

# **ATTIVITÀ NELLE CLEAN ROOMS**

**UNA VISITA GUIDATA DELLE FACILITIES GESTITE DAL GRUPPO ALTE TECNOLOGIE DELLA  
SEZ. INFN-PISA**

**Maurizio Massa**

[maurizio.massa@pi.infn.it](mailto:maurizio.massa@pi.infn.it)

**per il Servizio Alte Tecnologie (AT)**

- Introduzione
- Le camere pulite (clean-rooms) dell'INFN-Pisa
- Attrezzature
- Attività sperimentali
- Conclusioni

- Questa presentazione ha lo scopo di descrivere il servizio Alte Tecnologie (AT) dell'INFN, illustrando il contesto in cui si svolgono le attività di ricerca.
- Il servizio AT dell'INFN-Pisa fornisce il supporto tecnologico alle attività sperimentali (i.e. realizzazione di rivelatori di particelle) della sezione mediante la progettazione e prototipizzazione di rivelatori per esperimenti di fisica delle Alte Energie (HEP). Ricercatori e tecnologi, organizzati in gruppi sperimentali, di concerto con il servizio AT hanno sviluppato negli anni attrezzature scientifiche e tecnologiche avanzate, che possono trovare un campo più ampio di applicazione, anche al di fuori della Fisica HEP.
- Il servizio AT ha la capacità di eseguire simulazioni FEM nel campo dell'analisi strutturale, termica e fluidodinamica con successiva validazione sperimentale; ingegnerizzazione (CAD 3D) di componenti/tools meccanici, attività quali metrologia, micro-saldatura, assemblaggi meccanici di precisione, incollaggi ecc.

Un ringraziamento particolare a **Filippo Bosi** che ha creato e sviluppato il servizio di AT intercettando le richieste ed esigenze di Ricercatori e Tecnologi.

G. Balestri

M. Ceccanti

P. Mammini

G. Petraghani

A. Profeti

A. Ragonesi

- Disponibilità
- Intraprendenza
- Formazione Continua
- Grandi competenze specifiche
- Patrimonio di esperienza tecnica



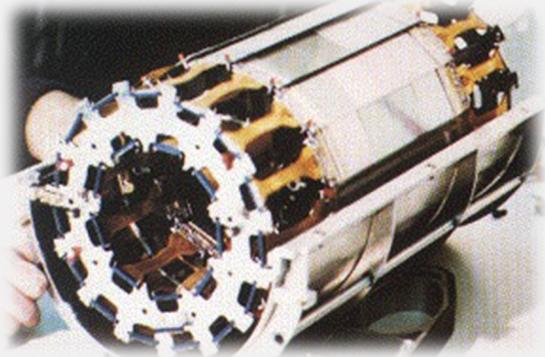
M.Favati, G.Tonelli, L.Bosisio, M.Giorgi, F.Bosi

INFN S.Piero A Grado  
circa 1988

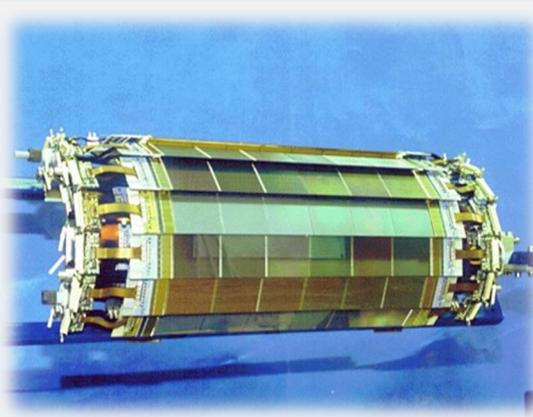
F.Forti, G.Batignani

# TRADIZIONE: R&D E COSTRUZIONE DI RIVELATORI A STATO SOLIDO

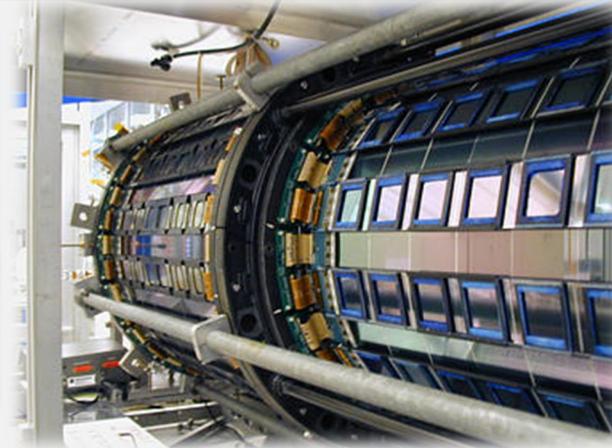
## SILICON-TRACKER(S):INFN-PISA™ - ALCUNI ESEMPLI...



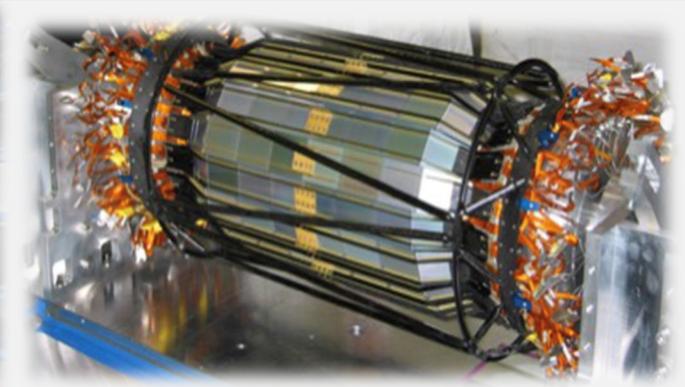
**ALEPH** fine anni 80



**VDET-II** Anni 90



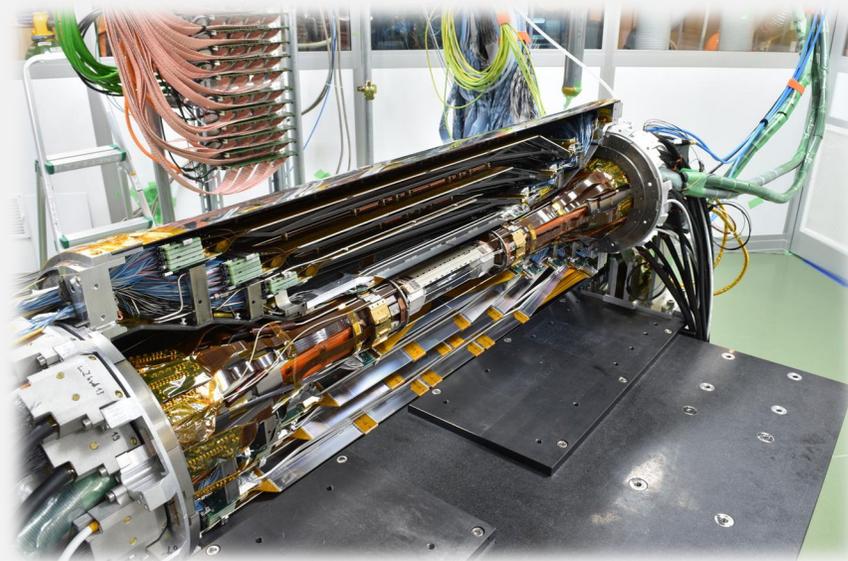
**CDF** Fine Anni 90 / Primi 2000



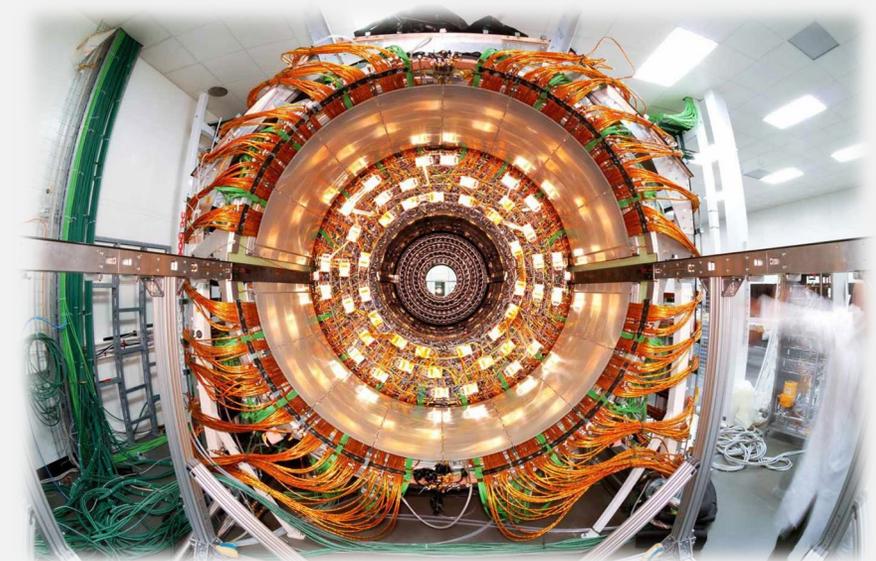
**BaBar-SVT** Fine Anni 90 / Primi 2000



**FERMI-GLAST** (Telescopio spaziale)  
Primi 2000 - 11/06/2008 (Delta II)



**BELLE II** - Anni 2015



**CMS** - Anni 2000

# CLEAN ROOM

Superficie ~700 mq con contaminazione controllata (classe di pulizia ISO 7 ed ISO 8 - FED STD 209E Equivalente: Classe 10'000 e 100'000).

Zone con classi di pulizia superiori con l'utilizzo di soft-wall o cappe a flusso laminare  
condizioni termo-igrometriche stabili ( $T \sim 21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $HR \sim 50\% \pm 5\%$ ) e continuamente monitorate

Zone di lavoro con attacchi aria compressa, aria secca (dew point  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), tensione di alimentazione filtrata e sotto UPS



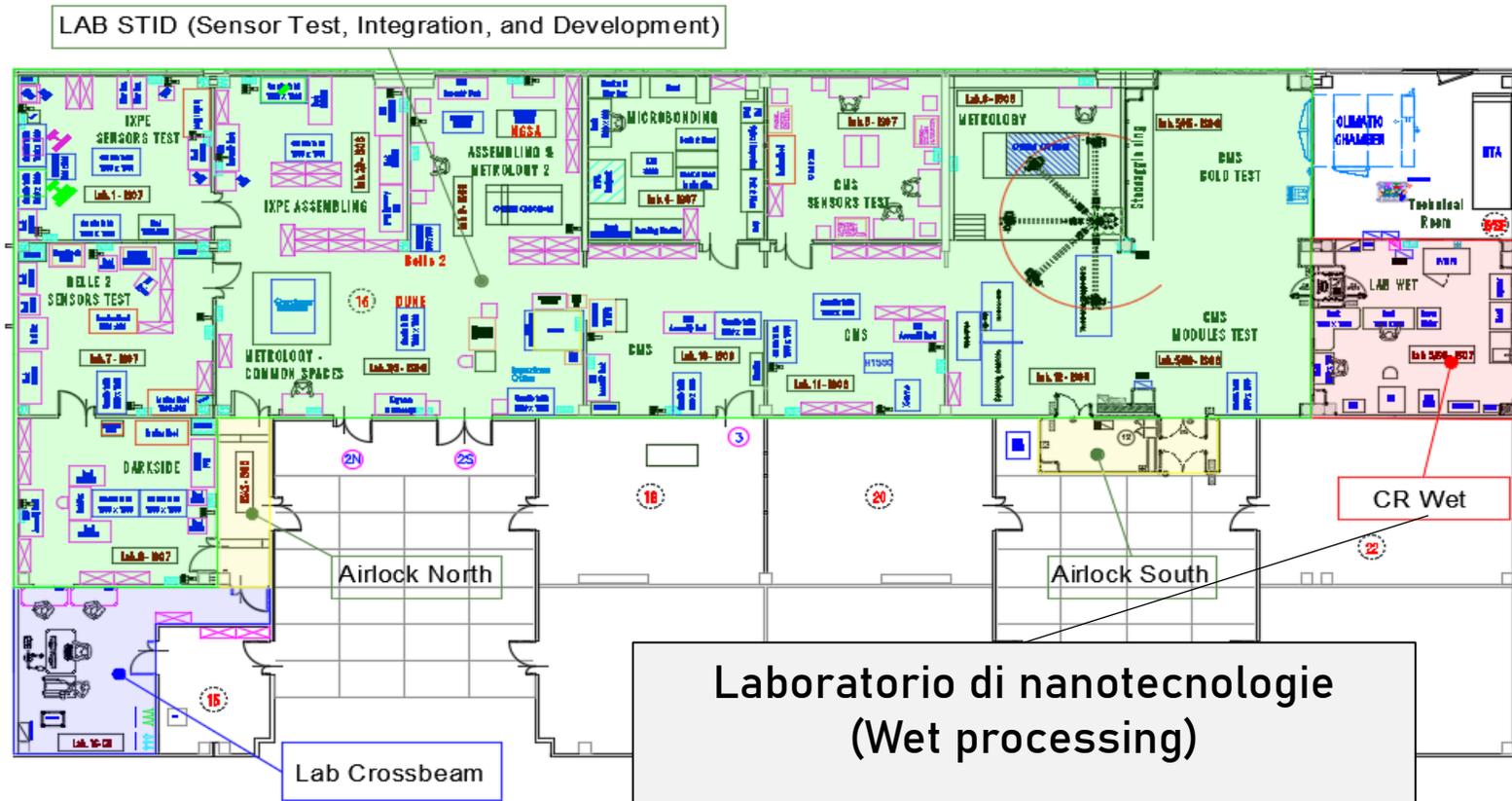
Misure di contaminazione

Storicamente, a Pisa, 3 grandi gruppi lavorano allo sviluppo di rivelatori al Silicio:

*BaBar-Belle II / Glast-Fermi-IXPE / CMS*

Ogni gruppo ha a disposizione due aree e propria strumentazione, Probe-stations e analizzatori, dedicate alla caratterizzazione elettrica dei detectors.

Durante la fase di costruzione, i gruppi possono utilizzare gli spazi centrali comuni.

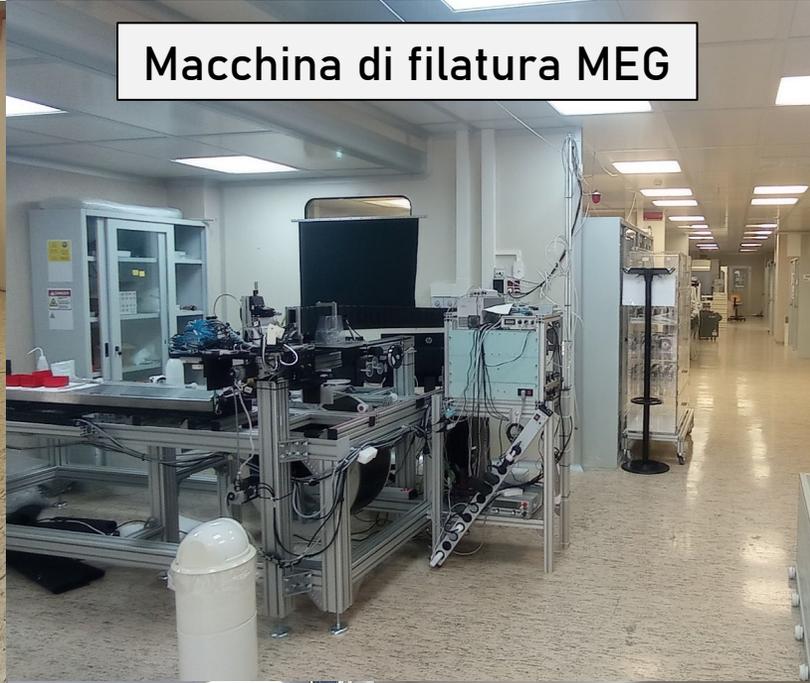


**Laboratorio di nanotecnologie (Wet processing)**  
(Mask aligner EVG, Evaporatore PVD75, Plasma ossigeno, Laser Writer ML3 Baby, Nanoimprint Litho, Cappa, Microscopio ottico)

# CLEAN ROOM - ALCUNE IMMAGINI



Mitutoyo senza contatto



Macchina di filatura MEG



Zona Ampliamento



Hexagon Ghibli



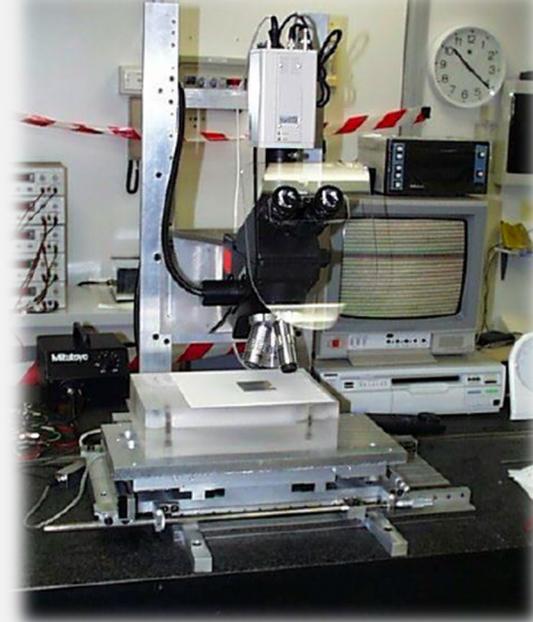
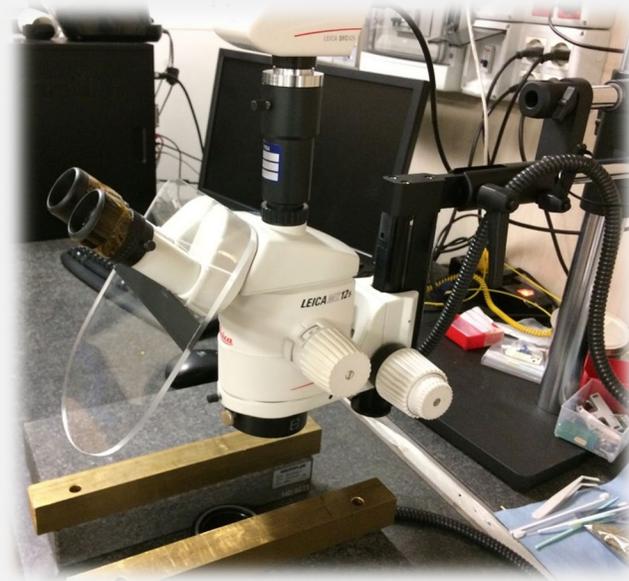
Hexagon Global



Macchina a raggi X per irraggiamento - CMS

# **ATTREZZATURE**

## Digital Microscope VHX-7000 series

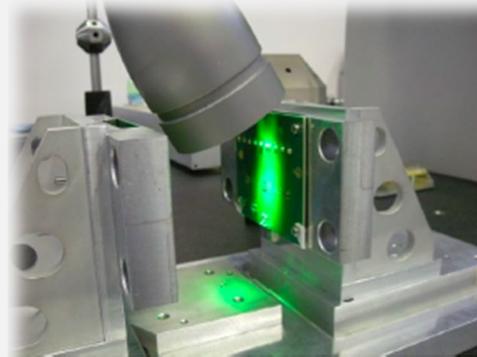


4K High Accuracy digital microscope capable of capturing high resolution images and measurement data for inspection and failure analysis

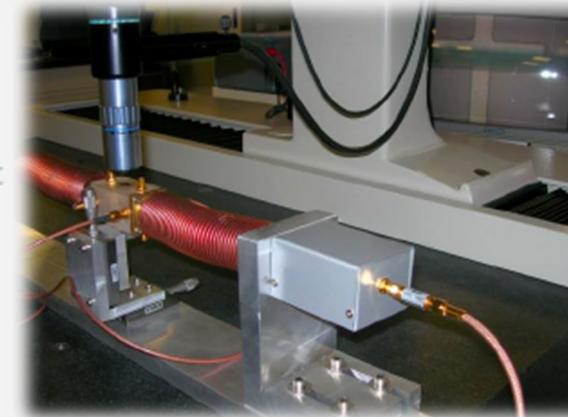
Permettono di vedere, analizzare e documentare i campioni. Sono strumenti indispensabili per le varie tipologie di attività elettronica svolte

## CMM: Coordinate Measuring Machine

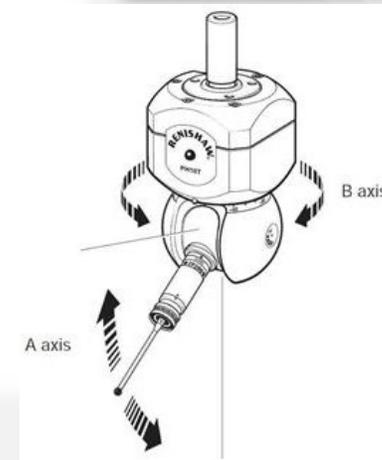
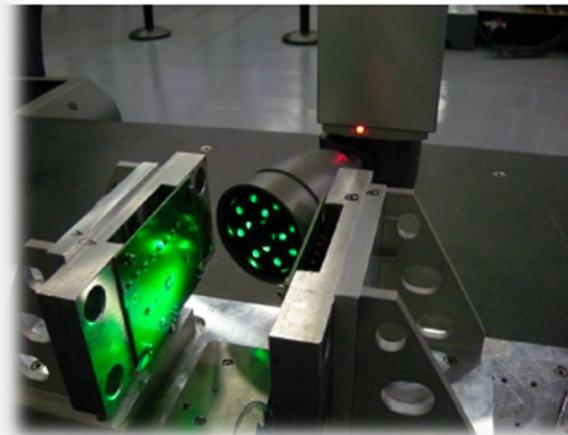
- DEA – Hexagon Ghibli 26.15.14 (2600x1500x1350 mm<sup>3</sup>) – Precisione 4.5+4L/1000 μm – risoluzione 1 μm
- DEA – Hexagon Global Image (1500x900x650 mm<sup>3</sup>) – Precisione 1.7+3L/1000 μm – risoluzione 1 μm
- Entrambe le macchine sono a controllo numerico con software metrologico PCDIMIS
- Elevata sensibilità della misura da variazioni di temperatura e umidità → installazione in camera pulita su banco di granito



Special laser directional head without contact



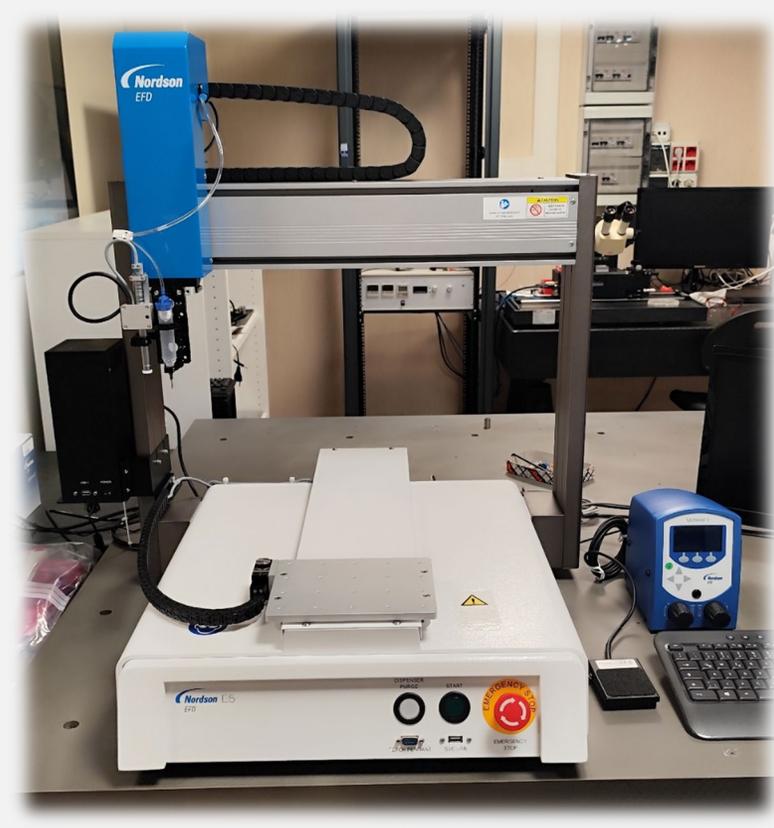
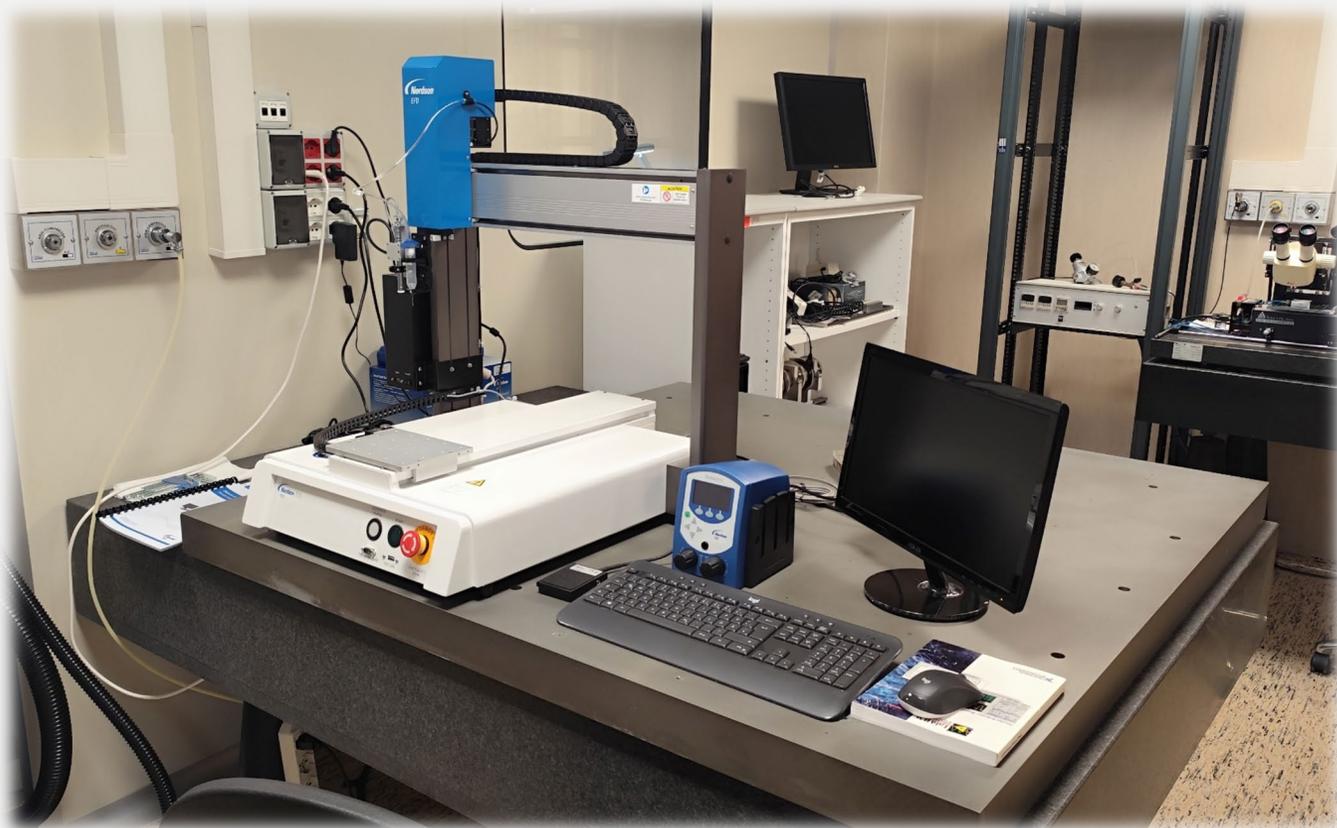
Standard vertical optical head without contact



Touching probe

Robot automatico per dosaggio fluidi 3 ASSI 500X500X150 mm

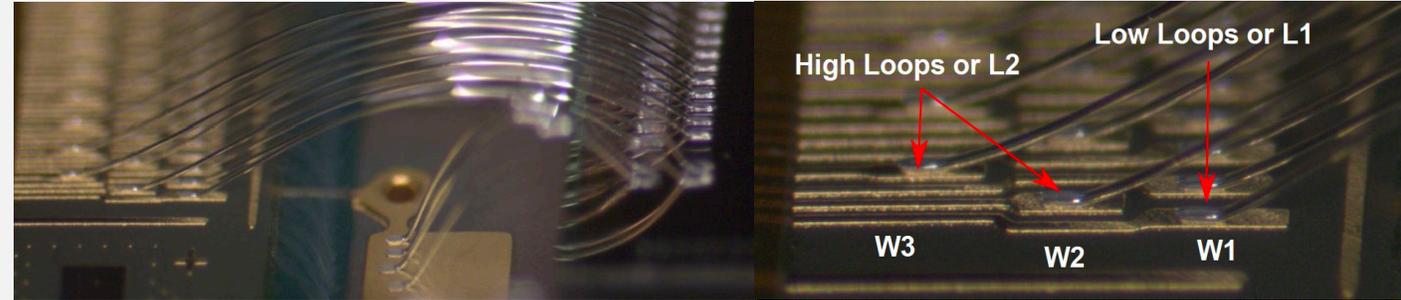
- dosaggio preciso di fluidi mediante sistemi a siringa EFD e valvole
- punti, linee, cerchi, archi e archi composti
- telecamera CCD a visione intelligente e capacità di rilevamento dell'altezza tramite laser
- possibilità di importare file DXF



# MICRO-BONDING

AL-WIRE 25.4  $\mu\text{m}$

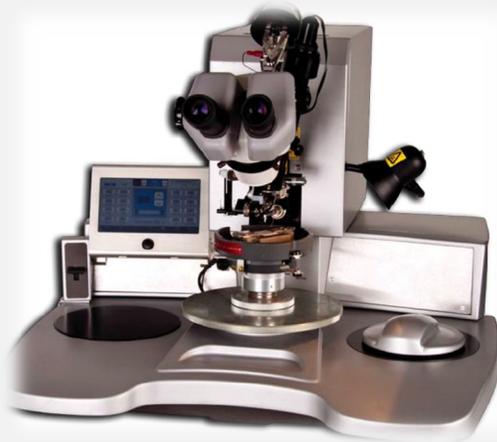
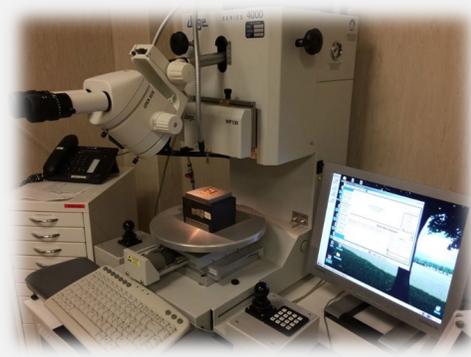
Macchine di microsaldatura: manuali automatiche o semi-automatiche



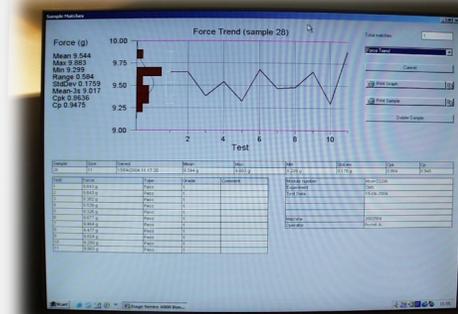
Delvotec M17L



Micro bond pull test



iBond5000-Wedge

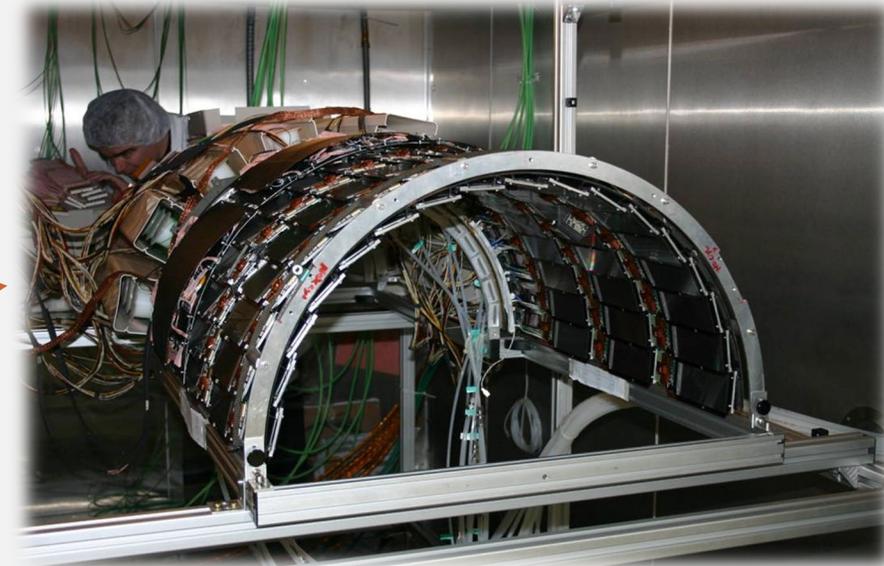


La termografia risulta utile per:

- una **misura accurata** ( $0.1^{\circ}\text{C}$ , range  $[-40,250]^{\circ}\text{C}$ ) della temperatura di una superficie non riflettente senza contatto
- **individuare** nei circuiti le zone a più alta temperatura per evidenziare il funzionamento anomalo di un componente elettronico
- analisi sperimentale dell'**efficienza** di raffreddamento



Camere a temperatura e umidità controllata per eseguire cicli termici su detector assemblati



Un layer di CMS sottoposto a test termici



Volume test  
1000x1100x1000  
mm<sup>3</sup>  
Temperature range:  
-70°C - +180 °C

Volume: 16 m<sup>3</sup>  
Temperature range:  
-70 ÷ 80 °C



Il polarimetro XPOL

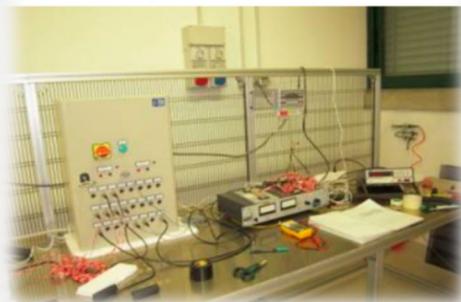
1/1/1999 12:11

- Laboratorio utilizzato per caratterizzazioni termiche ed analisi di circuiti di raffreddamento con strutture a micro-canale...e non!
- Sistema frigorifero monofase con sistema di acquisizione dati con 24 sensori per temperatura, pressione e flusso

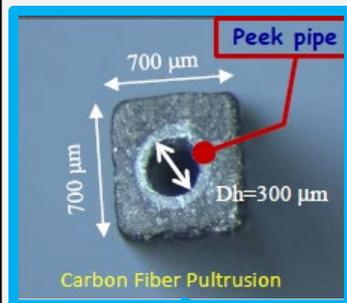
IL LABORATORIO



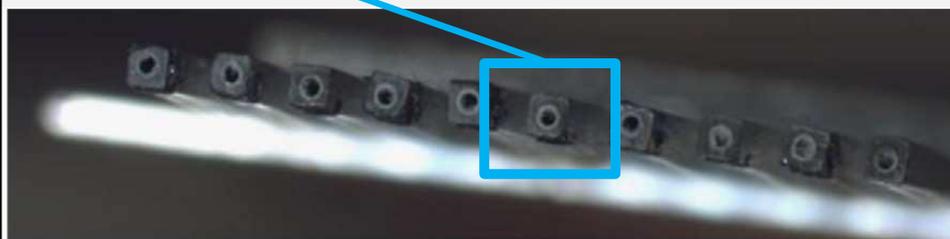
DAQ System:



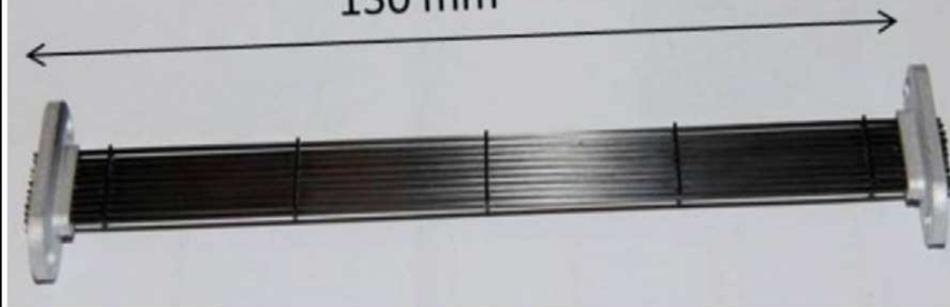
MICRO-CANALI IN FIBRA DI CARBONIO



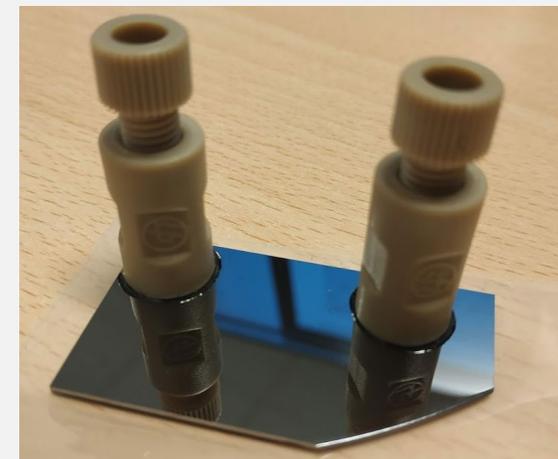
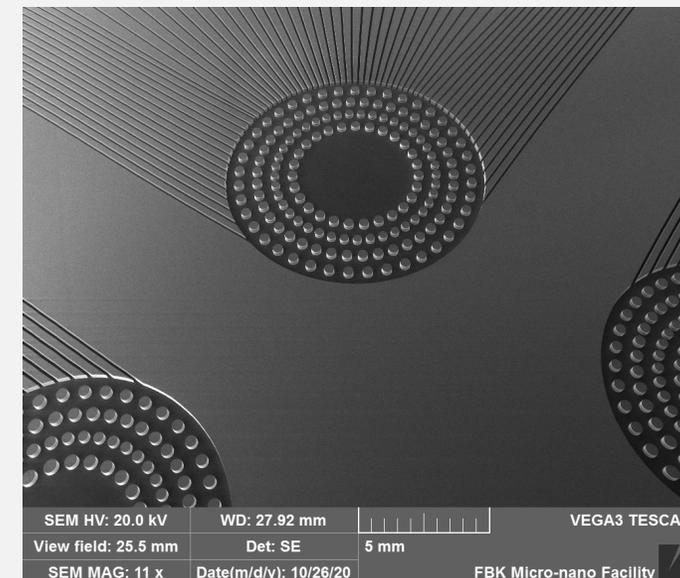
Modulo di supporto a griglia



130 mm

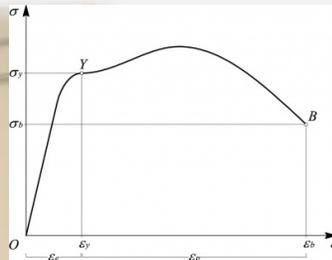
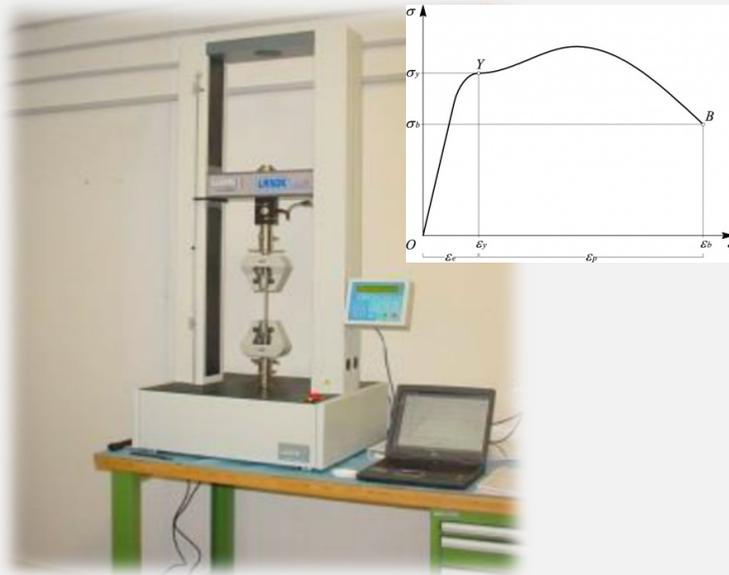


MICRO-CANALI SU WAFER DI SILICIO

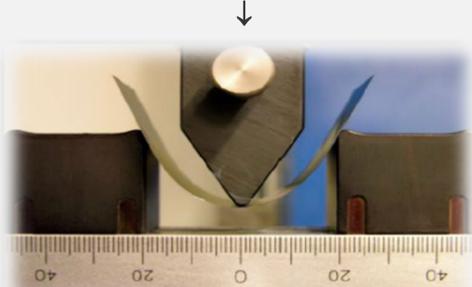


MACCHINA DI TRAZIONE (LR50KPLUS)  
ESTENSOMETRO (EX250PLUS)  
LLOYD INSTRUMENTS

- Prove di Trazione
- Prove di Flessione
- Prove di Compressione



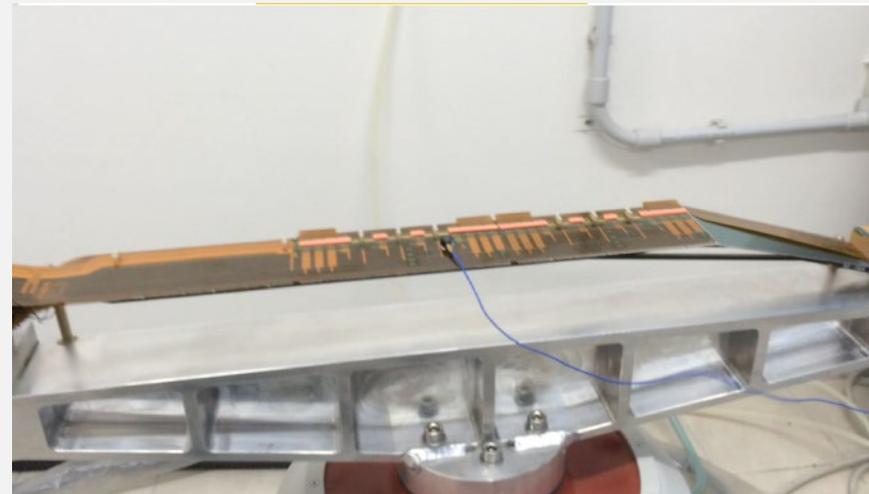
Prova flessionale su Silicio di spessore 50  $\mu\text{m}$



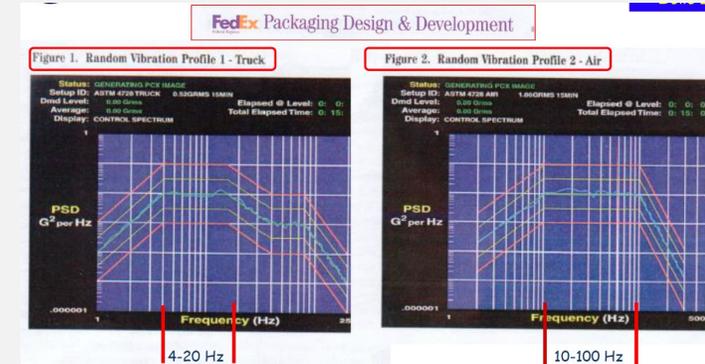
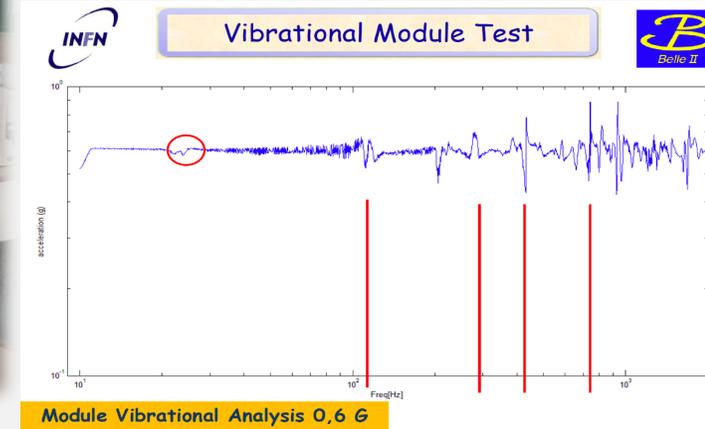
SHAKER DINAMICO



Spettro fornito dal corriere  $\rightarrow$



Risposta in frequenza di un Modulo di Belle II



Ad esempio l'analisi vibrazionale permette di capire se un oggetto potrà essere spedito da un corriere commerciale (via gomma o via aria) senza subire danni

# **ALCUNE ATTIVITÀ**

# ASSEMBLAGGI DI PRECISIONE DEI FILTRI MECCANICI (SUPER-ATTENUATORI ADVANCED VIRGO)

Ciascun filtro meccanico, prima della installazione sull'apparato sperimentale presso il Laboratorio EGO, è stato caratterizzato e calibrato per massimizzare le performance di attenuazione del rumore sismico.

## AdV Filtri Meccanici in Preparazione



I 10 Super-attenuatori che costituiscono il cuore di Advanced VIRGO, sono formati da catene di pendoli multi-stadio ciascuno alto poco meno di 10 m e costituito da 6 filtri meccanici.

Ciascun Super-attenuatore è installato all'interno di una torre da Ultra Alto Vuoto (UHV) per garantire il livello di pulizia necessario al suo corretto funzionamento.

# MISURE DI PRECISIONE (GYROLASER)

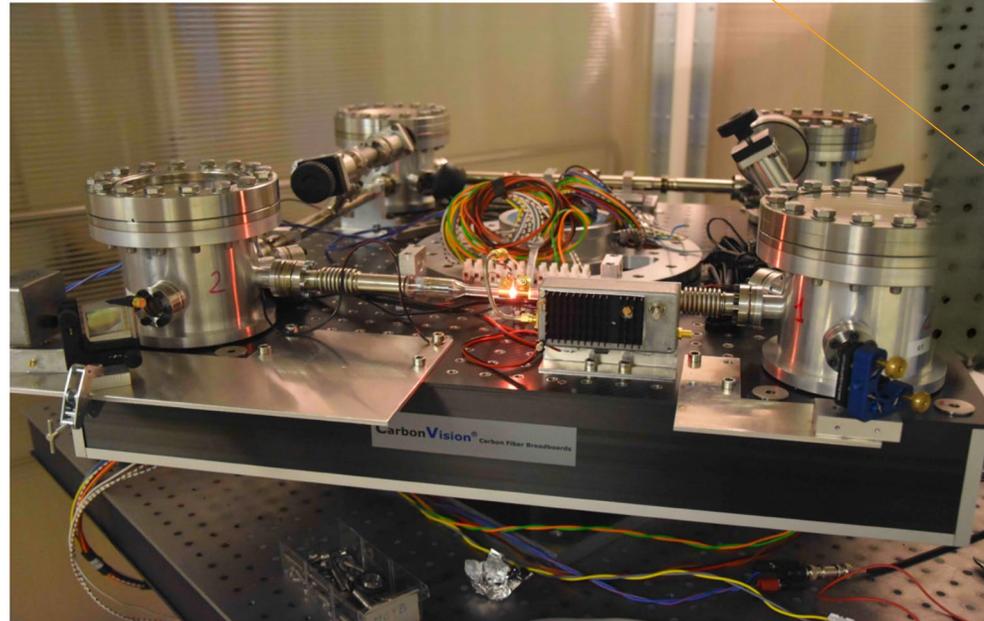
È possibile una più alta classe di pulizia (ISO 6) in un volume di circa 2,5x2,5x2,5 m<sup>3</sup>, inserendo un Soft-Wall Cabinet in un ambiente già “pulito” per questa applicazione:

- preparare i super-mirrors (perdite totali inferiori a 100 ppm) nei loro montaggi nelle cavità laser e misura accurata delle perdite totali
- misure di caratterizzazione dei super mirrors, con set-up di caratterizzazione degli specchi inteso anche come una facility generale
- messa a punto di prototipi

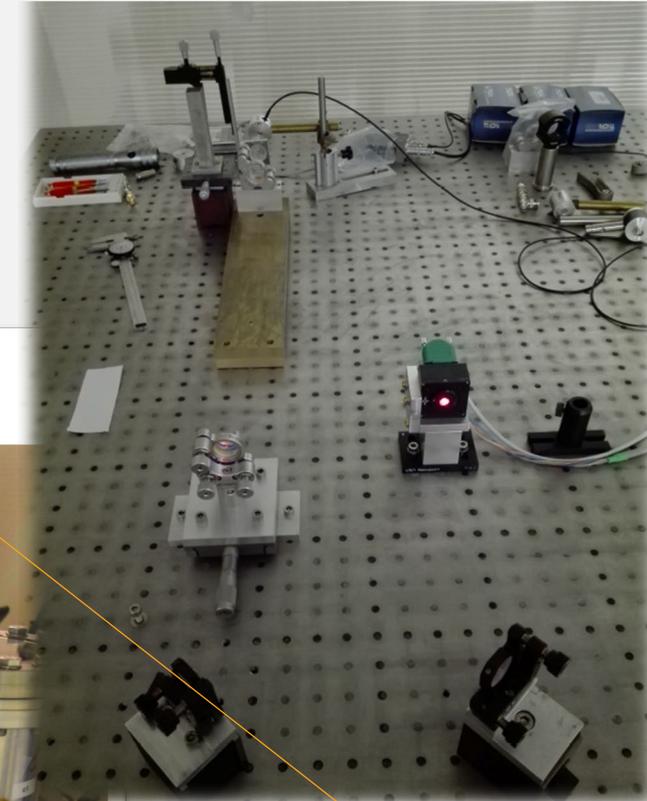


Soft-Wall Cabinet

G-LAS: giroscopio prototipale di ridotte dimensioni (lato 1 m) per misure angolari di precisione ( $\leq 1$  nrad) sviluppato in Collaborazione con l' INRIM di Torino



Mirrors Test Set-up

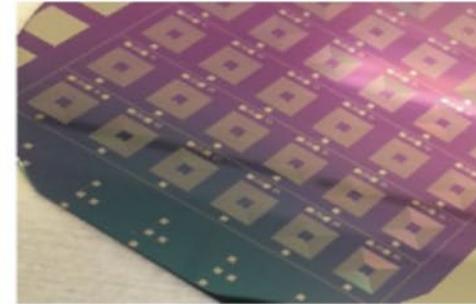
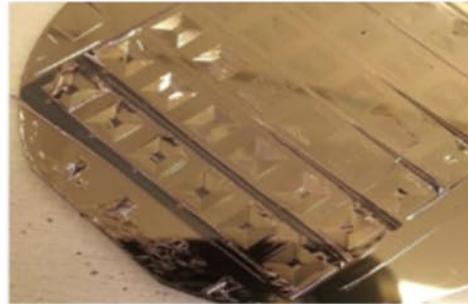
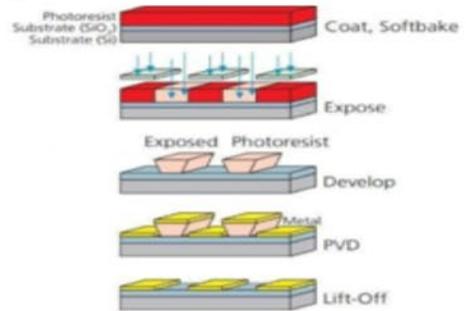


Istituto Nazionale di  
Ricerca Metrologica

# WAFER PROCESSING

## (LITOGRAFIA - PRODUZIONE DI PROCESSORI SUPERCONDUTTORI)

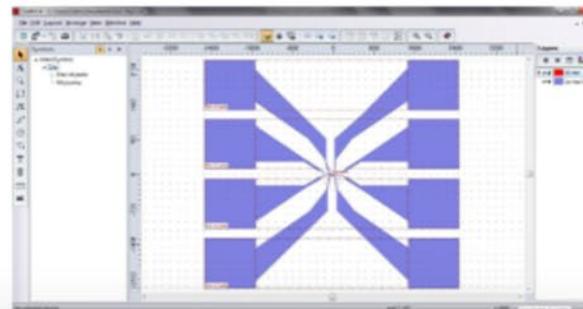
- Utilizzo sia come elementi **passivi** che come **rivelatori**
- Radiazione nel campo delle **microonde** (100 GHz → 1 THz)
- Realizzati “**disegnando**” **strutture micrometriche** su wafer di silicio con un metodo di “sviluppo” e deposizione successiva



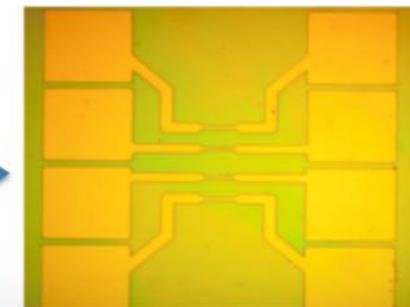
- **Necessità** di operare in **camera pulita** per la sua elevata **pulizia**
- Dimensioni delle strutture paragonabili alle dimensioni dei **grani di polvere**



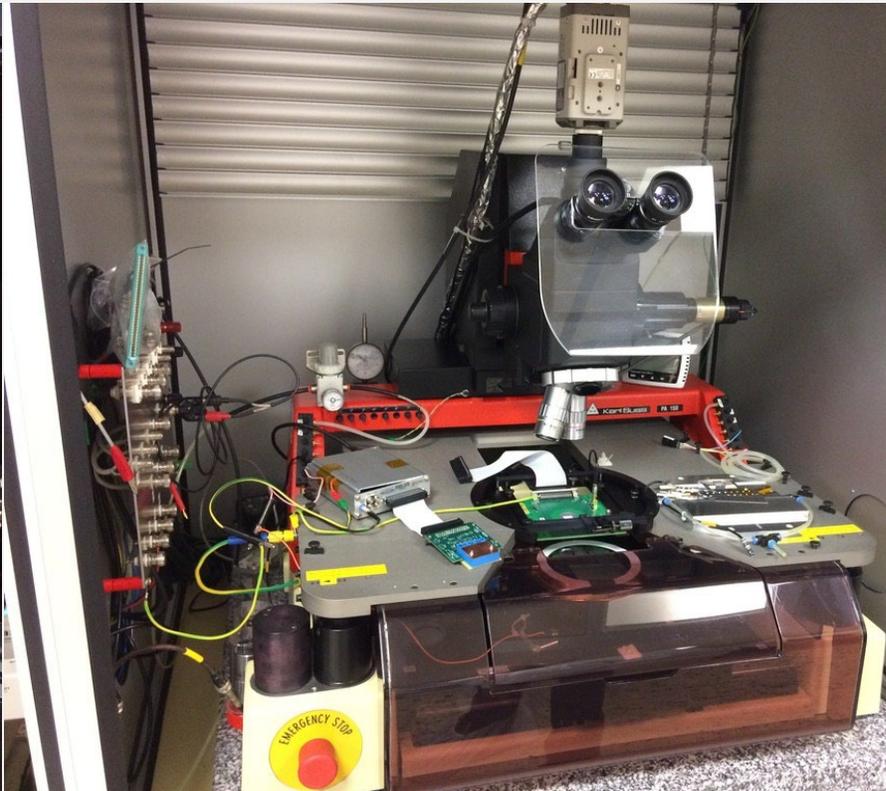
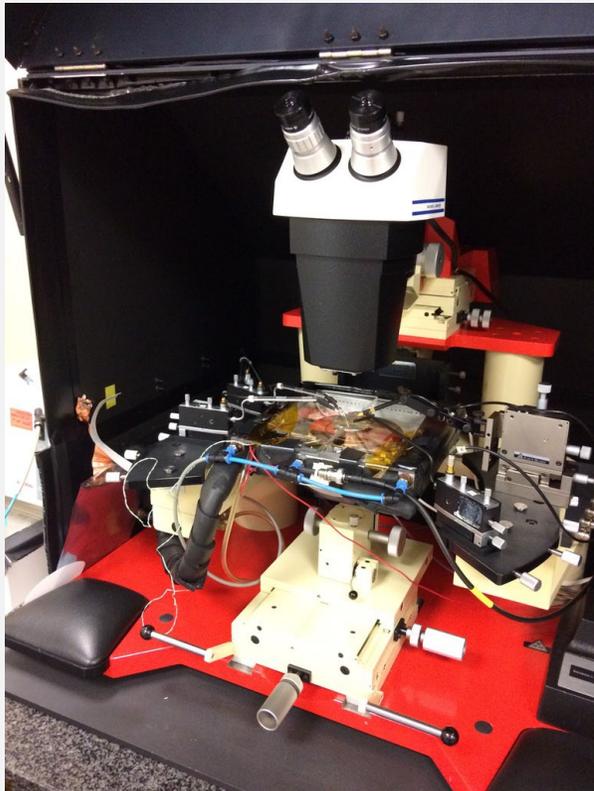
Disegno a computer



Struttura fabbricata



La sezione INFN di Pisa è stata protagonista nello sviluppo di rivelatori a stato solido dagli anni '80. Il test dei sensori al Silicio può essere condotto sotto probe-stations manuali, semi-automatiche (rivelatori a doppia faccia) o automatica (singola faccia). Più gruppi sperimentali sono dotati di probe-station, con “parametric-semiconductor-analyser”, LCR meters, scanners.



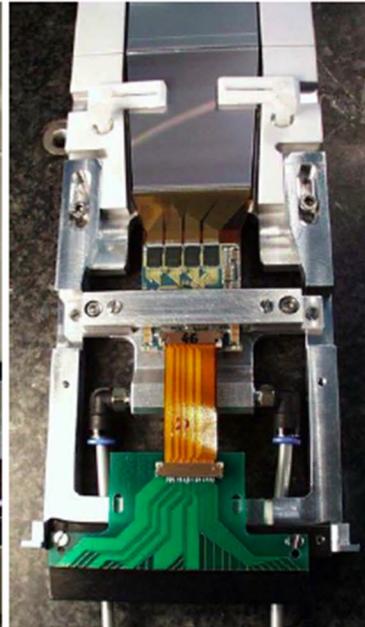
Sensori, elettronica di lettura e struttura di supporto sono di solito assemblati mediante opportuni JIGS meccanici, ed il posizionamento delle parti viene fatto sotto macchina di misura. La precisione richiesta è dell'ordine di 10 micrometri ( $1\ \mu\text{m} = 1/1000\ \text{mm}$ ).

Silicon sensors positioning under CMM for assembling module production

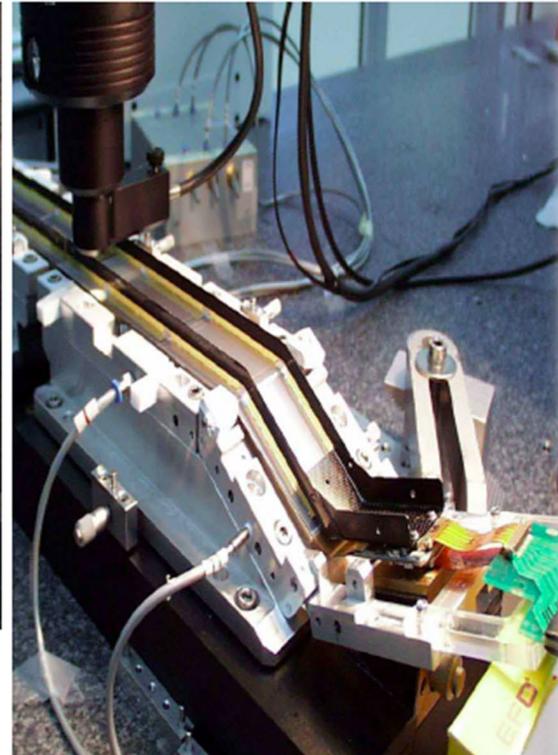
BaBar Si module production



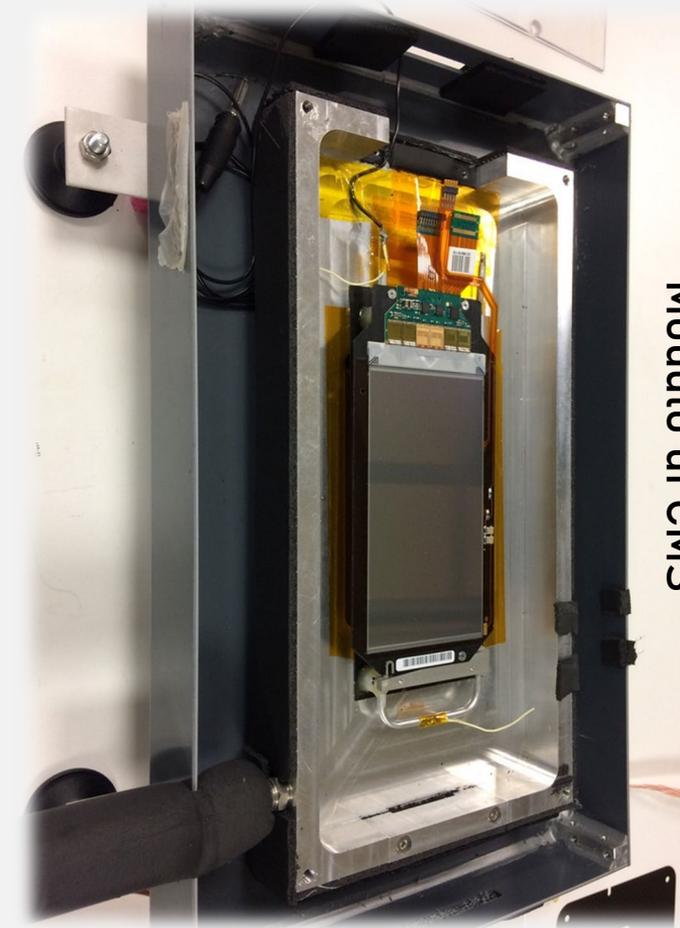
Si module assembly production



Wedge module before bending

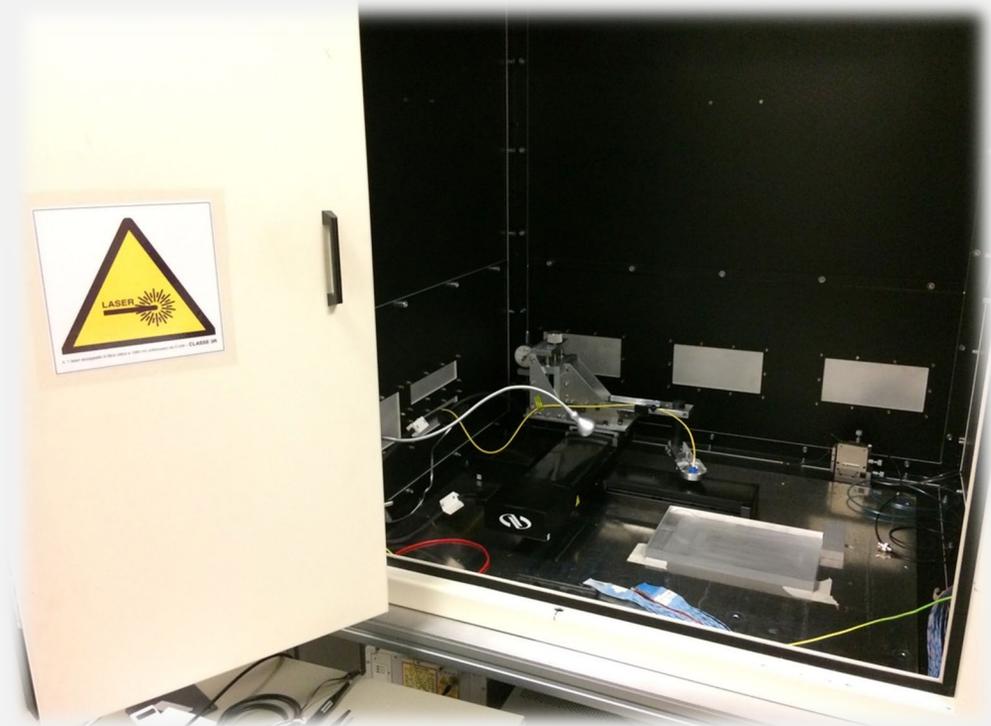
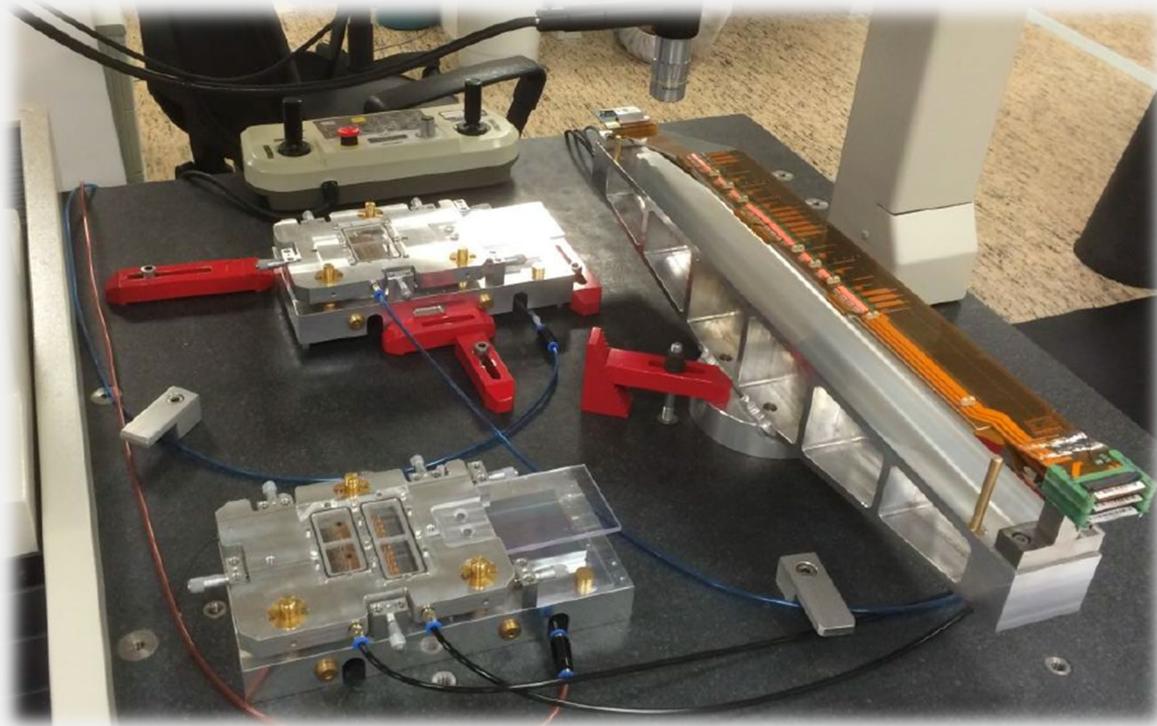


Arch module bent



Modulo di CMS

- La precisione nel posizionamento dei rivelatori è necessaria per la procedura di allineamento dell'intero sistema di tracciatura.
- La procedura di assemblaggio dei moduli di rivelazione può essere molto complessa ... i.e. movimentazione, incollaggi su due facce, ispezione ottica ...
- Ogni modulo deve essere sottoposto a caratterizzazione elettrica, per assicurare la sua qualità ed alta efficienza.

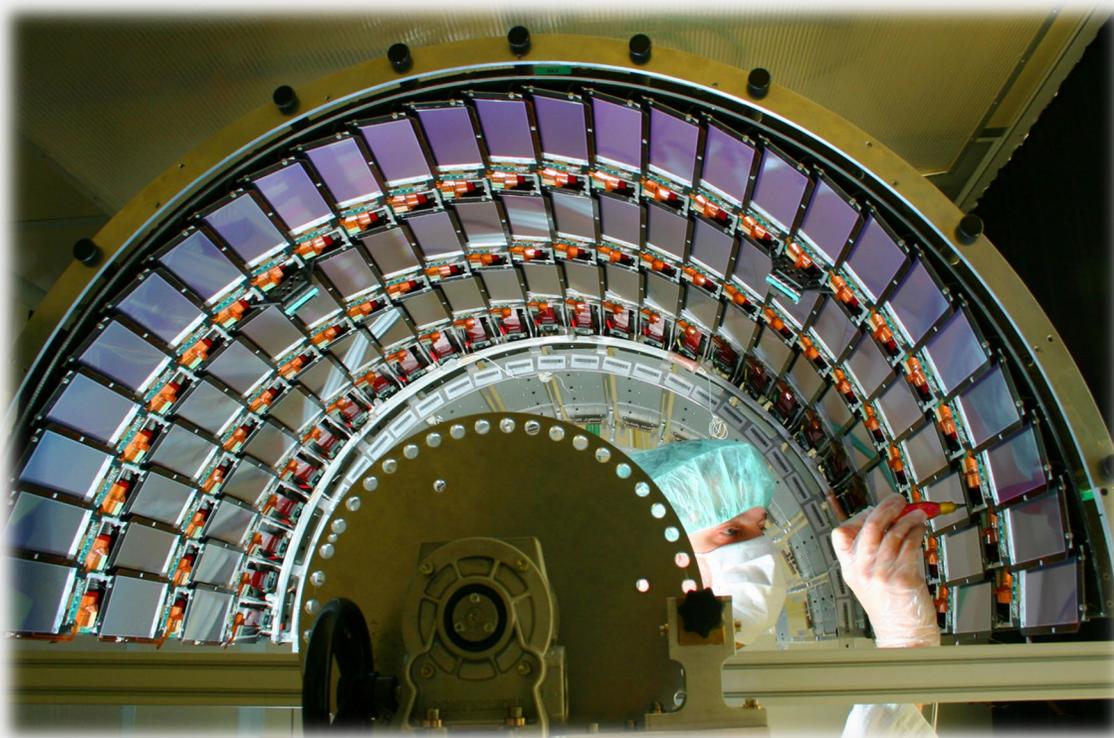


Dark-box per il test del modulo con I.R. Laser

Apparato di grande area ( $\sim 200 \text{ m}^2$ ,  $15 \times 10^6$  canali di lettura). Pisa ha partecipato alla fase di progetto, di R&D e di assemblaggio del tracciatore:

- sviluppo di rivelatori con ottima precisione spaziale
- ottime prestazioni fino ad un danno cumulativo da radiazione di  $2 \cdot 10^{14}$  particelle/cm<sup>2</sup>
- stabilità nel funzionamento (apparato “maintenance free” per circa 10 anni di operazione)

Layer cilindrico equipaggiato  
con rivelatori a strips



Assemblaggio in Clean Room di uno dei  
Tracker Inner Disk

# FERMI-GLAST TRACKER PRODUCTION

FERMI GAMMA-RAY LARGE AREA SPACE TELESCOPE

Module Structure Components  
SLAC: Ti parts, thermal straps,  
fasteners.  
Italy (Plyform): Sidewalls

SSD Procurement, Testing  
SLAC, Japan, Italy (HPK)

SSD Ladder Assembly  
Italy (G&A, Mipot)

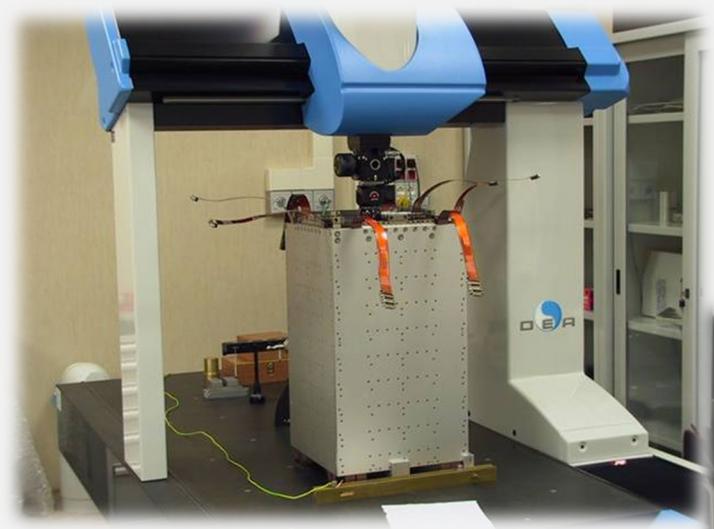
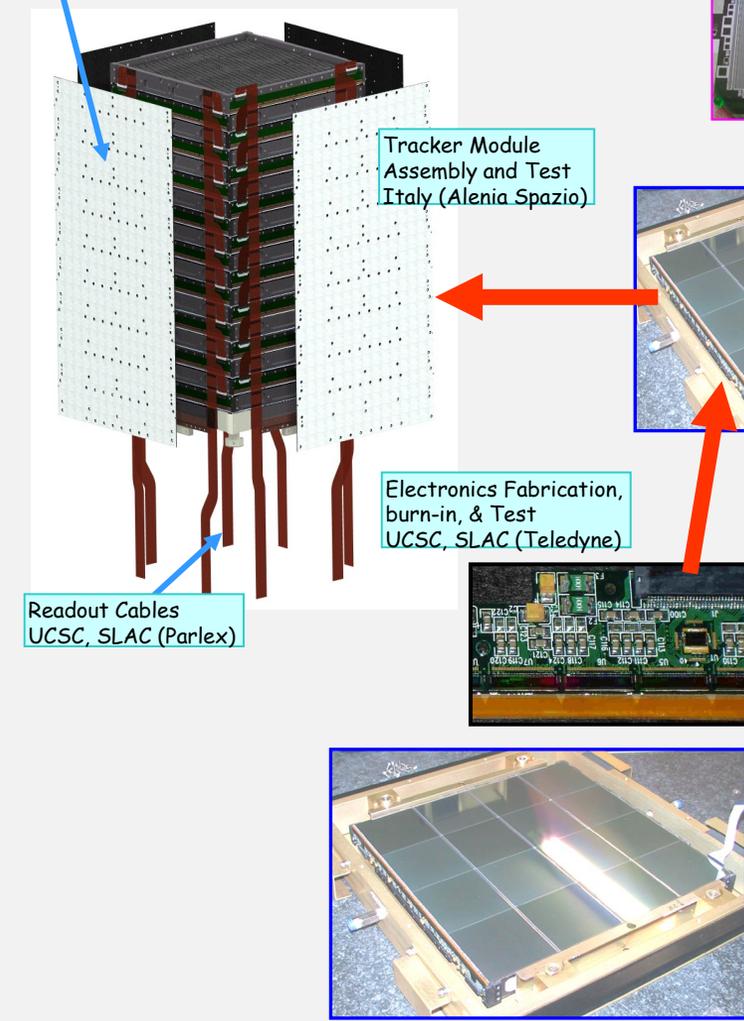
Tracker Module  
Assembly and Test  
Italy (Alenia Spazio)

Tray Assembly and Test  
Italy (G&A)

Electronics Fabrication,  
burn-in, & Test  
UCSC, SLAC (Teledyne)

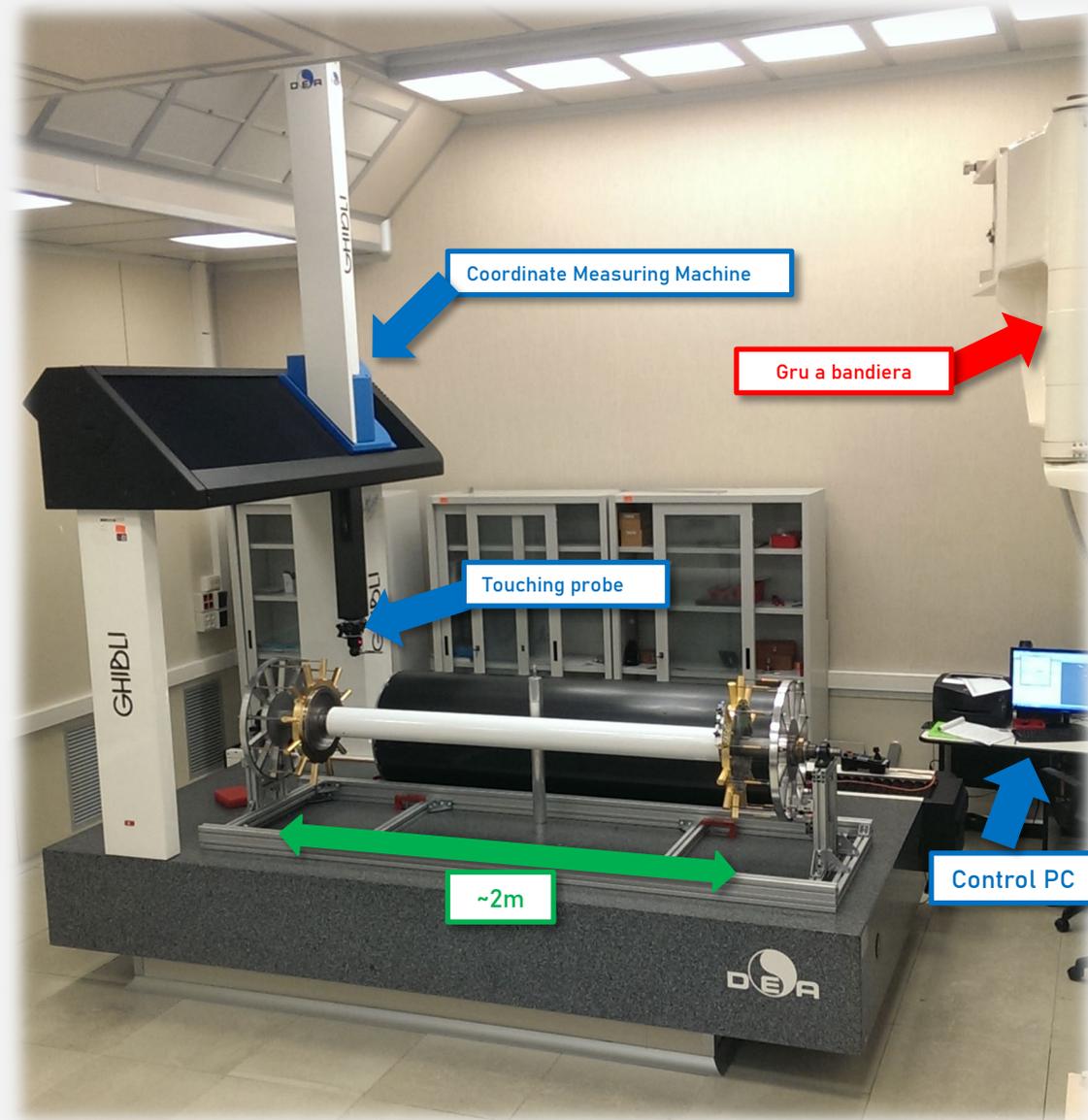
Composite Panel, Converters, and  
Bias Circuits  
Italy (Plyform): fabrication  
SLAC: CC, bias circuits, thick W, Al  
cores

Readout Cables  
UCSC, SLAC (Parlex)

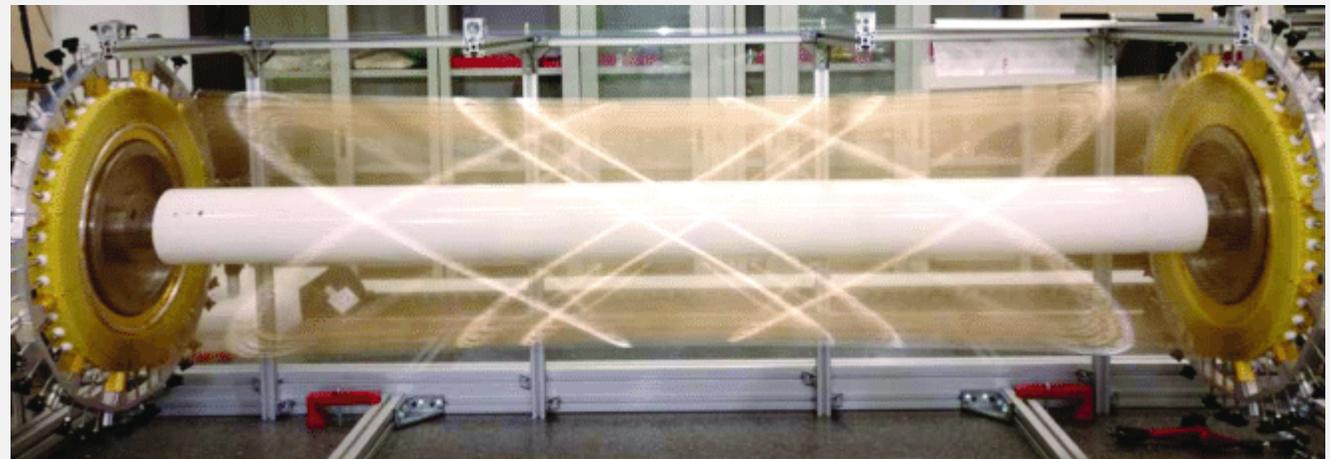


# CAMERA A FILI DI MEG

MONTAGGI MECCANICI SOTTO CMM



- Montaggio di fili in alluminio di  $40\ \mu\text{m}$  di diametro con densità di 12 fili per  $\text{cm}^2$
- Verifica sotto macchina di misura del corretto posizionamento di ogni filo
- Lavoro eseguito in camera pulita con Classe 100000 (ISO8)



- Le facilities sperimentali del servizio Alte Tecnologie è il frutto della interazione trentennale dei gruppi sperimentali (FISICI) con i tecnici e Ing. della sezione INFN di Pisa, originata dallo sviluppo di rivelatori a stato solido.
- Le risorse (strumentazione/strutture/personale) delle AT per la missione principale dell'ente (costruire rivelatori di particelle) sono tali poter consentire il loro uso anche al di fuori del campo delle HEP, a supporto di realtà presenti sul territorio.
- Non esitate a contattarmi per visite future all'interno dei nostri laboratori!