

HASPIDE



Hydrogenated Amorphous Silicon Pixel Detectors
for ionizing radiation

L. Servoli on behalf of HASPIDE Group



Goals



Deposizione di strati sottili di α -Si:H (1 - 10 μm) su substrati sottili di plastica per produrre dispositivi da usare per:

- **beam monitoring di acceleratori sia clinici che non clinici;**
- **rivelazione di burst di radiazione nello spazio, eventi di Solar Energetic Particles;**
- **rivelazione di neutroni attraverso la deposizione di ^{10}B su uno strato di α -Si:H per rivelare gli α prodotti dalla conversione dei neutroni.**



Richieste Finanziarie per 2024



Totale assegnato: $201.5 + 152 = 353.5$ k€; richiesto per 2024: 335 k€

Istituzioni Italiane:

Perugia:	L. Servoli	86.5 k€
Firenze:	C. Talamonti	61.5 k€
Lecce:	A.G. Monteduro	23.0 k€
LNS:	G. Cuttone	21.0 k€
Milano:	V. Liberali	102.0 k€ (di cui 1 AdR)
Roma1:	D. Caputo	25.0 k€
Torino:	G. Mazza	16.0 k€

Istituzioni estere:

EPFL Neuchatel (N. Wyrsh) , Uni. of Wollongong (M. Petasecca)



Manpower:

Responsabile Nazionale: L. Servoli (PG)

Perugia: L. Servoli; 16 Persone, 5.7 FTE

INFN: L. Servoli, M. Menichelli, M. Movileanu-Ionica, A. Morozzi, L. Tosti, (T. Croci 0%)

CNR: M. Pedio, F. Moscatelli, N. Zema

UNIPG: P. Placidi, D. Passeri, F. Peverini, B. Gianfelici, (K. Kanxheri 0%)

Ospedali: M. Paolucci, R. Di Lorenzo

Altre sedi stanno pure incrementando il loro manpower (+ Roma1 nuovo gruppo).

50 ricercatori x 15.8 FTE = 31.6 % / ricercatore (erano 35 ric. X 8.5 FTE)



Organizzazione Esperimento:

Resp. Naz. L. Servoli



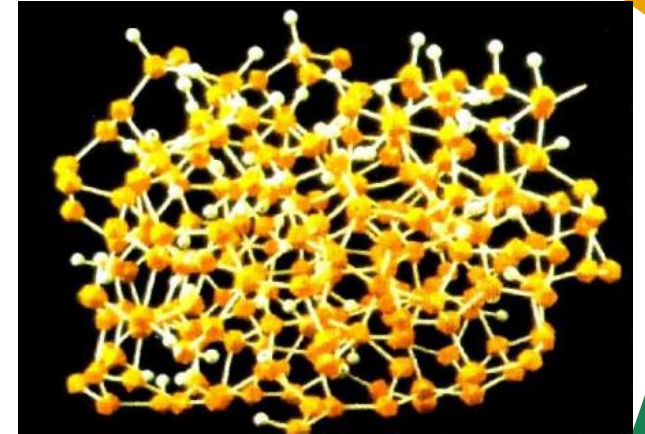
- WP1 (Resp. M. Menichelli): Disegno, costruzione e test dei sensori. (PG)*
- WP2 (Resp. V. Liberali): Progettazione e realizzazione sistemi DAQ. (PG)*
- WP3 (Resp. D. Passeri): Simulazione dispositivi (PG)*
- WP4 (Resp. C. Talamonti): Caratterizzazione di fasci di radiazione (PG)*
- WP5 (Resp. C. Grimani): Applicazione a tematiche di Space Weather (PG)*
- WP6 (Resp. G. Quarta): Realizzazione rivelatori di neutroni*



Why a-Si:H as material?



- *it is intrinsically radiation resistant;*
- *it has a charge collection efficiency half the c-Si;*
- *it can be deposited in thin layers (~ 1-100 μm);*
- *it can be deposited with any pattern on the substrate (lithography)*
- *it can be deposited on different substrates, even flexible ones like mylar and kapton;*
- *it is possible a low weight device with a wide area.*

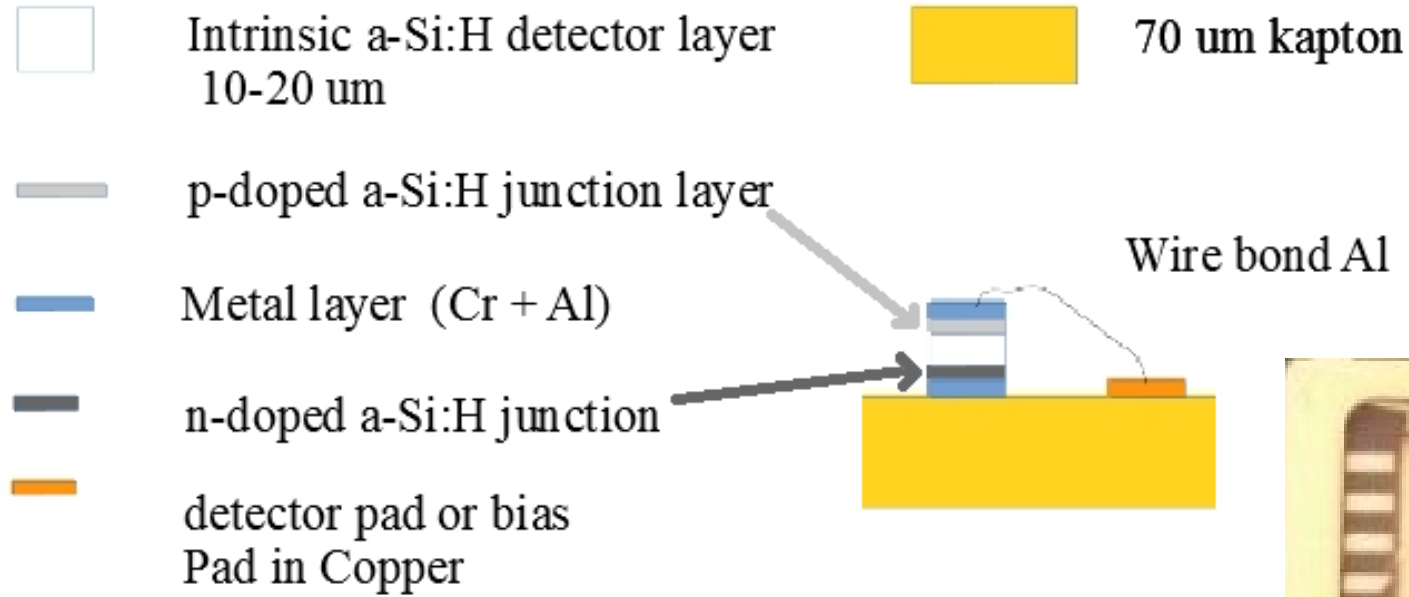




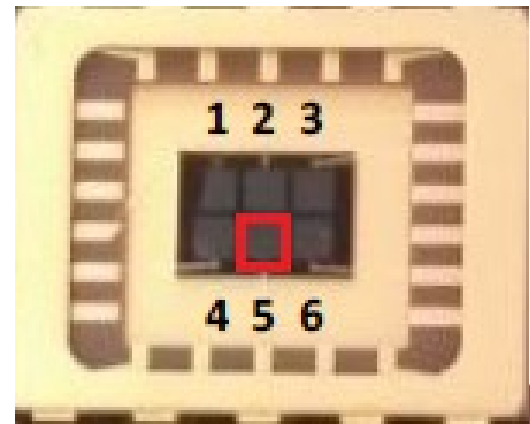
How a device will look like?



p-i-n structure: signal generated in intrinsic layer



6 diodes: 1x1 mm x 10 μm

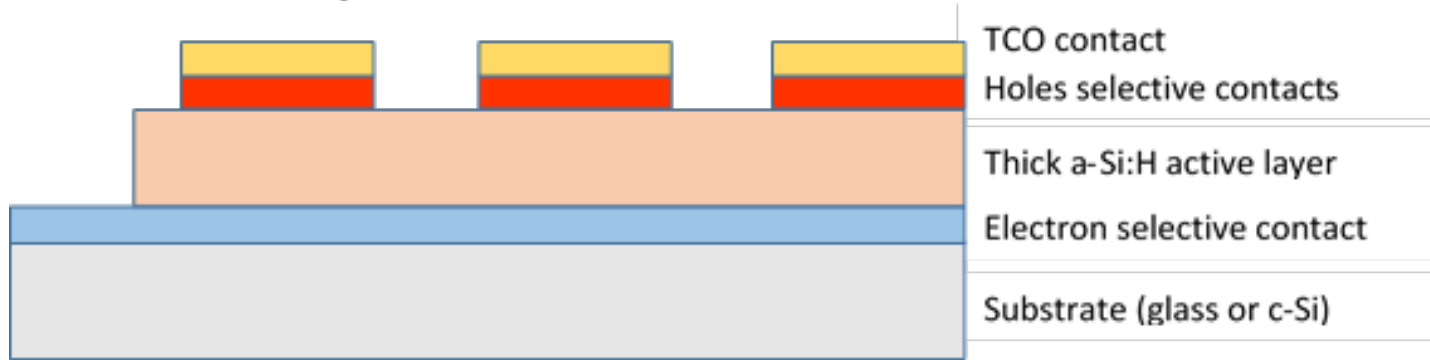




a-Si:H contact types



Charge Selective Contacts (CSC): two thin layers of metal oxides sandwiching the sensitive *a-Si:H* film.



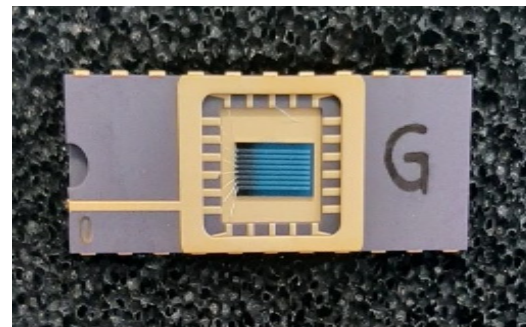
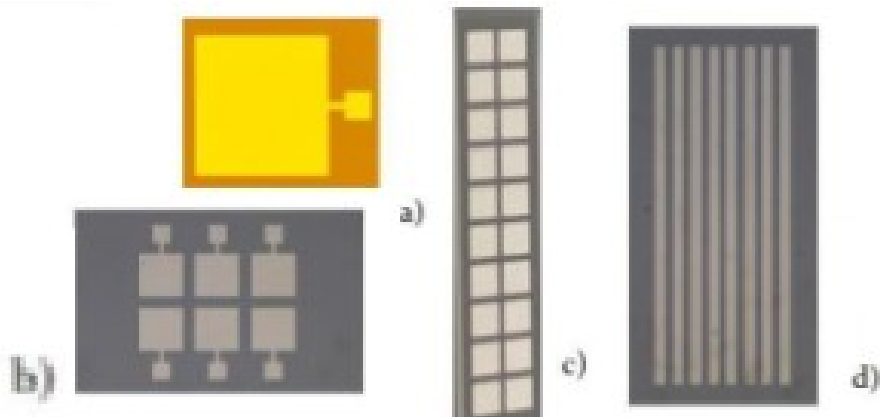
Our first prototypes:

- **electron selective contacts:** ZnO:Al or TiO_2
- **hole selective contacts:** MoO_x

Selective contact layer thickness $< 30 \text{ nm}$; **intrinsic layer** $(1-10 \mu\text{m})$



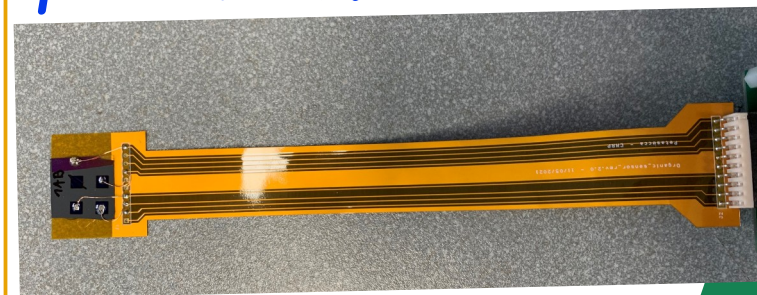
Prototipi sensori a-Si:H



Package è importante per prestazioni.

**Dispositivi p-i-n su Kapton ($25\ \mu\text{m}$)
 $2 \times 2\ \text{mm}^2$ e $5 \times 5\ \text{mm}^2$.**

**Possibilità di creare dispositivi sottili
< $100\ \mu\text{m}$ spessore su supporti
flessibili**

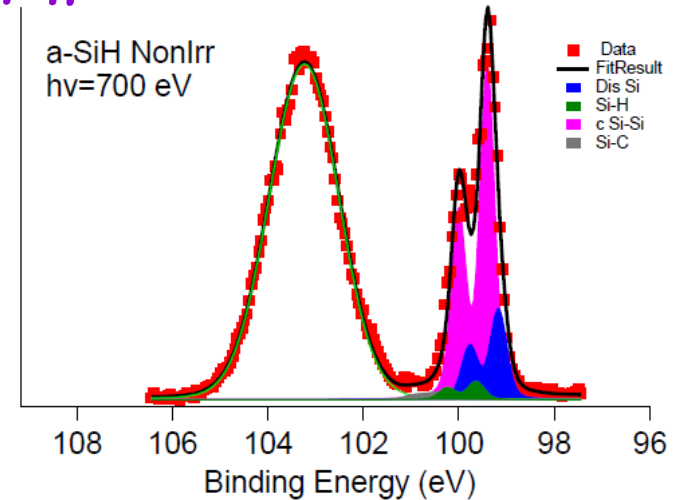
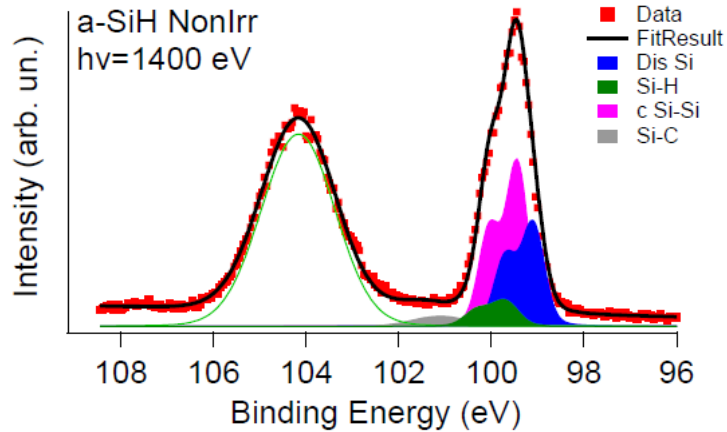


**Package su circuiti su
kapton sottile**



Test spettroscopici

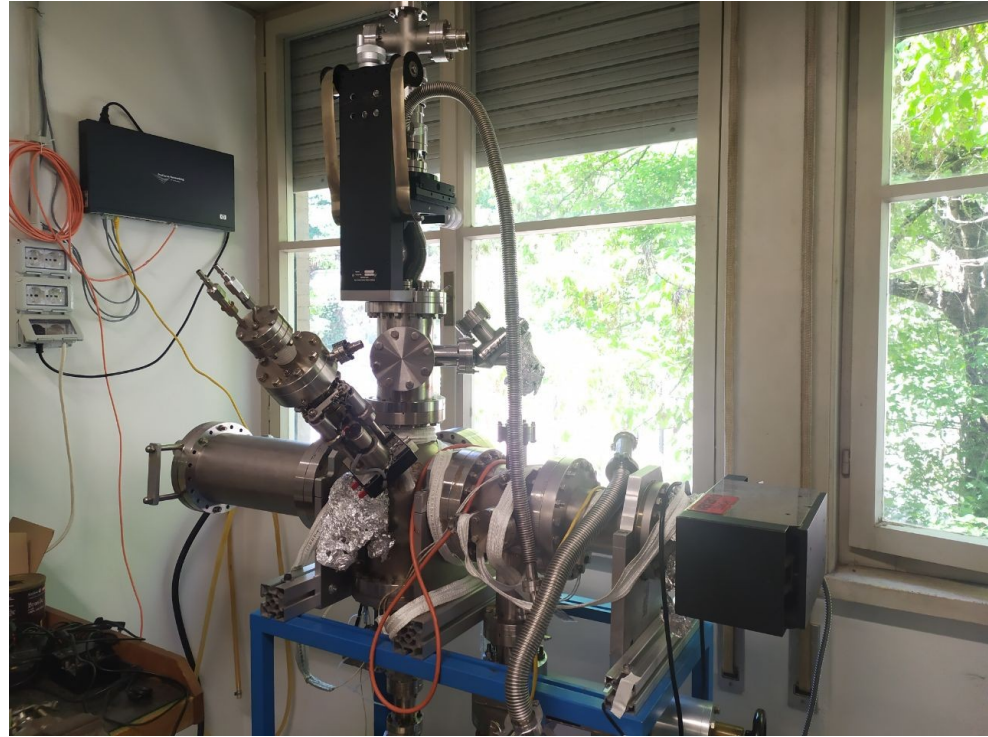
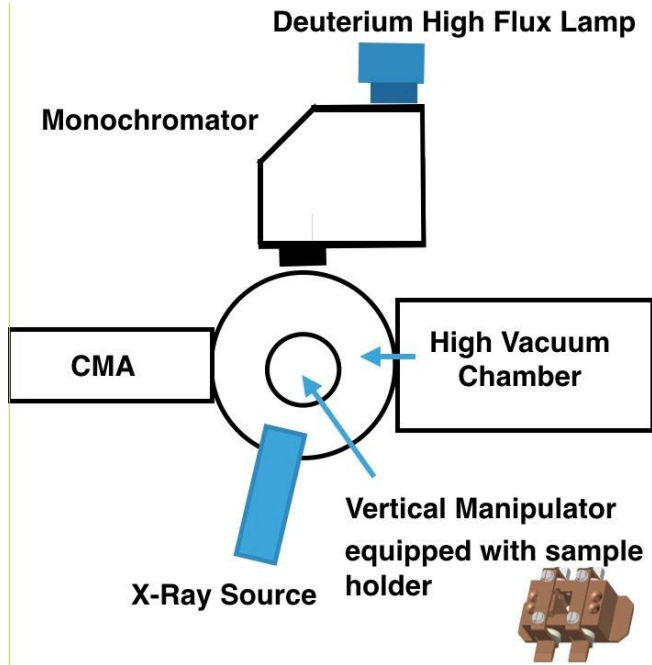
HASPIDE: dispositivi p-i-n



**È cruciale avere energie differenti per caratterizzare a differenti profondità (decine di nm).
Si studia la tipologia di aggregazione microscopica locale del materiale perché può essere determinante nelle performance. (M. Pedio, F. Peverini, N. Zema)**

F. Peverini et al.: High-Resolution Photoemission Study of Neutron-Induced Defects in Amorphous Hydrogenated Silicon Devices. *Nanomaterials* 2(19),3466 (2022) doi:10.3390/nano12193466

Test spettroscopici a Perugia



Strumento montato nel laboratorio Verdini-Pedio di Struttura della Materia al 4 piano con contributo INFN (monocromatore finanziato entro progetto HASPIDE). Commissioning quasi finito. Prime misure in settembre.

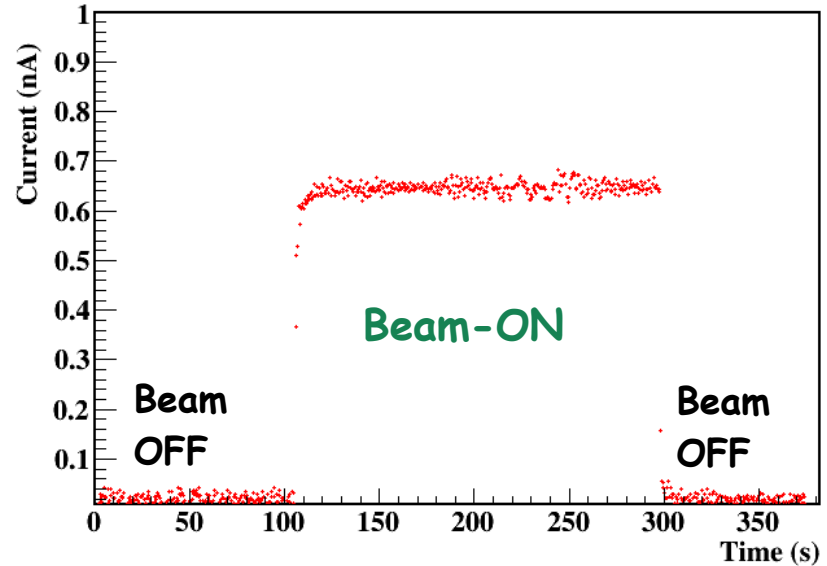
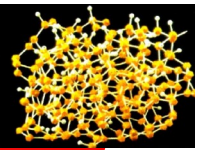
CdS Perugia 18 luglio 2022



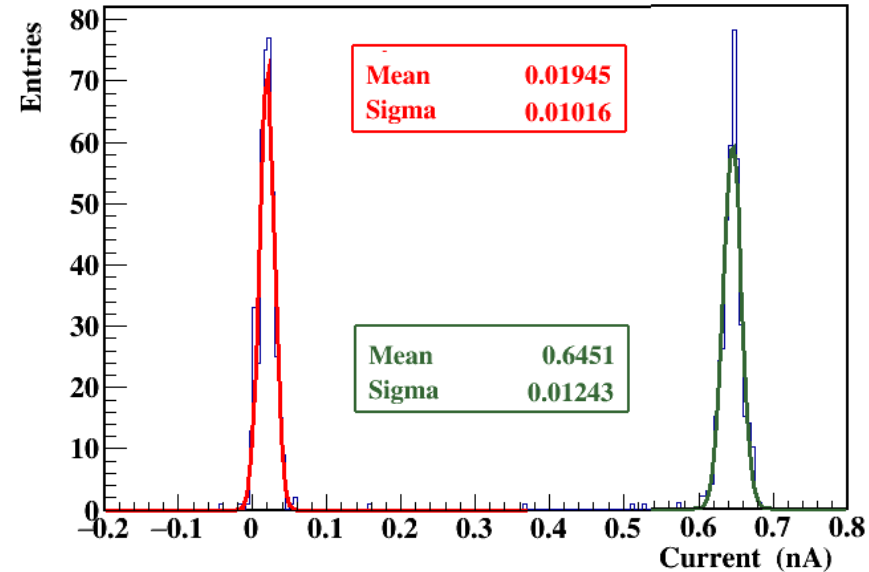
Test su fasci X a Perugia



Risposta a raggi X: 30 kV, 100 μ A, 4x4 mm², spessore 8.2 μ m , 0 V bias



$$\text{Signal} = S_{\text{Beam-ON}} - S_{\text{Beam-OFF}}$$



Corrente di buio
Noise ~ 10 pA

Risposta Sensore
Noise ~ 12 pA

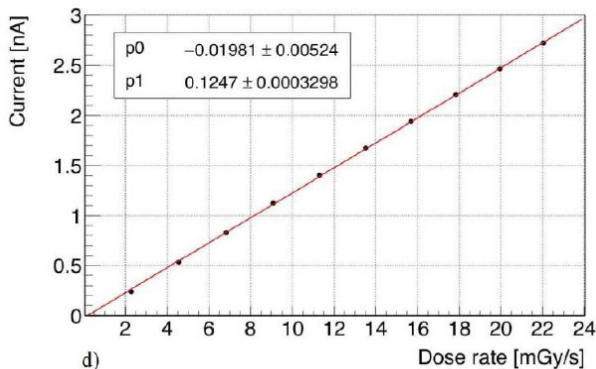
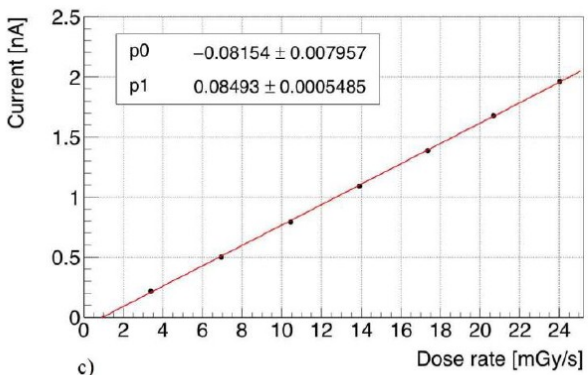
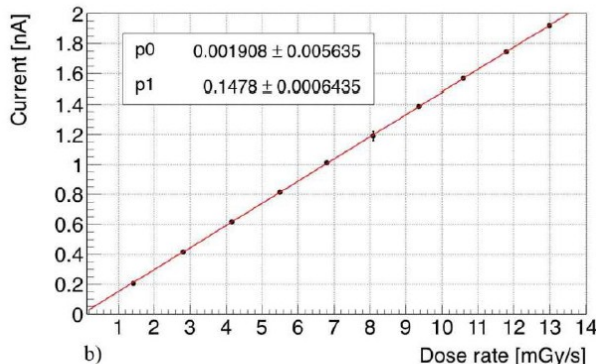
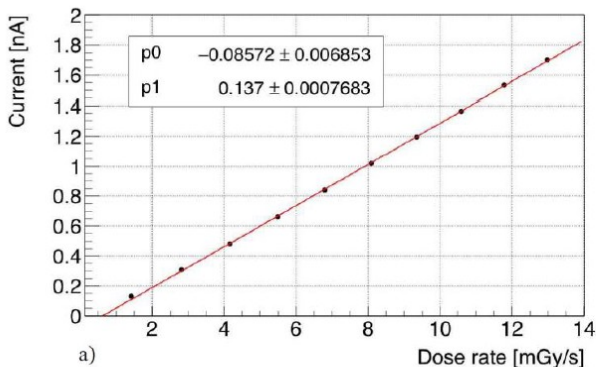
Limite attuale del rumore: 2 pA → S/N = 5 → 10 pA



Test su fasci X a Perugia



Moltissimi test effettuati con il vecchio tubo X situato nella camera climatica Lab. Sviluppo Sensori Innovativi. (F2) (M. Menichelli, F. Peverini, L. Tosti, K. Kanxheri, L. Servoli, B. Gianfelici)



Linearità della risposta vs dose-rate di sensori che hanno diverso spessore (8.2 e 6.2 μm) e diversi tipi di contatti CSC (Aluminun Zinc Oxide, TiOx, MoOx)



Simulazione dispositivi

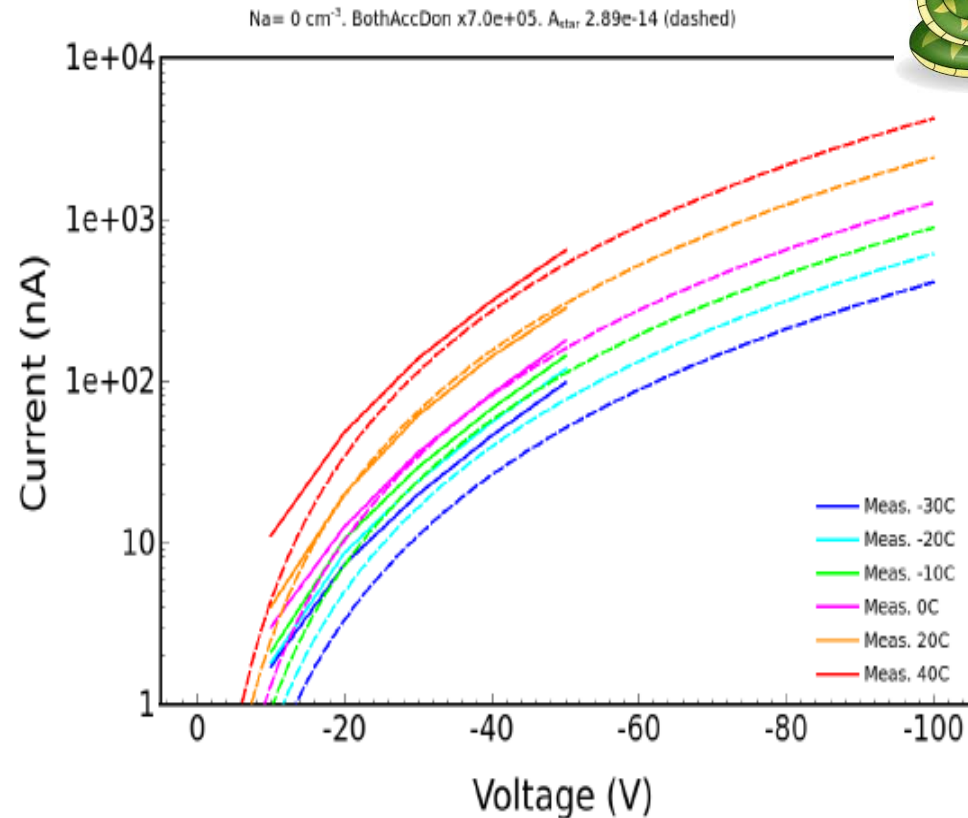


Proseguendo il lavoro pluriennale fatto a Perugia, una delle linee di sviluppo è la modellazione del silicio amorfo idrogenato all'interno del software di simulazione TCAD per progettazione e studio di dispositivi a semiconduttore. (D. Passeri, A. Morozzi, T. Croci)

$$\tau_{\text{dop}} = \tau_{\text{min}} + \frac{\tau_{\text{max}} - \tau_{\text{min}}}{1 + \left(\frac{N_A + N_D}{N_{\text{ref}}}\right)}$$

$$\mu = A^* V^2 T^2 \exp\left(b \frac{\sqrt{|F|} + F_{\text{min}}}{T}\right)$$

Articolo in sottomissione a "Materials Science in semiconductor processing" (Elsevier)





Caratterizzazione di fasci clinici



Molti test fatti su vari acceleratori (Coord. C. Talamonti)

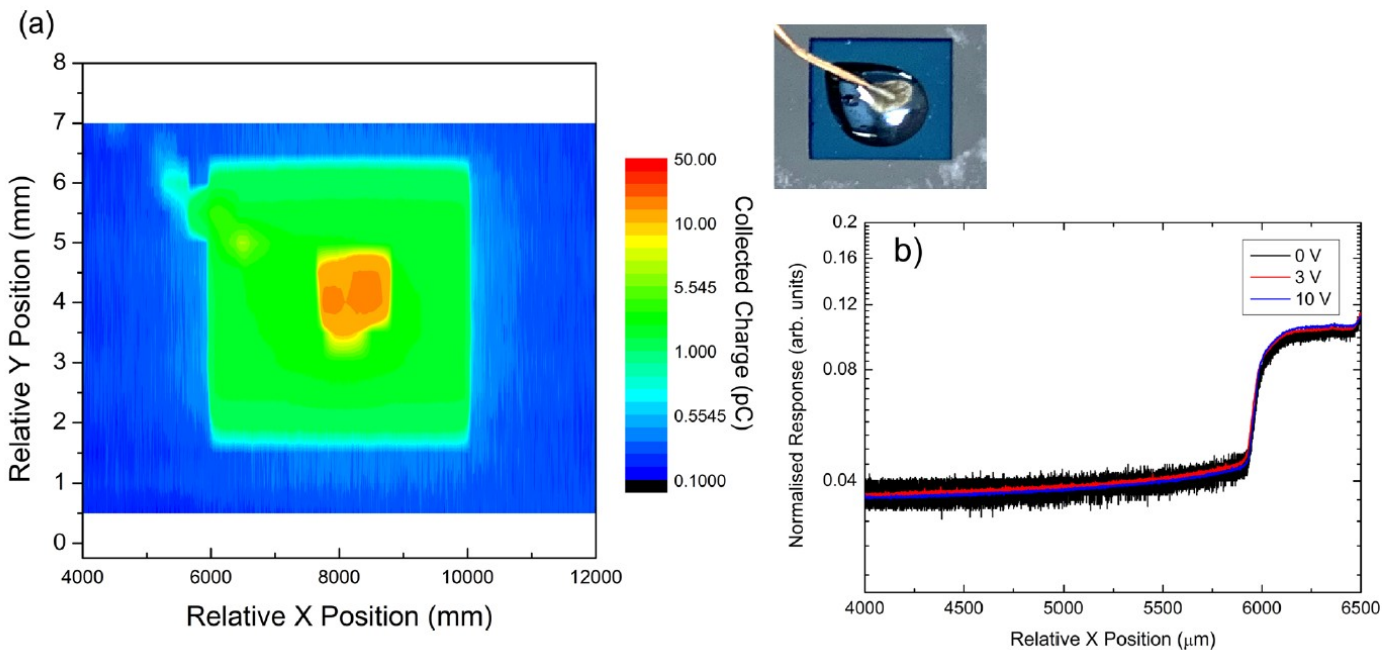
- 4-5 sessioni presso Ospedale Careggi;*
 - 2 sessioni presso Sincrotrone a Melbourne (Australia)*
 - 1 sessione presso ciclotrone per radiofarmaci a Berna*
 - 1 sessione presso Centro Adroterapia Trento*
 - 2 sessioni presso Acceleratore di protoni CEDAD Lecce*
-
- studio sensitività;*
 - studio linearità vs dose-rate;*
 - studio risposta con fantocci antropomorfi;*



Volume Sensibile di dispositivi a-Si:H



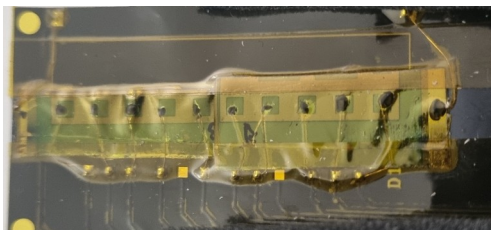
X-Ray Beam Induced Voltage (XBIC) technique:



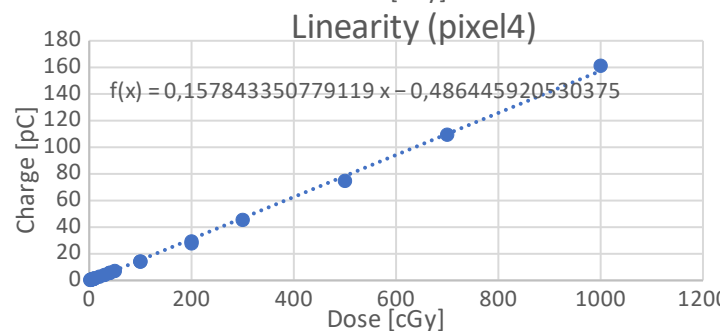
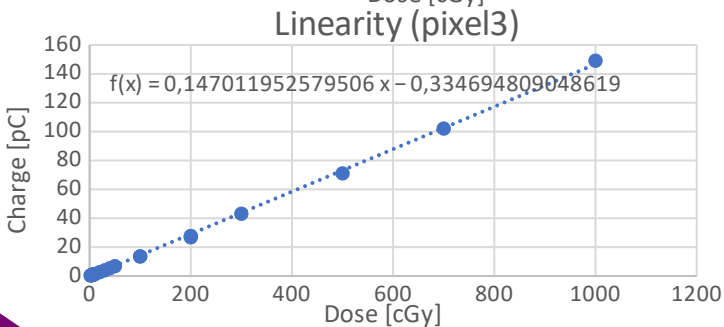
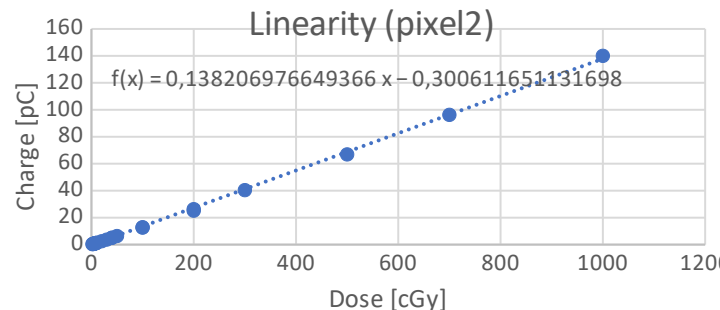
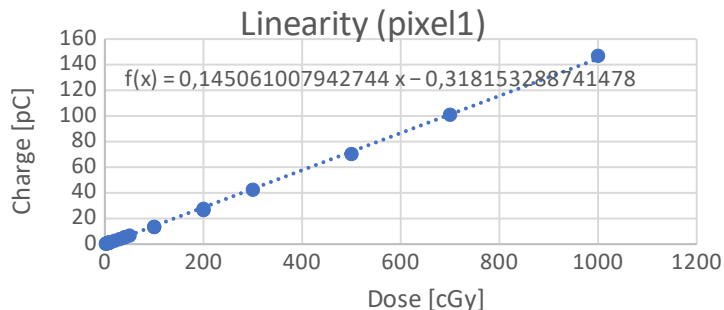
M. Large et al: "Hydrogenated amorphous silicon high flux x-ray detectors for synchrotron microbeam radiation therapy", Phys. Med. and Biol. doi: 10.1088/1361-6560/acdb43



Matrici lineare di pixel



4 pixel 2x2 mm su kapton, 2.5 μm di spessore, letti in contemporanea.



Sensitivity of the four pixels is 140-160 fC/cGy

RMS ~ 3%

S/N ~ 70

linearity 0,999



Applicazione Space Weather



Gli eventi di Solar Energetic Particle (SEP) se osservati continuamente e da diversi punti di osservazione (multi-spacecraft) ci permettono di studiare il ruolo della diffusione interplanetaria della radiazione e gli effetti di trasporto.

A questo scopo serve misurare i flussi differenziali in energia dei protoni da decine di MeV fino almeno a 400 MeV in modo da potersi raccordare con le osservazioni fatte dalla International Space Station:

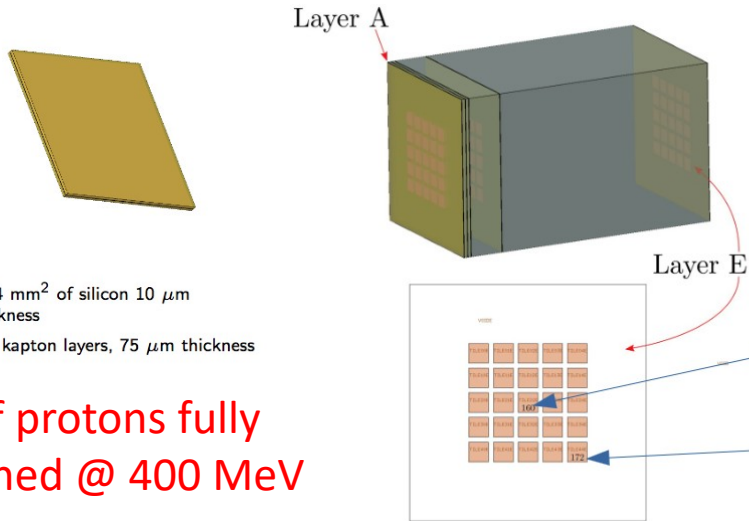
Obiettivo è misurare questi flussi per eventi di intensità medio alta ($>10^7$ protons $\text{cm}^{-2} > 30$ MeV).



Applicazione Space Weather



Stiamo simulando (FLUKA) un dimostratore capace di effettuare questa misura e di essere ospitato anche su satelliti piccoli come i cubesat



75% of protons fully contained @ 400 MeV

	400 MeV		600 MeV	
Region	Mean (keV)	RMS (keV)	Mean (keV)	RMS (keV)
160	11.7	26.4	4.2	26.1
172	16.1	36.1	2.1	5.0

C. Grimani, L. Servoli et al: "A Hydrogenated amorphous silicon detector for Space Weather Applications". *Sottomesso a Astrophysics and Space Science.*



Articoli e proceedings



- **M. Menichelli et al.**: Testing of planar hydrogenated amorphous silicon sensors with charge selective contacts for the construction of 3D-detectors. *JINST*, 7, 31 (2022)
[doi:10.1088/1748-0221/17/03/C03033](https://doi.org/10.1088/1748-0221/17/03/C03033)
- **M. Large et al.**: "Hydrogenated Amorphous Silicon High Flux X-ray Detectors for Synchrotron Beam Monitoring Applications". *Physics in Medicine and Biology* PMB-114633 (2023)
[doi: 10.1088/1361-6560/acdb43](https://doi.org/10.1088/1361-6560/acdb43). **Open Access grazie al finanziamento UOW.**
- **M. Menichelli et al.**: Neutron irradiation of Hydrogenated Amorphous Silicon p-i-n diodes and charge selective contacts detectors. *Nucl. Instr. and Meth. A*: 1052 (2023), 168308
[doi: 10.1016/j.nima.2023.168308](https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168308)
- **F. Peverini et al.**: High-Resolution Photoemission Study of Neutron-Induced Defects in Amorphous Hydrogenated Silicon Devices. *Nanomaterials* 2 (19), 3466 (2022) [doi:10.3390/nano12193466](https://doi.org/10.3390/nano12193466)

Altri 4 articoli in fase di scrittura (tutti con partecipazione di Perugia)



Conferenze



12 conferenze solo nel 2023 (8 già effettuate, 3 accettate) dove sono stati presentati i risultati dell'esperimento, di cui **7 da persone di Perugia**.

- 1) WP4: Poster at ESTRO Conference in Vienna → C. Talamonti
- 2) WP3: Poster at E-MRS Conference (Strasbourg) → D. Passeri
- 3) WP5: Talk at workshop SPACEMON ESA/ESTEC Noordwijk → C. Grimani
- 4) WP1: Talk at IWASI 2023 (Monopoli) → M. Menichelli
- 5) WP4: Talk at ASAPP conference (Perugia) → L. Servoli
- 6) WP4: Talk at ASAPP conference (Perugia) → C. Grimani
- 7) HASPIDE: Talk at X-ray precision measurement workshop (LNF) → K. Kanxheri
- 8) WP1: Talk at IWORID conference (Oslo) → F. Peverini
- 9) WP1: Poster at FISMAT 2023 (Milano) → F. Peverini
- 10) WP1: Talk at 109° SIF Conference (Salerno) → B. Gianfelici
- 11) WP4: invited talk at 20th International Conference on Solid State Dosimetry → M. Petasecca



Lavoro futuro (1)



Proseguire sulle linee aperte finora.

- *Definire sistemi di acquisizione in pulse mode per fasci deboli di ioni.*
- *costruire un dimostratore per la misura delle SEP.*
- *costruire un dispositivo a matrice bidimensionale di sensori per caratterizzazione di fasci all'interfaccia vuoto-aria di un acceleratore*
- *effettuare una misura dosimetrica di irraggiamento total body su fantoccio antropomorfo.*



Richieste ai servizi



- 1) *Officina meccanica: 1 m.u. per realizzare setup dimostratore misura SEP e setup meccanici per test presso i vari acceleratori*
- 2) *Camera bianca per microsaldatura e microposizionamento di sensori (1 m.u.)*
- 3) *Accesso probe station in camera bianca per caratterizzazione di prototipi (2/4 settimane max) (due batch di sensori da EPFL, 1-2 da Lecce, 1-2 da Roma1)*