

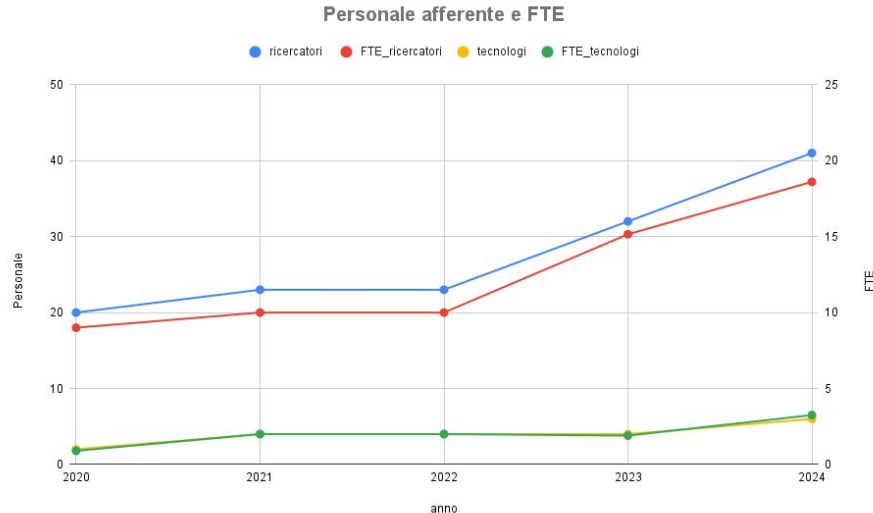
# La Commissione Nazionale 5

- La commissione è suddivisa in 3 sottocommissioni corrispondenti alle 3 aree tematiche principali:
  - Rivelatori & Elettronica;
  - Acceleratori;
  - Fisica Interdisciplinare.
- Ci sono 3 categorie di esperimenti:
  - Sigle Standard: progetti di 2-3 anni a budget medio-basso (10-50k€/y).
    - Incubatori di attività e idee promettenti e interessanti per l'Ente.
    - Supporto ad attività di più ampio respiro di altre commissioni.
    - Possono avere livelli di rischio elevati.
  - Grant Giovani: Esperimenti (max 75k€/y) di 2 anni per giovani (PhD ≤ 6y). Viene finanziata l'attività sperimentale e l'AdR del PI.
    - Supporto per giovani ricercatori che presentino idee originali.
    - Supporto all'autonomia scientifica e alle capacità direzionali.
  - Call: Progetti ad alto budget e ampio network (10-1M€ max su 3y da bando).
    - Supporto alla formazione di network ampi per progetti di frontiera su argomenti strategici.
    - Finanziamento di Assegni di Ricerca.
- Nel 2023 stiamo avendo qualche difficoltà con le richieste di missioni per conferenze, dal 2024 verrà prevista un'assegnazione dedicata alle missioni per conferenze internazionali con modalità da definire

- **Analisi dei proposal a Luglio:**
  - I coordinatori della Sezioni corrispondente ai PI presentano con 3 slides le nuove proposte a tutta la Commissione. Con i coordinatori non si discutono gli aspetti scientifici delle proposte.
  - Prima analisi delle proposte in sottocommissione con assegnazione di un ranking numerico.
- **Procedura di ranking: ranking numerico suddiviso in 3 voci:**
  - Impatto scientifico/tecnico. Chiarezza nella spiegazione della novelty e sull'incremento rispetto allo stato dell'arte. Attinenza con le mission dell'Ente. Attinenza con le tematiche della CSN5. (1-10)
  - Chiarezza nella spiegazione delle metodologie. Chiarezza nella spiegazione dei risultati attesi. Metodi di valutazione del progresso dell'esperimento. Analisi e mitigazione dei rischi. (1-10)
  - Sostenibilità dell'esperimento. Consistenza e giustificazione delle richieste finanziarie. Consistenza del personale impegnato nell'esperimento con l'attività prevista. Competenza dei proponenti riguardo l'argomento della proposta. (1-10)
- **Giudizi e selezione finale:**
  - I voti vanno accompagnati da giudizi puntuali e dettagliati dai quali si evincono le ragioni del voto.
  - Ogni sottocommissione stila i giudizi collegialmente preoccupandosi della coerenza fra termini e/o aggettivi con il risultato finale.
  - Per passare la prima fase un proposal deve totalizzare almeno 18/30 e deve aver preso un voto maggiore di 4/10 su tutte le voci.
- **Tra la riunione di luglio e quella di settembre:**
  - Ai proposal approvati a luglio verranno assegnati almeno 2 referee
  - Prima della riunione di settembre i PI devono organizzare un (unico) incontro fra il gruppo e i referee durante il quale la proposta viene discussa nel dettaglio.
- **Alla riunione di Settembre:**
  - I PI presentano la proposta in plenaria.
  - Dopo la discussione i referee propongono dei voti accompagnati da giudizi dettagliati, secondo la struttura del ranking già descritto.
  - Le sottocommissioni si riuniscono e verificano l'omogeneità fra voti e giudizi. I giudizi dei referee sono intoccabili, ma i voti possono essere rinormalizzati in base al confronto con gli altri esperimenti.
  - Eventuali obiezioni al responso dei referee da parte dei coordinatori vanno motivate in modo esaustivo.
  - Alla fine si stila una graduatoria e si può scegliere quanti e quali esperimenti finanziare in relazione ai punteggi e alle disponibilità della Commissione.

# Stato progetti CSN5 di Roma Tor Vergata

- Sigle locali 2024: DIDO (Grant Giovani), DIODE (RN), FUSION, UNIDET
- Sigle in chiusura: APEIRON, SL\_COMB2FEL
- Richieste di prolungamento: MAG, QUANTEP (RN)
- Nuove richieste: AGRILIGHT (RN), FAIR\_5, LITE\_SLPD, MANIFOLD, SL\_BETATEST
- Ricercatori: 41 (18.6 FTE) - Tecnologi: 6 (3.25 FTE)

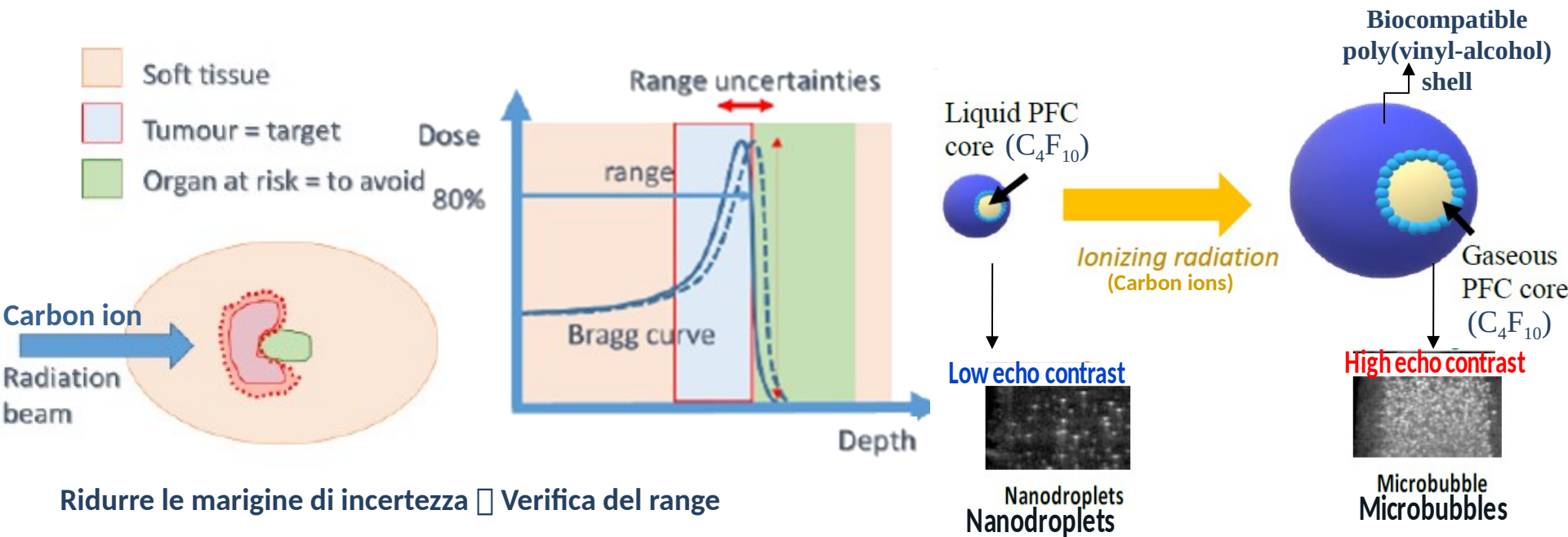


**DIDo:**  
**NanoDroplets as Injectable**  
**Do**simeters for Hadron Radiotherapy

*Responsabile locale e Nazionale:*  
*Dott.ssa Yosra Toumia*

## Concetto/Scopo

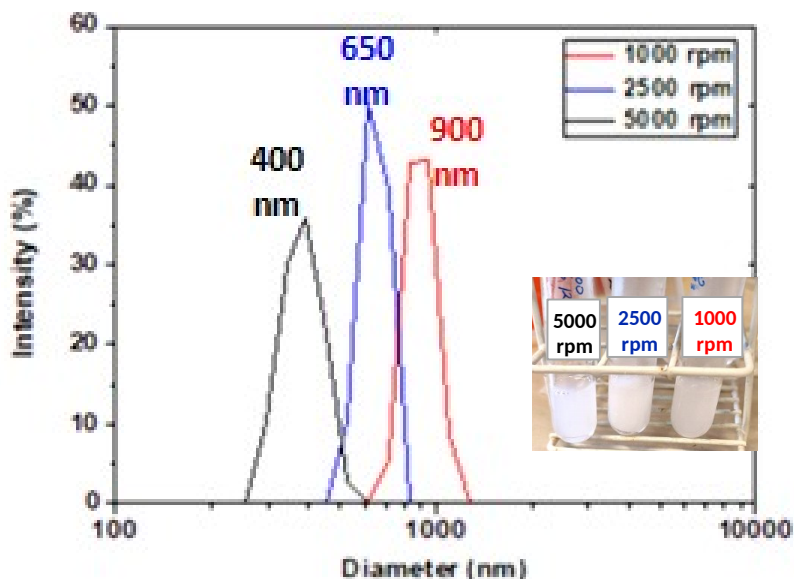
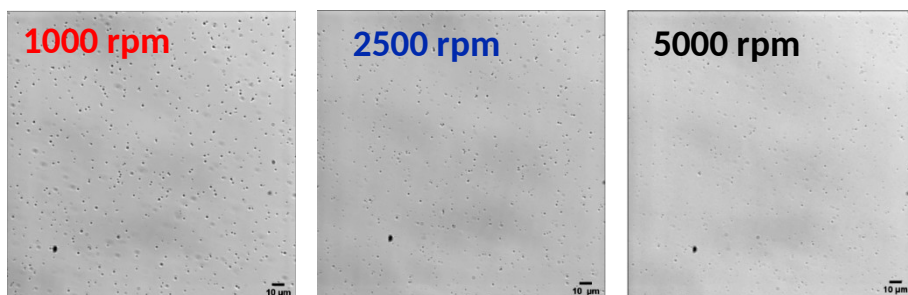
**DIDo ha lo scopo di sviluppare un sistema di dosimetria e verifica di range in-situ, non invasivo, per la terapia adronica ai ioni carbonio.** In particolare, dei mezzi di contrasto ecografici a transizione di fase (nanogocce) sono stati progettati per interagire con la radiazione Ioni Carbonio. A seguito di questa interazione, generano un segnale di contrasto ecografico, la cui intensità e posizione saranno correlate alla dose e al range dove accade il picco di Bragg.



## Obiettivi di DIDo

- Ottimizzare la distribuzione di dimensione delle nanogocce dopo formulazione tramite il metodo di centrifugazione selettiva.
- Capire l'influenza delle dimensione delle nanogocce sulla loro risposta agli ioni carbonio.
- Determinare la linearità della risposta alla dose e l'accuratezza della verifica del range del fascio in funzione della dimensione delle nanogocce.
- Determinare i limiti di rilevazione ecografica della transizione di fase delle nanogocce in funzione della dose e l'energia del fascio.
- Determinare l'influenza della concentrazione delle nanogocce sulla loro risposta agli ioni carbonio.
- Combinare radioterapia con chemioterapia studiando l'impatto aggiuntivo delle nanogocce (caricate o non con farmaco anti-tumorale) su cellule cancerose irraggiate con gli ioni carbonio.

# Risultati



La distribuzione di dimensione delle nanogocce è stata ottimizzata separandole selettivamente dalle più grandi alle più piccole con centrifuga da 1000 a 5000 rpm.

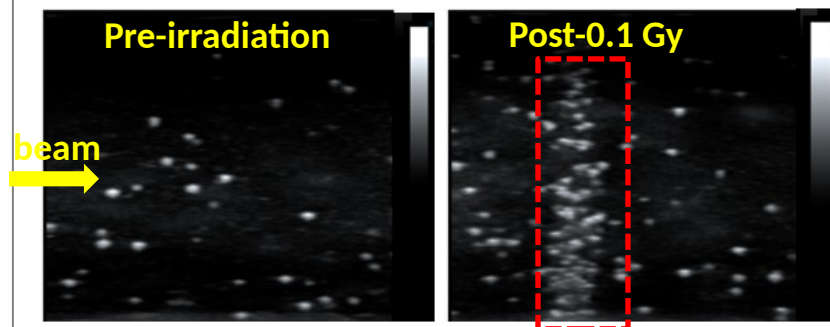
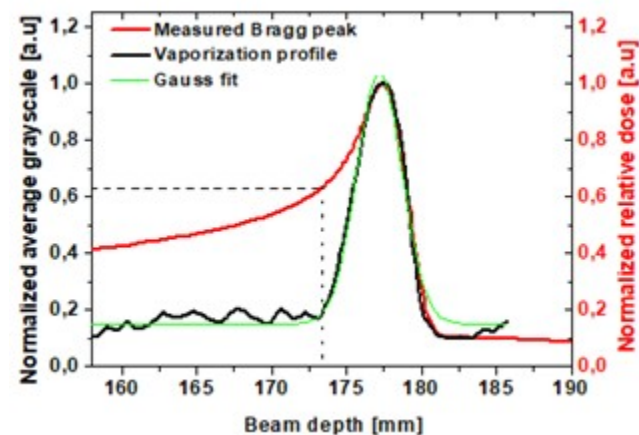


Immagine ecografiche *in-vitro* di nanogocce disperse omogenamente in un fantoccio di poliacrilamide.



Transizione di fase delle nanogocce (1000 rpm) e generazione di contrasto ecografico, precisamente al picco di Bragg, anche ad una dose bassa di 0.1 Gy.

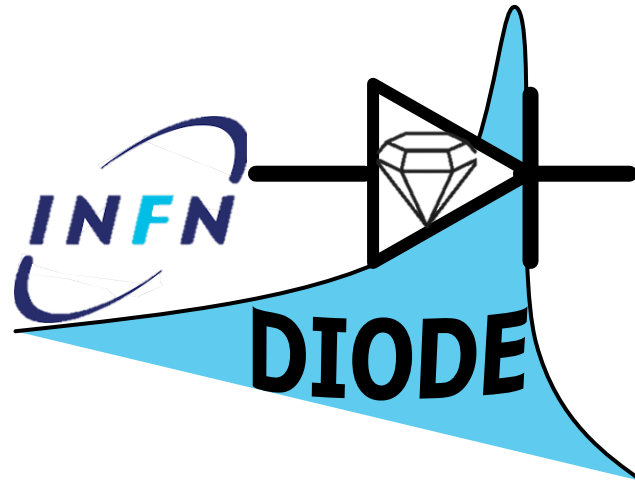
## Anagrafica

Nome&Cognome	Affiliazione	% di partecipazione
Fabio Domenici	1- Dip. Science e Tecnologie Chimiche/Uniroma2 2- INFN. Sez. Roma Tor Vergata	20%
Gaio Paradossi	1- Dip. Science e Tecnologie Chimiche/Uniroma2 2- INFN. Sez. Roma Tor Vergata	20%
Marco Pullia	1- CNAO 2- NFN sez.Pavia	10%
Angelica Facchetti	1- CNAO 2- NFN sez.Pavia	10%
Michele Ferrarini	CNAO	5%
Yosra Toumia (PI)	INFN sez. Roma Tor Vergata	100%



## Richieste Finanziarie 2024

Categoria	Descrizione	Costo stimato (k€)
<b>Reagenti e Consumabili</b>	Prodotti chimici&biologici; gas PFC; materiale di consumo (piastre di cultura cellulare, pipette sterile, siringhe, falcons, etc)	20
<b>Costi Viaggi</b>	Missioni al CNAO per esperimenti di irraggiamenti	10
<b>Dessimazione</b>	2 pubblicazione open access	5
<b>Servizi</b>	Manutenzione strumenti	5
<b>Totale</b>		40



# *DIODE Project*

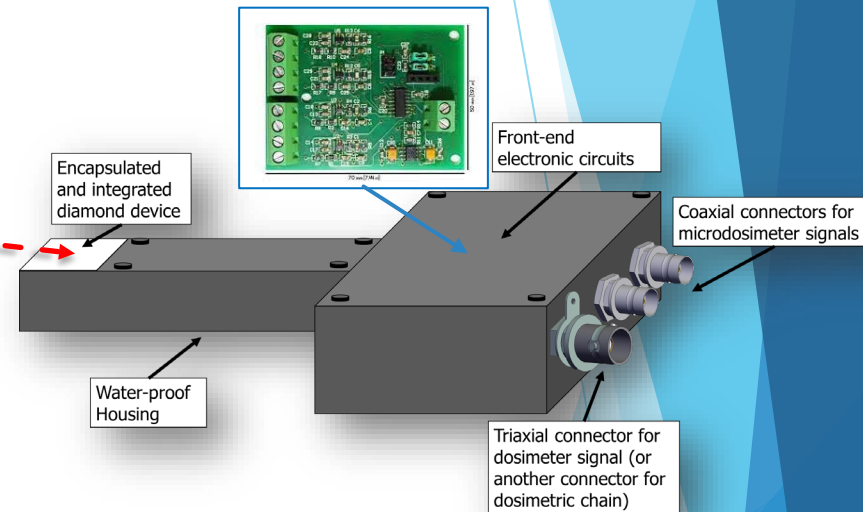
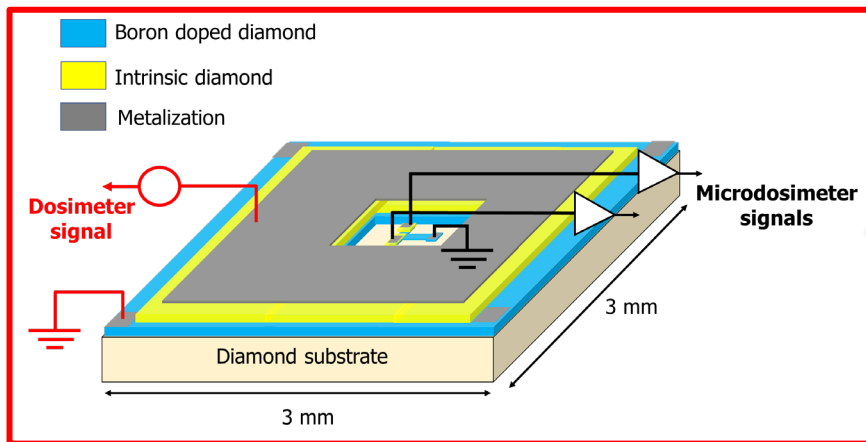
## Report activity 0 - 18 M

*Responsabile Nazionale: Prof. Claudio Verona*



# Progetto DIODE: il proposal

The aim of the proposed project is the development and test of a novel detection system based on synthetic single crystal diamond able to simultaneously perform dosimetric (current integration measure) and microdosimetric (single particle energy deposition measure) characterization of clinical hadron beams.



## Milestones and deliverable in 2022-2023

✓ (06/22) Installazione e collaudo del mask aligner (*WP 1*).



✓ (12/22) Realizzazione di un prototipo di dosimetro/microdosimetro integrati e primi test con microfasci di ioni (*WP 1*).



# WP1 - Sviluppo dosimetro-microdosimetro integrato (attività INFN-Roma2)

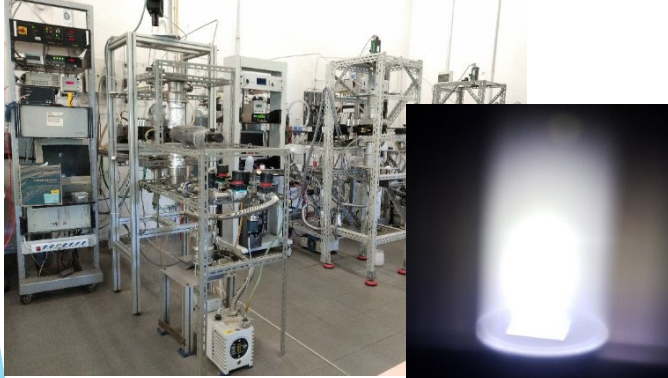
Le attività di ricerca svolte dalla sezione **INFN-ROMA2** nei primi 18 mesi di progetto possono essere riassunte nei seguenti punti:

- ✓ Messa a punto della tecnica di fabbricazione di dispositivi integrati sullo stesso substrato di diamante tramite crescita selettiva CVD utilizzando dei film spessi di Cr depositati per evaporazione termica. In particolare, sono state condotti dei test variando la temperatura e il tempo di deposizione del diamante sintetico sia drogato che intrinseco.
- ✓ Realizzazione di una prima versione di dispositivi integrati in diamante.
- ✓ Installazione e collaudo del Mask Aligner e progettazione di nuove maschere fotolitografiche (contenente i singoli step tecnologici) al fine di realizzare i dispositivi finali.
- ✓ Fabbricazione dei dispositivi integrati combinando deposizione di diamante CVD e tecniche fotolitografiche.
- ✓ Caratterizzazioni dei prototipi presso l'acceleratore AN2000 (INFN-LNL) tramite fascio di protoni di energia tra 0.4 - 2 MeV e tramite tecnica IBIC con microfascio di 1 MeV di protoni.

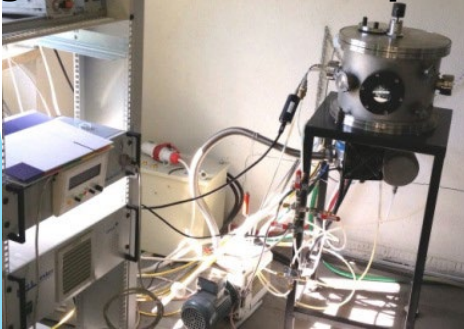
# Sviluppo del processo di fabbricazione dei rivelatori integrati



**CVD diamond deposition**



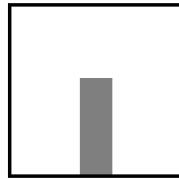
**E-gun and thermal evaporator**



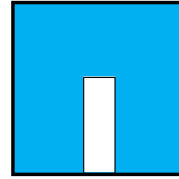
- ✓ Progettazione e realizzazione di maschere metalliche
- ✓ Sviluppo del processo di fabbricazione del dispositivo integrato Dosimetro/ $\mu$ Dosimetro ( prove di MW Potenza/temperature durante la crescita del diamante)
- ✓ Realizzazione dei primi prototipi (minime dimensioni 200 x 200  $\mu\text{m}^2$ )

## Dos- $\mu$ Dos fabrication process

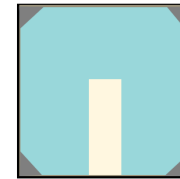
1) Evaporation chromium plasma-resistant mask



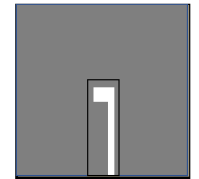
2) Boron doped diamond is selectively grown



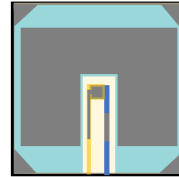
3) Intrinsic diamond is selectively grown



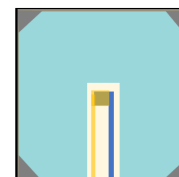
4) Evaporation chromium plasma-resistant mask



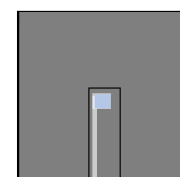
8) Evaporation chromium contacts



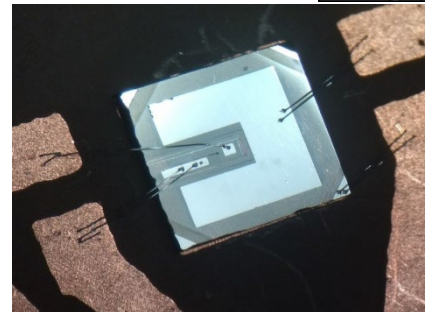
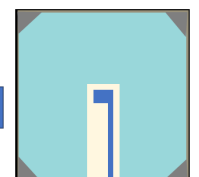
7) Intrinsic diamond is selectively grown



6) Evaporation chromium plasma-resistant mask



5) Boron doped diamond is selectively grown

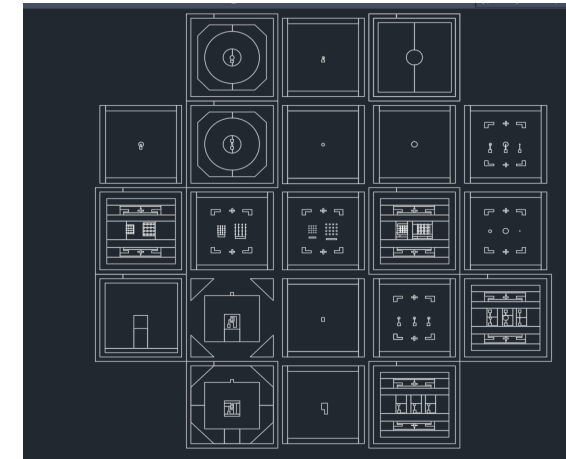
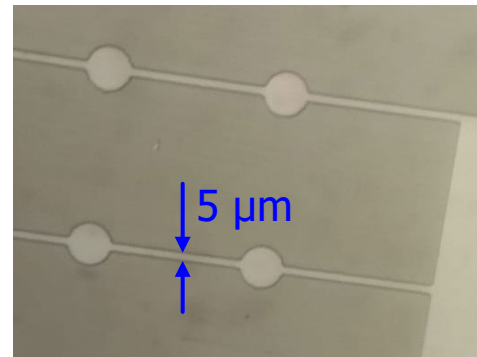


# Fotolitografia ottica

- Installazione e collaudo del Mask Aligner
- Messa a punto del processo di fotolitografia ottica
- Progettazione e realizzazione di una maschera fotolitografica contenete tutti gli step tecnologici per la realizzazione dei dispositivi.

Disegno in CAD della maschera

- 1) Deposizione Photoresist positivo
- 2) Cottura a 100°C
- 3) Esposizione UV tramite Mask Aligner
- 4) Sviluppo
- 5) Wet etching del Cr



Maschera fotolitografica  
realizzata in quarzo

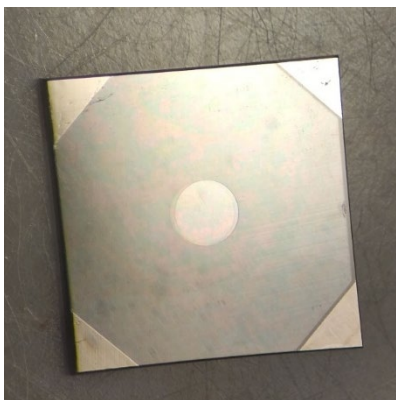


# Fabbricazione del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro finale

1) Deposizione selettiva diamante drogato (elettrodo di back dosimetro)



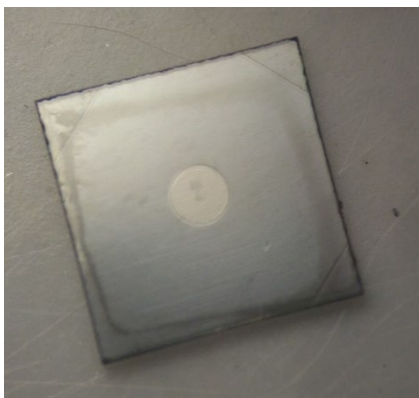
2) Deposizione selettiva diamante intrinseco (SV dosimetro)



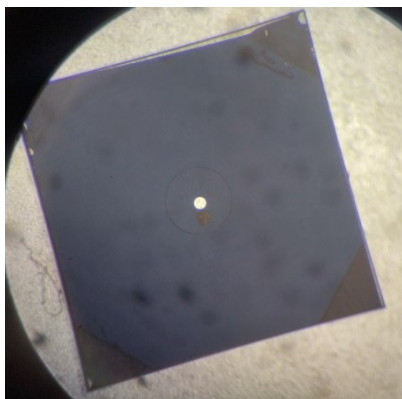
3) Litografia per definire elettrodo del  $\mu$ dosimetro (diamante fortemente drogato)



4) Deposizione selettiva diamante drogato (elettrodo di back  $\mu$ dosimetro)



4) Litografia per definire il SV del  $\mu$ dosimetro



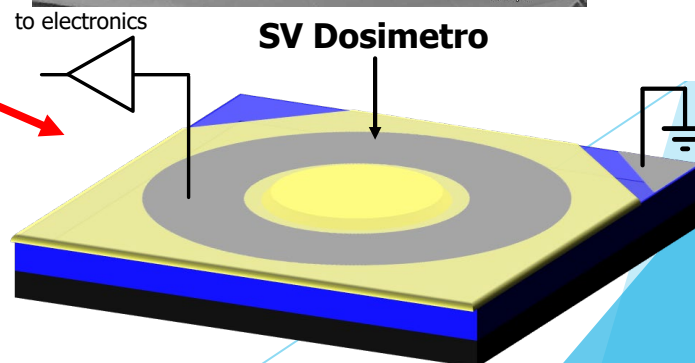
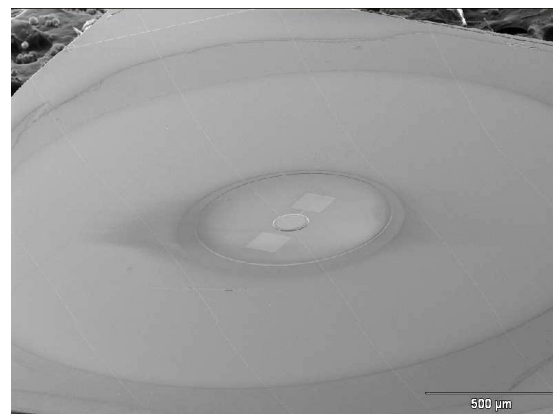
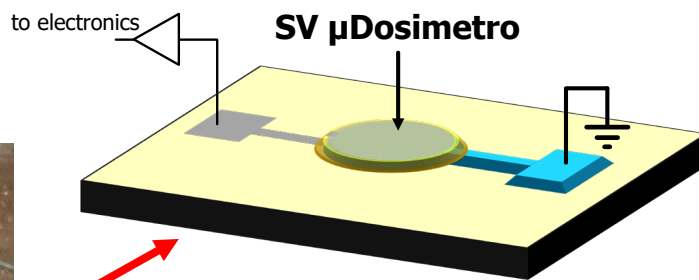
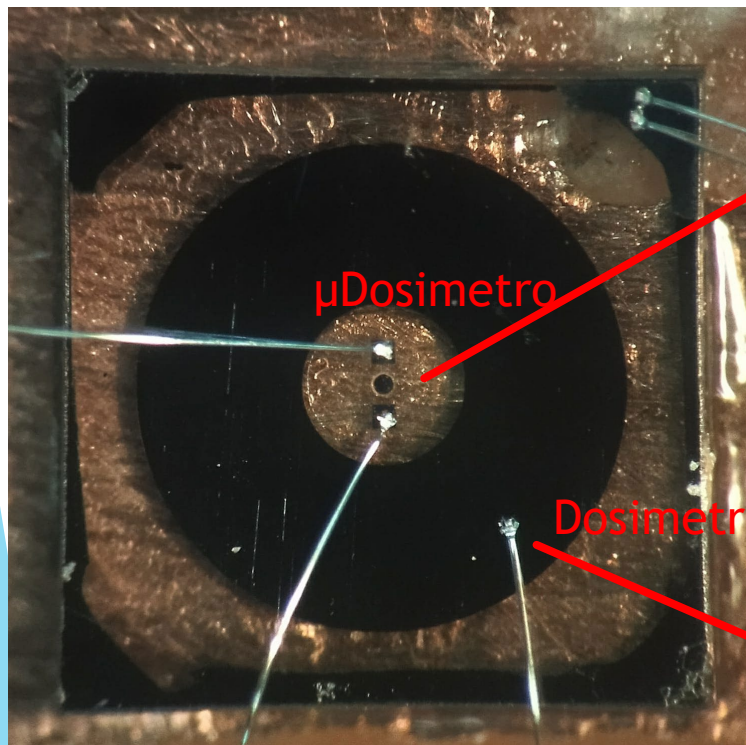
5) Deposizione selettiva diamante intrinseco (SV  $\mu$ dosimetro)



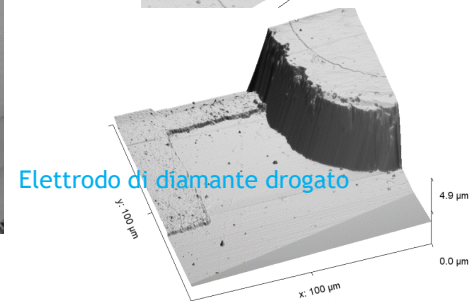
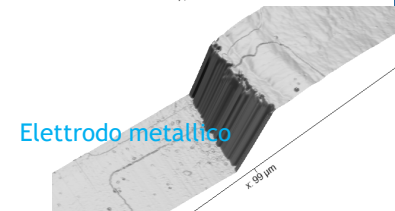
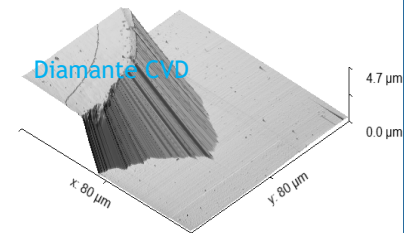
# Fabbricazione del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro finale

6) Deposizione contatti elettrici e microsaldature con 25  $\mu\text{m}$  di Al

Optical image



AFM maps



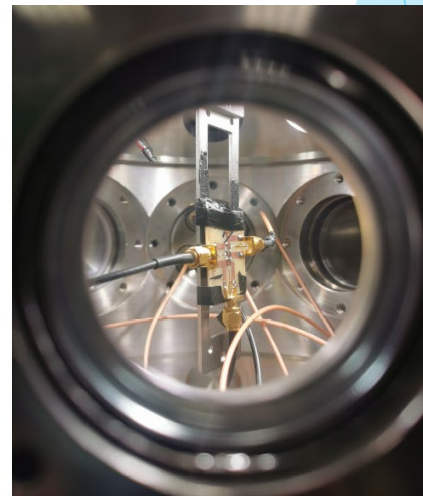
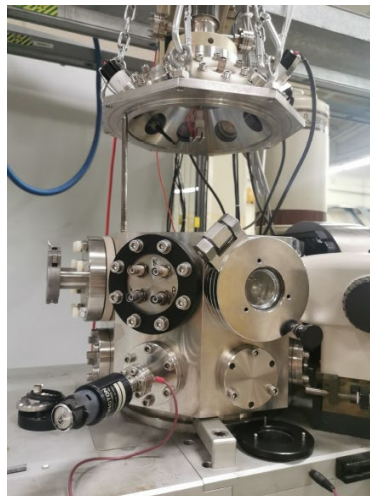
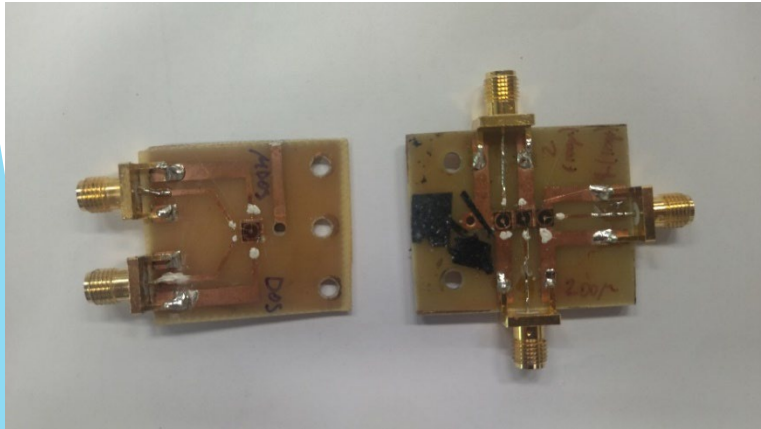
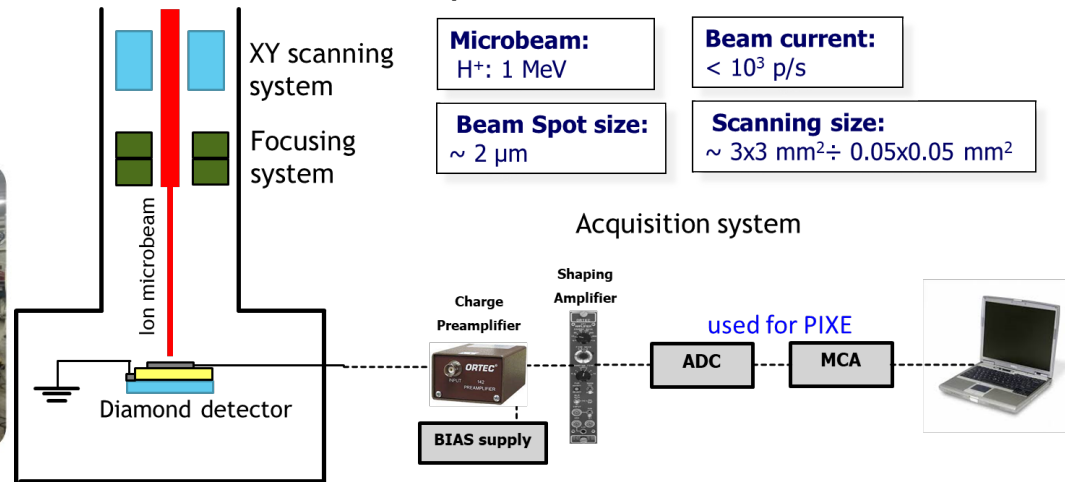
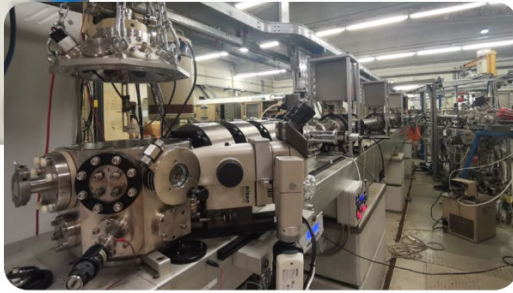
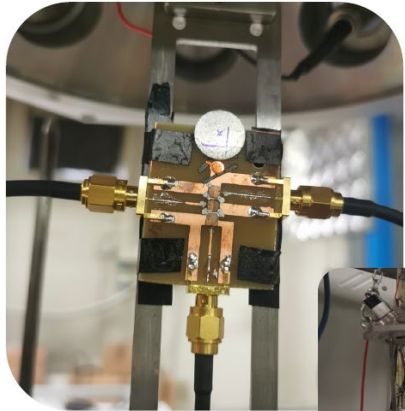


# Test a LNL del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro

➤ Misure a INFN-Legnaro (acceleratore AN200)

➤ Caratterizzazione spettroscopica con protoni

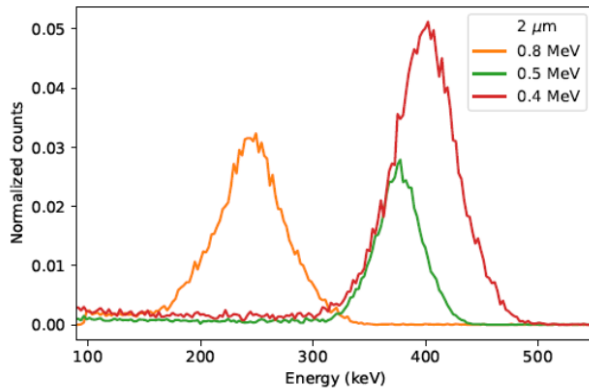
➤ Misure IBIC dei rivelatori a diamanti (CCE, omogeneità, edge effect, misure in angolo....) utilizzando un microfascio di protoni da 1 MeV



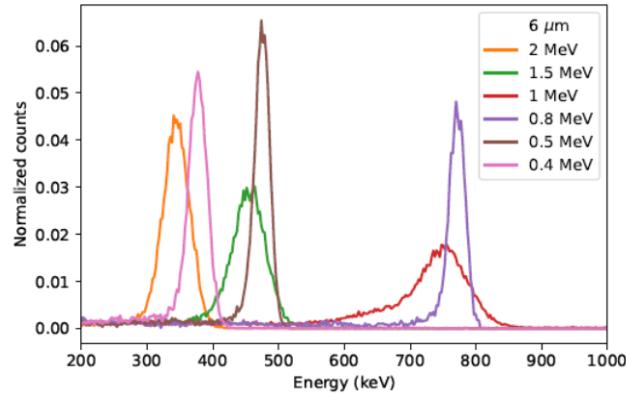
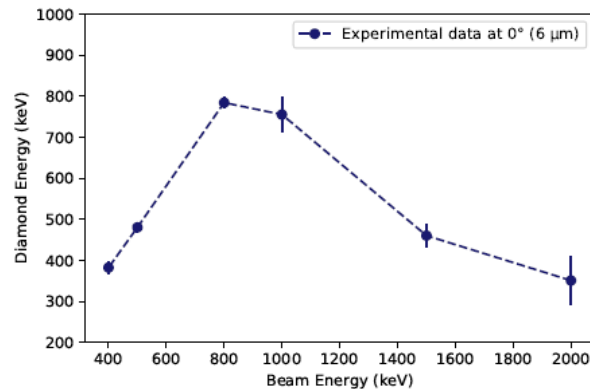
# Test a LNL del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro

➤ Test con protoni di energia compresa tra 0.5-2 MeV

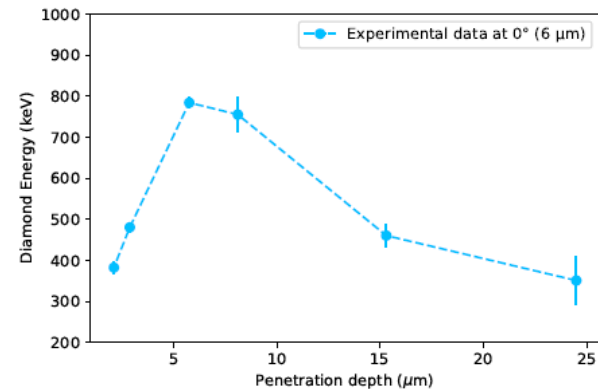
Ion Energy (MeV)	Penetration depth ( $\mu\text{m}$ )	Stopping power ( $\text{keV}/\mu\text{m}$ )
0.4	2.11	142.4
0.5	2.88	132.8
0.8	5.76	93.14
1	8.11	80.82
1.5	15.3	61.33
2.0	24.5	49.84



Energia misurata dal microdosimetro in funzione dell'energia dei protoni



Energia misurata dal microdosimetro in funzione della penetrazione dei protoni in diamante

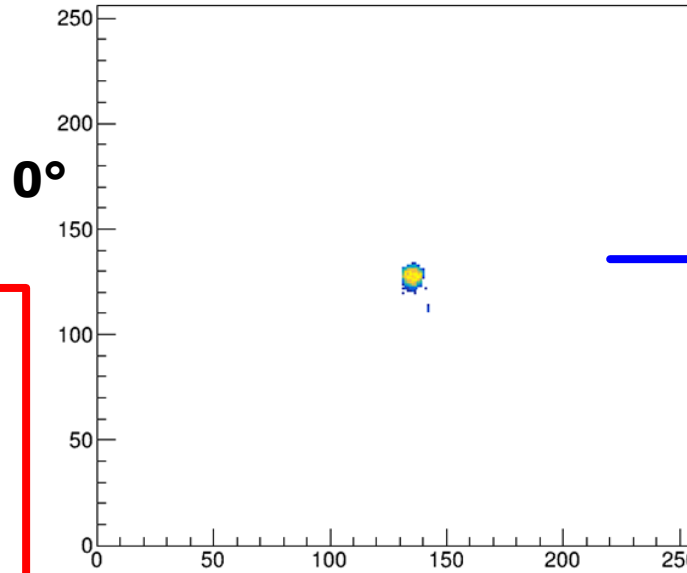
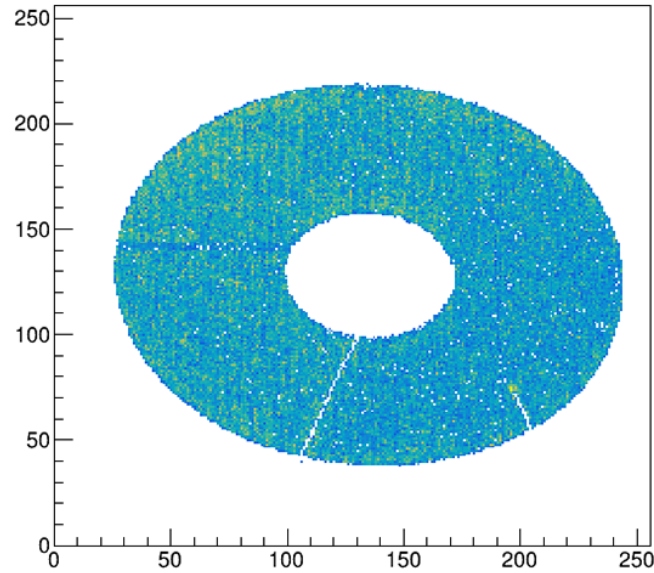


# Mappe IBIC del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro finale

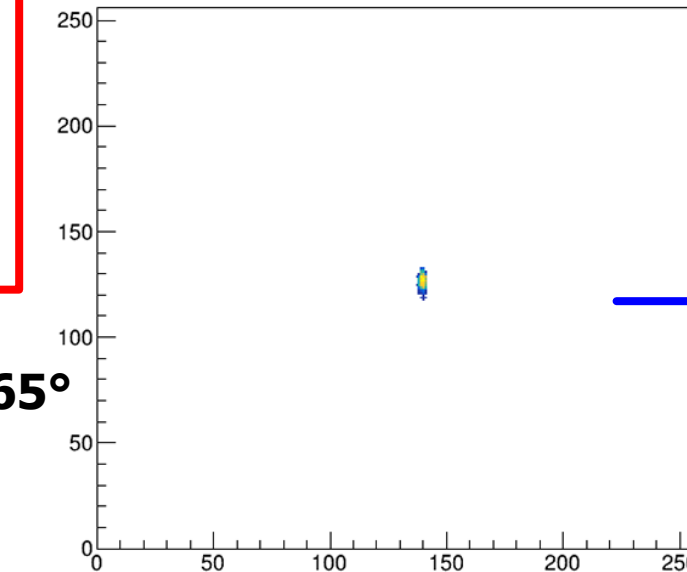
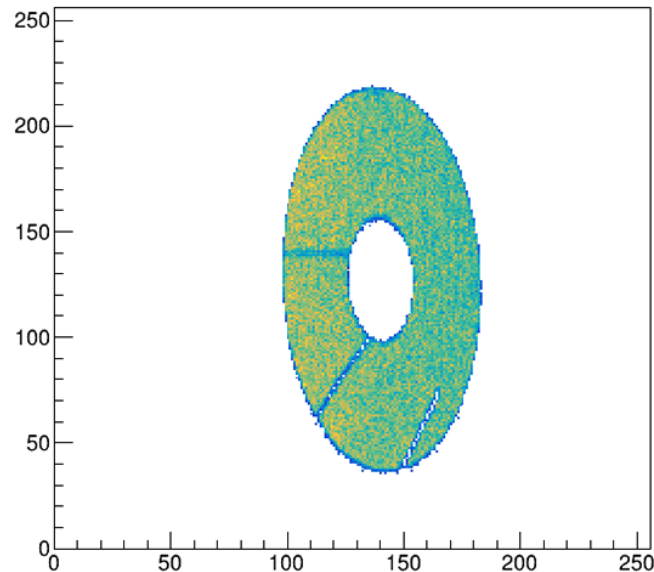
dosim

microdosim

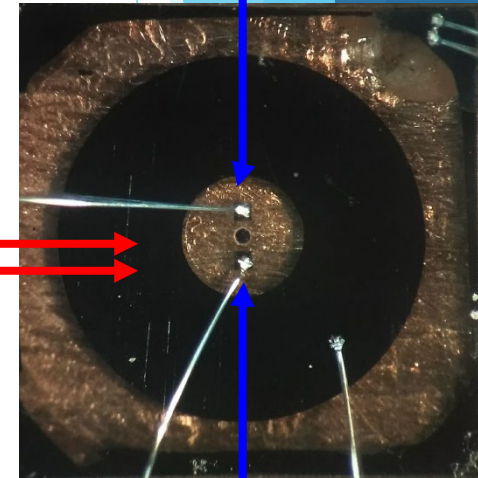
➤ MAPPA IBIC  
(3 x 3 mm<sup>2</sup>):  
Volume sensibile  
del dos-  $\mu$ dos a  
diversi angoli



0°

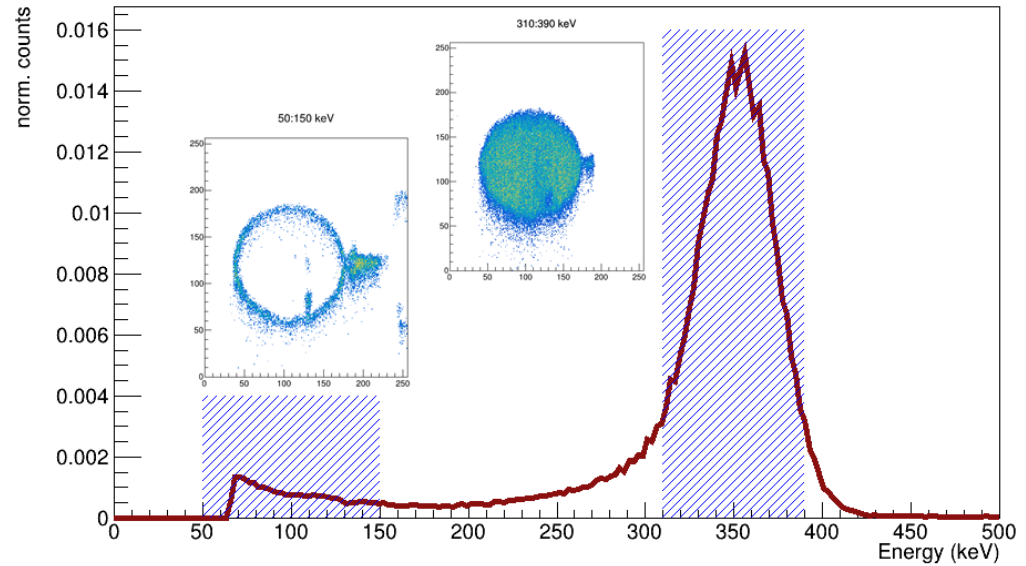


65°

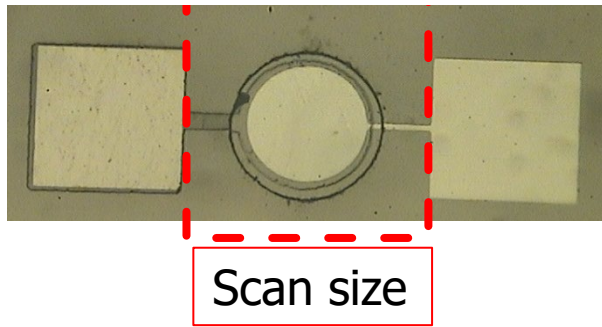


# Mappe IBIC del rivelatore integrato dosimetro/ $\mu$ dosimetro finale

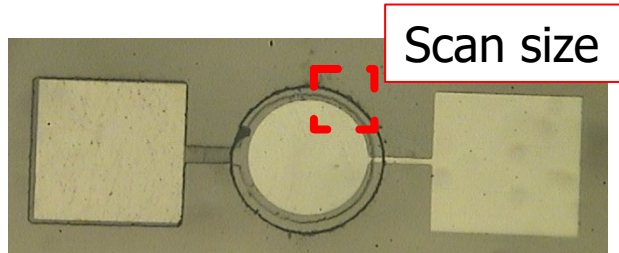
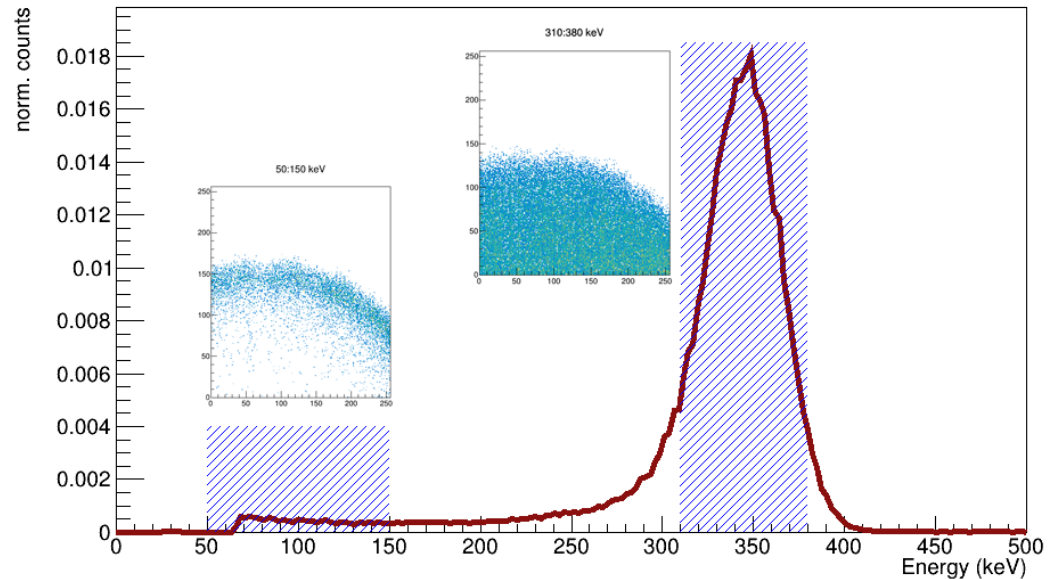
200x200



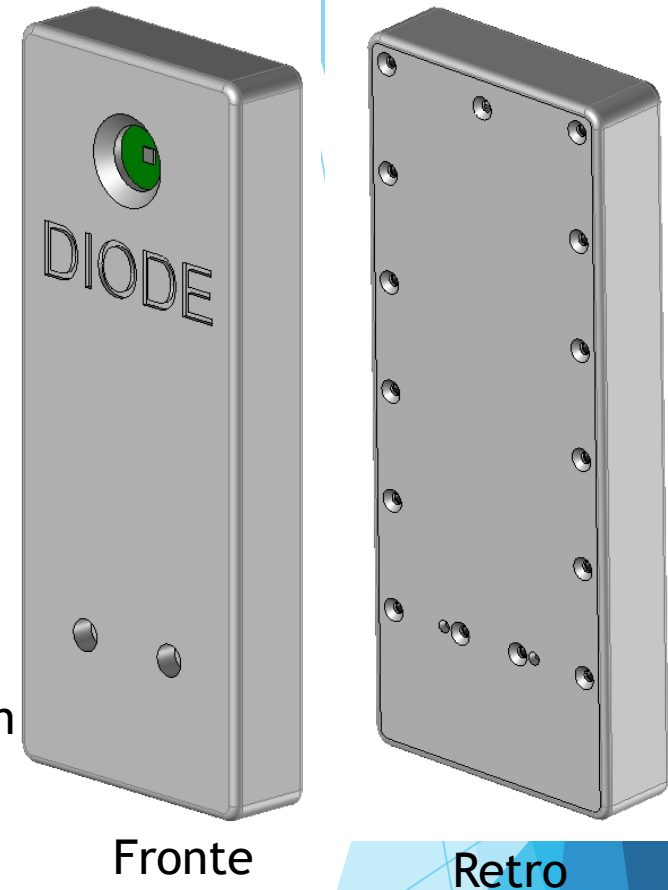
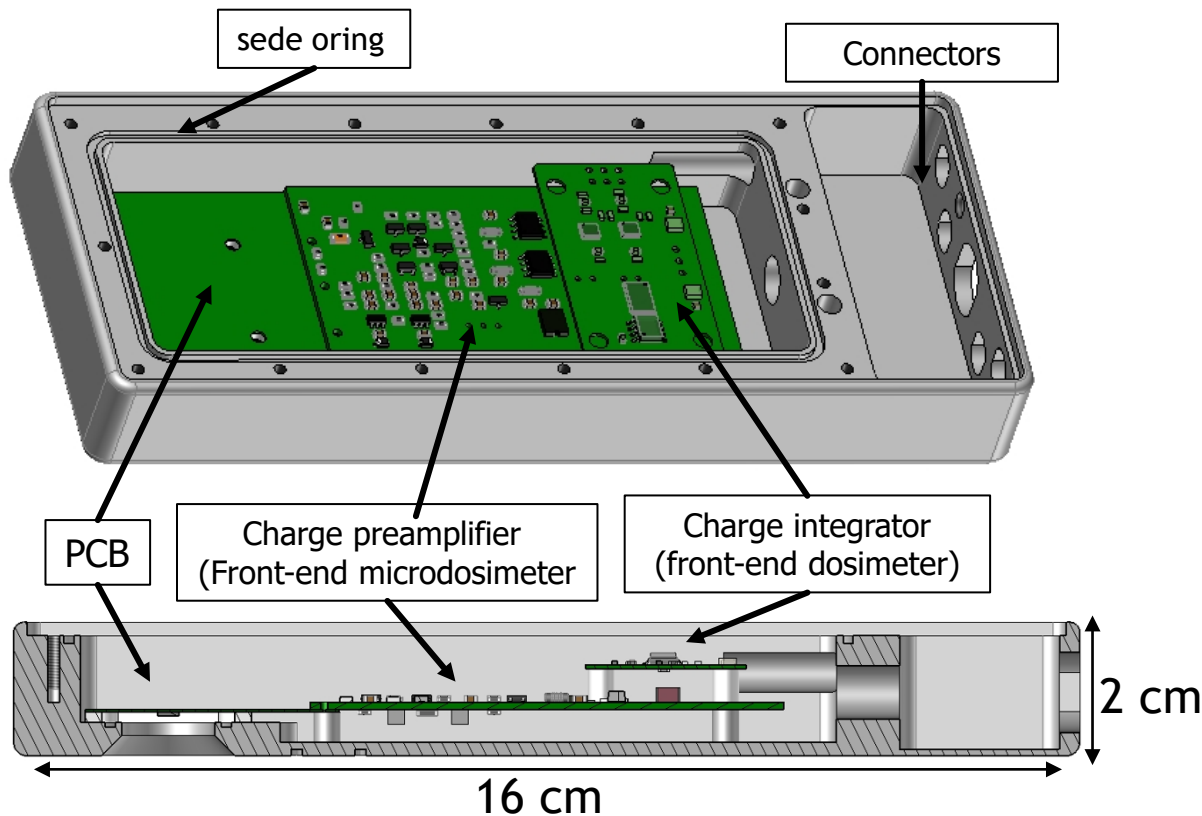
- MAPPA IBIC ( 200 x 200  $\mu\text{m}^2$ ): Volume sensibile del microdosimetro



- MAPPA IBIC ( 50 x 50  $\mu\text{m}^2$ ): Effetto di bordo del microdosimetro



# Realizzazione housing del prototipo



- ✓ Alluminio scavato dal pieno
- ✓ L'alloggiamento delle schede risulta stagno e rende il sistema utilizzabile nei fantocci ad acqua.
- ✓ PCB facilmente smontabile per utilizzare stesso holder ed elettronica con rivelatori differenti.

**Milestone: Realizzazione e primi test del prototipo (31/12/2023)**



50%

## ***Milestones and deliverable in 2024***

<b>Milestones &amp; Deliverable</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Mese</b>
M.4	Caratterizzazione dei prototipi per la determinazione della dose assorbita e delle quantità microdosimetriche in fasci clinici di protoni e ioni carbonio.	36 M
M.5	Confronto delle simulazioni con i dati sperimentali acquisiti nelle diverse strutture. Il confronto includerà gli spettri microdosimetrici, dose in acqua e la distribuzione LET.	36M

# FTE 2024

Name	FTE
Claudio Verona	0.6
Gianluca Verona Rinati	0.4
Marco Marinelli	0.3
Angelo Raso	0.5
Enrico Milani	0.2
TOT	2

## Richieste economiche 2024

### CONSUMO

Set-up sperimentale per misure del prototipo	<b>2 k€</b>
--	-------------

### MISSIONI

Missione per 2 persone per misure sperimentale presso Trento Proton Therapy Centre (TIFPA) per la caratterizzazione preliminare del prototipo sviluppato con protoni da 70-150 MeV. Due diverse campagne di misura di 4 giorni ciascuna	<b>2 k€ (SJ)</b>
Missione per misure a MedAsutron e CNAO per la caratterizzazione del prototipo sviluppato con carboni da 195 MeV/u-300 MeV.	<b>2.5 k€</b>
Caratterizzazione IBIC presso AN 2000 (LNL) di microdosimetri	<b>1 k€</b>

**TOTALE: 5.5 k€ + 2 k€ (SJ)**



# FUSION

**FUSION: Studies of proton boron Neutronless reaction in laser-generated plasma**

*Responsabile Nazionale: G.A.P. Cirrone (LNS) and F. Consoli (ENEA)*

*Durata proposta: tre anni (2023-2025)*

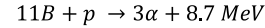
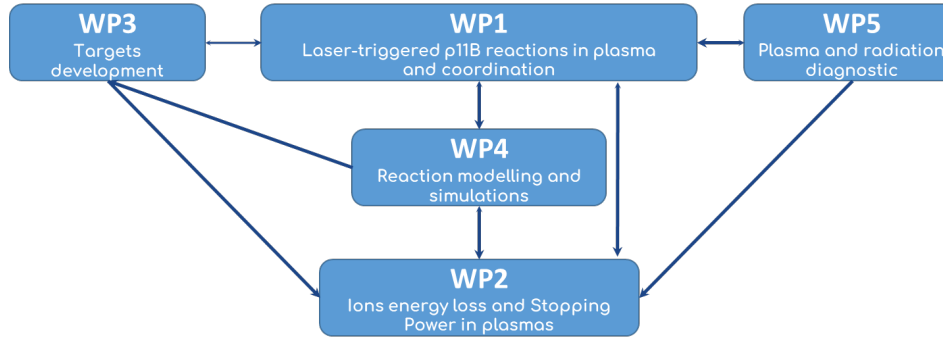
*Area di ricerca: Acceleratori e multidisciplinare*

*INFN sections: Catania, Lecce, LNS, LNGS, Milano, Roma2, Torino, TIFPA, Bologna, Firenze*

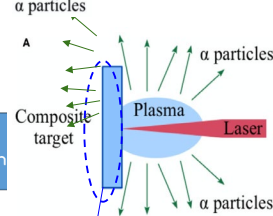


# The proposal

## PERT Diagram



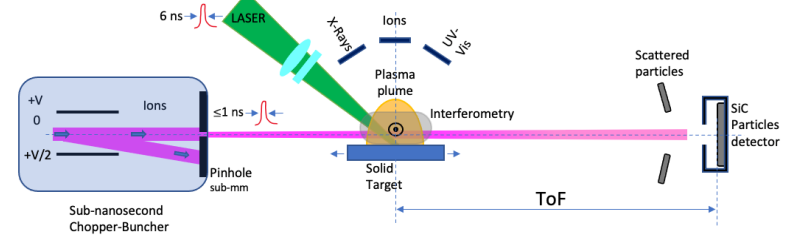
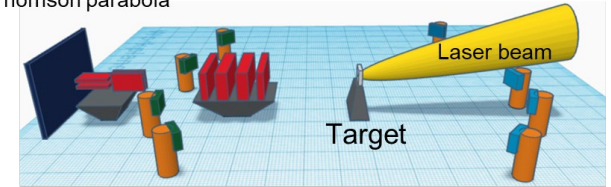
### In-target scheme



- Boron (natural or  $^{11}\text{B}$ ) enriched target on silicon substrate
- NB targets

Ion detectors in TOF configuration (CR39, diamonds, ICs)

Thomson parabola



## FUSION goals are:

1. The maximisation of the  $p^{11}\text{B}$  reaction rate in plasma (WP1). This will be done by studying the interaction of laser systems with targets of different materials and configurations that will be developed (WP3) and optimized with both Particle in Cell (PIC) and hydrodynamic simulations.
2. The development of innovative diagnostic (WP5) able to estimate the  $p^{11}\text{B}$  reaction rate by looking at alphas products or protons, and investigating reaction channels where neutrons are produced. The diagnostic shall also operate in real-time.
3. The understanding of the physics laying at the basis of the observed  $p^{11}\text{B}$  reaction rate. This will be done by studying the interaction of protons and alphas by conventional accelerators in a borated expanding plasma (WP2)

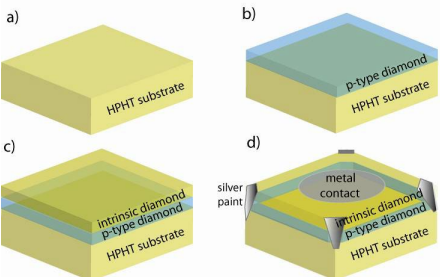
# **WP5 – Radiation diagnostic (TOF diamond array)**

*Le principali attività svolte nei primi 6 mesi di progetto dalla sezione INFN-Roma2 sono:*

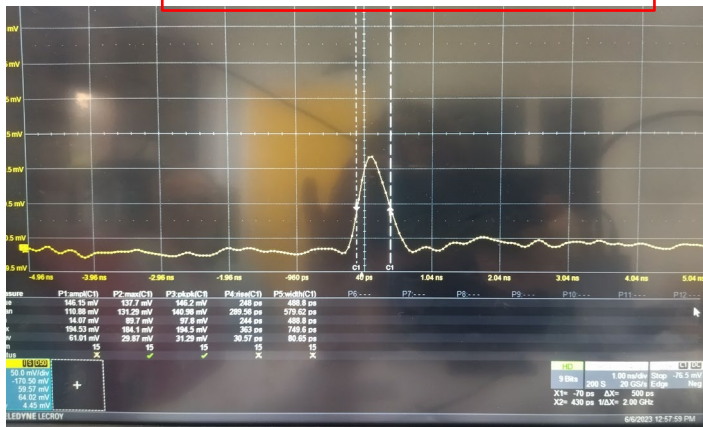
✓ **Sviluppo di una matrice di rivelatori TOF basati su diamante**

1. E' iniziata la realizzazione di vari detector basati su diamante a singolo cristallo in configurazione metallica, intrinseca e dopata al boro.
2. Sono stati svolti dei test preliminari con particelle alfa da 5.5 MeV in termini di efficienza (Charge Collection Efficiency CCE) e risoluzione temporale tramite amplificatori di carica veloci.
3. E' in corso la progettazione di un housing compatto, schermato contro disturbi elettromagnetici (EMP), per l' alloggiamento della matrice.
4. Sono in fase di sviluppo le tecniche di analisi dati per la ricostruzione numerica degli spettri misurati (protoni e particelle alfa), utilizzando diverse tipologie di filtri.
5. Sono previsti test sperimentali dei detector con fasci di protoni e particelle alfa, presso l'impianto CEDAD (Lecce) entro fine anno.

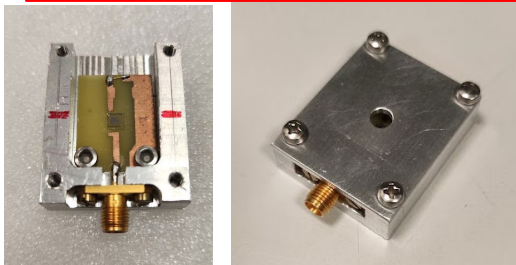
# WP5 - Radiation diagnostic (TOF diamond array)



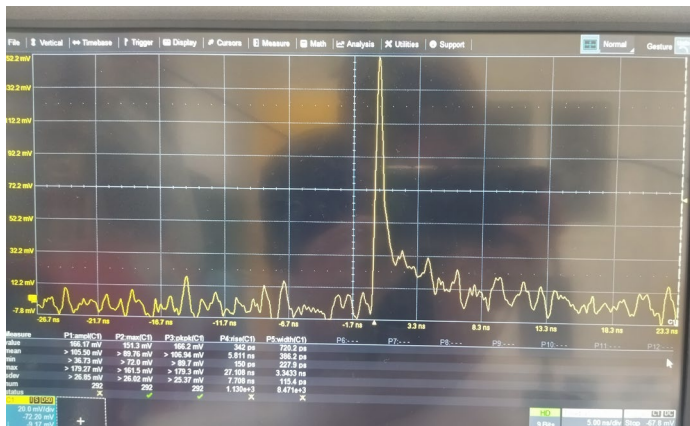
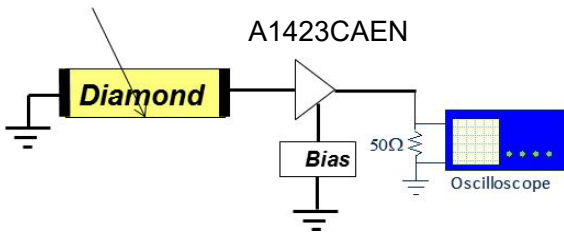
Time response ( $< 1$  ns)



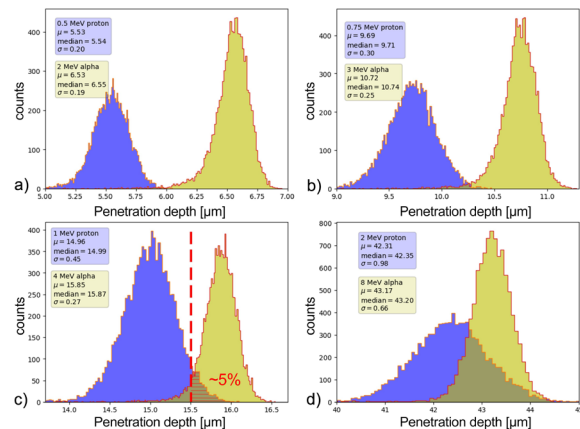
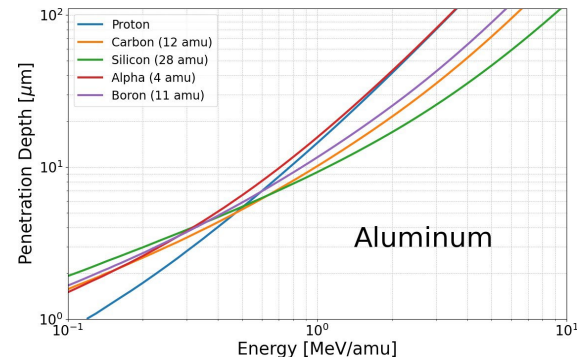
TOF diamond detectors



5.5 MeV  $\alpha$  particles



MC simulation of Al filters to discriminate  $\alpha$  from H



# **WP5 – Radiation diagnostic (Advanced Thomson parabola)**

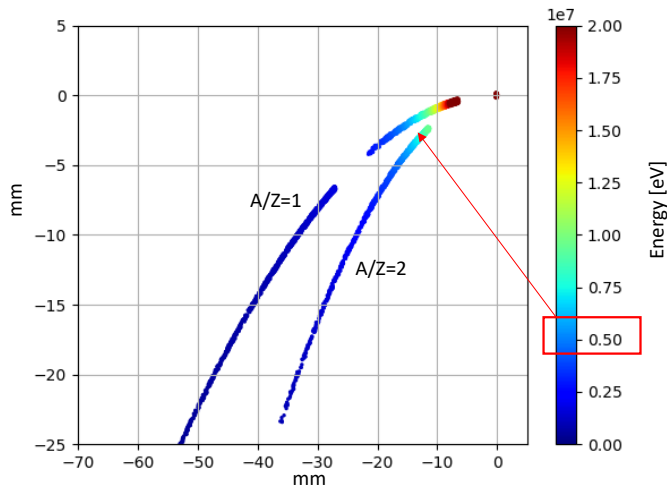
- ✓ **Sviluppo di un rivelatore per particelle alfa ad alta sensibilità con possibile interfaccia ad un sistema di imaging basato su fibre ottiche.**
- 1. Sono state effettuate simulazioni numeriche per l'ottimizzazione dei parametri elettromagnetici e geometrici del rivelatore, con lo scopo di massimizzarne la sensibilità e la capacità di rivelare bassi flussi di particelle alfa, nel range energetico tipico della reazione p-11B (energie di protoni e alfa di 1-6 MeV).
- 2. E' stata studiata la possibile implementazione di filtri selettivi per distinguere le particelle alfa da altre specie ioniche prodotte dall'interazione laser-materia.
- 3. Sono in fase di ultimazione i disegni CAD dei componenti del primo prototipo prima di essere realizzati entro l'anno.
- 4. Sono previsti test di calibrazione dei detector passivi da implementare nel rivelatore con fasci di protoni e particelle alfa, presso l'impianto CEDAD (Lecce) in autunno.

# WP5 – Radiation diagnostic (Advanced Thomson parabola)

Ways for improving the sensitivity and the spatial dispersion for easier filtering

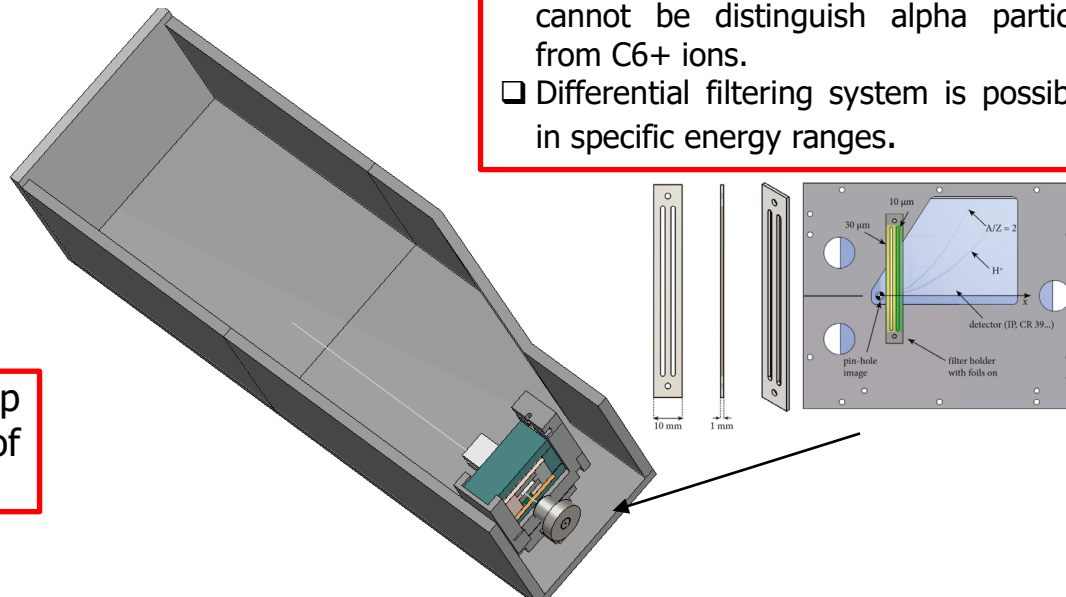
Magnetic field $B$	405 mT
Magnetic dipole length $L_B$	25 mm
Electric field $E$	1 MV/m
Electric dipole length $L_E$	50 mm
Drift space between dipole and detector $L_D$	394 mm

Longer electrical dipole and longer drift



- Conventional Thomson spectrometers cannot distinguish alpha particles from C6+ ions.
- Differential filtering system is possible in specific energy ranges.

After the optimization, the traces overlap from an energy  $>10$  MeV. The dispersion of the particles along the x-axis is increased.



# Anagrafica

Name	Instituzione	FTE
Claudio Verona	UniTV	0.3
Gianluca Verona Rinati	UniTV	0.3
Marco Marinelli	UniTV	0.3
Angelo Raso	UniTV	0.4
Fabrizio Consoli	ENEA	0.5
Mattia Cipriani	ENEA	0.4
Massimiliano Scisciò	ENEA	0.3
Massimo Alonzo	ENEA	0.3
<b>TOT</b>	<b>FTE</b>	<b>2.8</b>

# Budget 2024



Cost Category	Item	l anno
<b>Consumabile</b>	#10 Diamond substrates (300 €)	€ 3,000.00
	Mechanical parts	€ 2,000.00
	Target foam	€ 4,000.00
	Calibrated Aluminum filter	€ 1,000.00
<b>Attrezzature</b>	Fronte-end electronics for diamond array	€ 12,000.00
	Double shielded HV cables (MHV connectors) (x6)	€ 1,000.00
	HV power supply (x2) +-10 kV	€ 3,500.00
	MHV vacuum feedthrough (x4)	€ 1,500.00
	Connectors and adapters for cables	€ 1,500.00
<b>Viaggi</b>	Detector characterizations under protons and alpha at CEDAD (University of Salento)	€ 1,500.00
	<b>TOTAL</b>	<b>€ 29,500.00</b>

# **MAG**

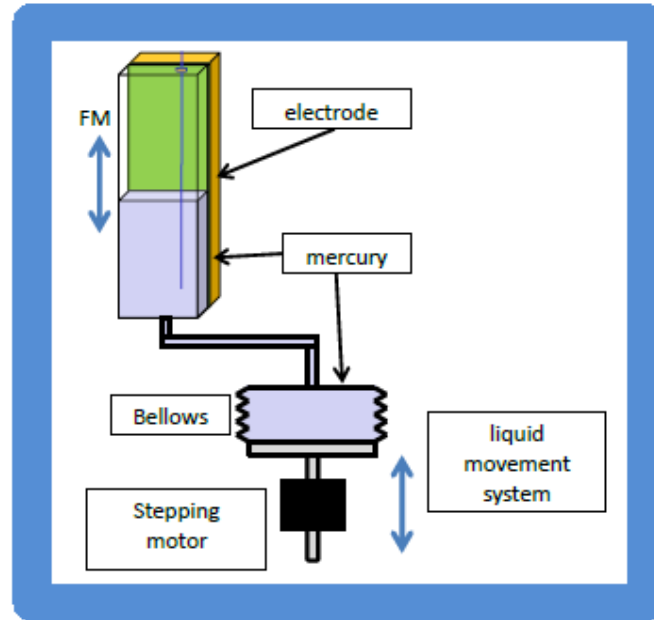
(Mercury Actuated Gravity)

# Introduzione

- Le misure di gravitazione in laboratorio spesso sono realizzate con un **pendolo di torsione** che misura la forza/il momento prodotti da una massa sorgente (**FM**) su di una massa di test (**TM**). Una parte importante dell'esperimento è la modellazione della interazione.
- **MAG** è un'attività di R&D finalizzata al completamento dello sviluppo di una nuova tecnica di attuazione iniziata con LAG che utilizza come **FM** un contenitore con all'interno del liquido **il cui livello può essere cambiato in modo controllato e ripetibile** per modulare la forza sulla **TM**
- **MAG** ha due **obiettivi principali**: testare **l'uso del mercurio** e provare due differenti sistemi di **misura del livello** dello mercurio stesso.
- L'obiettivo finale è poter presentare in CSN2 un esperimento per effettuare su scala di laboratorio
  - **Test di ISL (Inverse-Square Law) e WEP (Weak Equivalence Principle)**
  - **Misura di G**



# Schema di MAG



- I test saranno effettuati sul banco riutilizzando per la movimentazione del mercurio l'apparato costruito per LAG

# Attività

- L'attività di MAG coinvolge persone delle **sezioni di Napoli e di Tor Vergata** con responsabile nazionale Luciano di Fiore di Napoli.
- L'apparato sperimentale è stato in parte realizzato e sarà montato e testato presso la sezione di Napoli. E' stata richiesta l'estensione di un anno a causa dell'inagibilità del laboratorio per lavori edili.
- La sezione di Tor Vergata avrà la responsabilità delle simulazioni da confrontare con i dati sperimentali.

# Durata, richieste economiche e personale

- Richiesta l'estensione di un anno

La richiesta di finanziamento per il 2023 della sezione di Tor Vergata è di **6.5k** :

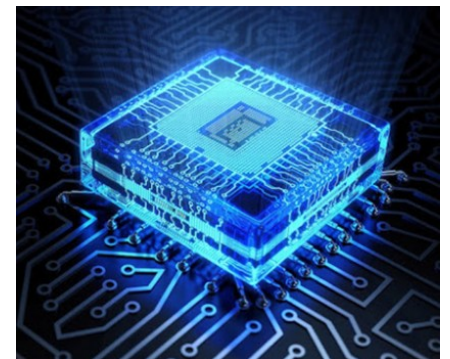
- Missioni per l'attività di laboratorio presso la sezione di Napoli 2.5k
- Missioni per riunioni di collaborazione 1.5k
- Materiale e lavorazioni meccaniche 2.5k

Massimo Visco	30%
Giuseppe Pucacco	30%
Yury Minenkov	10%
David Lucchesi	10%
Carlo Lefevre	10%
Massimo Bassan	0%
	<b>0.9 FTE</b>

# QUANTEP

## QUANtum Technologies Experimental Platform

- Call CSN5 “tematica” sulle Tecnologie Quantistiche - R.N. Andrea Salamon
- LNL, MI, Camerino (associati a PG), PI, PV (e UNIMORE), RM2, SA, TO
- Collaborazioni con: LNGS (LUNA-MV), LABEC (DEFEL), UNIPI (Prof Saponara), UNITO, IHP, TYNDALL, Institut Ruđer Bošković (RBI), Micro Photon Devices (MPD), University of Leipzig, Chalmers University of Technology, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB).
- 15-17 FTE/anno, fino a ~ 1 MEuro di budget
- 2021-2023 → **chiesto prolungamento al 2024 per completare l'attività**
- Realizzazione di una **piattaforma comune basata su Silicon Photonics** per lo sviluppo e caratterizzazione di:
  - circuiti per il Quantum Computing (MI, PG, PI, PV, RM2)
  - sorgenti di singolo fotone (LNL, TO)
  - rivelatori di singolo fotone (RM2, SA, TO)
  - circuiti per il controllo della polarizzazione (PV, UNIMORE, RM2)



# QUANTEP a Tor Vergata

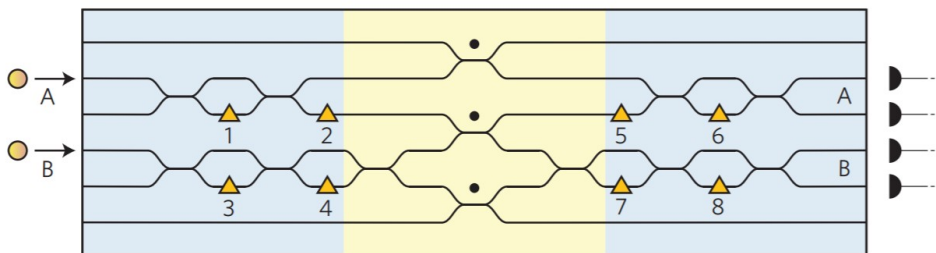
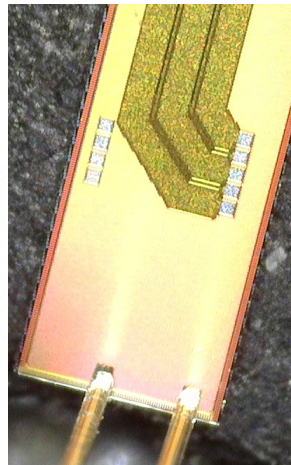
Simulazione, disegno e test di **circuiti per il Quantum Computing** con ottica lineare a 1550 nm

$$a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle \rightarrow a|00\rangle + b|01\rangle + c|11\rangle + d|10\rangle$$

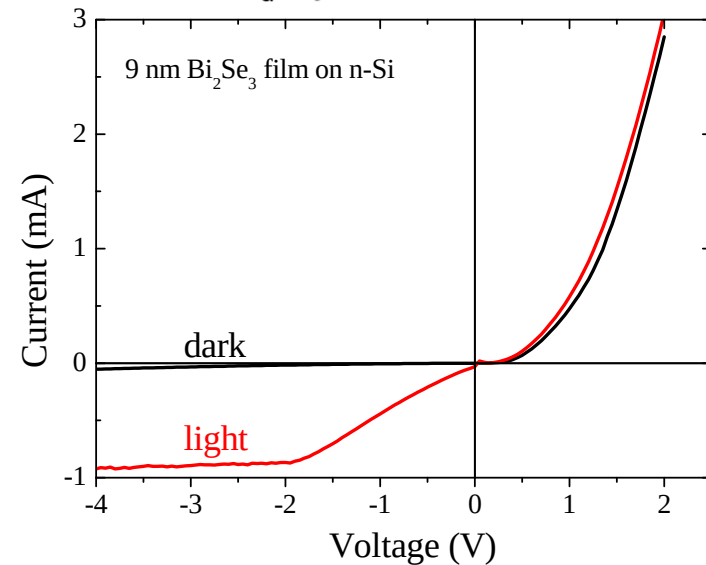
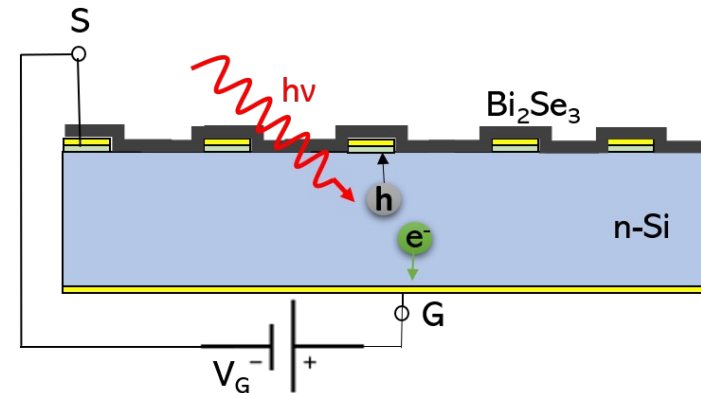
$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} \boxed{1} & \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{0} \\ \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{0} & \boxed{0} \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{1} \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{0} \end{pmatrix}$$

control bit

target bit



**Rivelatori di singolo fotone** a 1550 nm con eterogiunzioni di  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  ed altri materiali 2D su Si



# Circuiti per il Quantum Computing (CNOT gate)

**1 qubit:**  $\alpha_0|0\rangle + \alpha_1|1\rangle$ ,  $|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2 = 1$

**Alcuni gate elementari per 1 qubit**

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad R_\phi = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\phi} \end{pmatrix} \quad H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

**2 qubits:**  $a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle$   $|a|^2 + |b|^2 + |c|^2 + |d|^2 = 1$

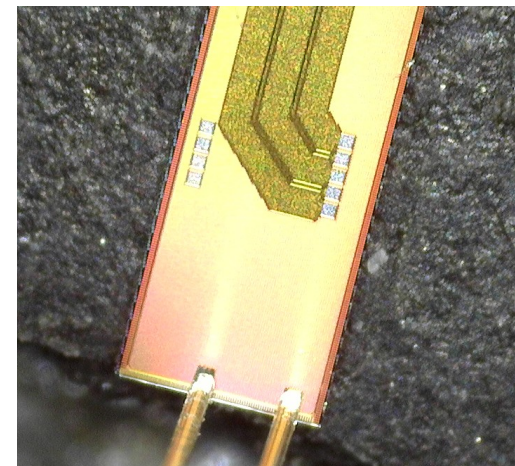
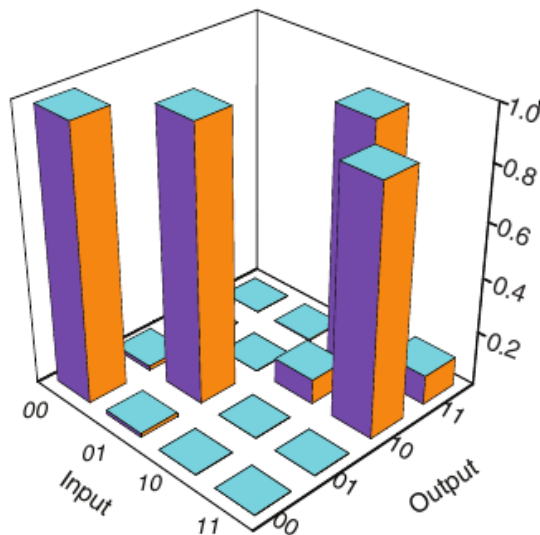
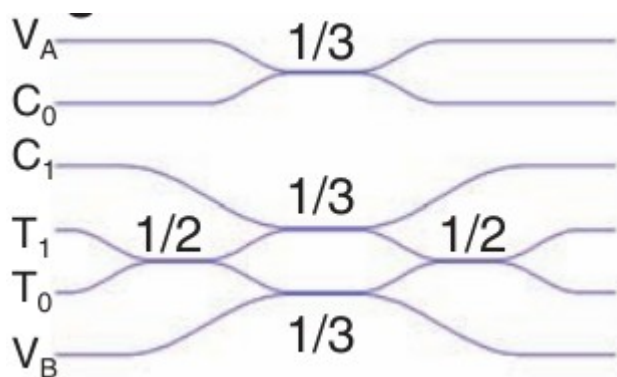
**Il gate prototipo per 2 qubit è il Controlled NOT (CNOT) gate**

$$\text{CNOT} = \begin{matrix} \text{control bit} \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \text{target bit} \end{matrix}$$

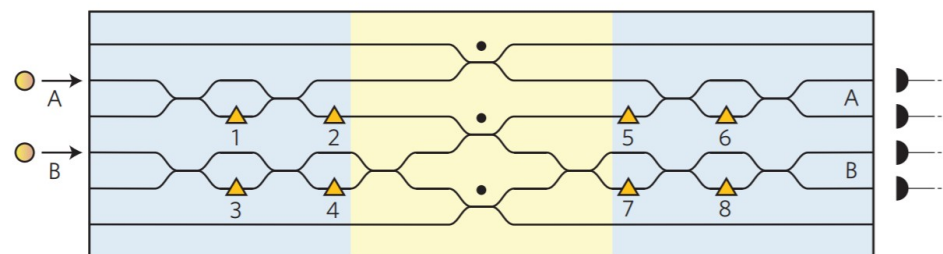
- il control bit non viene modificato
- il target bit in uscita è lo XOR del control e del target bit in ingresso
- ... ma ovviamente fa molto di più perchè lavora sulla funzione d'onda

$$a|00\rangle + b|01\rangle + c|10\rangle + d|11\rangle \rightarrow a|00\rangle + b|01\rangle + c|11\rangle + d|10\rangle$$

# Circuiti per il Quantum Computing (CNOT gate) con ottica lineare a 1550 nm su Silicon Photonics



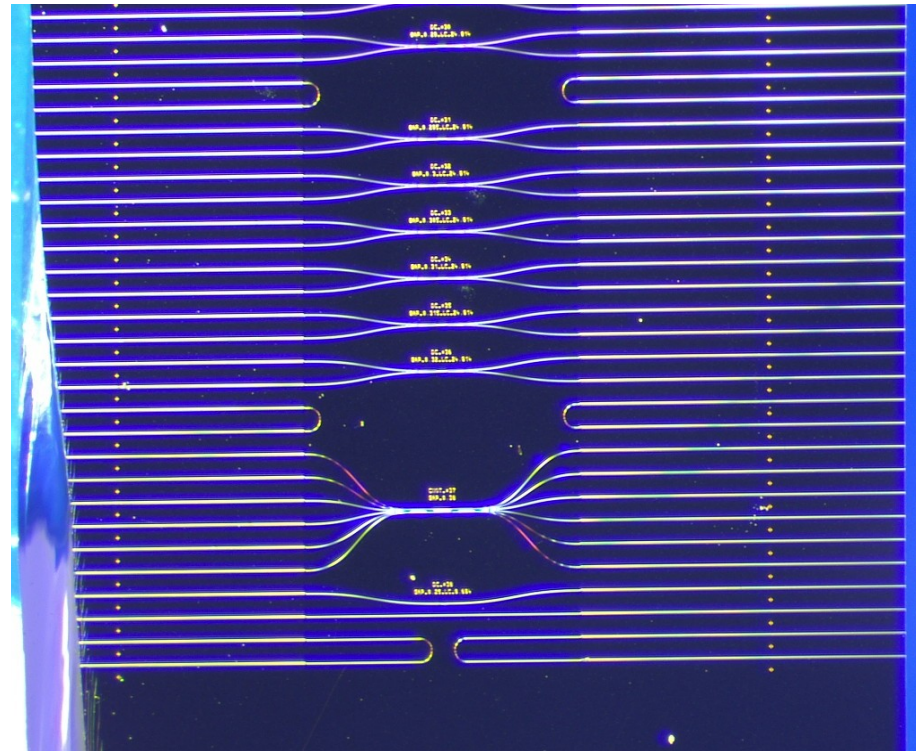
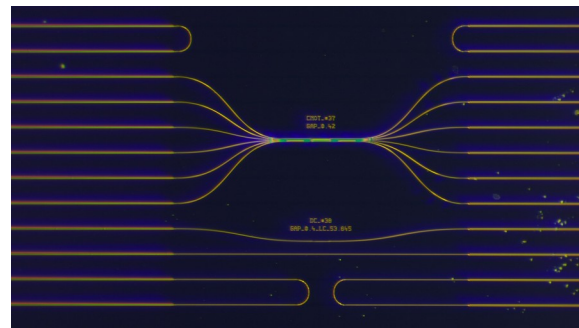
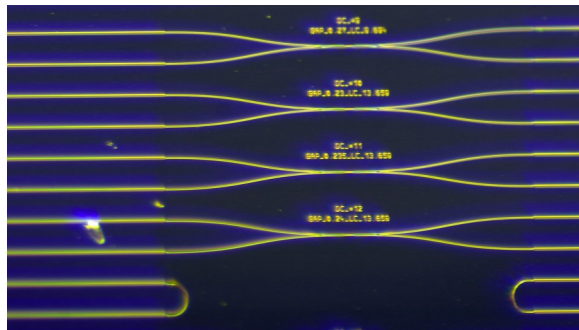
- Waveguide coupler (con onda evanescente) usati come beam splitter ( $\eta=1/2$  e  $\eta=1/3$ ) → stabilità rispetto a produzione e lunghezza d'onda
- Coincidence basis ( $C_0T_0$ ,  $C_1T_0$ ,  $C_0T_1$ ,  $C_1T_1$ )
- Postselected probabilistic gate ( $P=1/9$ )



T. C. Ralph et al, Linear optical controlled-NOT gate in the coincidence basis, DOI: [10.1103/PhysRevA.65.062324](https://doi.org/10.1103/PhysRevA.65.062324)

A. Politi et al, Silica-on-Silicon Waveguide Quantum Circuits, DOI: [10.1126/science.1155441](https://doi.org/10.1126/science.1155441)

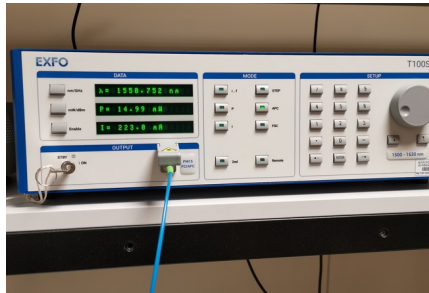
# È stata prodotta una prima versione di chip con CNOT e directional coupler



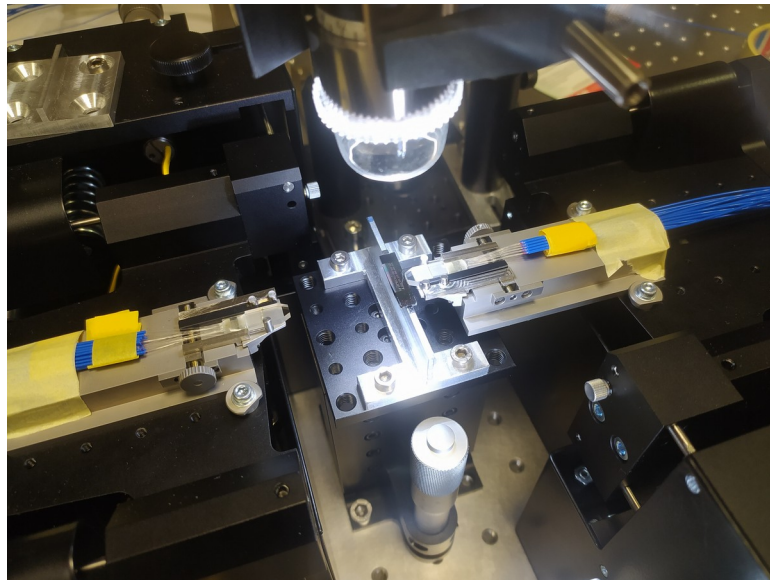


# Ed i chip sono stati caratterizzati in laboratorio

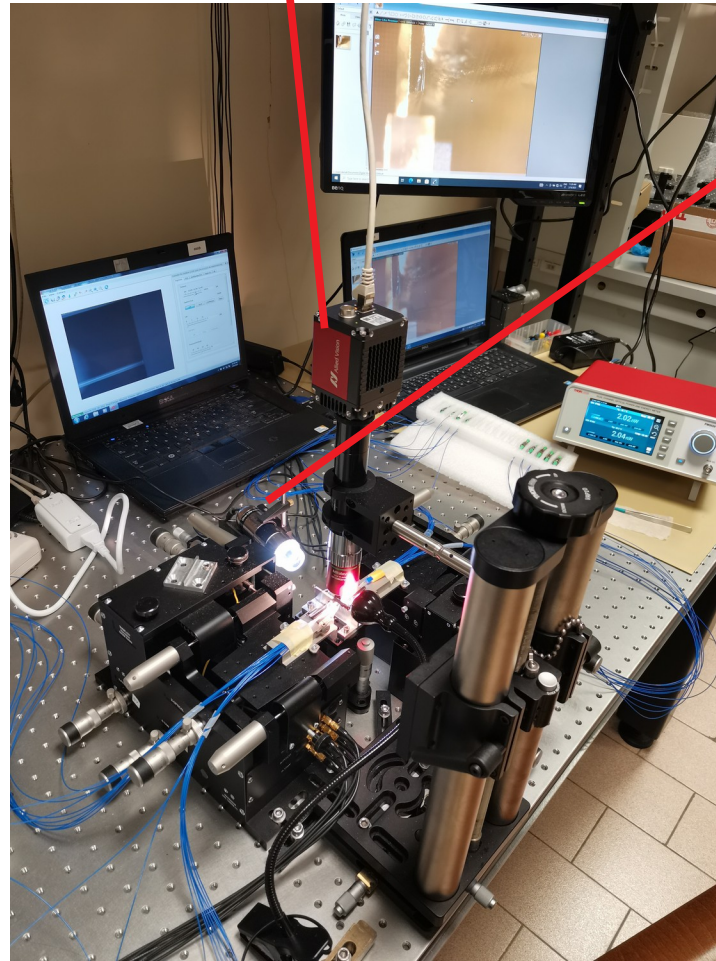
IR source



Piezo controllers



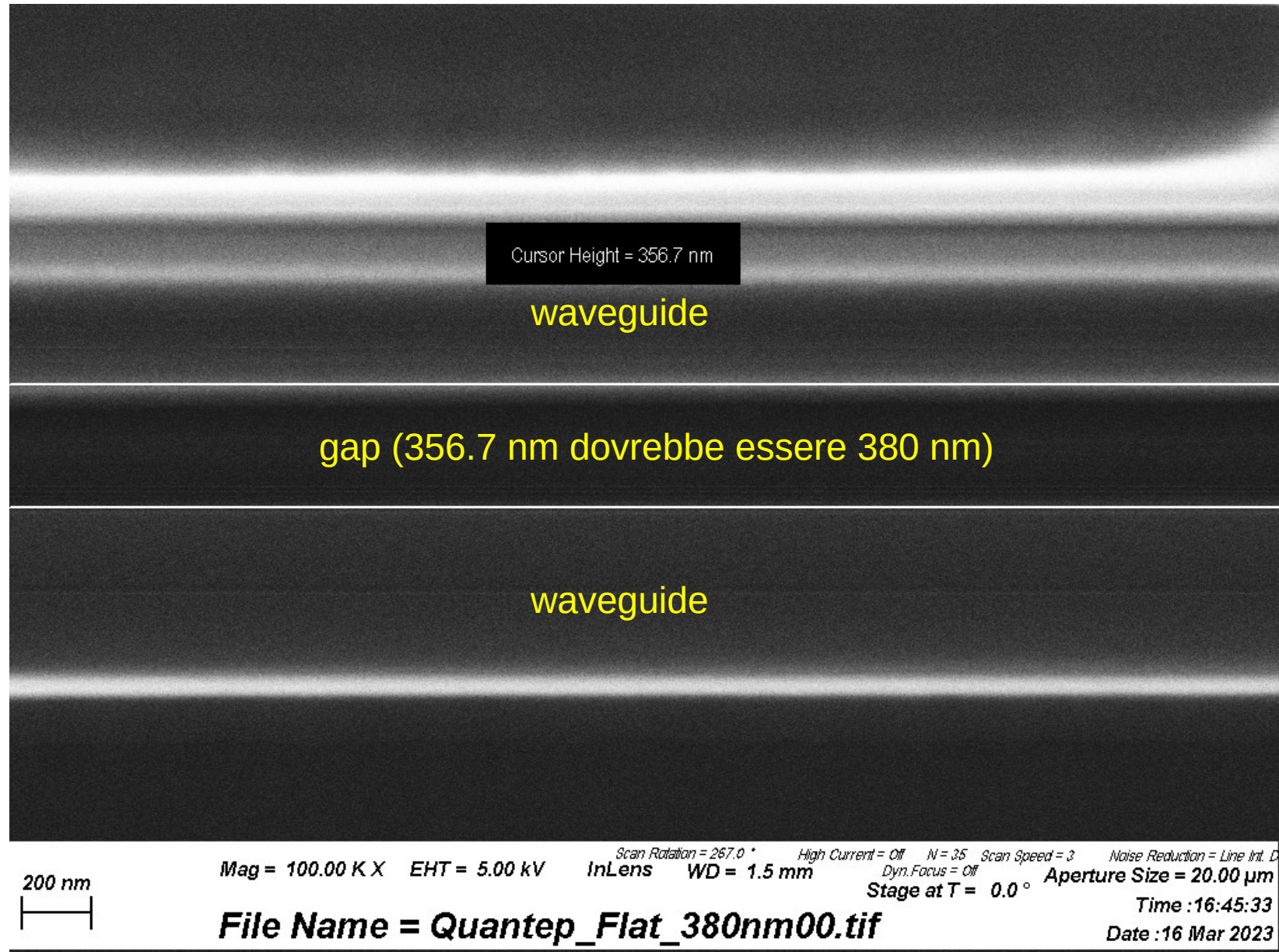
IR camera



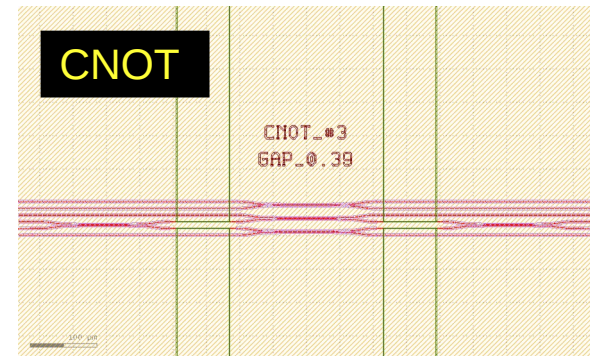
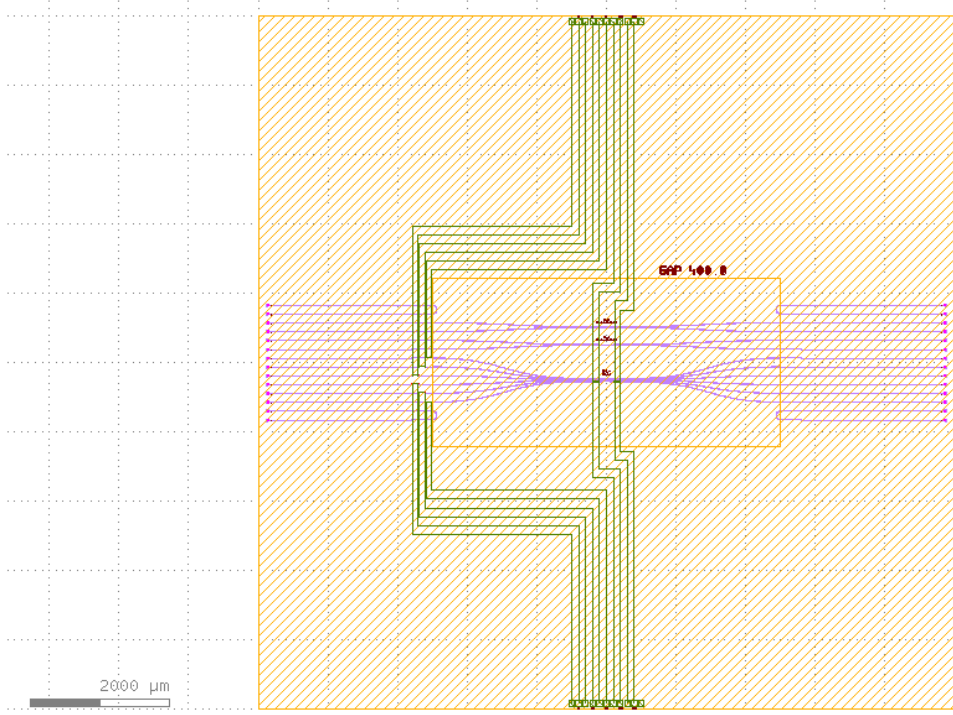
Visible camera







Power meter

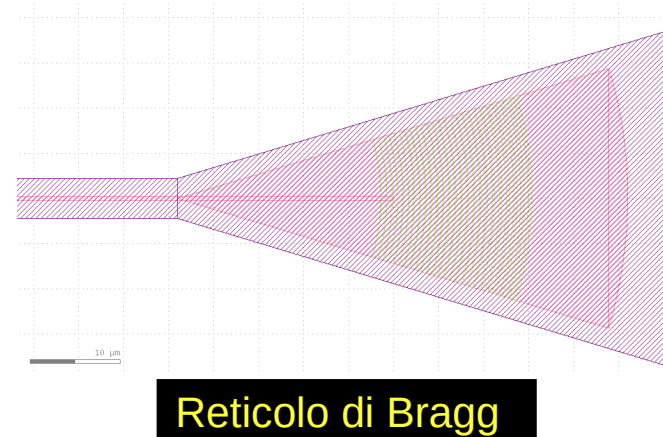
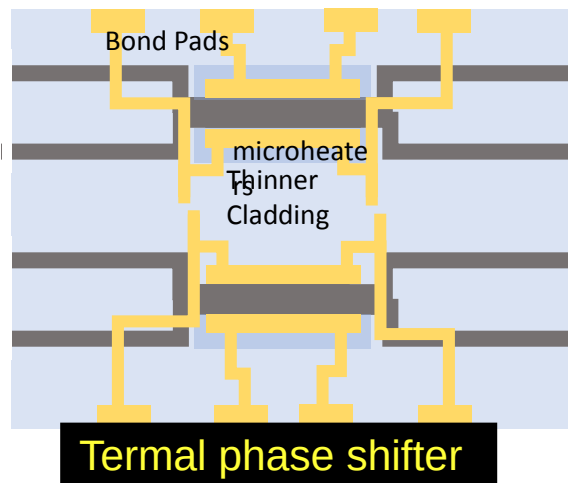
# Immagini SEM



# Un secondo chip è in produzione



-  Si waveguide 4/2
-  cladding 4/9
-  chip edge outline 4/13
-  text 4/15
-  etches of grating coupler 10/0
-  metal 41/0



# Installato il nuovo laboratorio (e ringraziamo Roberto Francini per la grande disponibilità)

Tavolo ottico isolato, microscopio VIS+IR, tunable laser, microposizionatori



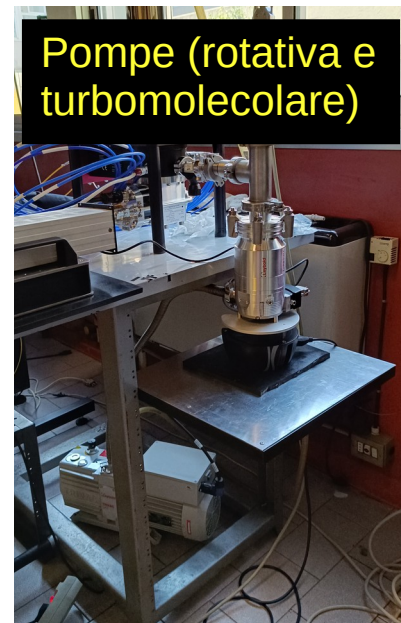
Rivelatore a nanofili superconduttivi:  
cryocooler 2.2 K



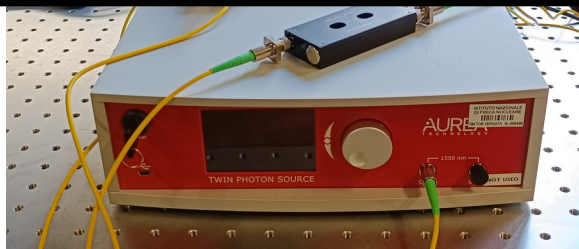
Rack elettronica



Pompe (rotativa e turbomolecolare)



Sorgente di fotoni entangled,  
filtro, polarizing beam splitter



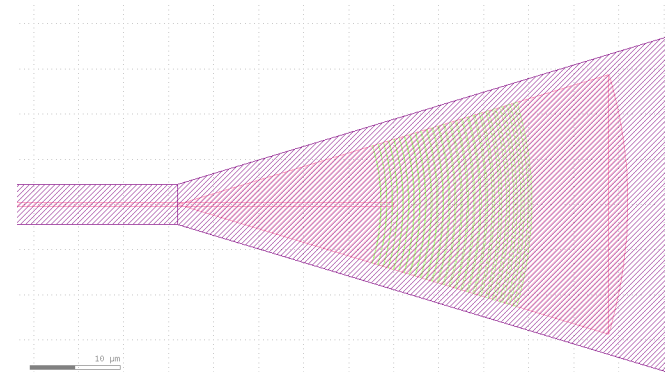
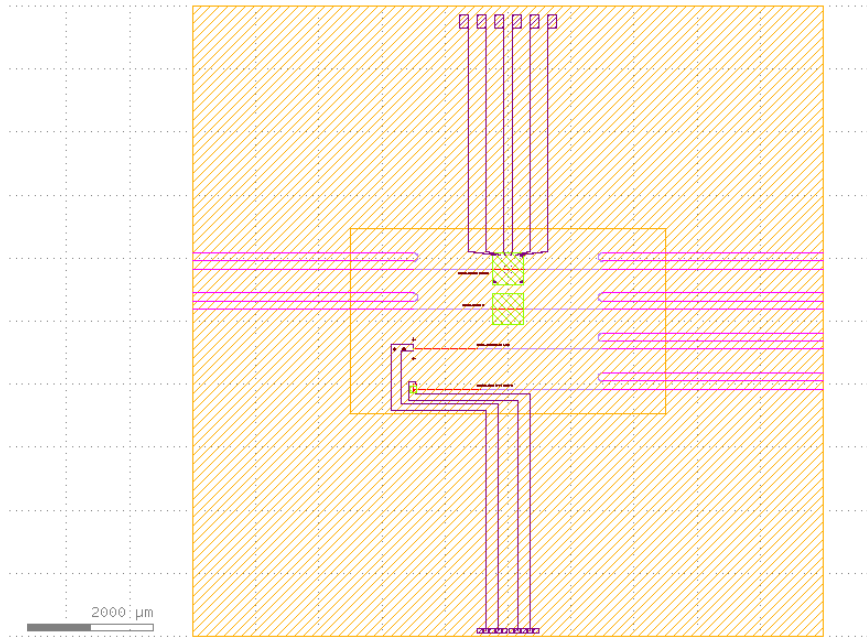
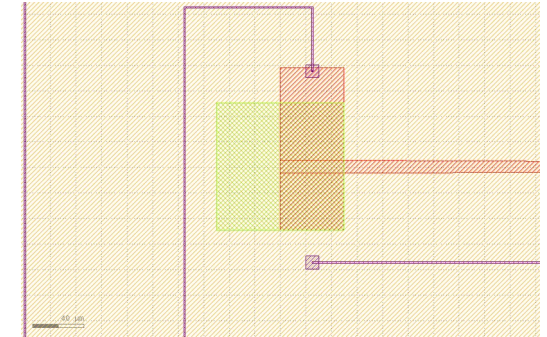
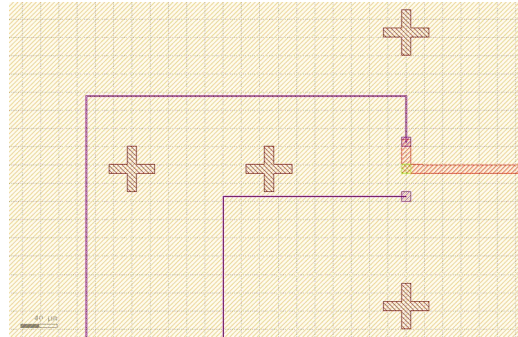
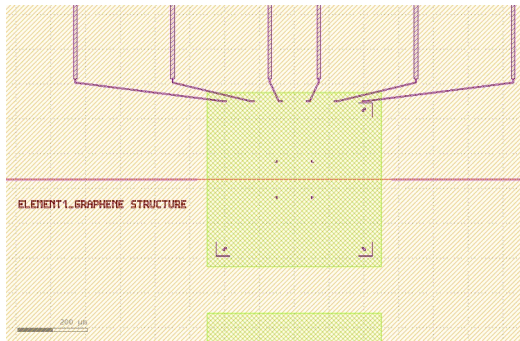
Circuito fotonico  
in misura



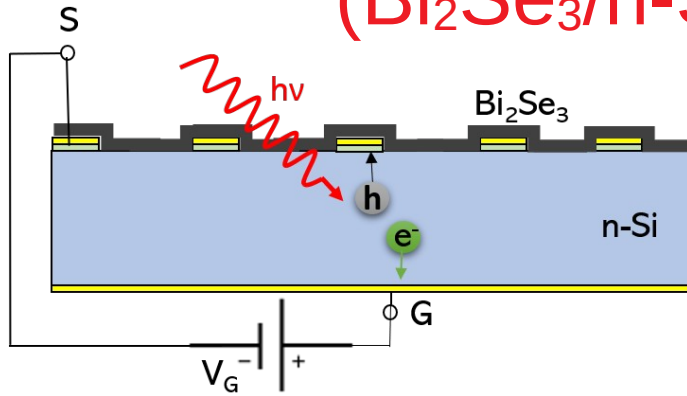
Helium compressor



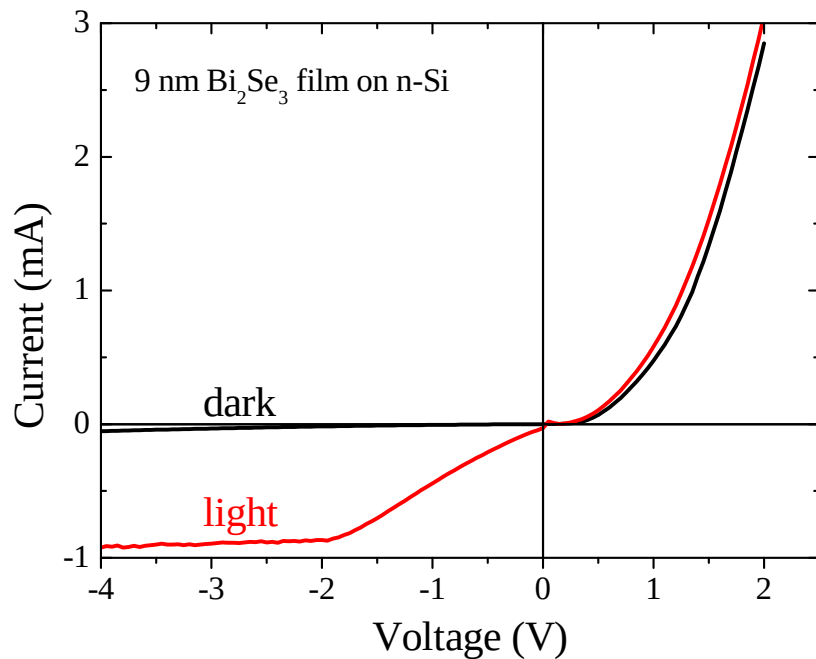
# In produzione un altro chip per sorgenti, rivelatori e polarizzatori



# Rivelatori di singolo fotone su Si a 1550 nm ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{n-Si}$ e altri materiali 2D)

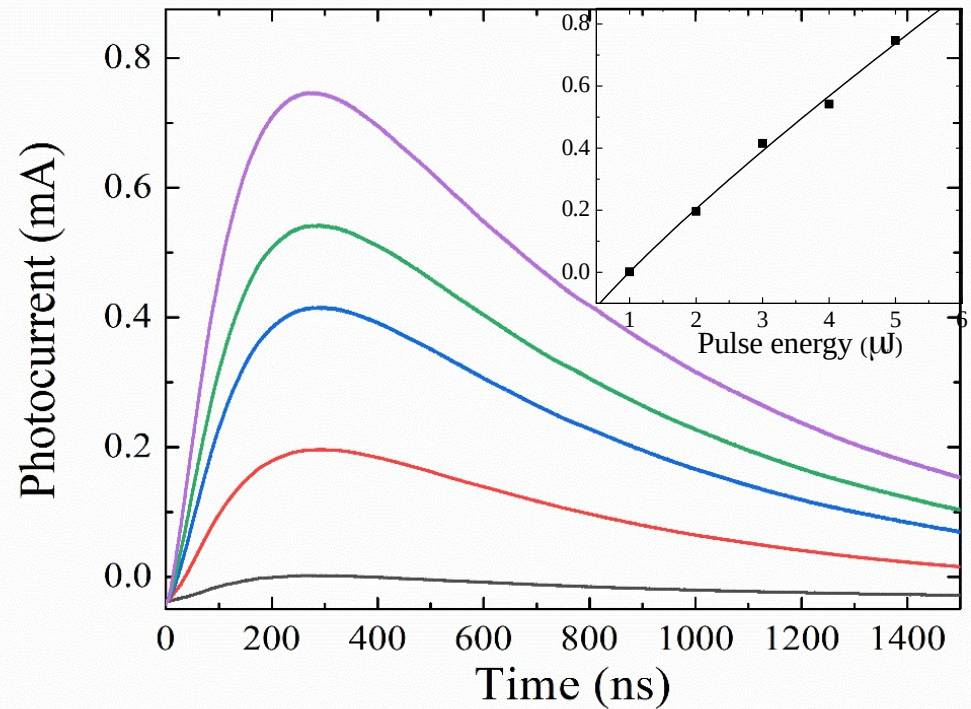


Sketch of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{n-Si}$  junction



I-V characteristics of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{n-Si}$  heterojunctions in dark and illuminated conditions (9 nm film).

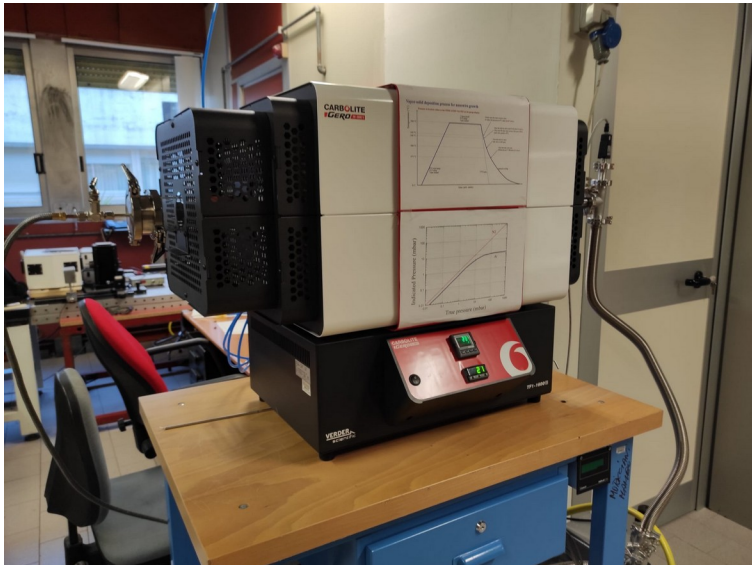
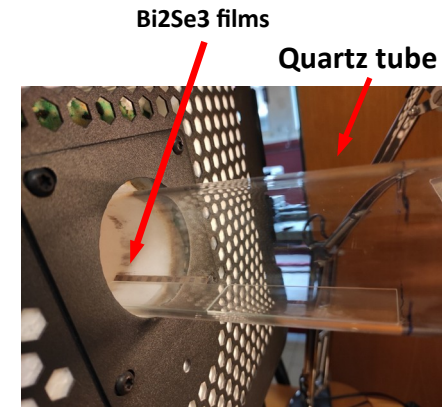
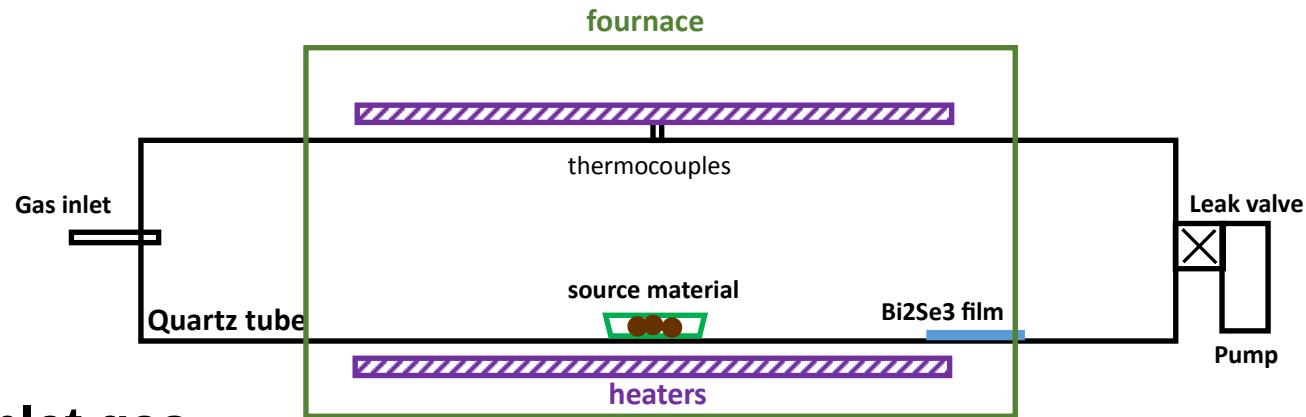
$\text{Bi}_2\text{Se}_3$  deposited on n-Si substrates shows rectification, photovoltaic response and linearity at  $\lambda = 1550$  nm



$\text{Bi}_2\text{Se}_3/\text{n-Si}$  response to fs laser pulse.  
Inset: photocurrent vs. laser pulse energy

# Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin film growth by Vapor-Solid Deposition method

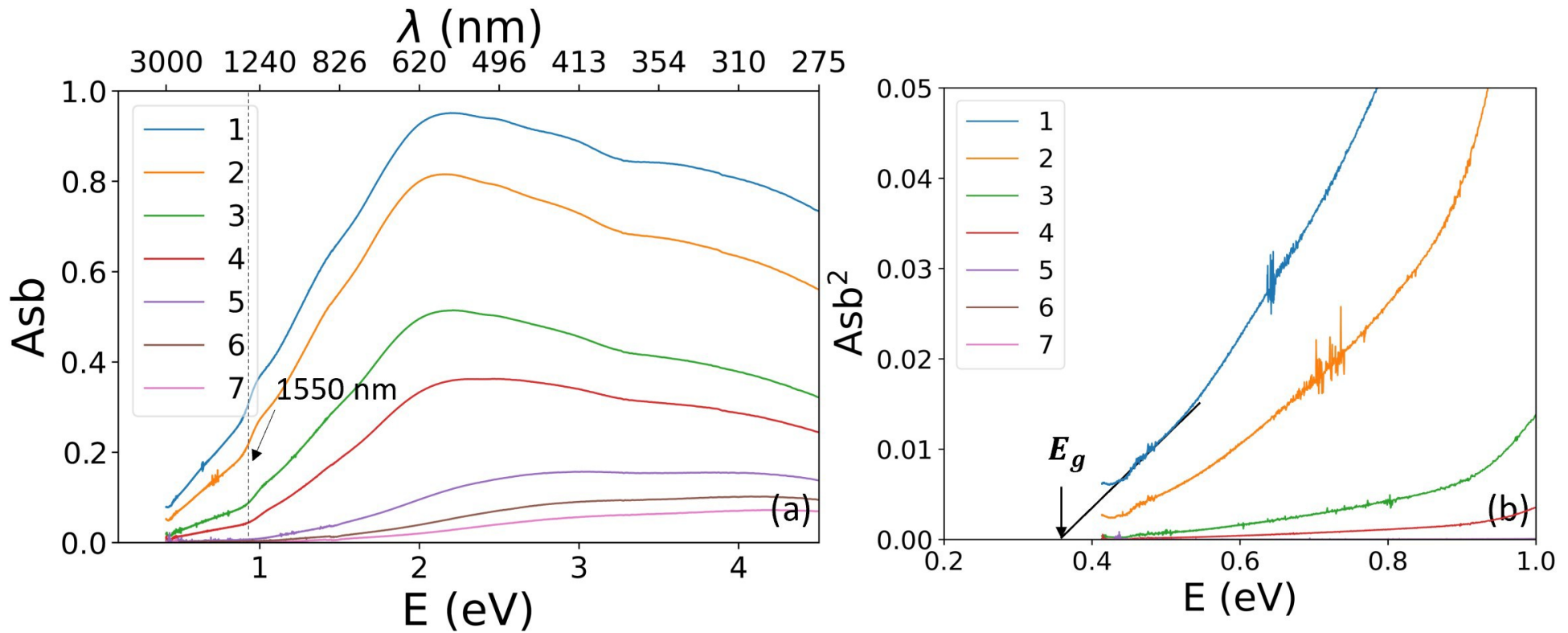
Furnace Carbolite 1600 °C  
Quartz tube  
Leybold pumping system  
Stainless steel pipeline for Ar inlet gas  
Leak valve for gas flow rate regulation



Operating conditions:  
Evaporation Temperature 590 °C  
Substrate temperature: <100 °C  
Pressure: 10<sup>-2</sup> mbar

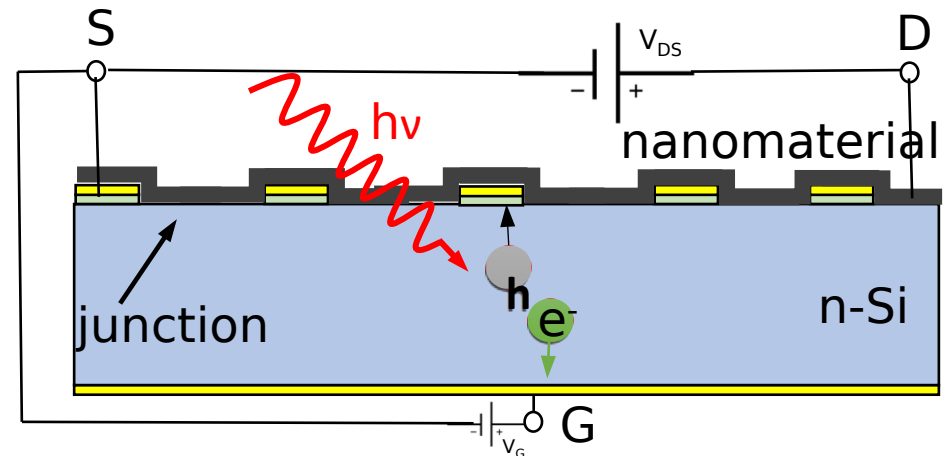
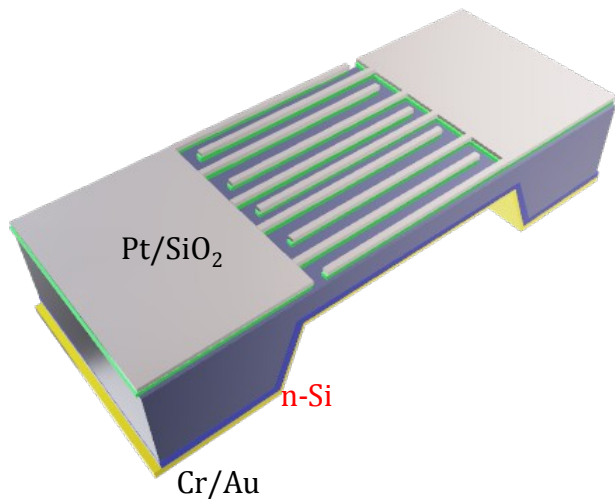
# Optical properties

Optical absorbance measurements in the wavelength range 200 nm-3000 nm show good absorption of Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> films at  $\lambda=1550$  nm. The optical absorbance increases with the film thickness. Optical gap of about 300 meV is measured in agreement with the expected value for Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>





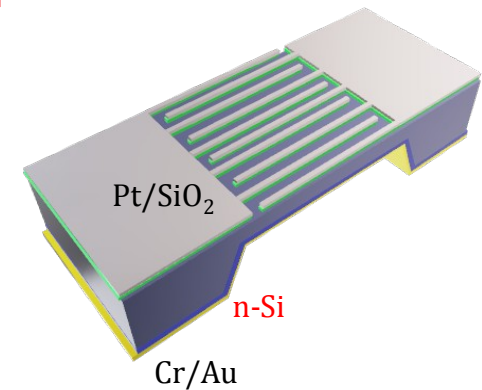
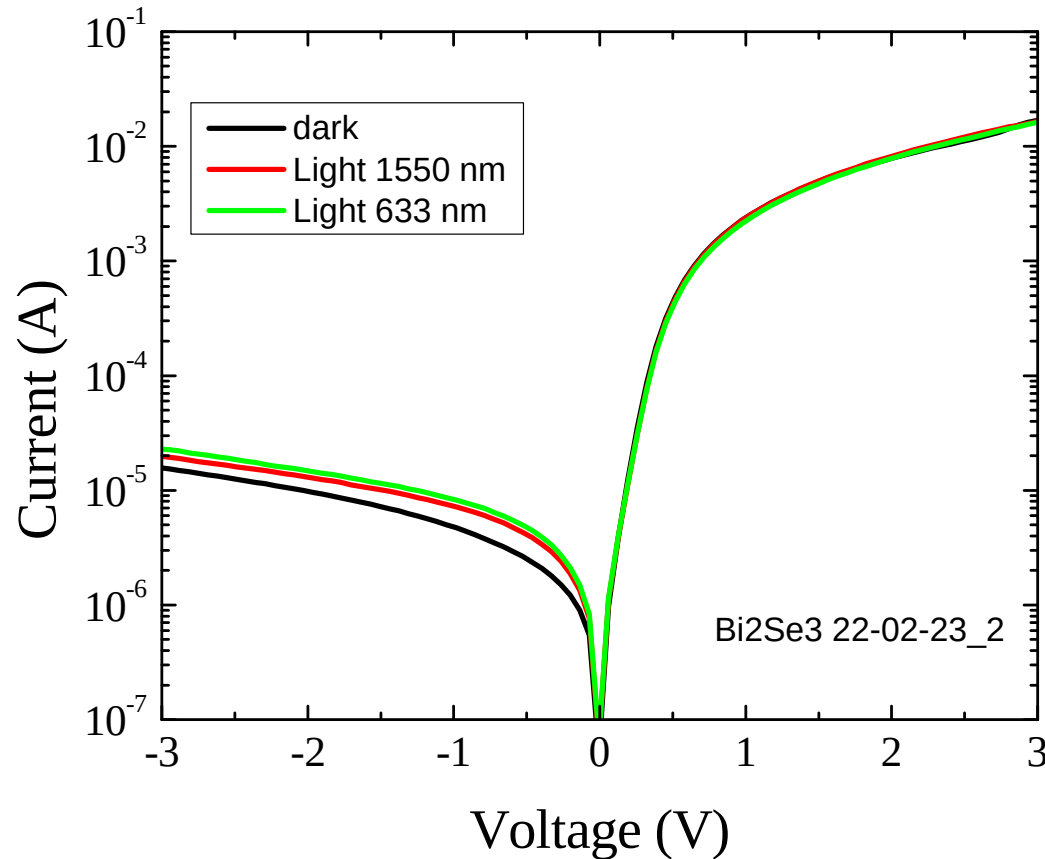
# Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si junctions



The substrates used for Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si photodetectors are n-Si with metallic electrodes on the bottom and interdigitated metallic electrodes on the top. Different n-Si active area (n-doping  $10^{16}$  cm<sup>-3</sup>) are available with area in the range of  $0.1 \times 0.1$  mm<sup>2</sup> up to  $3 \times 3$  mm<sup>2</sup>. The Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> is deposited on the substrate surface and when in contact with n-Si give rise to the Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/n-Si heterojunction. Different number of fingers are available to improve the photocharge collection.

# Electro-optical characterization

## At communication wavelength



Preliminary results on Bi2Se3/n-Si heterojunctions on interdigitated FBK substrates show response at  $\lambda=1550$  nm. Increasing the Bi2Se3 thickness a better photoresponse is expected.

# Richieste Finanziarie

**CON** Laboratory consumables for nSi-Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> single photon detectors - 4 kEuro

**CON** Laboratory consumables for quantum optics laboratory (fibers, cables, splitters, optical components) - 3 kEuro

**MIS** Travels (collaboration, common tests) - 2 kEuro

## Anagrafica

3.9 FTE

V. Bonaiuto - Professore Associato - Ing. Industriale - 30%

T. H. Dao - Dottoranda - Ing. Industriale - 80%

F. De Matteis - Ricercatore Confermato - Fisica e Ing. Industriale - 40%

R. Francini - Professore Associato - Fisica e Ing. Industriale - 40%

P. Proposito - Ricercatore Confermato - Fisica e Ing. Industriale - 60%

A. Salamon - Primo Ricercatore INFN - 25% + 25% PNRR\_NQSTIS4

M. Salvato - Ricercatore Confermato - Fisica - 70%

F. Sargeni - Professore Associato - Ing. Elettronica - 20%

# PNRR\_NQSTIS4

(fino al 30.11.2025 salvo proroga)

- NQSTI = National Quantum Science and Technology Institute
- Spoke 4 = Photonic platform for quantum technologies (i.e. generation, manipulation and detection of quantum states of light)
- Andrea Salamon → referente INFN nello spoke 4 e referente per l'attività 4.8 "Detectors for non-classical states of light"
- Finanziamento PNRR (già a Tor Vergata)
  - Inventario **186 kEuro**
  - Consumo **22 kEuro**
- Acquisti previsti (su inventario)
  - Sistema di microposizionamento automatico Thorlabs
  - Cryocooler ID Quantique per il test di Photon Number Resolving detectors
  - Pulsed laser (20-30 ps) per il test di Photon Number Resolving detectors



Trento Institute for  
Fundamental Physics  
and Applications

**UNIDET**  
**UNI**versal **DET**ector  
for  
Quantum Light

**2023-2026**



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO



TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

# Scopo del progetto UNIDET

Sviluppo di un rivelatore:

- integrabile su guida d'onda

che possa fare

- photon number resolving detection

su una piattaforma integrata standard che permetta l'integrazione di tutti gli elementi necessari per il Quantum Computing (sorgenti di fotoni, modulatori, guide d'onda, directional coupler, Bragg coupler)

## Complementare a QUANTEP

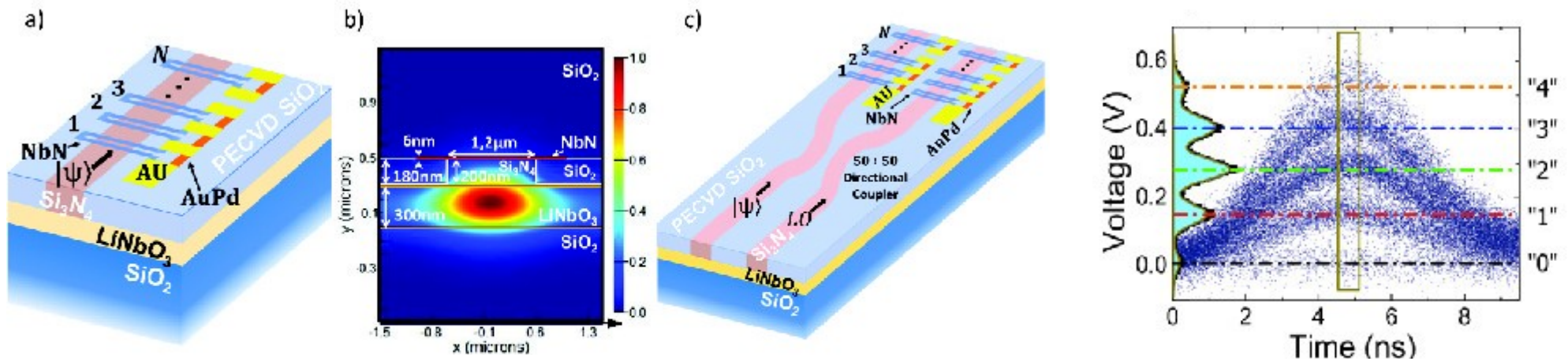
Protocollo: Linear Optics Quantum Computing vs Continuous Variable Quantum Computing

Rivelatore: **single photon detector vs photon number resolving detector**

Rivelatore: room temperature detector vs cryogenic detector

Piattaforma: Silicon On Insulator (SOI) vs Thin Film Lithium Niobate (TFLN)

# Il rivelatore



SNSPD (Superconductive Nanowire Single Photon Detectors)

Nanofili di nitruro di niobio (NbN):

- larghezza x altezza  $80\text{ nm} \times 6\text{ nm}$
- lunghezza del singolo rivelatore  $2+2\text{ }\mu\text{m}$  (su una guida di  $1.2\text{ }\mu\text{m}$ )
- lunghezza di 130 rivelatori  $\sim 500\text{ }\mu\text{m}$
- resistenze in oro-palladio  $\sim 10\text{ Ohm}$

130 nanofili, ognuno con efficienza 3.4%  $\rightarrow$  photon number resolution

# Istituti partecipanti



Andrea Salamon 0.4 FTE  
Thu Ha Dao 0.2 FTE  
**più risorse PNRR**



Trento Institute for  
Fundamental Physics  
and Applications

Mirko Lobino 0.5 FTE  
Paolo Rech 0.3 FTE  
Alberto Quaranta 0.2 FTE  
**più un dottorando**

**CNR**  
**Tor Vergata**



Francesco Mattioli 0.2 FTE  
Alessandro Gaggero 0.2 FTE  
Francesco Martini 0.2 FTE  
**più tutti i tecnici**



Martino Bernard 0.2 FTE  
**più tutti i tecnici**



# Anagrafica

## 1.1 FTE

- T. H. Dao - Dottoranda - Ing. Industriale - 20%
- A. Gaggero - Ricercatore - CNR Istituto Fotonica e Nanotecnologie - 20%
- F. Martini - Ricercatore - CNR Istituto Fotonica e Nanotecnologie - 20%
- F. Mattioli - Ricercatore - CNR Istituto Fotonica e Nanotecnologie - 20%
- A. Salamon - Primo Ricercatore INFN - 30 %

## Attività

Da gennaio è stato simulato il dispositivo per ottimizzare l'efficienza di rivelazione e di accoppiamento della luce in ingresso ed uscita.

A breve comincerà la produzione delle guide (a TIFPA) e poi dei rivelatori (al CNR-IFN).

Il 2024 sarà dedicato alla caratterizzazione delle guide, dei reticoli di Bragg ed alla caratterizzazione in ciogenia (cryocooler su fondi PNRR).

# Richieste Finanziarie

**INV** 10X Mitutoyo Plan Apo NIR Infinity Corrected Objective – 2.5 kEuro

**INV** Laser impulsato a 1550 nm per caratterizzazione "photon number resolving detector" (contributo per acquisto ID3000-Controller) - 5 kEuro

**CON** Cleanroom consumables (resist, metals, ...) at CNR-IFN - 7 kEuro

**CON** EBL usage (200 Euro/h, 50 h/year) at CNR-IFN - 10 kEuro

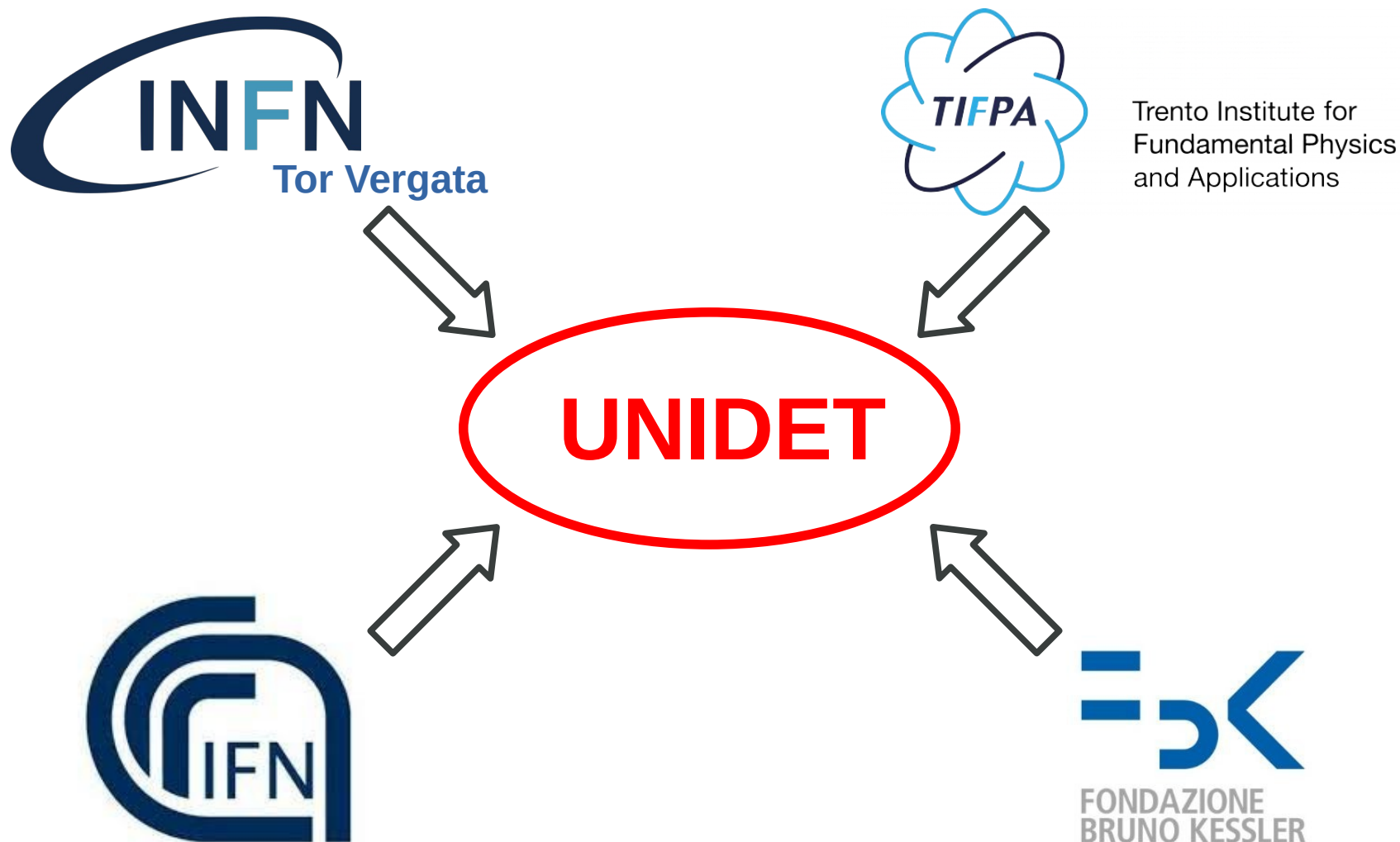
**CON** Laboratory consumables (electrical and optical) at CNR-IFN - 5 kEuro

**CON** Laboratory consumables (PCB, glue, fibers, cables) and optical hardware for characterization and packaging at INFN Tor Vergata - 4 kEuro

**MIS** Missioni per incontri tra i partner della collaborazione - 7 kEuro

## Ultimo ma non meno importante:

il progetto UNIDET ci permette in contatto alcuni tra i principali istituti italiani coinvolti nella ricerca sulle QT

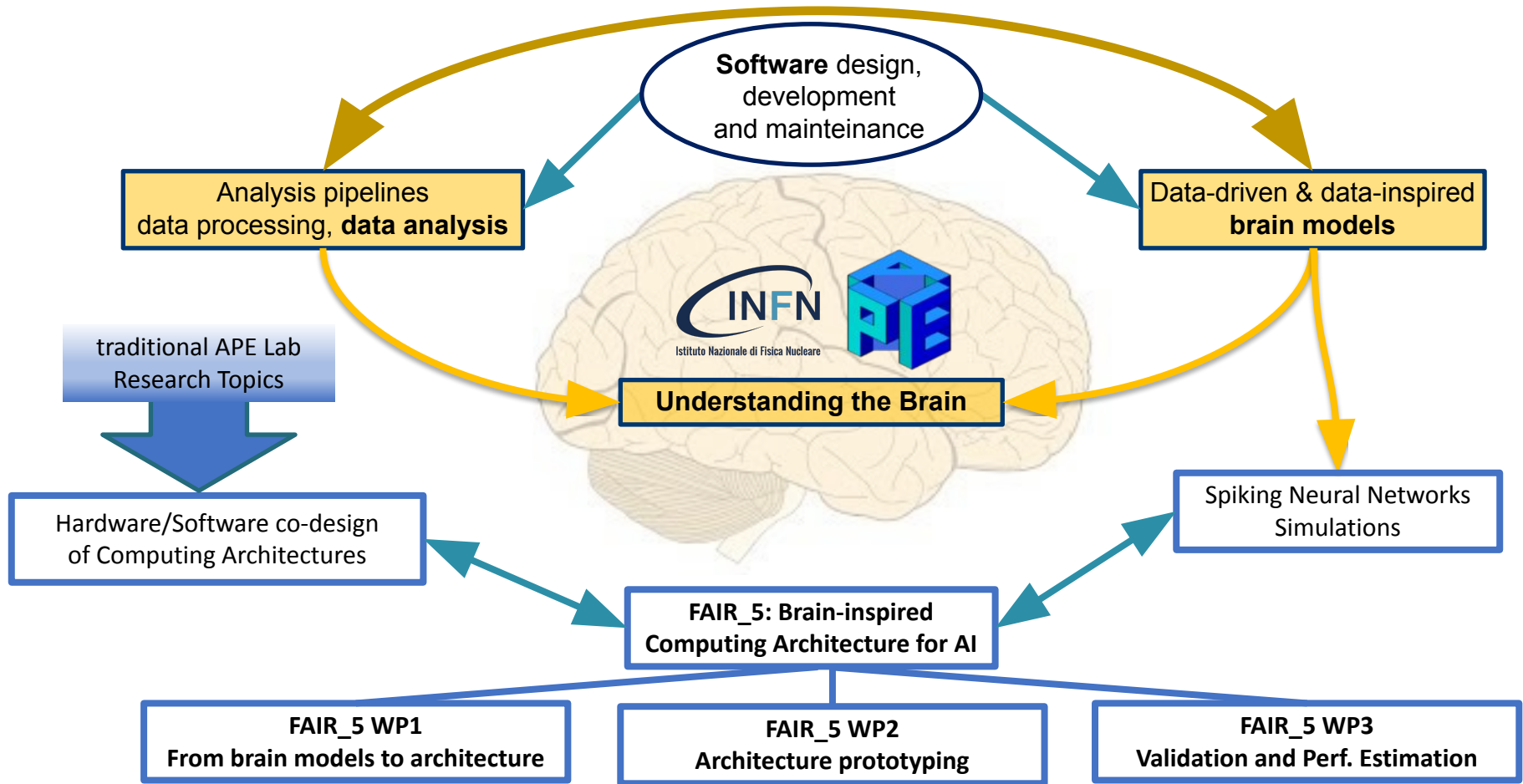


# FAIR\_5 - FUTURE ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH: BRAIN-INSPIRED COMPUTING ARCHITECTURES STUDY AND PROTOTYPING IN INFN CSN5

INFN in PNRR FAIR - Spoke 10 , task **T10.10.2-Bio-inspired plastic spiking networks, capable of incremental learning and entering different brain states (wakefulness, REM dreaming and NREM deep-sleep).**

- **Question to be answered:** How the brain is able of incremental learning from single shot experience and compute with few tens of Watts?
- **Proposed mechanisms:**
  - The brain exploits in spiking neural networks wakefulness and sleep mechanisms for combination of prior knowledge with novel evidence: it uses apical-amplification, apical-isolation and apical-drive dynamics at neural, synaptic and multi-areal level.
  - Dreaming and deep-sleep are essential for the creation of higher abstraction concepts and energetic optimization of awake cognition.
  - Spiking is an essential mechanism to reduce communication energy consumption, synaptic energy consumption and time to compute classifications/decisions.
- **Main objectives of T10.10.2:**
  1. Improve spiking neural models developed by INFN in the Human Brain Project
  2. Experiment feasibility of efficient HW IPs for Bio-inspired AI applications  **FAIR\_5 will boost INFN effort towards this objective, providing additional specialized personnel and resources.**

# FAIR\_5 - FUTURE ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH: BRAIN-INSPIRED COMPUTING ARCHITECTURES STUDY AND PROTOTYPING IN INFN CSN5



## Attività di RM2: Coinvolgimento nel WP2 (Architecture prototyping)

- Implementazione di architetture brain-inspired inizialmente su singola FPGA utilizzando HLS per valutazione preliminare di prestazioni e limiti tecnologici e conformità con simulazioni numeriche
- Re-design architetturale e ottimizzazione a basso livello di specifici blocchi hardware utilizzando anche linguaggi di descrizione hardware (VHDL)
- Implementazione su piattaforma multi-FPGA dedicata allo studio di scaling dell'architettura bio-inspired multi-nodo

## Sezioni Coinvolte e Anagrafica (RN A. Lonardo, 1.8 FTE)

- Roma1, RL Piero Vicini, 1.5 FTE
- Roma 2, RL Roberto Ammendola, 0.2 FTE
- Cagliari, RL Bruno Golosì, 0.1 FTE

## Richieste Finanziarie 2024

### RM1:

- Missioni: 5k€
- Inventariabile: 28k€
- Consumo: 5k€

### RM2:

- Missioni: 2k€
- Inventariabile: 0k€
- Consumo: 0k€

### CA:

- Missioni: 2k€
- Inventariabile: 0k€
- Consumo: 0k€