



**TOR VERGATA**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

# **Corso di Laurea Magistrale in Fisica**

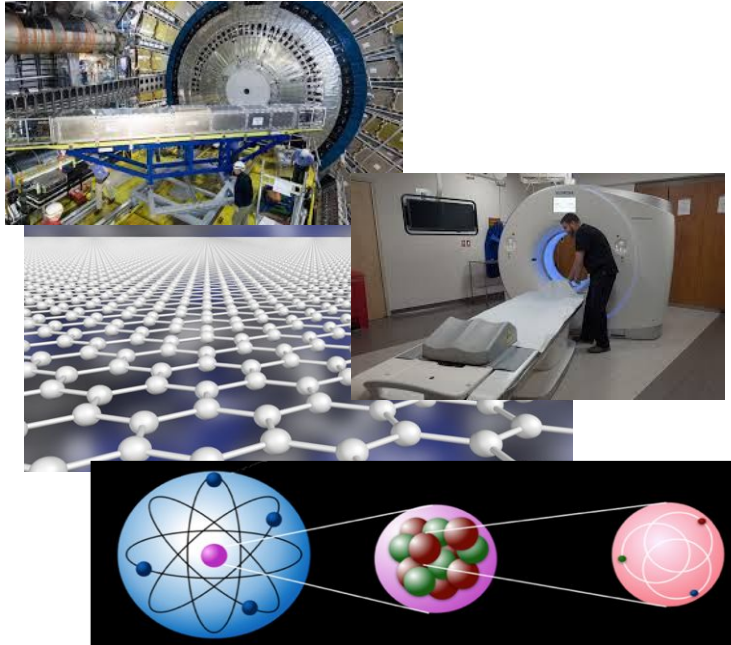
**Physics of Fundamental Interactions and  
Experimental Techniques**

**Fisica dei Neutroni e Acceleratori**

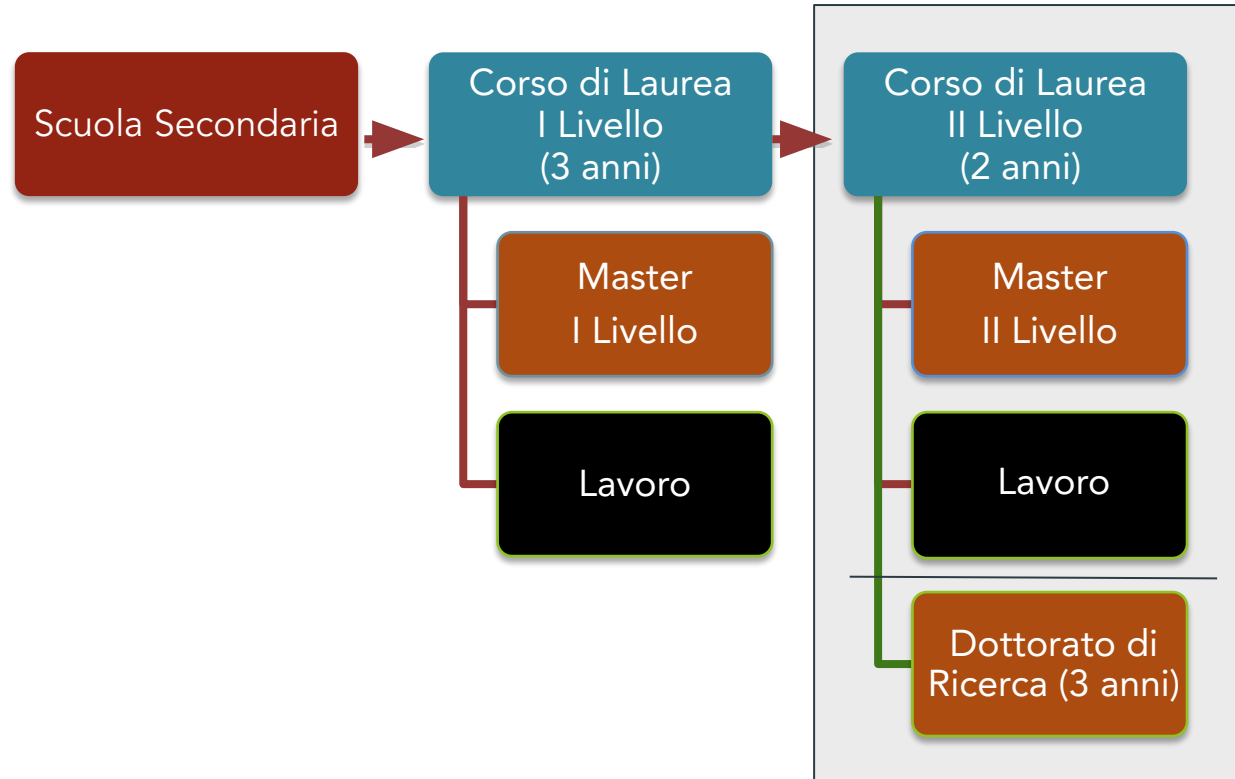
**Fisica Medica**

**Elettronica e Cibernetica**

Prof. ssa Annalisa D'Angelo, Prof. Vincenzo Caracciolo,  
Dott. Mattia Gaboardi, Prof. Arturo Moleti,  
Dott. Andrea Salamon



# Percorso Formativo



# Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques

## COSA SI STUDIA:

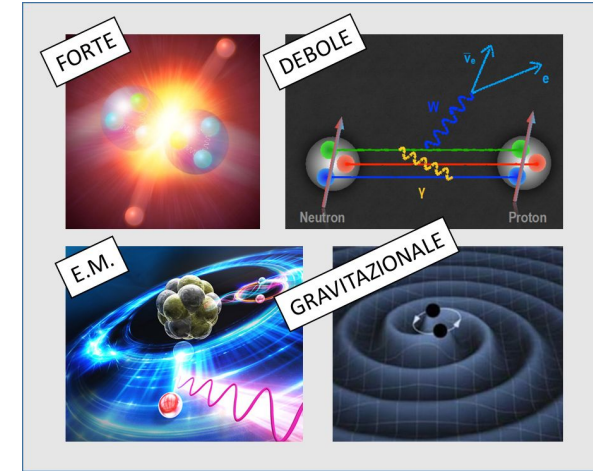
- Fisica delle interazioni fondamentali
- Leggi fondamentali dell'Universo dalla scala particellare a quella cosmologica.

## DOVE SI APPLICA:

- Ricerca di base in fisica nucleare e subnucleare, fisica delle particelle elementari con acceleratori, su satelliti, a terra e in underground e fisica delle onde gravitazionale
- Applicazioni in fisica applicata
- Radioprotezione ed Adroterapia
- Fisica della fusione per la produzione di energia, ecc...

## COMPETENZE (esempi):

- Analisi dati e statistica
- Progettazione e/o uso di apparati sperimentali e rivelatori di particelle
- Tecniche sperimentali interferometriche
- Fisica delle particelle elementari
- Fisica dei nuclei, ecc..



## È il percorso giusto per te se...

- **Ti incuriosiscono le domande fondamentali della fisica**  
dalle particelle elementari ai grandi fenomeni del cosmo.
- **Hai voglia di affrontare problemi complessi con rigore e continuità**  
sviluppando autonomia, metodo e capacità di analisi.
- **Vuoi unire teoria e pratica**  
attraverso strumenti matematici, fisica moderna, laboratorio e tecnologie per la ricerca di settore.
- **Basi importanti per iniziare**
  - Analisi Matematica e Metodi Matematici per la Fisica
  - Meccanica Quantistica
  - Fisica Classica e Moderna
  - Competenze di Laboratorio
- **In questo percorso valorizzeremo**
  - capacità di analisi e di astrazione
  - metodo di studio e autonomia
  - curiosità scientifica
  - impegno nelle attività teoriche e sperimentali

# Come si articola il Curriculum

## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES

**INSEGNAMENTI OBBLIGATORI:**



### Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques

|                             |                                           |       |                              |                                        |        |
|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|------------------------------|----------------------------------------|--------|
| <b>I Anno - I Semestre</b>  | Mathematical Methods for Physics          | 8 CFU | <b>II Anno - I Semestre</b>  | Laboratory of Fundamental Interactions | 10 CFU |
|                             | Particle Physics                          | 6 CFU |                              | <a href="#">Esame a Scelta Libera</a>  | 6 CFU  |
|                             | Nuclear and Hadronic Physics              | 6 CFU |                              | <a href="#">Esame a Scelta Libera</a>  | 6 CFU  |
|                             | <a href="#">Esame a Scelta – Elenco 1</a> | 6 CFU |                              | <b>Tesi</b>                            | 6 CFU  |
| <b>I Anno - II Semestre</b> | Quantum Field Theory                      | 8 CFU | <b>II Anno - II Semestre</b> | <b>Tesi</b>                            | 32 CFU |
|                             | Astroparticle Physics                     | 6 CFU |                              |                                        |        |
|                             | Gravitation                               | 6 CFU |                              |                                        |        |
|                             | <a href="#">Esame a Scelta – Elenco 2</a> | 6 CFU |                              |                                        |        |
|                             | <a href="#">Esame a Scelta – Elenco 2</a> | 6 CFU |                              |                                        |        |
|                             | Lingua Inglese (avanzato)                 | 2 CFU |                              |                                        |        |

**INSEGNAMENTI OBBLIGATORI: 52 CFU - INSEGNAMENTI A SCELTA: 18 CFU DA ELENCO - TESIS: 38 CFU**

**INSEGNAMENTI A SCELTA LIBERA: 12 CFU (DI CUI 6 CFU POSSONO ESSERE CONSEGUITI CON UNO STAGE)**

# Come si articola il percorso di studi?

## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

### ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI A SCELTA

#### I Semestre

FIS/01 Advanced Statistics (10 cfu)

FIS/01 Computational Physics (8 CFU)

FIS/01 Particle Accelerators for Science and interdisciplinary  
Applications

FIS/01 Space Instruments

FIS/01 Physics of Energy and the Environment

FIS/02 Quantum Mechanics (8 CFU)

FIS/03 Materials Science

FIS/04 Advanced Particle Physics

FIS/04 Radioactivity

FIS/05 Gravitational Waves

FIS/07 Fisica Medica

#### II

FIS/01 Statistical Data Analysis

FIS/02 Optimization and Statistical Mechanics (8 CFU)

FIS/02 Complex and Neural Networks (8 CFU)

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

FIS/04 Dark Matter, Neutrinos and Underground Physics

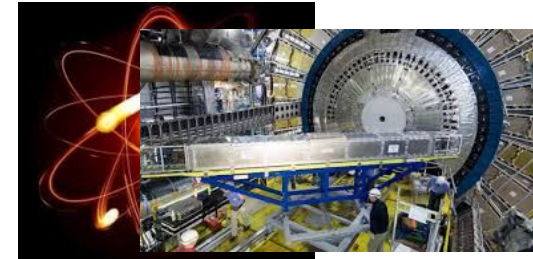
# Come si articola il percorso di studi?

## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

**NON SONO STATI INTRODOTTI PIANI DI STUDIO PER LASCIARE LIBERTÀ DI SCELTA**

Possiamo individuare possibili percorsi definiti dagli insegnamenti a Scelta

Collaborazione con esperimenti internazionali: **CERN, FNAL**  
e con Enti di Ricerca Nazionali: **INFN**



### Alte Energie

#### I Semestre

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interd. Applications

FIS/04 Advanced Particle Physics

#### II Semestre

FIS/01 Statistical Data Analysis

### Approfondimenti Fisica Teorica

FIS/01 Quantum Mechanics (I Semestre)

FIS/01 Fenomenologia delle Particelle Elementari (II Sem.)

### Approfondimenti Tecniche di Analisi e Rivelatori

FIS/01 Advanced Statistics (II Sem.) (10 CFU)

FIS/02 Optimization and Stat. Mechanics (I Sem.)(8 CFU)

FIS/03 Material Science (I Semestre)

FIS/01 Elettronica 1 (II Semestre)

FIS/01 Cibernetica (I Semestre)

# Come si articola il percorso di studi?



## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

**NON SONO STATI INTRODOTTI PIANI DI STUDIO PER LASCIARE LIBERTÀ DI SCELTA**

Collaborazione con esperimenti internazionali: **LNGS, VIRGO, LIGO, AUGER, Staz. Spaz. Int., Satelliti**  
e con Enti di Ricerca Nazionali: **INFN, INAF, ASI, ESA, ..**

### Astroparticelle e Onde Gravitazionali

#### I Semestre

FIS/01 Space Instruments

FIS/04 Radioactivity

FIS/05 Gravitational Waves

#### II Semestre

FIS/01 Statistical Data Analysis

FIS/04 Dark Matter, Neutrinos and Underground Physics

### Approfondimenti Fisica Teorica

FIS/05 Relativity and Cosmology (II Semestre)

FIS/05 High-Energy Astrophysics (II Semestre)

### Approfondimenti Tecniche di Analisi e Rivelatori

FIS/01 Advanced Statistics (II Sem.) (10 CFU)

FIS/02 Optimization and Stat. Mechanics (I Sem.)(8 CFU)

FIS/03 Material Science (I Semestre)

FIS/01 Elettronica 1 (II Semestre)

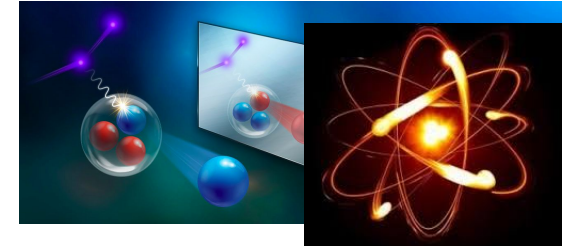
FIS/01 Cibernetica (I Semestre)

# Come si articola il percorso di studi?

## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

**NON SONO STATI INTRODOTTI PIANI DI STUDIO PER LASCIARE LIBERTÀ DI SCELTA**

Collaborazione con esperimenti internazionali: **JLAB, MAMI, ELSA, LNF**  
e con Enti di Ricerca Nazionali: **INFN, ENEA ...**



### Fisica Nucleare e Adronica

#### I Semestre

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interd. Applications

FIS/04 Radioactivity

FIS/07 Fisica Medica

#### II Semestre

FIS/01 Statistical Data Analysis

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

### Approfondimenti Fisica Teorica

FIS/01 Quantum Mechanics (I Semestre)

FIS/01 Fenomenologia delle Particelle Elementari (II Sem.)

### Approfondimenti Tecniche di Analisi e Rivelatori

....

FIS/01 Advanced Statistics (II Sem.) (10 CFU)

FIS/02 Optimization and Stat. Mechanics (I Sem.)(8 CFU)

FIS/03 Material Science (I Semestre)

FIS/01 Elettronica 1 (II Semestre)

FIS/01 Cibernetica (I Semestre)

# Come si articola il percorso di studi?

## CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS

**NON SONO STATI INTRODOTTI PIANI DI STUDIO PER LASCIARE LIBERTÀ DI SCELTA**

Le applicazioni spaziano dalle applicazioni nella Fisica Medica, alla produzione di Energia, allo sviluppo di tecniche di accelerazione e di rivelazione delle particelle per scopi diagnostici o ambientali ai Beni Culturali e a Fisica Bio-Medica.



### Fisica Applicata:

#### I Semestre

FIS/01 Particle Accelerators for Science and Interd. Applications

FIS/01 Space Instruments

FIS/07 Fisica Medica

#### II Semestre

FIS/01 Statistical Data Analysis

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

### Approfondimenti Tecniche di Analisi e Rivelatori

....

FIS/03 Material Science (I Semestre)

FIS/01 Elettronica 1 (II Semestre)

FIS/01 Cibernetica (I Semestre)

FIS/01 Elettronica Digitale (II Semestre)

FIS/03 Neutron Physics and Neutron Instrum. (II Semestre)

FIS/01 Physics for Energy and the Environment (LT)

FIS/01 Measurements and Analysis of Biosignals (I Sem.)

# Come si articola il percorso di studi?

## ELETTRONICA E CIBERNETICA

### ELENCO DEGLI INSEGNAMENTI A SCELTA

#### I Semestre

FIS/01 Acceleratori di Particelle

FIS/01 Fisica della Gravitazione

FIS/01 Elettronica Digitale

FIS/01 Fisica Computazionale (8 cfu)

FIS/03 Fisica dei Dispositivi a Stato Solido

FIS/03 Materiali e Fenomeni a Basse Temperature

FIS/03 Teoria dei Solidi

FIS/04 Fisica delle Particelle Elementari 2

FIS/04 Fisica Nucleare

FIS/04 Radioattività

#### II Semestre

FIS/01 Tecnologie Quantistiche

FIS/01 Microelettronica

FIS/02 Fisica Teorica 1

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 1

FIS/02 Teorie dei Campi e Particelle 2

FIS/03 Fisica dei Plasmi

FIS/03 Fisica dei Solidi

FIS/03 Teoria Quantistica della Materia

FIS/04 Fisica delle Astroparticelle

FIS/04 Nuclear Sciences and Applications

# Attività di Laboratorio/Fenomenologia di Indirizzo

---

**STAGE DI 150 ORE** (attività a scelta libera) - 6 CFU:

- presso docenti e laboratori dell'Ateneo
- presso un laboratorio di ricerca esterno o azienda italiana
- istituzione estera

**Prova finale 38 CFU:** discussione di una relazione scritta su un tema di ricerca attuale

---

## **SBOCCHI PROFESSIONALI**

- Settore Industriale e **Mondo del Lavoro:**

- |                     |                         |
|---------------------|-------------------------|
| - elettronica       | - sviluppo di materiali |
| - informatica       | - fisica medica         |
| - telecomunicazioni | - radioprotezione       |
| - alta tecnologia   | - analisi dati          |
| - energetica        |                         |

## **STUDI SPECIALISTICI**

- Dottorato di Ricerca
- Master di II Livello
- Scuola di Specializzazione in Fisica sanitaria

# “Tor Vergata Valley”



TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA



+ attività sperimentali  
pionieristiche (con possibilità di  
stage, tesi di laurea e dottorato)  
presso:

- CERN
- LNGS
- Jefferson Lab
- Fermi Lab
- Satelliti
- VIRGO @ European Gravitational Observatory



## Contatti

---



**Macroarea di Scienze** <http://www.scienze.uniroma2.it/>



**Dipartimento di Fisica** <https://www.fisica.uniroma2.it/>



**Manager Didattico: Samanta Marianelli** [samanta.marianelli@uniroma2.it](mailto:samanta.marianelli@uniroma2.it)

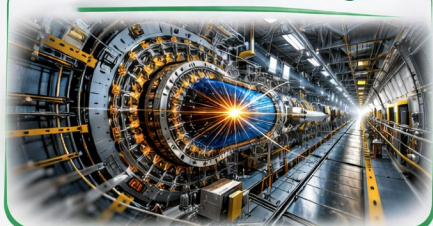
**Coordinatore dei Corsi di studio in Fisica** [roberto.senesi@uniroma2.it](mailto:roberto.senesi@uniroma2.it)



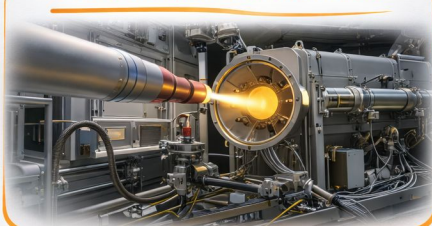
# Dalle particelle elementari ai fenomeni cosmici approcci diversi, domande complementari.

## Aree di Ricerca:

**Fisica delle alte energie**



**Fisica nucleare e adronica**



**Astro-particelle e gravitazione**



**Astrofisica nucleare**



**Di cosa è fatta la materia alla scala fondamentale?**

**Come agisce l'interazione forte che lega quark, protoni, neutroni e nuclei?**

**Quali sono i limiti della stabilità nucleare?**

**Qual è la natura del neutrino?**

**Il numero leptonico è una simmetria fondamentale della natura?**

**Esistono processi estremamente rari che rivelano nuova fisica?**

**Come si comporta la materia nucleare in condizioni estreme?**

**ecc...**

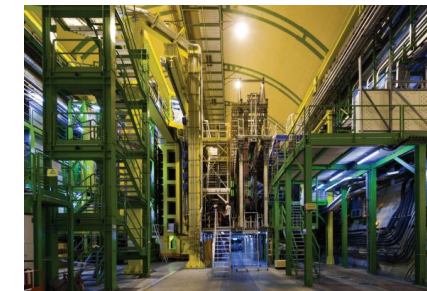
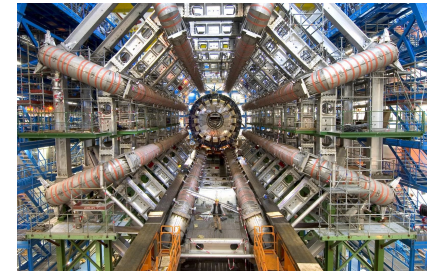
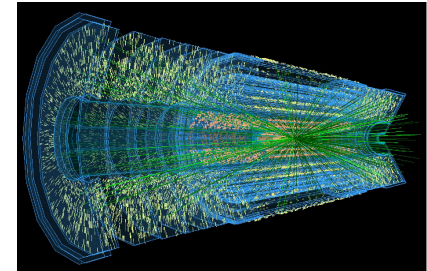
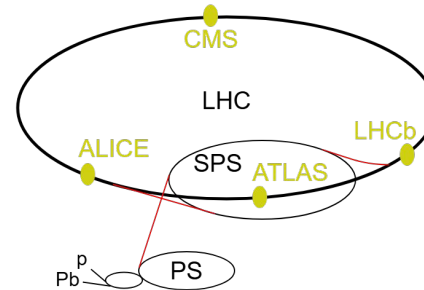
# 1. Fisica delle alte energie

## Topic principali

- struttura fondamentale della materia (barioni, quark,...)
- interazioni fondamentali e Modello Standard
- nuova fisica oltre il Modello Standard
- proprietà del bosone di Higgs

## Metodi

- collisioni ad alta energia in acceleratori (LHC)
- grandi rivelatori di particelle
- analisi statistica dei dati

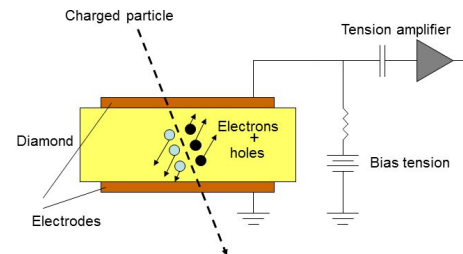


## Rivelatori di particelle e sistemi di acquisizione dati

Competenze tecniche richieste

- ▶ Conoscenza della fisica delle particelle elementari (sperimentale e teorica)
- ▶ Conoscenza di elettronica analogica e digitale
- ▶ Fondamenti di programmazione in python e C++ (ROOT, pyROOT) o vHDL (per schede di elettronica)

Principio di funzionamento di un particolare rivelatore

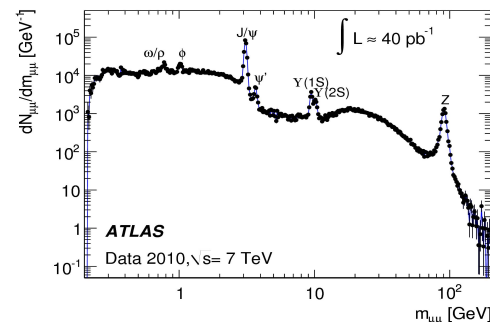


## Analisi dei dati

Competenze tecniche richieste

- ▶ Conoscenza della fisica delle particelle elementari (sperimentale e teorica)
- ▶ Conoscenza dei linguaggi di programmazione python e C++ (ROOT, pyROOT)
- ▶ Conoscenza di statistica e delle tecniche di analisi dati (ROOFit, ...)
  - ▶ Gli eventi da analizzare sono un numero enorme (TB) e in mezzo a questi si nascondono i pochi eventi che cerchiamo

Spettro della massa invariante di una coppia  $\mu^+ \mu^-$



## Attività a Tor Vergata

- ▶ Esperimento **ATLAS** al Large Hadron Collider del **CERN**
  - ▶ Resistive Plate Chambers (RPC): manutenzione e operazioni
  - ▶ Analisi dei dati (già raccolti e futuri) nelle aree di fisica del quark top, Higgs, dei mesoni B e delle performance dei muoni
  - ▶ R&D Prototipi Innovativi RPC e Ricerca Gas Ecologico per RPC
  - ▶ Sviluppo Elettronica di Front End, lettura e integrazione con il sistema di acquisizione dati di ATLAS
  - ▶ Progettazione e sviluppo RPC per l'upgrade di ATLAS previsto per il Run4 (2030)
- ▶ Esperimento **LHCb** al **CERN**
  - ▶ Implementazione del firmware nelle schede di acquisizione dati
  - ▶ Analisi dei dati (già presi e futuri, 2023→) e partecipazione alla presa dati
  - ▶ Manutenzione dell'attuale rivelatore di muoni e R&D del nuovo rivelatore ( $\mu$ RWELL) per Upgrade-II in collaborazione con i Laboratori Nazionali di Frascati INFN (LNF-INFN)
- ▶ Esperimento **NA62** al CERN (decadimento di kaoni carichi)
  - ▶ Trigger del calorimetro a Krypton liquido
- ▶ Attività sperimentali ai LNF-INFN
- ▶ Il **CERN**: è un esempio di collaborazione scientifica su scala mondiale



# 2. Fisica Nucleare e Adronica

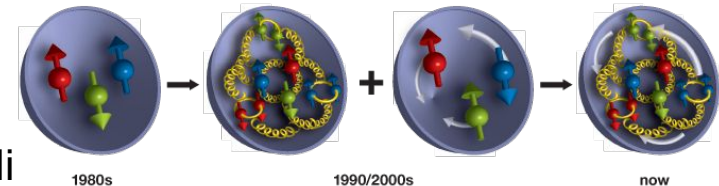
## Topic principali

- struttura di protoni e neutroni
- dinamica dei quark e dell'interazione forte (QCD)
- struttura e dinamica dei nuclei
- materia nucleare in condizioni estreme



## Metodi

- acceleratori e fasci di particelle
- rivelatori di precisione
- analisi statistica dei dati e sviluppo di nuovi rivelatori di particelle



# Fisica Nucleare e Adronica alle alte energie: ePIC

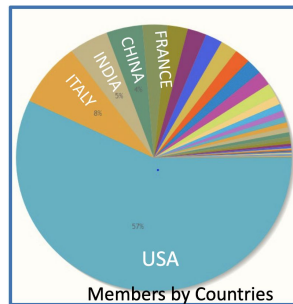
## Attività a Tor Vergata

- Gli elettroni potranno sondare la materia adronica dai protoni ai nuclei stabili più pesanti.
- Sarà possibile ottenere delle "immagini" della struttura interna delle particelle a risoluzioni sempre più alte fino ad identificare il ruolo dei gluoni.

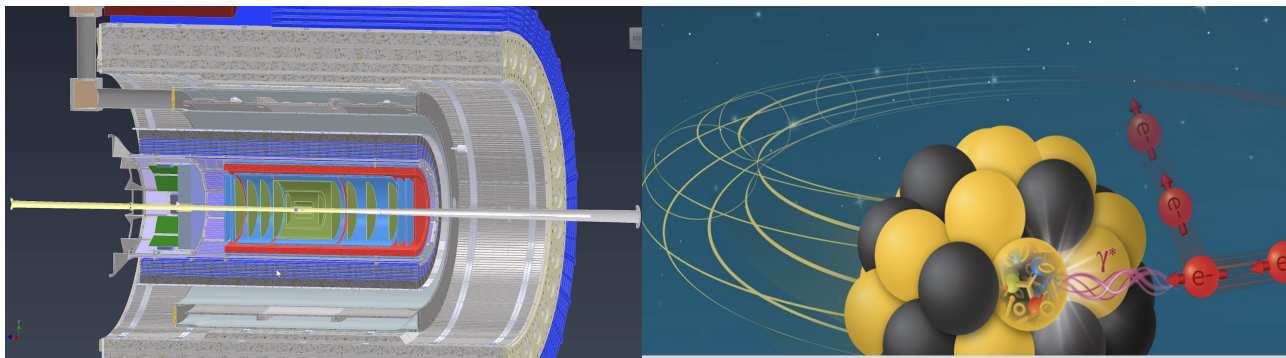
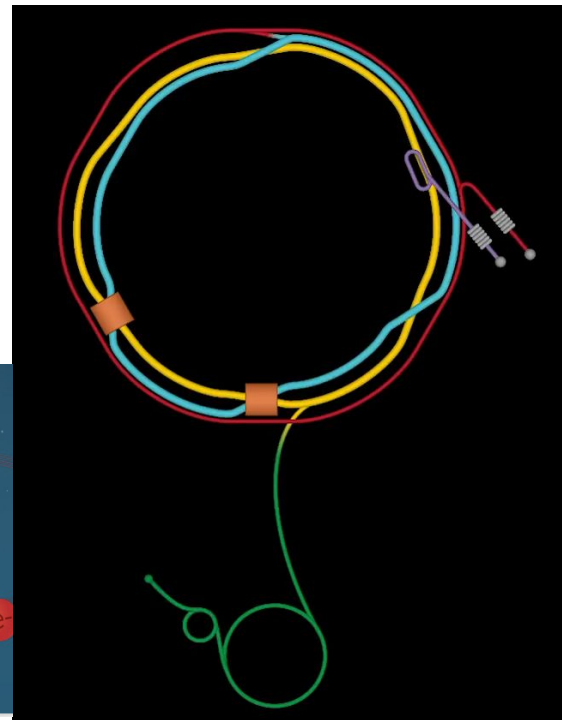
$E_e = 100-140 \text{ GeV}$

101 Ricercatori INFN  
16 Sedi INFN

1300 Scienziati



Electron-Ion Collider



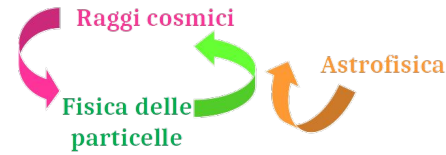
Brookhaven (BNL), New York,

## Attività a Tor Vergata

---

- ▶ Fasci di fotoni ed elettroni presso laboratori internazionali (**Jefferson Lab, USA** - **MAMI a Mainz e ELSA a Bonn, Germania**) vengono utilizzati come giganteschi microscopi in grado di *osservare* nucleoni e nuclei.
  - ▶ Sviluppo di **nuovi rivelatori di particelle** (micro pattern gaseous detectors -  $\mu$ RWELL in collaborazione con i LNF)
  - ▶ Studio delle reazioni nucleari utili alle **diagnosi e terapie mediche**.
  - ▶ Studio di reazioni nucleari che avvengono nelle stelle
- 
- ▶ Il protone ed il neutrone si possono trovare in stati eccitati?
  - ▶ Il protone ed il neutrone hanno una struttura interna?
  - ▶ Come si muovono e come sono legati i nucleoni nei nuclei?

# 3. Fisica Astroparticellare

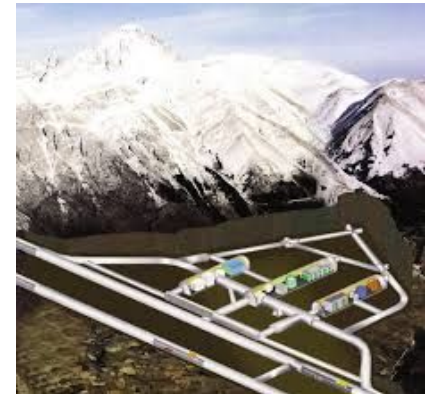
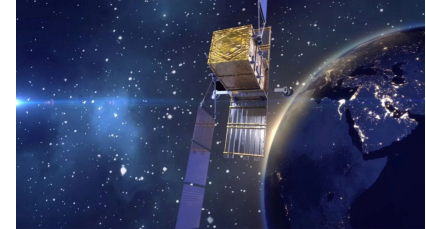
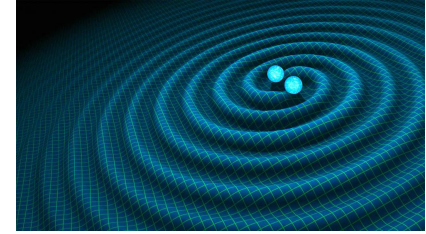


## Topic principali

- neutrini cosmici, solari, da reattore, da acceleratori, da SN e geoneutrini,
- particelle di materia oscura galattica
- raggi cosmici
- onde gravitazionali e collassi gravitazionali estremi

## Metodi

- Telescopi e satelliti per raggi cosmici e gamma
- interferometri gravitazionali
- rivelatori sotterranei
- analisi dati e sviluppo di nuovi rivelatori di particelle



# Fisica Astroparticellare

## Ambiti di Ricerca

---

- Origine della asimmetria **materia-antimateria** nell'universo
- La natura della **materia oscura galattica** e dell'**energia oscura**
- La **cosmologia** e i primi istanti dell'universo
- **Raggi cosmici** ultra-energetici: i meccanismi che accelerano le particelle nell'universo
- La fisica oltre il Modello Standard: le **oscillazione dei neutrini** e la “vera” **natura del neutrino, nuovi tipi di interazioni, ecc...**
- Astrofisica **multimessenger** (fotoni, raggi cosmici, onde gravitazionali, neutrini)
- Test di **relatività generale**
- **ecc..**

# Fisica Astroparticellare

## Attività a Tor Vergata

1. **Fisica del neutrino, eventi rari in underground.** (neutrini solari, oscillazione dei neutrini, massa e gerarchia, doppio decadimento beta, natura dei neutrini massivi: Majorana/Dirac, rivelazione di Materia Oscura diretta in underground)
2. **Radiazione dell'universo** (low – CMB – e fotoni di alta energia, fisica dei raggi cosmici, neutrino astronomy)
3. **Gravitazione** (interferometri a terra e nello spazio, test di relatività generale, meccanica quantistica, QED e fisica fondamentale)
4. **L'universo oscuro** (Ricerca di materia oscura indiretta, energia oscura)

CUPID, GAIAS, NUCLEUS

AMS-02, AUGER, CTA,  
FERMI, GAPS, LIMADOU,  
LSPE, SPB-2, XRO

VIRGO, SATOR-G,  
ET-ITALIA, LISA

QUBIC, LITEBIRD

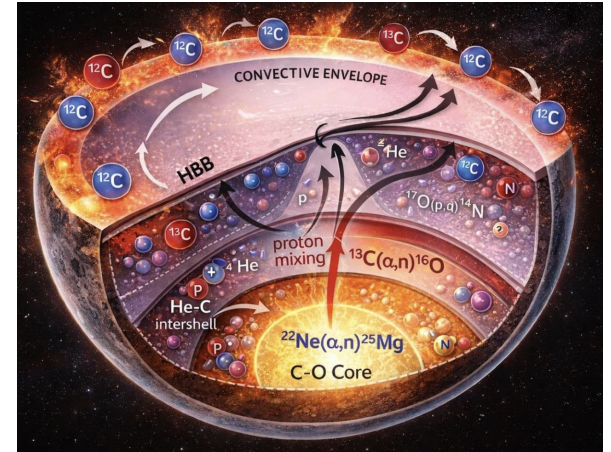
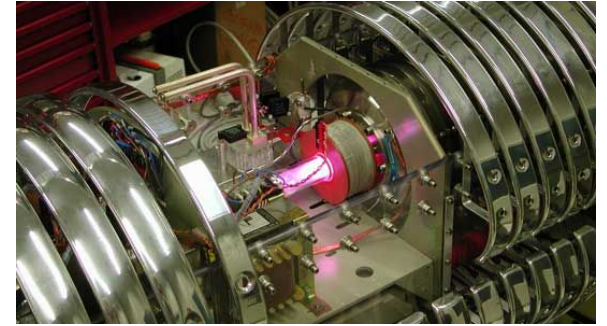
# 4. Astrofisica nucleare

## Topic principali

- reazioni nucleari nelle stelle
- nucleosintesi degli elementi
- evoluzione stellare
- esplosioni stellari (novae, supernovae)

## Metodi

- acceleratori per reazioni nucleari a bassa energia
- misure di sezioni d'urto nucleari
- osservazioni astronomiche e modelli astrofisici



# Astrofisica nucleare

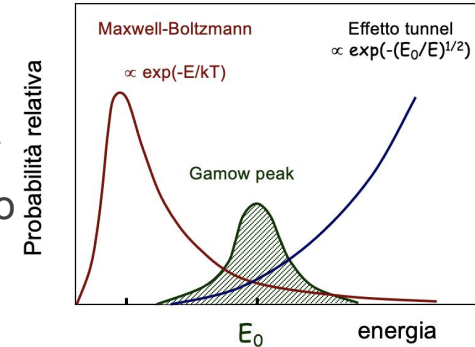
## Recoil separators

Reazioni cruciali  
sono:

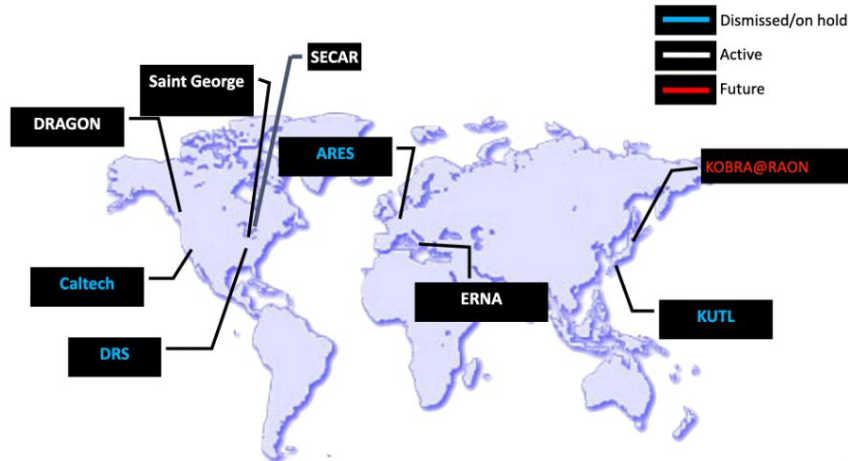
- ${}^6\text{Li}(\alpha, \gamma){}^{10}\text{B}$
- ${}^{15}\text{N}(\alpha, \gamma){}^{19}\text{F}$
- ${}^{12}\text{C}(\alpha, \gamma){}^{16}\text{O}$

Misurare di sezioni d'urto  $\rightarrow$  descrivere  
l'evoluzione stellare e la nucleosintesi

Le energie “interessanti” dal  
punto di vista astrofisico sono  
dell'ordine delle centinaia di keV  
(picco di Gamow) nel cm  $\rightarrow$  molto  
complicato sperimentalmente



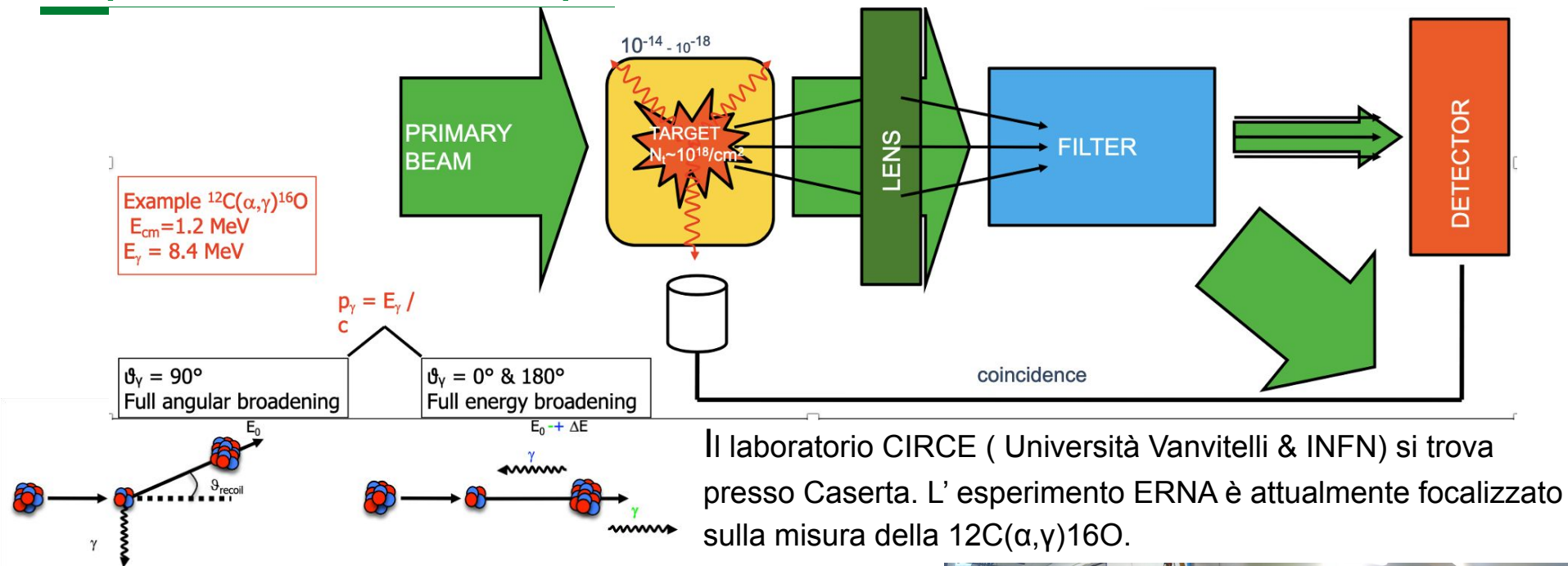
### Recoil separators for Nuclear Astrophysics



Apparati come i separatori di nuclei di  
rinculo offrono una metodica efficace per le  
complesse misure caratterizzate da un  
valore bassissimo ( $\sigma = 10^{-17}$  b) e sono uno  
strumento potente per studi di astrofisica  
nucleare.

# Astrofisica nucleare

## Esperimento ERNA presso il laboratorio CIRCE



Il laboratorio CIRCE ( Università Vanvitelli & INFN) si trova presso Caserta. L' esperimento ERNA è attualmente focalizzato sulla misura della  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ .

Disponibilità di tesi con attività sperimentale  
e di analisi dati. Consigliato curriculum in Fundamental Interactions  
Responsabile: Prof. C Morone



# Dopo la Laurea Magistrale: dottorato e sbocchi professionali

Questi percorsi preparano sia alla prosecuzione accademica (PhD) sia a ruoli altamente qualificati, e.g., in strumentazione, data analysis e applicazioni della fisica in ambito industriale, medicale e tecnologico.

## DOTTORATO di RICERCA

- Formazione **research-oriented** per l'accesso al **PhD in Fisica** e a **dottorati internazionali**.
- Specializzazione in **particle physics**, **astro-particle physics**, **nuclear physics**, **gravitation** e tecniche sperimentali avanzate.
- Possibilità di proseguire la ricerca in **grandi laboratori** e **collaborazioni internazionali**.

## MONDO DEL LAVORO

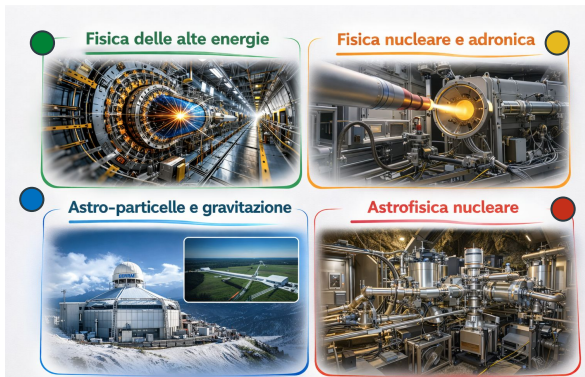
- Ruoli di **fisico** in enti di ricerca, Pubblica Amministrazione e contesti tecnico-scientifici qualificati.
- Inserimento in **R&D industriale**: microelettronica, telecomunicazioni, ottica, tecnologie informatiche.
- Competenze in **software scientifico**, **data analysis**, **statistica**, **modellizzazione** e **AI**.
- Sbocchi applicativi in **fisica medica**, **radioprotezione**, **energia e ambiente**, **strumentazione** e **applicazioni nucleari**.
- Docente di Matematica e Fisica
- ecc..

# Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques

## CONTATTI

---

- ● Esperimento **AMS-02**: Dr. Formato
- ● Esperimento **ATLAS**: Analisi dati: Prof. Cerrito, Prof. De Sanctis, Dr. Vanadia, Dr. Giuli.  
Attività hardware: Prof.ssa Di Ciaccio, Prof. Camarri, Prof. Cardarelli, Dr. Aielli, Dr. ssa Liberti, Dr. Sessa.
- ● Esperimento **CUPID**: Prof. Caracciolo
- ● Esperimento **ePIC**: Prof.ssa D'Angelo
- ● Esperimento **ERNA**: Prof.ssa Morone
- ● Esperimento **FOOT**: Prof.ssa Morone
- ● Esperimenti **GAIAS**, **ADREAM**: Prof. Caracciolo, Dr. Belli, Dr. Cerulli
- ● Esperimenti di fisica nucleare presso il **JLAB**: Prof.ssa D'Angelo, Dr. ssa Lanza
- ● Esperimento **LHCb**: Prof. Santovetti, Dr. Alessia Satta, Prof. Flavio Archilli
- ● Esperimento **LIMADOU**: Prof.ssa Sparvoli
- ● Esperimento **LISA**: Prof. Tombesi, Prof. Bassan, Dr. Masciantonio
- ● Esperimento **MAMBO**: Dott.ssa Fantini
- ● Esperimento **Muon g-2**: Dr. Di Sciascio
- ● Esperimento **NA62**: Dr. Salamon
- ● Esperimento **NUCLEUS**: Dr. Cerulli
- ● Esperimento **VIRGO**: Prof.ssa Fafone, Dr. Lorenzini



# Fisica Applicata

---

Applicare

Inventare

Migliorare

**Fisica per le scienze della vita, l'ambiente e i beni culturali.**

Comprende le attività di ricerca riguardanti lo studio, lo sviluppo e le applicazioni di metodologie fisiche in diversi ambiti delle

- ▶ **scienze della vita,**
- ▶ dell'ambiente e dei **beni culturali**

e utilizzabili in diversi contesti applicativi quali quello

- ▶ **medico,**
- ▶ biologico, **biofisico,**
- ▶ biotecnologico e farmaceutico,
- ▶ agrario e alimentare,
- ▶ **dell'ottica e dell'optometria,**
- ▶ della **protezione dell'ambiente,**
- ▶ ...

# Attività di ricerca nei beni culturali

## Diagnostica e conservazione dei beni culturali

Applicazione di tecniche della fisica nucleare o delle particelle per lo studio dei manufatti antichi

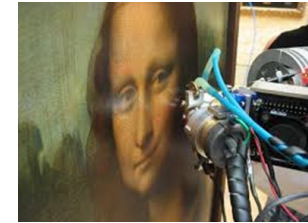
Molte tecniche utilizzano la Ion Beam Analysis

Si creano dei fenomeni, come l'emissione o la fluorescenza nei raggi X che permettono di studiare la composizione delle opere d'arte.

### L'étude d'une statuette de bronze



PIXE (Particle Induced X-ray Emission)



L'Accélérateur Grand Louvre d'analyse élémentaire (AGLAE)



X ray Fluorescence

# R&D acceleratori di particelle

Attività di ricerca: Fisica degli acceleratori di particelle, plasma acceleration, table top machine

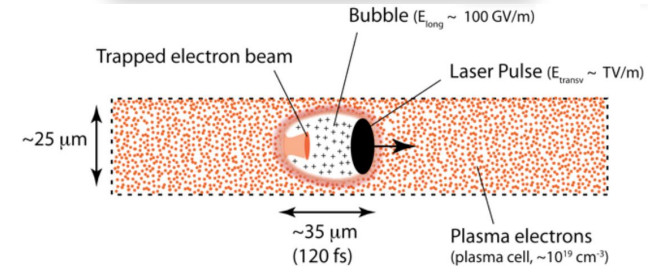
Gli acceleratori sono grandi e costosi  
perchè accelerano poco

La *plasma acceleration* promette di  
avere campi fino a 1000 volte superiori!

E' scambiare **km** con **metri**

E' un campo vergine, stiamo per  
costruire il primo acceleratore spinto da  
plasma della storia.

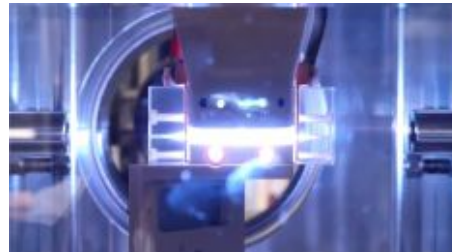
Table top  
accelerators



Contatti:

Prof. Alessandro Ciani

Capillary for plasma acceleration





Prof. Giovanni Romanelli  
Dott. Mattia Gaboardi  
Prof. Roberto Senesi

# Terapia a cattura neutronica

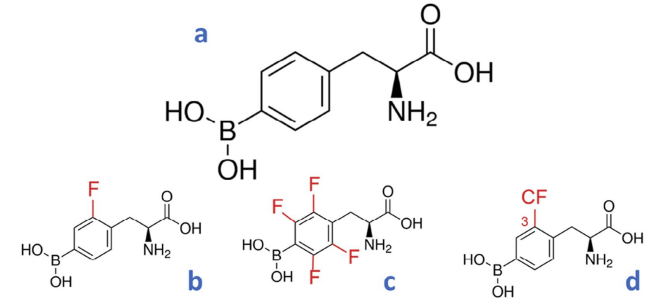
L'irraggiamento con neutroni può essere usato per distruggere cellule tumorali in pazienti.

## Linee attive di ricerca (e.g.):

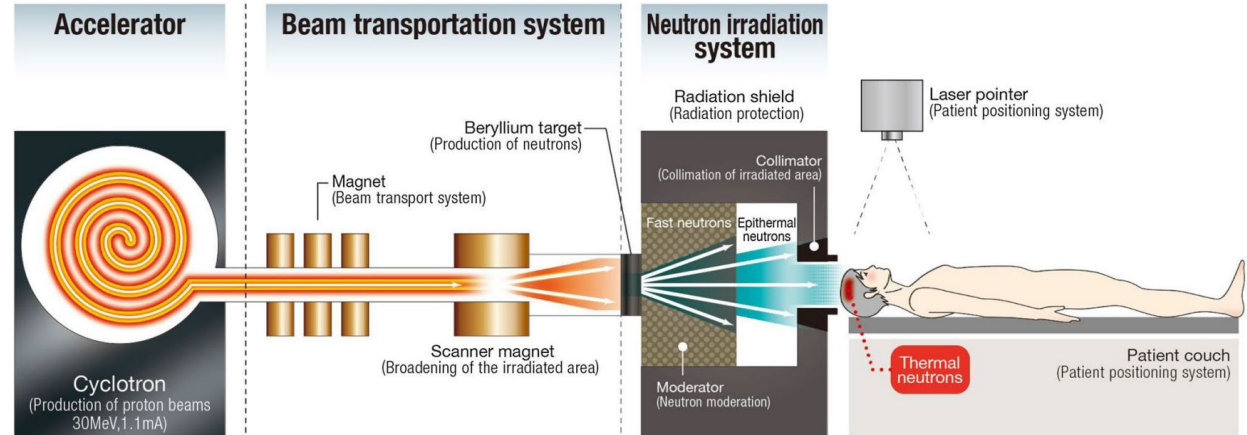
- Misura delle sezioni d'urto neutroniche per materiali organici complessi;
- Determinazione delle dosi secondarie al paziente;

## Contatti:

Prof. Giovanni Romanelli  
Prof. Triestino Minniti  
Prof. Roberto Senesi



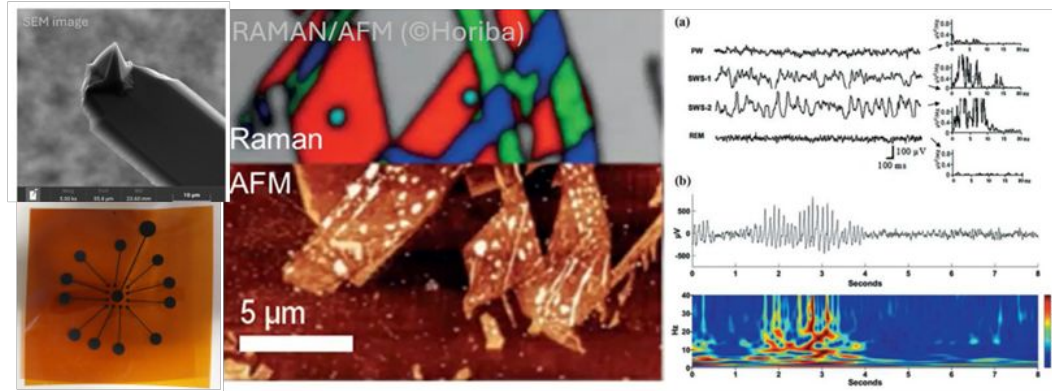
**FIGURE 1** Molecular structures of (a) 4-borono-phenylalanine, and its fluorinated analogues with (b) one and (c) four <sup>19</sup>F atoms, and with (d) one C<sup>19</sup>F<sub>3</sub> group replacing aromatic hydrogen atoms.



# R&D in campo biomedicale-diagnostico

## Progetto **NEUROTECHNO**

- ▶ Elettrodi per Studio di sistemi Brain-Machine Interface
- ▶ Monitoraggio e trattamento malattie neurologiche (epilessia, Parkinson)



L. Pavone, et al.; *Journal of Neural Engineering*, 17(3), 36032.

## Linee attive di ricerca (e.g.):

- Sviluppo di elettrodi a base polimero-grafene/nanotubi
- Caratterizzazione con microscopia elettronica e AFM
- Spettroscopia Raman confocale

## Contatti:

Prof. Roberto Senesi

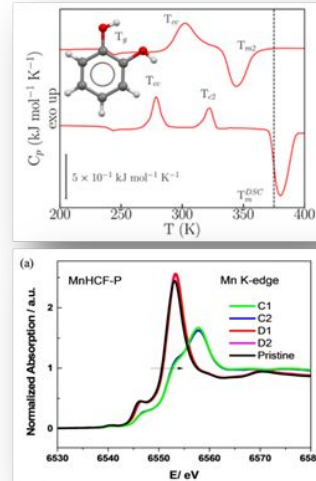
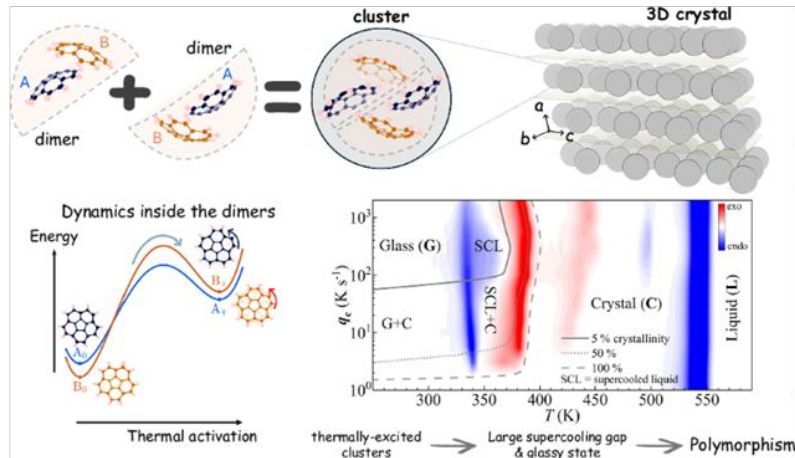
Prof. Giovanni Romanelli

Dott. Mattia Gaboardi

# Sistemi per la green-energy transition e protezione ambientale

Sviluppo di materiali e tecnologie per l'abbattimento delle emissioni ambientali (riduzione CO<sub>2</sub>)

- Immagazzinamento calore
- Cattura di gas (CO<sub>2</sub>)
- Conversione del metano



Linee attive di ricerca (e.g.):

- Termodinamica di sistemi metastabili e polimorfici
- Analisi dati luce di sincrotrone (diffrazione e XAS)
- Esperimenti sincrotrone e neutroni
- Studi in-situ/operando

Contatti:  
Dott. Mattia Gaboardi

# Irraggiamento di elettronica

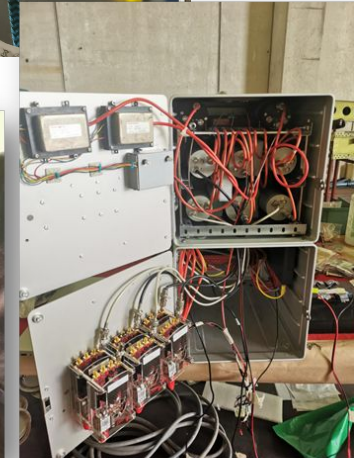
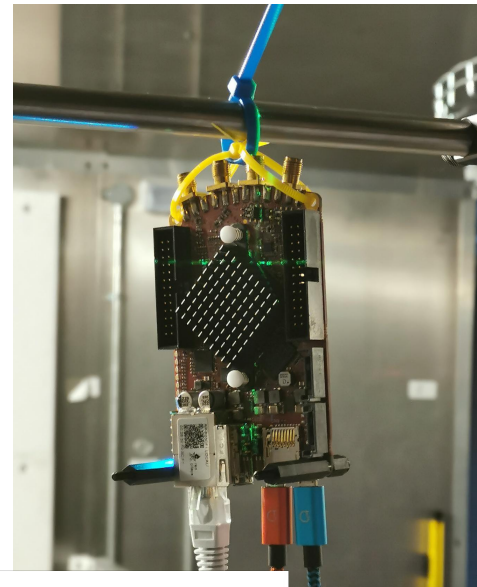
La radiazione ambientale ha una componente neutronica che causa, in dispositivi sempre più piccoli, errori software o rotture hardware.

## Linee attive di ricerca (e.g.):

- Emissione di neutroni durante temporali e fulmini
- Affidabilità di dispositivi elettronici utilizzati in ambito aerospaziale

## Contatti:

Prof. Roberto Senesi  
prof. Giovanni Romanelli

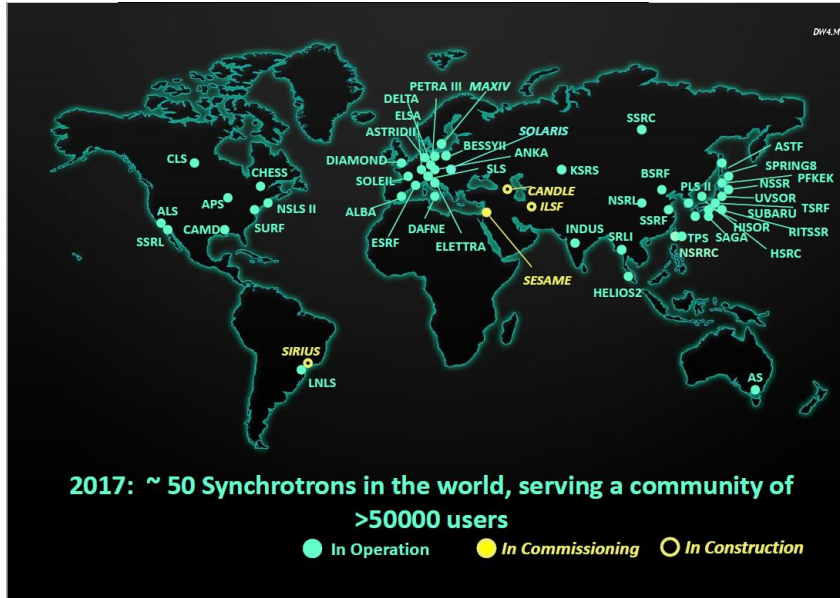


# Ricerca & Infrastrutture

Acceleratori

Radiazione

Rivelatori



Impiego presso **Enti di ricerca e Istituzioni** nazionali e internazionali: CNR, Ministero Beni Culturali, Opificio Pietre Dure, Musei, INFN, Centro Fermi.

<http://icpal.beniculturali.it/laboratorio-di-fisica/>

<http://www.opificiodellepietredure.it/>

[https://www.ispc.cnr.it/it\\_it/](https://www.ispc.cnr.it/it_it/)

[https://home.infn.it/immagini/picture.php?/238/tags/76-beni\\_culturali](https://home.infn.it/immagini/picture.php?/238/tags/76-beni_culturali)

<https://www.cref.it/fisica-per-i-beni-culturali/>

Impiego presso **grandi infrastrutture** di Raggi X e Neutroni: oltre 50 centri di ricerca; ogni mese > 100 opportunità di impiego

<https://neutronsources.org/>

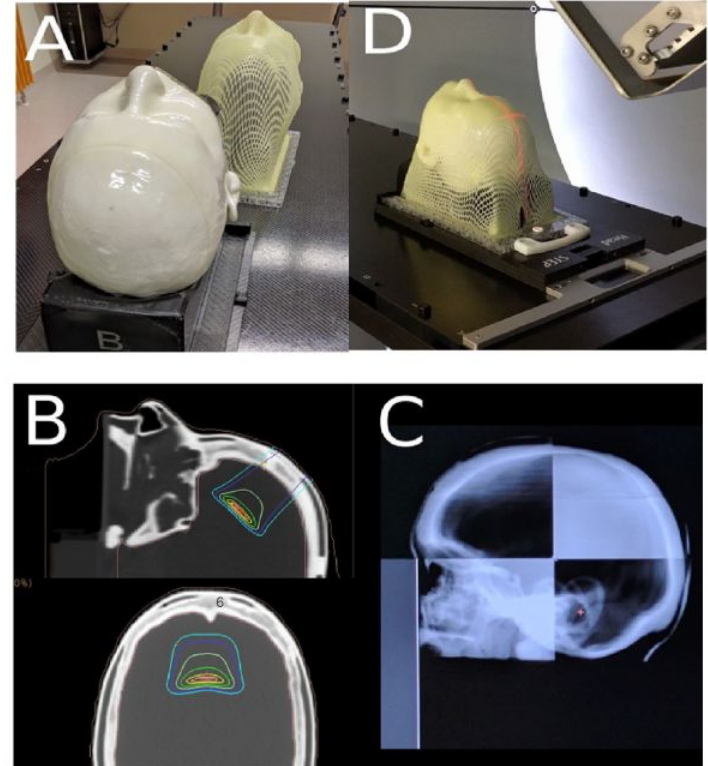
<https://lightsources.org/careers/>

# Dosimetria in Fisica Medica

- **Sviluppo di microdosimetri continui tessuto-equivalenti:**
  - Utilizzo di materiali tessuto-equivalenti come bersagli attivi
  - Applicabilità a campi di radiazione misti: fotoni (raggi X,  $\gamma$ ), adroni e neutroni
  - Dosimetria tridimensionale (3D) mediante fantocci antropomorfi
- **Sviluppo di microdosimetri a semiconduttore:**
  - Utilizzo di matrici di pixel di diamante sintetico a cristallo singolo
  - Applicabilità a campi di radiazione misti: fotoni (raggi X,  $\gamma$ ), adroni e neutroni

## Modellizzazione dei risultati sperimentali:

- Confronto tra mappe di dose sperimentali e simulazioni Monte Carlo (in silico)
- Confronto tra misure sperimentali e calcoli del Treatment Planning System (TPS), utilizzato per la pianificazione del trattamento radioterapico del paziente



# Applicazioni della Dosimetria in Fisica Medica

- **BNCT (Boron Neutron Capture Therapy)**

- misura e verifica della distribuzione di dose in campi neutronici

- **Adronterapia (protoni e ioni)**

- misura e verifica della distribuzione di dose, caratterizzazione del fascio e verifica del *range*

- **Radioterapia convenzionale (fotoni)**

- validazione dei piani di trattamento (TPS)

- **Dosimetria 3D in fantocci antropomorfi**

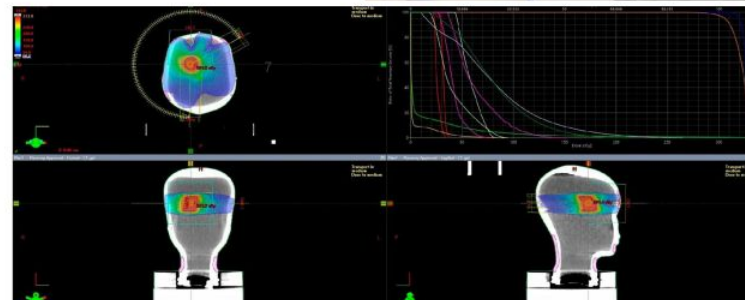
- simulazione realistica delle condizioni cliniche

- **Validazione di simulazioni Monte Carlo**

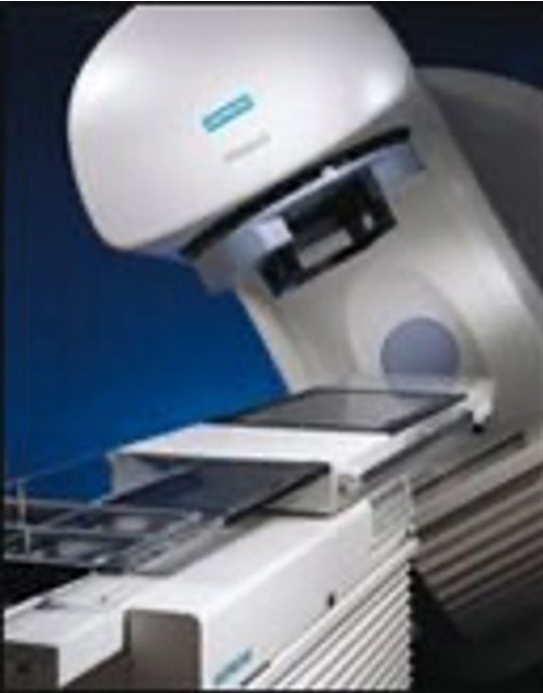
- confronto tra dose misurata e dose simulate

- **Controllo qualità (Quality Assurance, QA)**

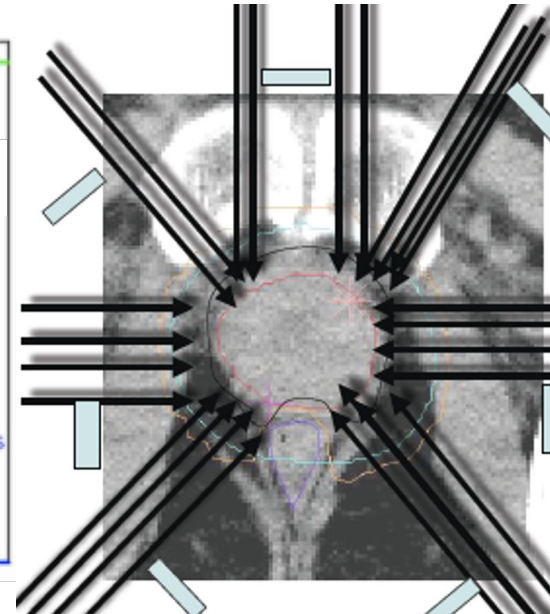
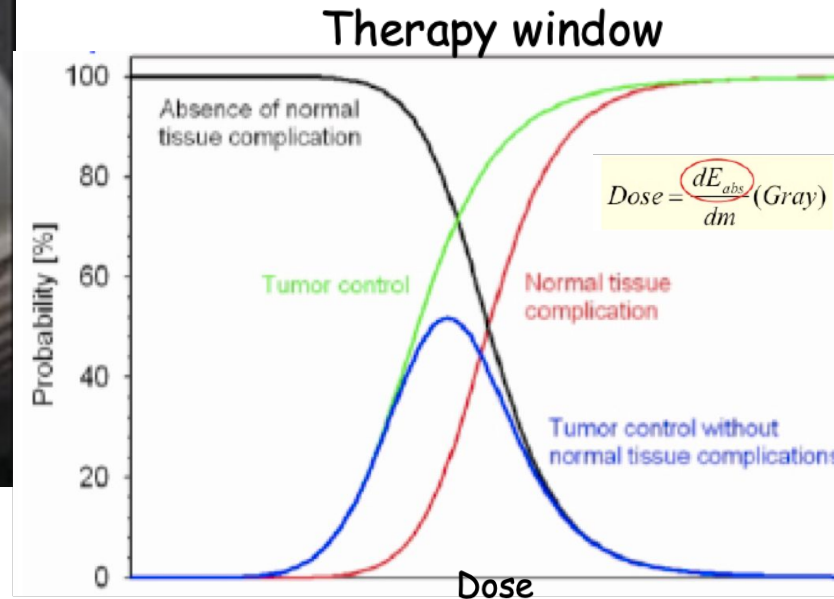
- verifica periodica dei sistemi di trattamento



# Radioterapia con fasci esterni



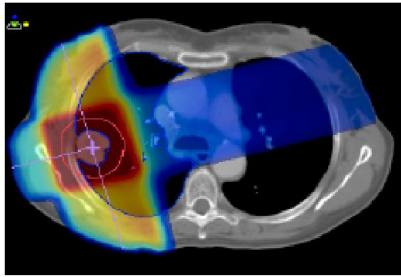
Si bombardano i volumi tumorali con elevate dose di radiazioni provenienti da acceleratori di particelle, in maniera tale da danneggiare le cellule malate, risparmiando i tessuti sani circostanti.



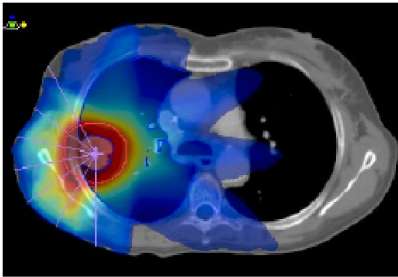
# Adroterapia

## Bronchial cancer

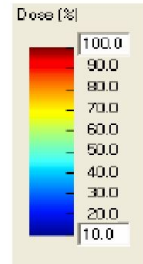
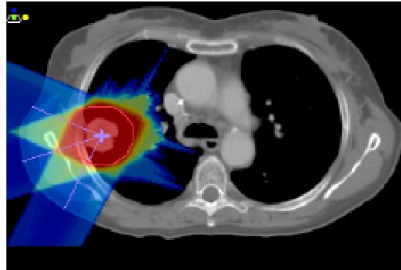
Photons 3 fields



Photons 7 fields



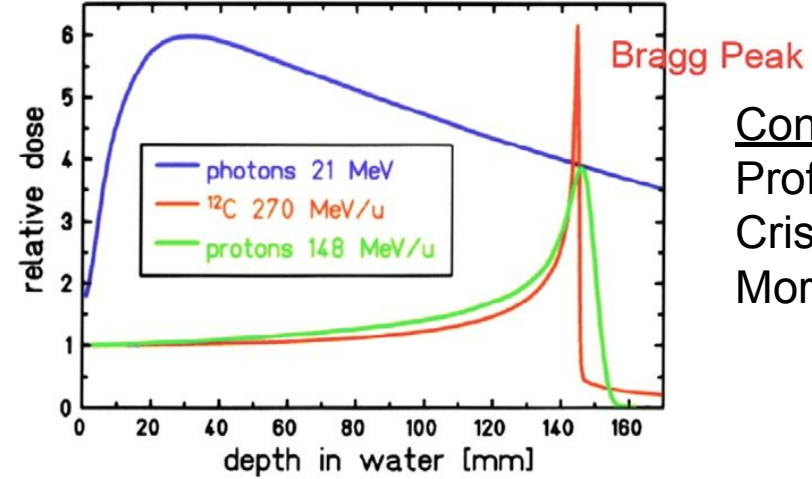
Protons 3 fields



Confronto delle mappe di dose tra fotoni e protoni.

L'adroterapia è una tecnica di cura di lesioni principalmente tumorali attraverso l'irraggiamento della zona target del paziente con fasci di con **protoni o ioni** provenienti da acceleratore. Punti di forza dell' adroterapia, che la rendono maggiormente **efficace** rispetto alla radioterapia convenzionale con fasci di fotoni, sono la favorevole distribuzione di dose al target e l'elevata **efficienza biologica**, cioè la capacità di danneggiare le cellule tumorali.

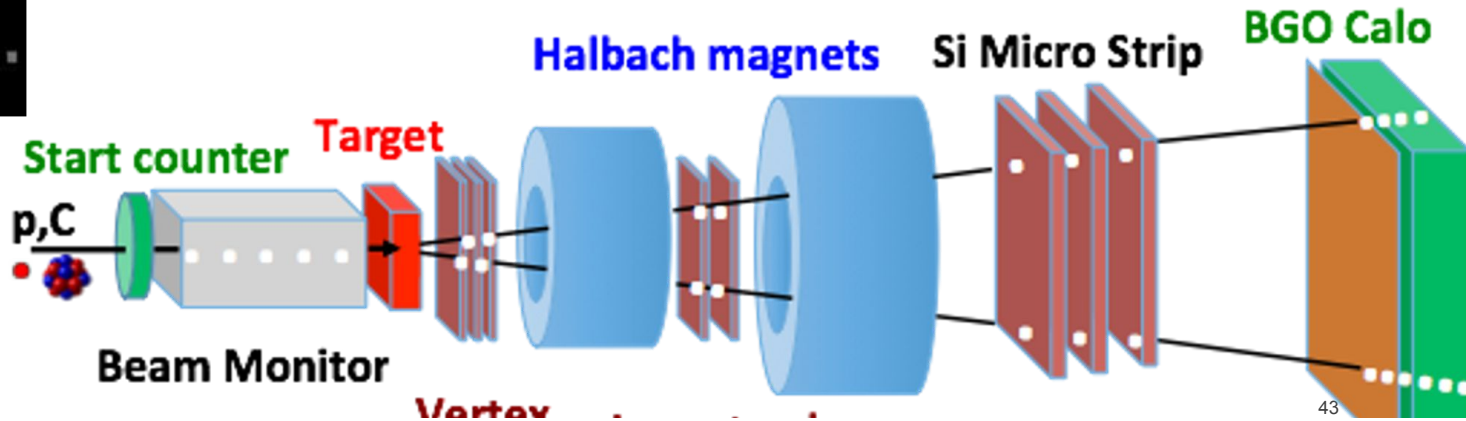
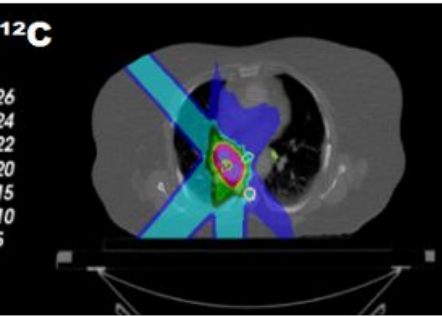
E' una tecnica in forte espansione ma ci sono ancora aspetti fisici da studiare.



Contatti:  
Prof.ssa  
Cristina  
Morone

# Adroterapia: Esperimento FOOT

Tor vergata è coinvolta nell'esperimento FOOT per la misura di **sezioni d'urto** di reazioni di frammentazione nucleare rilevanti per il **calcolo dei piani di trattamento** dei pazienti sottoposti ad **adroterapia** e per la **radioprotezione nello spazio**.



## Spacecraft shielding Radio-protection in Space



# Fisica del Sistema Uditivo applicata a medicina e spazio

## ► Tre linee di ricerca (interconnesse)

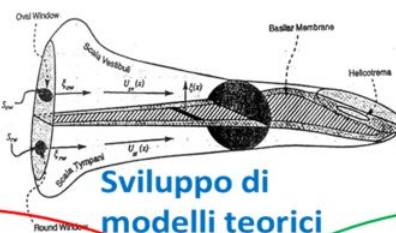
- Modelli Teorici
- Analisi dei Segnali
- Misura di OAE

## ► Collaborazioni principali

- INAIL
- Northwestern University
- University of Southern California
- University of Texas at Austin

### Obiettivo

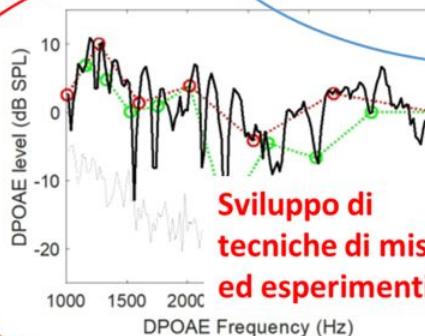
Sviluppo di strumenti diagnostici avanzati



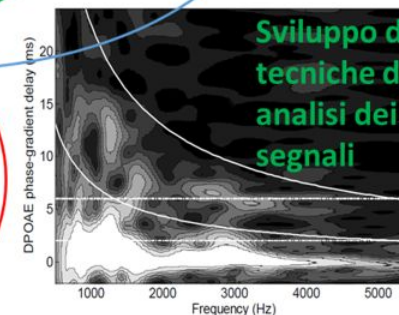
Sviluppo di modelli teorici

### Competenze

Meccanica  
Fluidodinamica  
Acustica  
Elettronica



Sviluppo di tecniche di misura ed esperimenti



Sviluppo di tecniche di analisi dei segnali

# Fisica del Sistema Uditivo - Modelli teorici

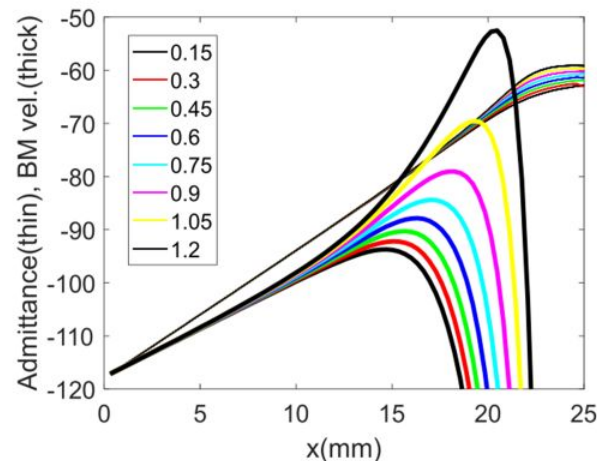
## ► Modelli attivi e nonlineari del sistema uditivo

- Fluidodinamica dissipativa + micromeccanica attiva
- Soluzione analitica in approssimazione WKB e numerica nel formalismo state-space
  - Modelli più realistici della risposta cocleare permettono test diagnostici più accurati



## Crucial 3-D viscous hydrodynamic contributions to the theoretical modeling of the cochlear response

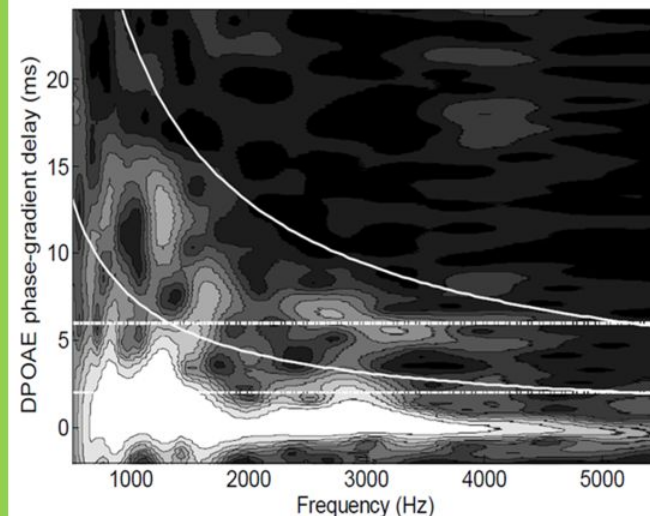
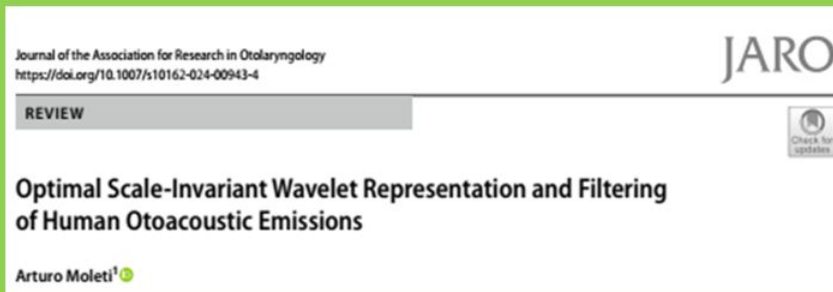
Renata Sisto,<sup>1</sup> Daniele Belardinelli,<sup>1</sup> Alessandro Altoè,<sup>2</sup> Christopher A. Spera,<sup>2,a)</sup> and Arturo Moletti<sup>2,b)</sup>



# Fisica del Sistema Uditivo – Analisi dei Segnali

## ► Sviluppo di tecniche avanzate di analisi dei segnali

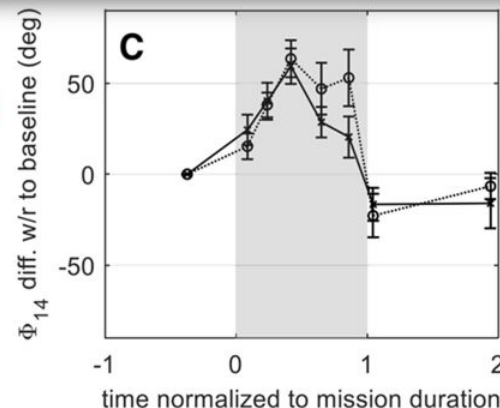
- Ottimizzazione di filtri nel dominio tempo-frequenza basata su modelli cocleari
  - Le tecniche di analisi wavelet le separano in modo ottimale:
    - Migliorano il SNR (sensibilità dei test diagnostici)
    - Forniscono una interpretazione univoca (specificità)
- **Trasformata Wavelet: un tool invariante di scala per un sistema fisico (la coclea) invariante di scala**



# Fisica del Sistema Uditivo - Applicazioni Spaziali

## ► Applicazioni Spaziali: Misura della pressione intracranica degli astronauti della ISS in microgravità

- Gli astronauti della ISS sono soggetti a un rischio di edema retinico per l'incremento di pressione intracranica in microgravità
- L'aumento della pressione intracranica modifica la trasmissione acustica dell'orecchio medio, che determina variazioni della fase delle OAE misurabili
- Con questa tecnica abbiamo misurato su 5 astronauti un sistematico e persistente incremento di pressione intracranica in microgravità (area grigia)

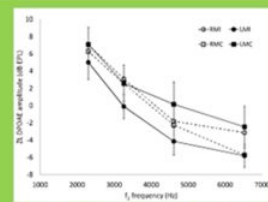
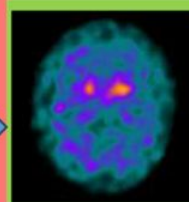


# Fisica del Sistema Uditivo - applicazioni mediche

## ► Applicazioni mediche:

### Diagnosi della malattia di Parkinson

- Sensibilità delle OAE alla malattia di Parkinson
- Asimmetria OAE correlata a quella motoria
- Correlazione OAE/DatSCAN



doi:10.1093/braincomms/fcab44  
BRAIN COMMUNICATIONS 2020, Page 1 of 13

### Lateralization of cochlear dysfunction as a specific biomarker of Parkinson's disease

Renata Sisto,<sup>1,\*</sup> Andrea Viziano,<sup>2,3,\*</sup> Alessandro Stefani,<sup>4</sup> Arturo Moleti,<sup>2</sup> Rocco Cerroni,<sup>4</sup> Claudio Liguori,<sup>4</sup> Elena Garasto<sup>5</sup> and Mariangela Pierantozzi<sup>4</sup>

JASA  
EXPRESS  
LETTERS

ARTICLE

pubs.aip.org/asa-jel



### Enhanced suppression of otoacoustic emissions by contralateral stimulation in Parkinson's disease

Arturo Moleti,<sup>1,4,\*</sup> Triestino Minniti,<sup>1</sup> Andrea Viziano,<sup>2,3</sup> Alessandro Stefani,<sup>3</sup> Rocco Cerroni,<sup>3</sup> Elena Garasto,<sup>3</sup> Mariangela Pierantozzi,<sup>3</sup> and Renata Sisto<sup>1</sup>

https://doi.org/10.1093/braincomms/fcab075  
BRAIN COMMUNICATIONS 2020, Page 1 of 10

### Association between hearing sensitivity and dopamine transporter availability in Parkinson's disease

Elena Garasto,<sup>1</sup> Alessandro Stefani,<sup>1</sup> Mariangela Pierantozzi,<sup>1</sup> Rocco Cerroni,<sup>1</sup> Matteo Conti,<sup>1</sup> Simone Maranesi,<sup>1</sup> Nicola B. Mercuri,<sup>1</sup> Agostino Chiaravalloti,<sup>2</sup> Orazio Schillaci,<sup>2</sup> Andrea Viziano,<sup>3</sup> Arturo Moleti<sup>4</sup> and Renata Sisto<sup>5</sup>