip. Ingegneria Elettronica)***

Ma non solo...

Fisici Medici:

Paolucci M., Italiani M.,
Iacco M., Zucchetti C.,
Fabiani S., Pentiricci A.,
Dipilato A.C.,

+

Medici:

Aristei C., Dipilato A.C. (UNIPG)
Maselli A., Scarpignato M. (Osp. Foligno),
.....

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) soprattutto ma non esclusivamente per applicazioni mediche.

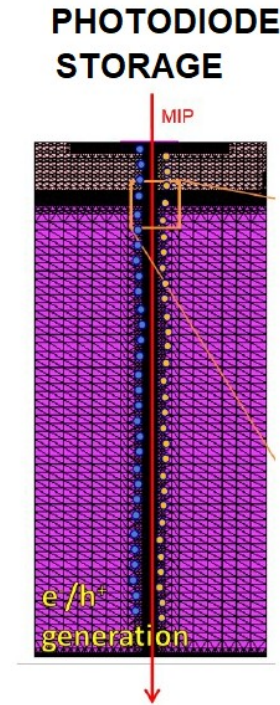
Caratteristiche comuni a tutte le attività:

- 1) esiste un problema spesso definito da altri;
- 2) gruppo di lavoro variabile ma solitamente interdisciplinare (fisici, ingegneri, medici, fisici medici,);
- 3) fondamentale l'interazione con i servizi tecnici dipartimentali.

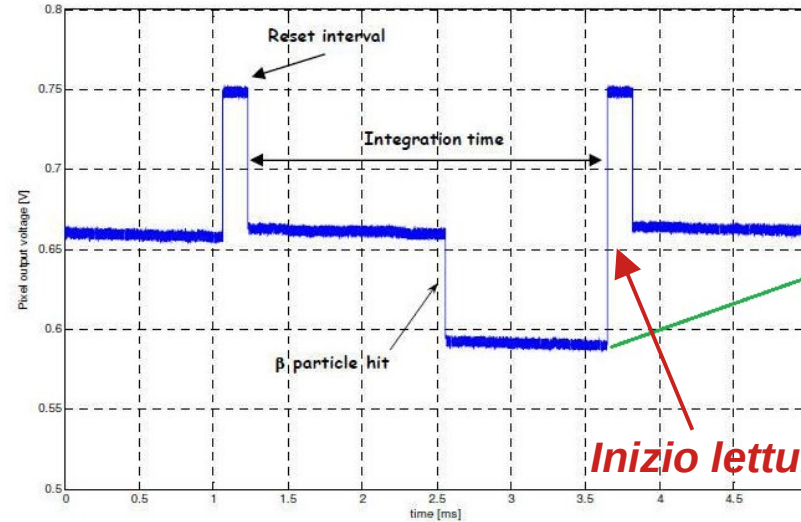
Sensori a stato solido per radiazione ionizzante

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

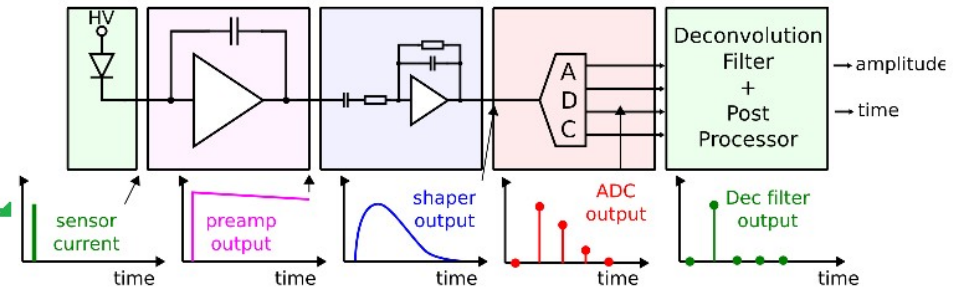
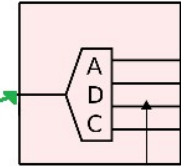
Fondamentale l'efficienza di rivelazione, la relazione tra carica depositata e il segnale prodotto (calibrazione).



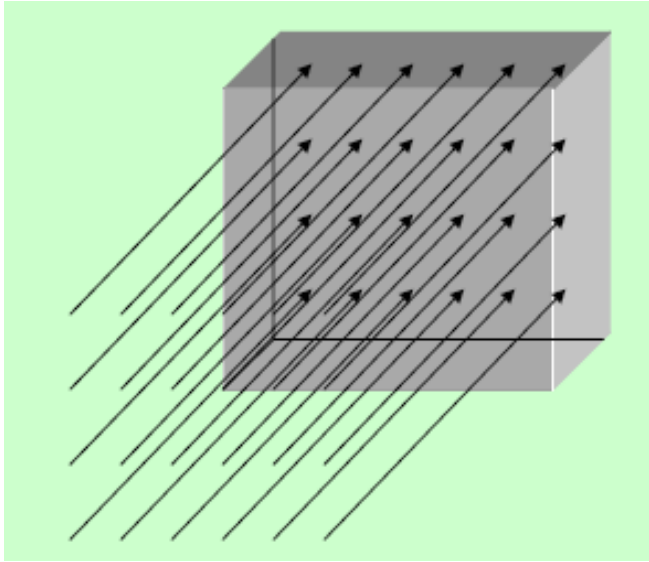
PULSE DETECTION



CHARGE DETECTION

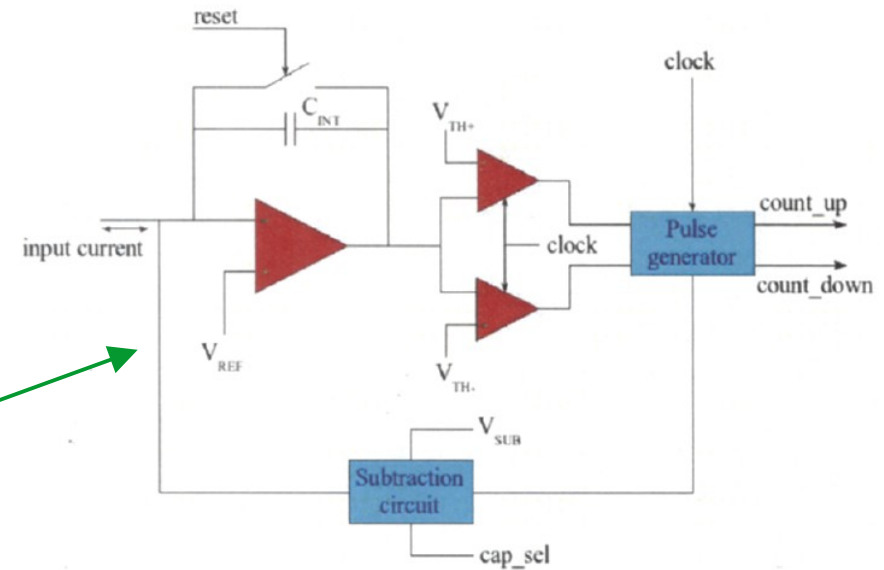


Sensori a stato solido per radiazione ionizzante



Se invece flusso di radiazione, e quindi di deposizione di energia nel sensore, elevato
→ lettura in corrente

Vari schemi possibili per DAQ:
→ amplificazione di corrente;
→ **trasduzione corrente-frequenza;**



Fondamentale anche la precisione $\sim 1\%$ per applicazioni mediche

Sensori a stato solido per radiazione ionizzante

Caratteristiche fondamentali per ogni materiale:

- spessore dello strato sensibile;
- energia di creazione di ogni coppia e-h;
- efficienza di raccolta di carica;
- rumore in assenza di segnale;

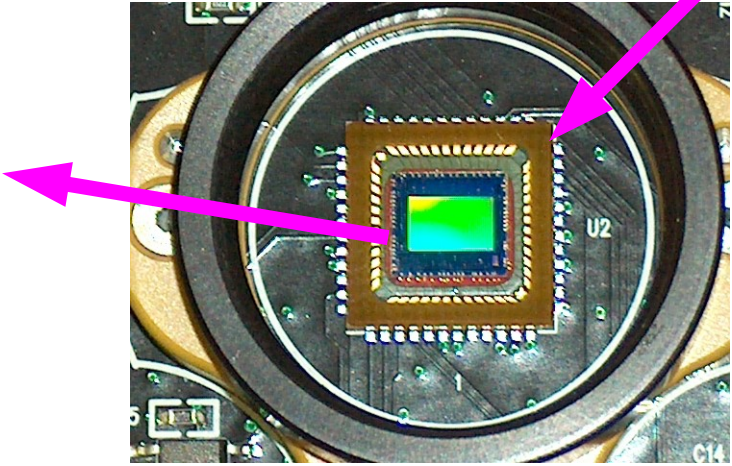
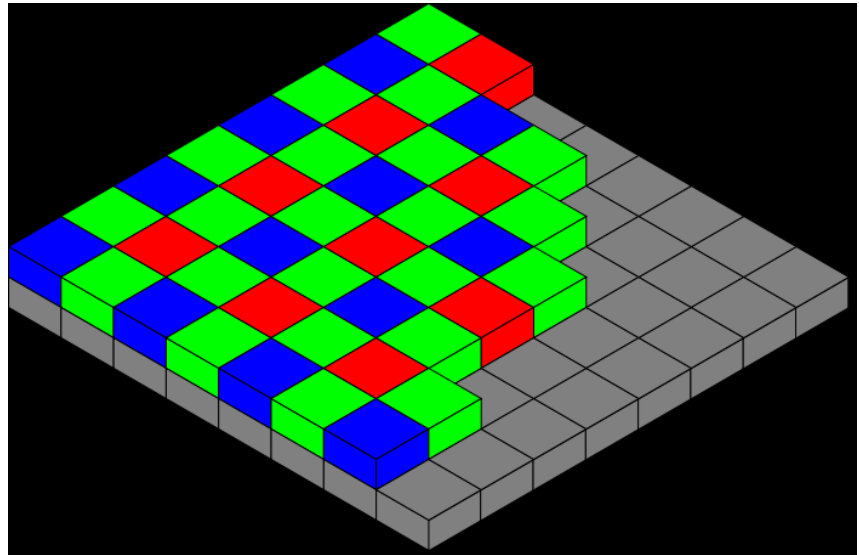
Altre caratteristiche:

- omogeneità del materiale;
- densità, A e Z medio;
- possibilità di lavorazione industriale o da laboratorio;
- costo

Tematiche e tipologia rivelatori

	Rivelazione singola particella	Rivelazione neutroni	Misura flussi radiazione	Controlli di Qualità in Medicina	Sigle progetti
Diamanti	si	no	si	si	3D-SOD, 3DOSE , TIMESPOT
a-Si:H	si	si	si	si	3D-Siam, HASPIDE
Microstrip Silicio	si	no	si	si (indiretto)	FOOT
CMOS Image Sensors	si	no	si	si	RAPID , CHIR2,
Rivelatori a pixel	si	no	si	si	ARCADIA , TIMESPOT,..
SiPM	no	no	si	no

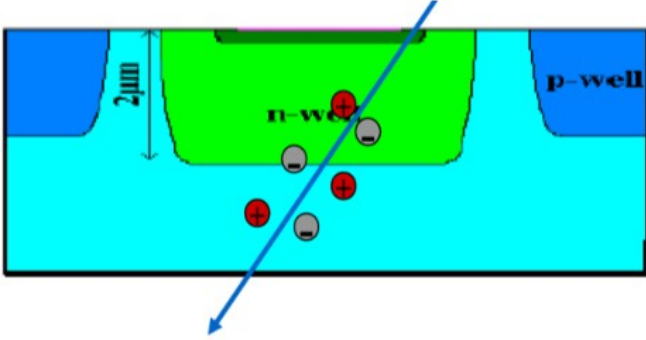
Applicazioni(1): CMOS Image Sensors (CIS)



Rivelazione fotoni
spettro visibile



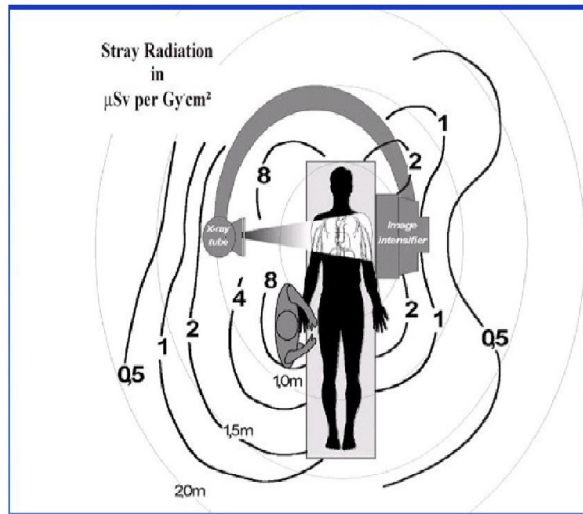
Rivelazione
radiazione
ionizzante:
 α , β , γ ,
protoni



Rumore basso

ENC ~ 10 elettroni

Applicazioni(1): dosimetro wireless per medici (pixel, silicio)



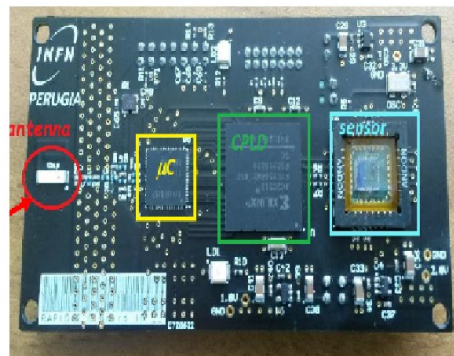
Problema iniziale:

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

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

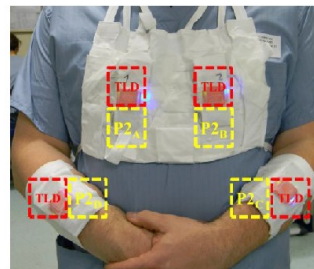
→ conoscenza di come si riceve la dose;

→ **misura tempo reale;**



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

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



Servoli L., Checcuci B.

Fanò L., Biasini M.

Placidi P. (Ingegneria Elettronica)

Paolucci M. (Fisica Medica Foligno)

→ dal 2010 in vari stadi

> 40 partecipanti

> 25 pubblicazioni

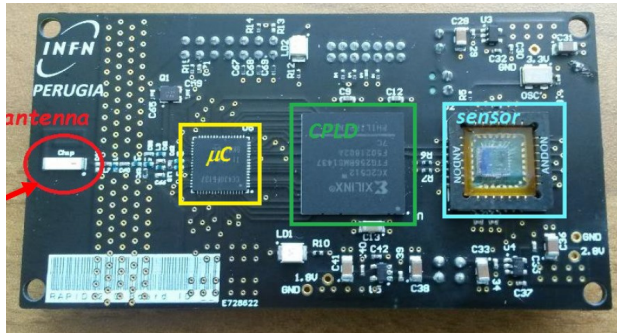
> 20 conferenze

1 tesi PhD

> 10 tesi Fisica /

Ingegneria / Informatica

Applicazioni(1): Sviluppi prossimi progetto RAPID



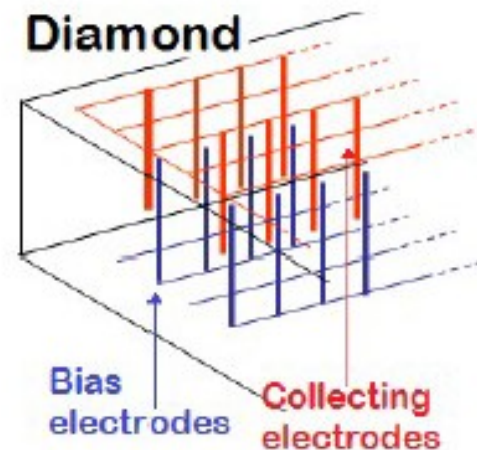
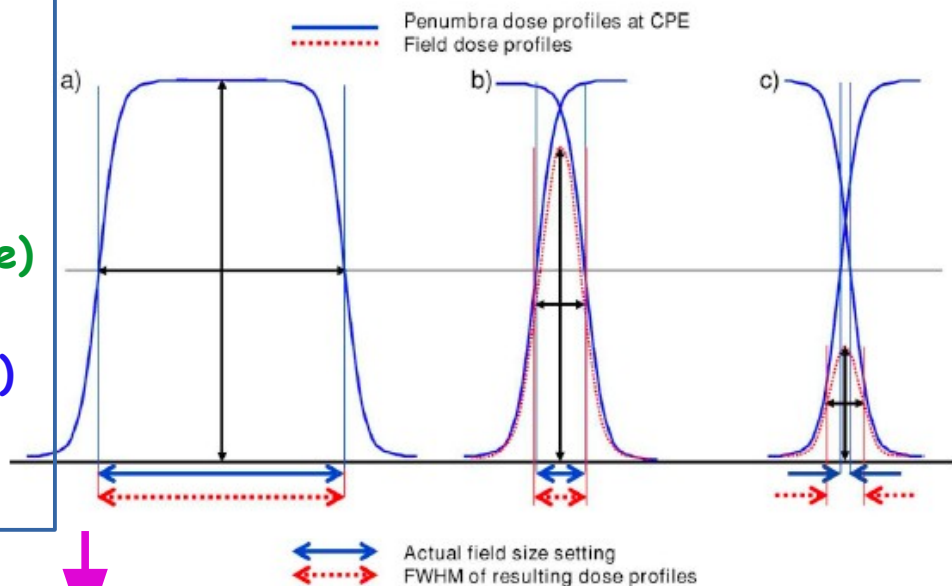
1) **Argomento di lavoro di un RTDA PON** (K. Kanxheri) con ditta SIMAD per eventuale industrializzazione e commercializzazione della idea.

2) Valutazione per possibile utilizzazione dei prototipi attuali per integrare un progetto INAIL di protezione degli operatori (misura dose al cristallino) di Radiologia Interventistica ed Emodinamica.



Applicazioni(2): Uso di sensori a diamante con elettrodi 3D per dosimetria fasci radioterapia a piccolo campo

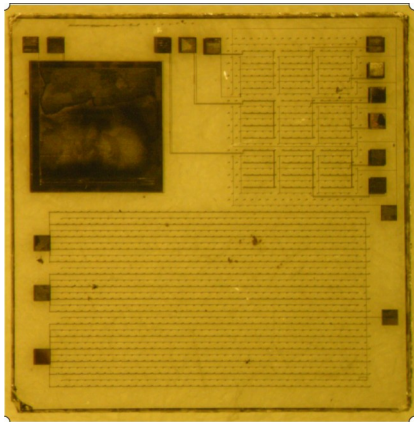
Servoli L.
Kaxheri K.
Talamonti C.
Sciortino S.
(Univ. Firenze)
Zucchetti C.
(Ospedale PG)
Oh A. (Univ.
Manchester)



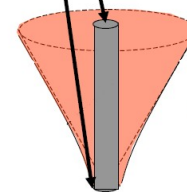
Diminuendo le dimensioni del fascio è sempre più difficile caratterizzarlo attraverso i rivelatori standard (camere a ionizzazione)

Nuovo tipo di rivelatore a diamante per migliorare la misura a ~ 1% di incertezza globale.

Applicazioni(2): Progetto 3DOSE

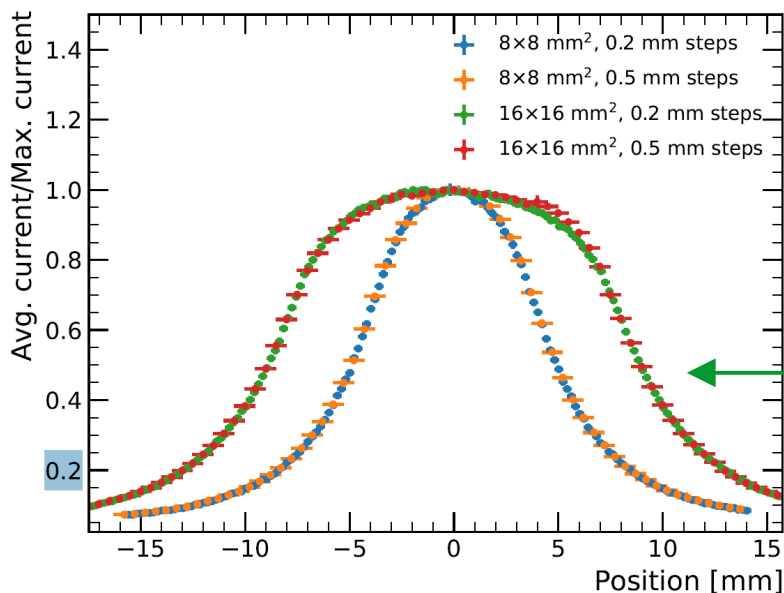


Realizzazione sensori a colonne polarizzabili grafite e linee superficiali di grafite (all-carbon device).

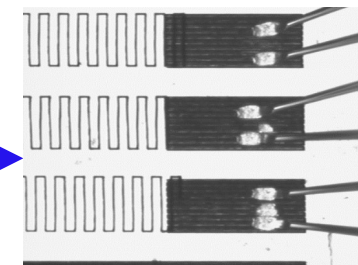


column

→ dal 2016
4 articoli
6 conferenze
1 tesi PhD
3 tesi laurea



Sviluppo delle tecniche di microbonding su pad di grafite. (Movileanu M., Caprai M.)



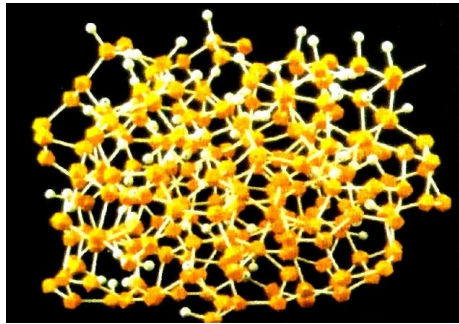
Misura del profilo di piccoli fasci per radioterapia.

Sviluppi futuri:

Realizzazione di una matrice di pixel piccoli per lettura contemporanea profilo del fascio.

Sviluppo di nuovi tipi di sensori (A): Progetto HASPIDE

Uso di strati sottili di Silicio Amorfo idrogenato depositati su substrati isolanti come rivelatori di radiazione ionizzante.



- Semiconduttore disordinato
- 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 μm) depositabili su vari substrati, anche plastici flessibili (kapton).**

Menichelli M., Servoli L., Movileanu M., Passeri D., Pisana P. (Dip. Ing. Elettronica) Moscatelli F., Pedio M. (IOMP-CNR)

Presentata richiesta di brevetto per uso di sensori a silicio amorfo idrogenato per caratterizzare fasci di radiazione (sia per uso clinico che di altro tipo).





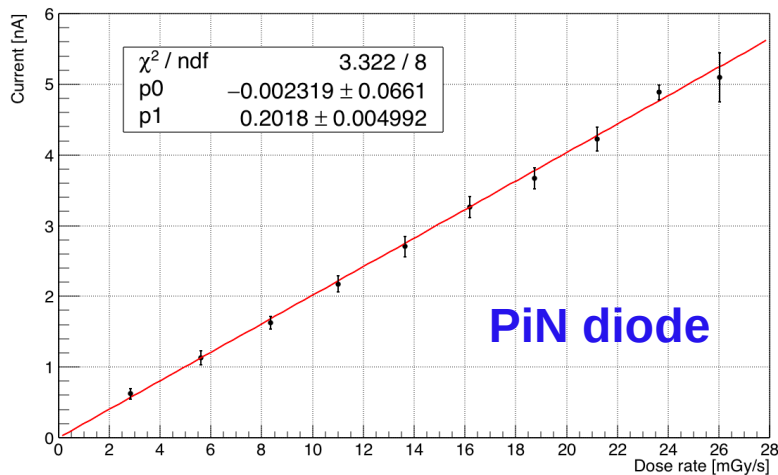
Controllo di qualità fasci radioterapia

Diodi PiN vs strutture con Contatti "Charge Selective"

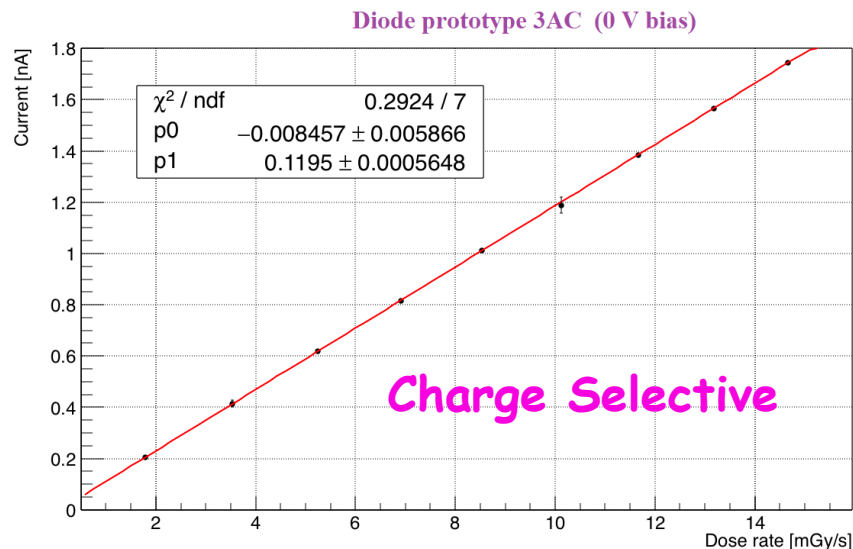


Vertical diode structure: Bias 60 V;
Dimensions: 0.5 x 0.5 x 0.01 mm³

Charge selective contacts Bias 0 V;
Dimensions: 4.0 x 4.0 x 0.008 mm³



$$\sigma_{p1}/p1 = 2.5\%$$



$$\sigma_{p1}/p1 = 0.5\%$$

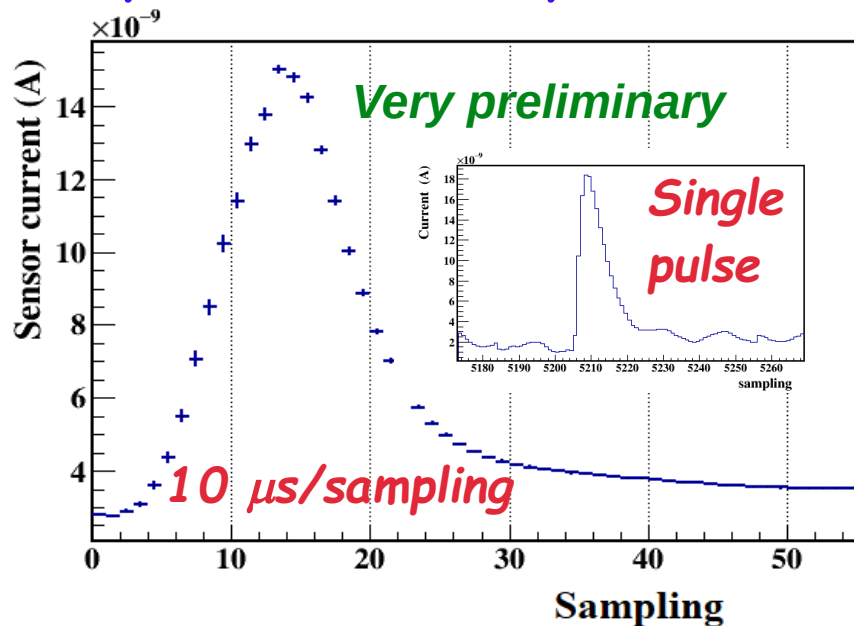
Precisione ~ 1% fondamentale in applicazioni di radioterapia



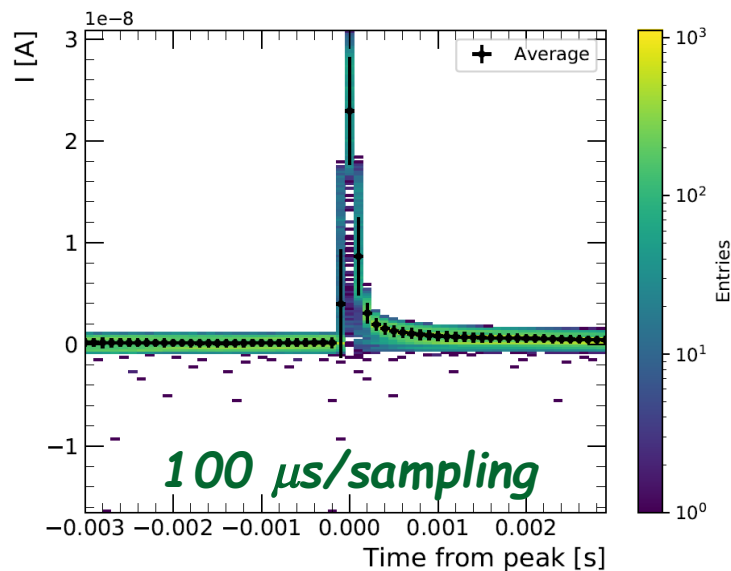
Misura singoli impulsi radioterapia



Misura di singolo impulso di *Clinical-LINAC*: 6 MV, 428 MU/m, 3 μ s pulse width. (Ospedale FI)



a-Si:H structure: 6.2 μ m thick, ZnO:Al selective layer. 20 V bias.



3D diamond sensor (3DOSE)
500 μ m thick. 60 V bias.
Same DAQ. Paper in progress



Progetto HASPIDE: Obiettivi



- **Sviluppare sensori di radiazione ionizzante affidabili, resistenti alla radiazione, di piccolo spessore**
- **Definizione del materiale a-Si:H all'interno dei software TCAD.**
- **Utilizzazione per monitoraggio fasci di radiazione sia in ambito medico che non medico.**
- **Verifica adattabilità come sensori in ambiente spaziale per misurare eventi di Space Weather (Solar Emission Particles)**
- **Verifica possibilità di ottenere rivelatori di neutroni previa deposizione di strato di ^{10}B**



Progetto HASPIDE



Progetto triennale INFN ~ 1 M€ di finanziamento.

INFN & Uni. Perugia, INFN & Uni. Torino, INFN & Uni. Milano,
INFN & Uni. Firenze e Uni. Urbino, INFN & Uni. Salento,
Lab. Naz. Sud INFN, **Uni. Wollongong (AU)**, **EPFL Neuchatel (CH)**

> 40 ricercatori.

1 Phd PON a Perugia (tematica condivisa con M. Pedio IOM-CNR)

→ **Azienda interessata MAPRAD → BEAMIDE (spinoff Infn)**

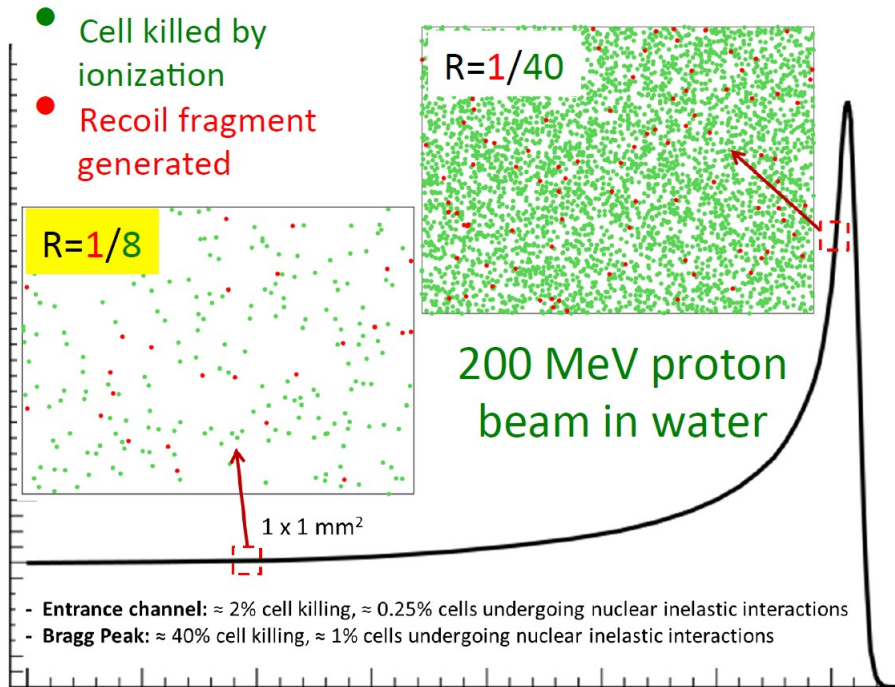
→ Contatti con aziende produttrici di acceleratori medici.

→ Collaborazione con ospedali regionali (Perugia, Foligno, Terni)

→ Accesso a centri nazionali per terapia: CNAO, Adroterapia Trento



Sviluppo di nuovi tipi di sensori (B): Esperimento FOOT: Fragmentation Of Target



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.



Sviluppo di nuovi tipi di sensori (B):

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

Approccio della cinematica inversa →

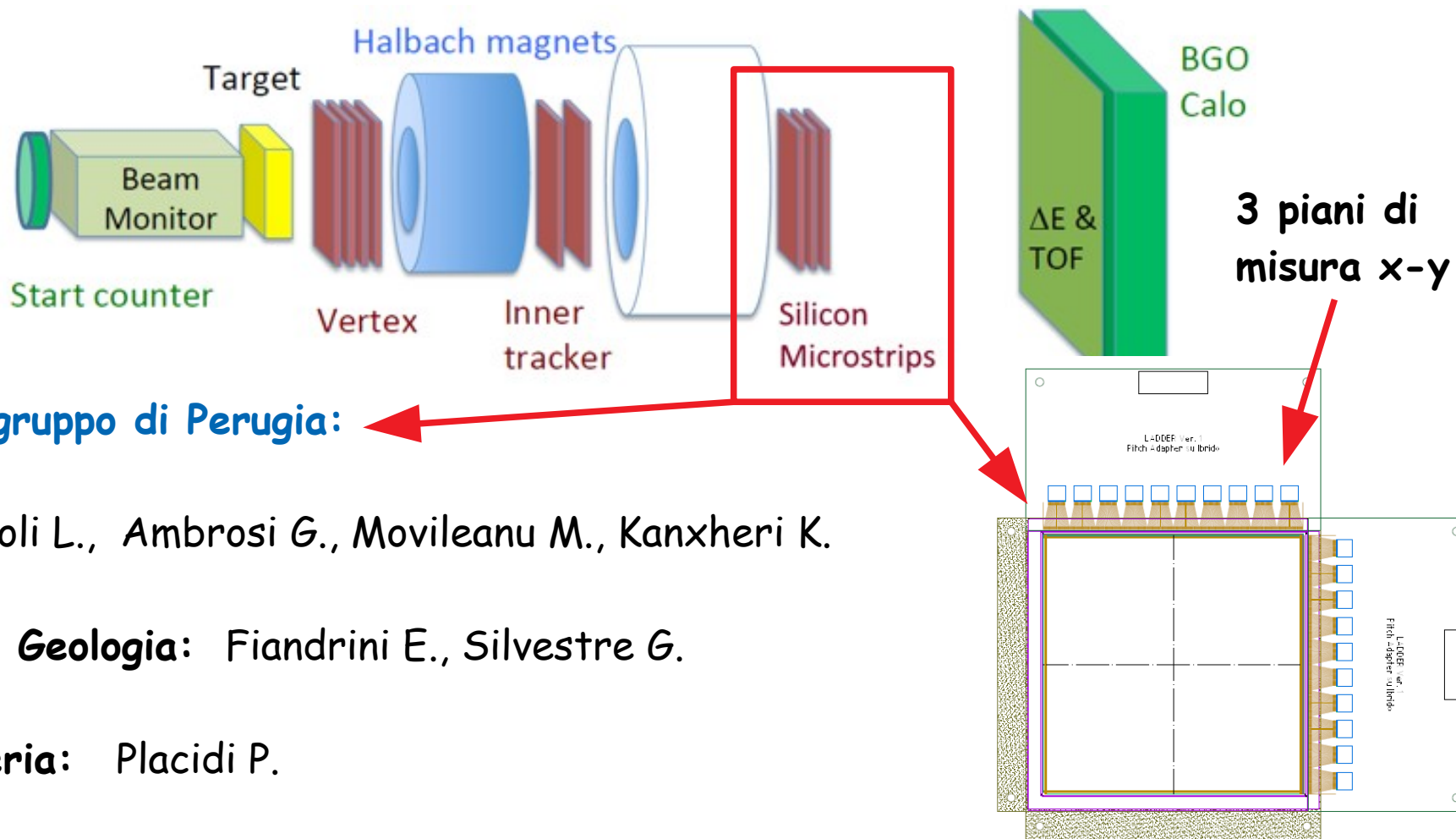
Ioni accelerati colpiscono un bersaglio con protoni.

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

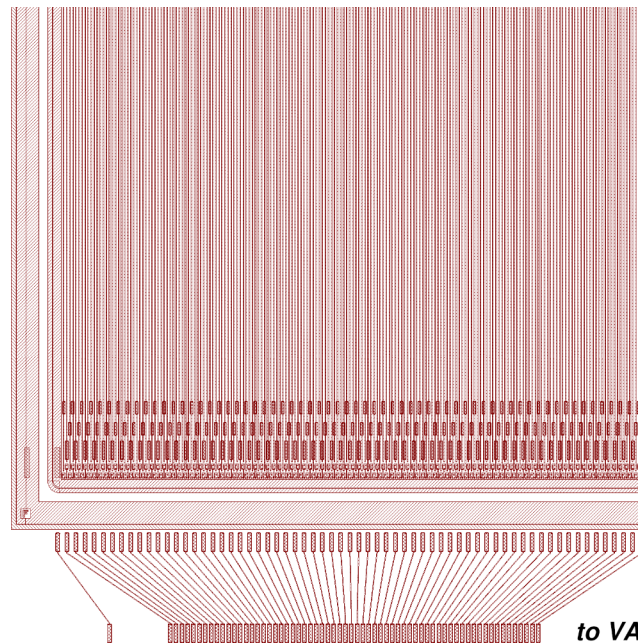
Dip. Ingegneria: Placidi P.



Sviluppo di nuovi tipi di sensori (B):

Sensori sottili a microstrip: 96x96x0.15 mm

- 1) spessore ridotto alla metà dei normali 300 μm ;
- 2) pitch adapter implementato direttamente sul silicio (dimezza il numero di microbond);
- 3) utilizzazione del back metallizzato per schermare il sensore dalla luce visibile (nessun materiale aggiuntivo sulla traiettoria delle particelle);
- 4) 2 floating strip tra due readout strip.



3 piani x-y (due sensori orientati ortogonalmente) prodotti, testati ed installati nell'esperimento per le prime prese dati per commissioning al GSI.

Risoluzione spaziale (14 μm) ed efficienza di rivelazione migliori delle aspettative.



Sviluppo di nuovi tipi di sensori (B):

- A) la stessa tipologia di sensori viene usata per altri esperimenti INFN (POX);
- B) gli stessi sensori utilizzati in due esperimenti a GSI:
 - **S509**: study of multi neutron correlation in very neutron rich N, C, B, isotopes
 - **S522**: study of Short Range Correlations among nucleons of 12, 16C.
- C) evoluzione dei sensori e della DAQ sviluppata a Perugia per misure di precisione e prototipi per futuri esperimenti.
- D) studio di possibili applicazioni alla medicina: es. valutazione della zona di confidenza attorno ad un tumore rescisso dal paziente in tempo quasi-reale.