

MANIFOLD

Multidimensional nANodevice architectures
For low-perturbation single-ion Detection

Proposta di nuovo esperimento CSN5

Informazioni generali

- Sigla: **Multidimensional nANodevice architectures For lOw-perturbation singLe-ion Detection (MANIFOLD)**
- Durata proposta: **3 ANNI**
- Area di ricerca: **RIVELATORI**
- Responsabile nazionale: Francesco Rossella, associato INFN sezione di Pavia, rtdB Università di Modena e Reggio Emilia (0.6 FTE)
- Unità partecipanti: **PAVIA** (PV, 1.7 FTE), Laboratori Nazionali di **LEGNARO** (LNL, 1.75 FTE), **TOR VERGATA** (TV, 1.7 FTE), Laboratori Nazionali del **GRAN SASSO** (LNG, 1 FTE)
- Enti/laboratori esterni (endorsement letter): Center for Nanotechnology Innovation@NEST, ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA, Pisa (2D Materials Engineering, Camilla Coletti) & ISTITUTO NANOSCIENZE-CNR, Pisa (nanowire growth, Lucia Sorba)

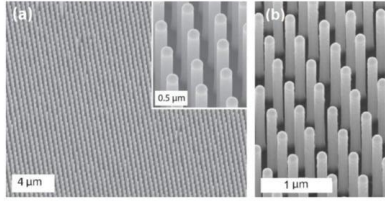
Contesto

- **Rivelazione di fasci ionici** (^1H , ^4He , 200-2000 keV)
- **sfida#1**: rivelare fasci ionici rarefatti ($<10^3$ p/s) senza perturbarli
- **sfida#2**: risolvere spazialmente il fascio ionico con errore $<1\mu\text{m}$
- **Potenziale impatto scientifico e su interessi Ente**:
 - particle counter risolto spazialmente
 - deterministic implantation/precision targeting (singoli ioni/dopanti)
 - creazione di array di difetti localizzati in nuovi materiali (solid state QT, Q-sensing)

Obiettivi

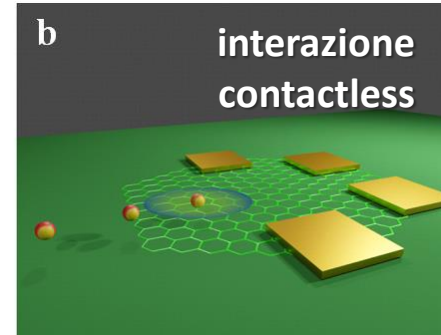
- I. sviluppare rivelatori non-perturbanti o a perturbazione trascurabile di fasci ionici rarefatti ($\ll 1\text{pA}$)
- II. sviluppare rivelatori di fasci ionici con risoluzione spaziale $< 1\mu\text{m}$ e accettanze compatibili con i fasci esistenti
- III. Conseguire simultaneamente obiettivi I&II: sviluppare **rivelatori non-perturbanti di fasci rarefatti con risoluzione spaziale $< 1\mu\text{m}$**
- IV. Estendere gli obiettivi I-II-III al caso di fasci ionici ultra-rarefatti ($< 10^3$ p/s), virtualmente al **singolo ione**

Metodologia



PV, TV
LNL, LGS

Dispositivi: strutture
multidimensionali
di nanomateriali



LGS, TV
PV

INTERACTION MODELING, DEVICE DESIGN

- ✓ Nonlinear electro-optical effects
- ✓ nanoplasmonics

MAT. ENGINEERING, DEVICE FABRICATION

- ✓ III-V semiconductor nanowires
- ✓ Multi-walled carbon nanotubes
- ✓ CVD multilayered graphene

LNL, PV



Integrazione dispositivo-
acceleratore

BEAM MANIPULATION & DETECTION

- ✓ from 1pA to single ion
- ✓ Non perturbing detection

Risultati attesi

- I. Sviluppo di nuovi rivelatori di fasci ionici rarefatti, non-perturbanti o a perturbazione trascurabile
- II. Sviluppo di nuovi rivelatori di fasci ionici con risoluzione spaziale $<1\mu\text{m}$
- III. Sviluppo di nuovi rivelatori di fasci ionici rarefatti, non-perturbanti e con risoluzione spaziale $<1\mu\text{m}$
- IV. Protocollo per estensione risultati I-III al singolo ione

Richiesta finanziaria complessiva

SEZIONE (FTE)	3y budget	1y budget
PV (1.70)	77	62
LNL (1.70)	103	63
TV (1.75)	74	42
LGS (1.00)	29	23
Tot. (7.15)	283	208

FTE PV

RICHIESTE FINANZIARIA

ANNO 2023		BILANCIO 3 ANNI MANIFOLD (PRELIMINARE)										
	MANIFOLD	INVENTARIO			CONSUMO			MISSIONI			TOTALI	
	CSN V	2024	2025	2026	2024	2025	2026	2024	2025	2026		
	(FTE)	PV	51	0	0	8	5	5	3	3	3	77
	1.70											
Francesco Rossella RN	0.60											
Andrea Fontana	0.30											
Vittorio Bellani	0.20											
Cosimo Lacava	0.30											
Domenic Prete	0											
Valerio Vitali	0											
Valeria Demontis	0.30											

2024 –PV: 62 k€

Richieste

Serv. elettronica: 1 mese/uomo (disegno/realizzazione circuiti adattamento impedenza)

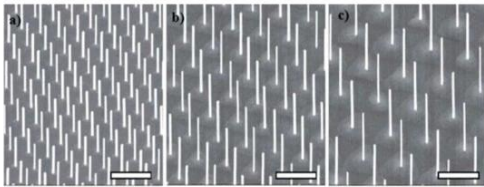
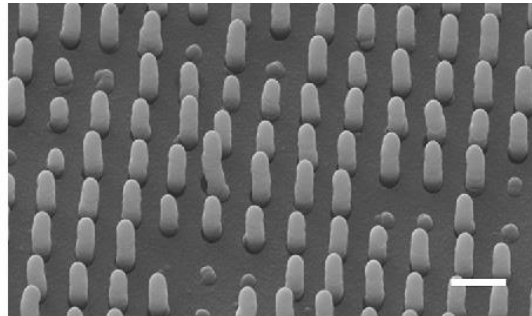
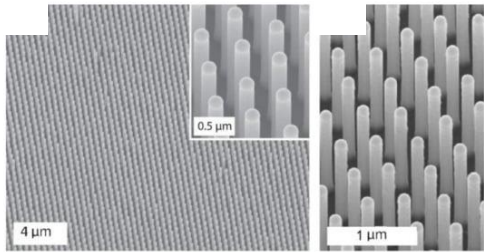
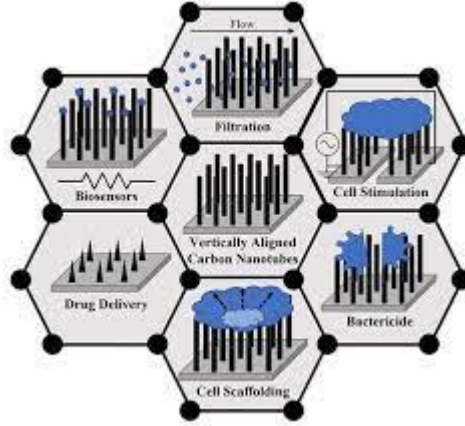
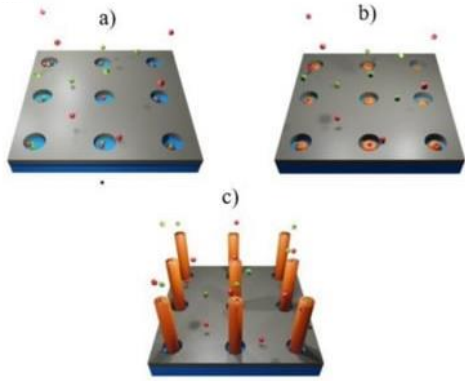
Supporting information

Metodologia

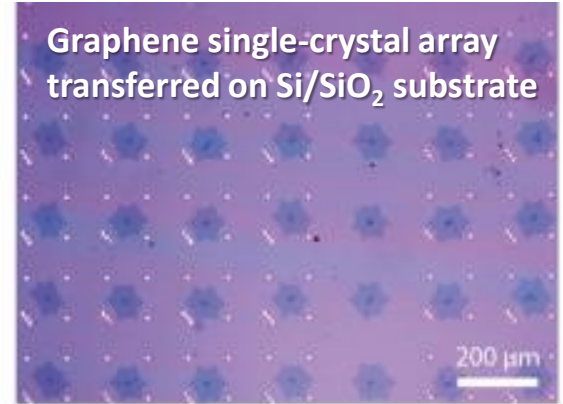
- Ingegnerizzazione di **strutture multidimensionali di nanomateriali** (es. array di nanostrutture) ad-hoc

ORDERED ARRAYS OF VERTICALLY ALIGNED NANOWIRES AND NANOTUBES

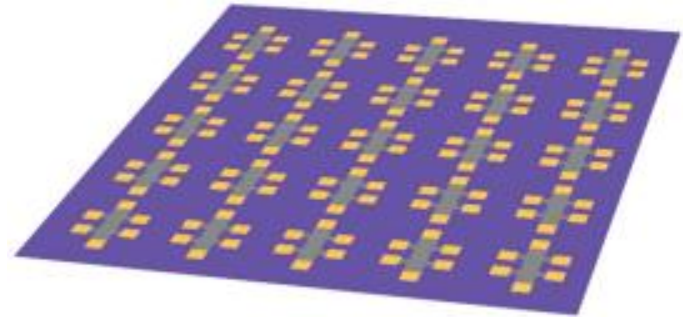
PLANAR ARRAYS OF 2D CRYSTALS



Graphene single-crystal array transferred on Si/SiO₂ substrate



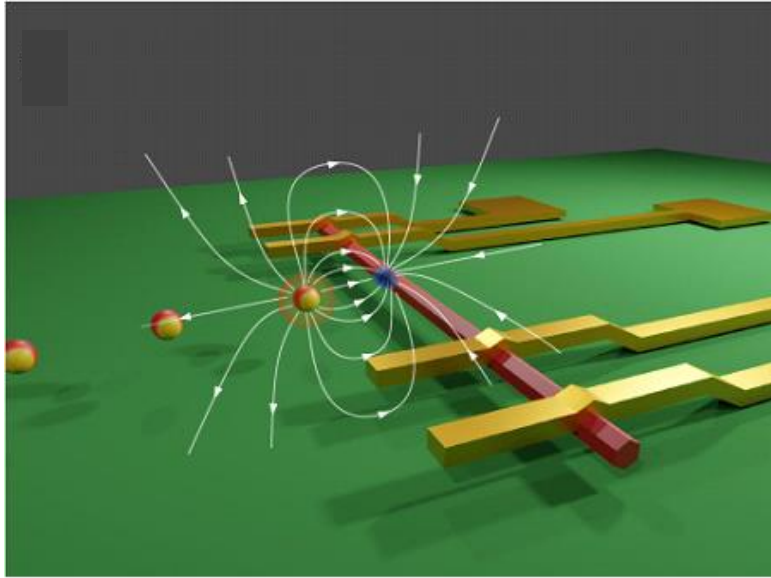
Graphene transfer and fabrication



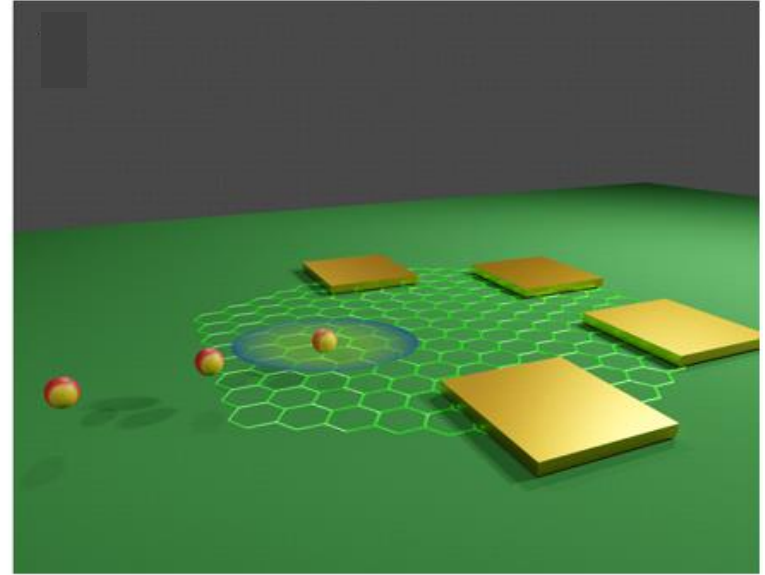
Metodologia

- Ingegnerizzazione di **strutture multidimensionali di nanomateriali** (es. array di nanostrutture) ad-hoc
- Si sfrutta l'**interazione contactless** tra il «flying ion» e l'array di nanomateriali come meccanismo alla base della rivelazione

FLYING ION INTERACTING WITH A NANOWIRE/NANOTUBE



FLYING ION INTERACTING WITH A 2D CRYSTALS



- diluted ion beams explore the space around a nanoelectronic device based on a semiconductor nanowire/nanotube or a 2D crystal.
- **plasmonic / non-linear electro-optical coupling** with the nanomaterial is detected electrically in the device

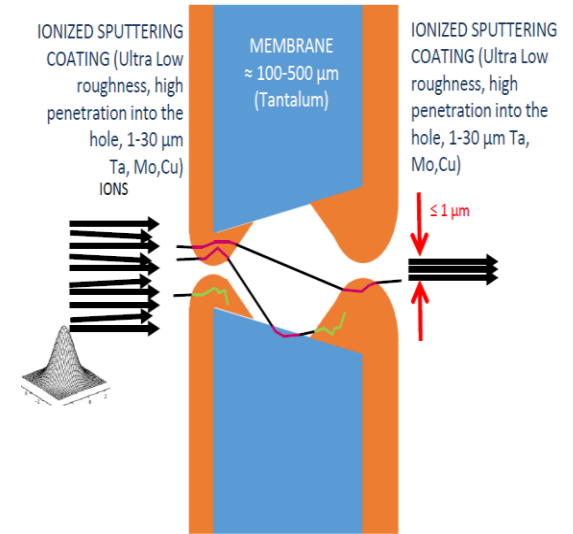
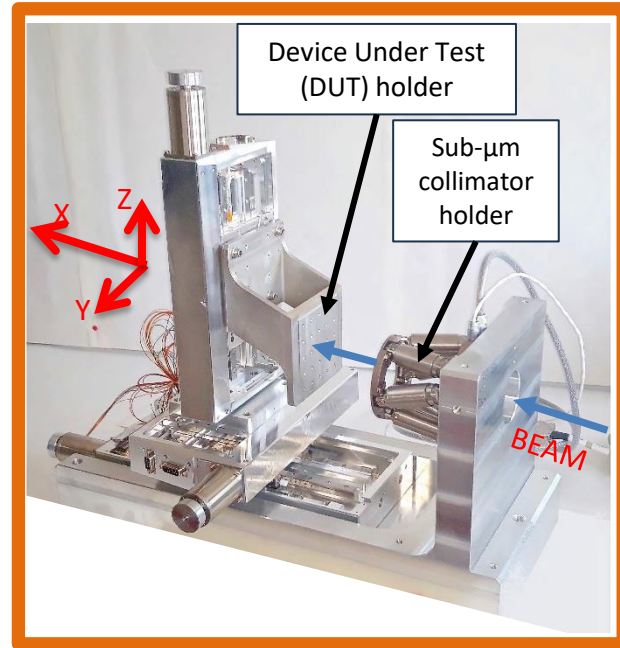
Metodologia

- Ingegnerizzazione di **strutture multidimensionali di nanomateriali** (es. array di nanostrutture) ad-hoc
- Si sfrutta l'**interazione contactless** tra il «flying ion» e l'array di nanomateriali come meccanismo alla base della rivelazione
- **Integrazione** dei nuovi rivelatori con lo stato dell'arte delle **macchine acceleratrici** compatibili con fasci ionici rarefatti a bassa energia (AN2000)



camera di irraggiamento ASIDI (AN2000 - 0° beam-line) per fasci collimati (sub)micrometrici

Actual beam manipulation



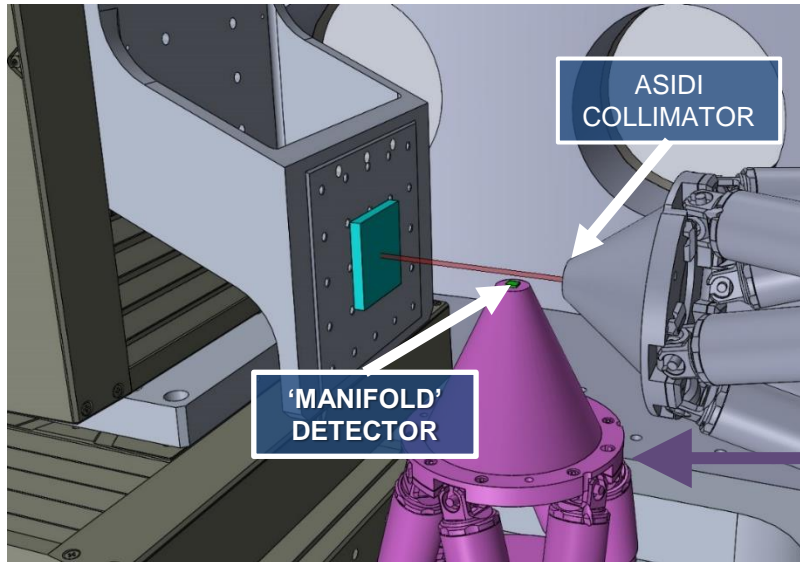
ASIDI double micro-collimator

NUOVA CONFIGURAZIONE:

integrazione di un secondo nano-posizionatore (cinematica parallela, 6 gradi di libertà)



allineamento real-time di MANIFOLD al fascio collimato



SISTEMA DI NANOPOSIZIONAMENTO DEL RIVELATORE AD ARRAY DI NANOMATERIALI

Travel Range (X, Y, Z): $\pm 17, \pm 16, \pm 6.6$ mm
Min. incremental motion (X, Y, Z): 0.2, 0.2, 0.08 μm

Angular Range ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$): $\pm 21^\circ, \pm 10^\circ, \pm 10^\circ$
 $\Delta\theta_x, \Delta\theta_y, \Delta\theta_z$: $\pm 2, \pm 2, \pm 3$ μrad

FTE LNL

RICHIESTE FINANZIARIA

ANNO 2023		BILANCIO 3 ANNI MANIFOLD (PRELIMINARE)										
	MANIFOLD	INVENTARIO			CONSUMO			MISSIONI			TOTALI	
	CSN V	2024	2025	2026	2024	2025	2026	2024	2025	2026		
	(FTE)	LNL	52	21	0	8	7	6	3	3	3	103
	1.75											
Valentino Rigato RL	0.15											
Carlo Roncolato	0.50											
Matteo Campostrini	0.0											
Oleksandr OMELNYK	0.60											
Sumittra Amphalop	0.50											

2024 –LNL: 63 k€

Richieste

Serv. Utenti: 1 mese/uomo (cablaggi beam-line, PLC)

UT-OM: 1.5 mesi /uomo (prog. & real. particolari di precisione per setup sperimentale)

FTE TV

RICHIESTE FINANZIARIA

ANNO 2023		BILANCIO 3 ANNI MANIFOLD (PRELIMINARE)									
	MANIFOLD	INVENTARIO			CONSUMO			MISSIONI			TOTALI
	CSN V	2024	2025	2026	2024	2025	2026	2024	2025	2026	
	(FTE)	TV	24		14	14	10	4	4	4	74
	1.70										
Fabio de Matteis RL	0.5										
Andrea Salamon	0.1										
Manuela Angela Scarselli	0.4										
Luca Persichetti	0.4										
Luca Camilli	0.3										

2024 –TV: 42 k€

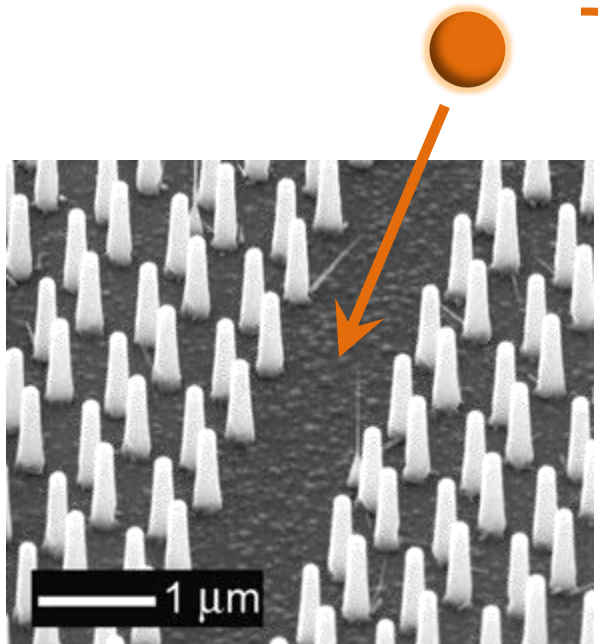
FTE LGS

RICHIESTE FINANZIARIA

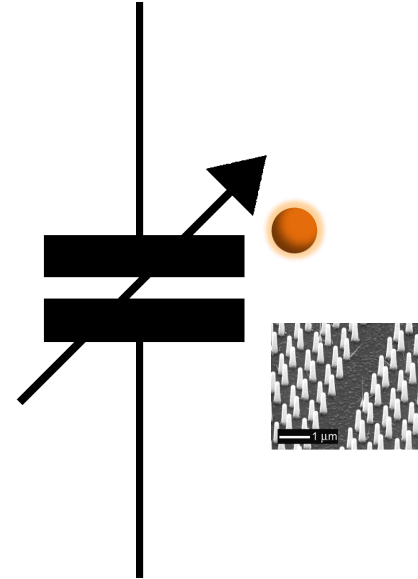
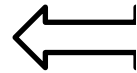
ANNO 2023		BILANCIO 3 ANNI MANIFOLD (PRELIMINARE)										
	MANIFOLD		INVENTARIO			CONSUMO			MISSIONI			TOTALI
	CSN V (FTE)		2024	2025	2026	2024	2025	2026	2024	2025	2026	
	1	LNG	20						3	3	3	29
Andrea Marini RL	0.5											
Alessandro Ciattoni	0.5											

2024 –LNG: 23 k€

THE NW ARRAY DETECTOR WORKING PRINCIPLE (NAIVELY)



CONDUCTING SUBSTRATE



IMPEDANCE ANALYZER
 $\Delta C/C \approx \text{aF}$

NB signal level as in NW QDs