



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

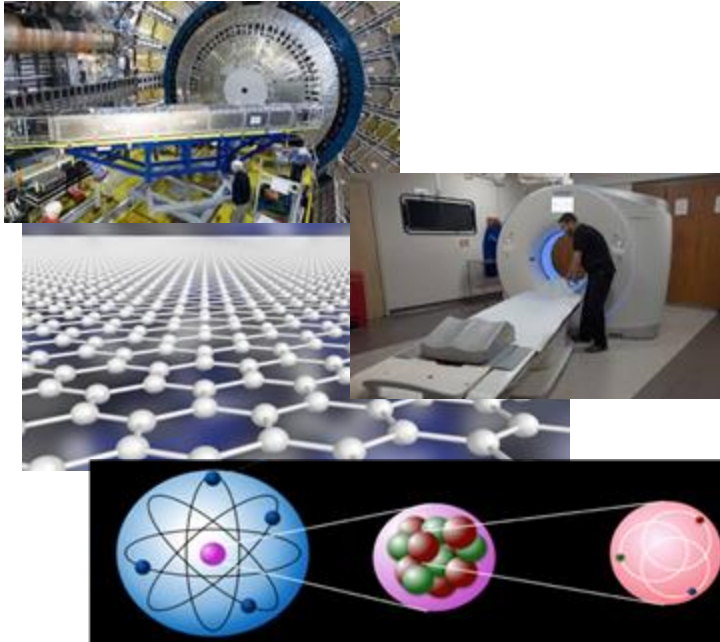
Elettronica e Cibernetica

Prof. ssa Annalisa D'Angelo, Dott.ssa Lucilla Lanza,

Prof. Giovanni Romanelli, Prof.ssa Cristina Morone,

Dott. Andrea Salamon

Invitato: Prof. Nicola Toschi



Perché scegliere questo indirizzo di studi?

Studiare Fisica delle Interazioni Fondamentali:

- consente una comprensione delle interazioni fondamentali alla base di tutti i fenomeni fisici
- inserisce lo studente in **ambienti di ricerca internazionali** nei laboratori di punta del panorama mondiale
- fornisce le **conoscenze di base sia teoriche che sperimentali della Fisica Subatomica** per applicazioni innovative strumentali e tecnologiche

AREA CULTURALE

Il corso fornisce gli strumenti **teorici e sperimentali** per comprendere le interazioni fondamentali che governano i fenomeni fisici su tutte le scale: **dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande.**

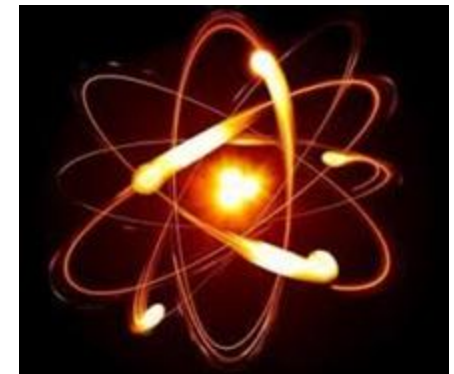
AREA DI ATTIVITÀ

L'indirizzo fornisce le basi per lo studio sperimentale della fisica:

- **Nucleare, delle Particelle, delle Astroparticelle e Gravitazionale**

Consente di acquisire varie competenze e capacità di sviluppo, ad es. in:

- **Rivelatori**
- **Radioprotezione ed Adroterapia**
- **Fisica dei Neutroni**
- **Fisica della Fusione per la produzione di energia**



Quali caratteristiche dovrebbe avere uno studente di questo corso?

PRE-REQUISITI ED ATTITUDINI PERSONALI

- Capacità di astrazione
- Metodo di studio efficace
- Costanza nello studio

REQUISITI DI ACCESSO (REQUISITI FORMATIVI)

Solide basi di

- **Analisi Matematica e Metodi Matematici per la Fisica**
- **Meccanica Quantistica**
- **Fisica Classica e Moderna**
- **Competenze di Laboratorio**

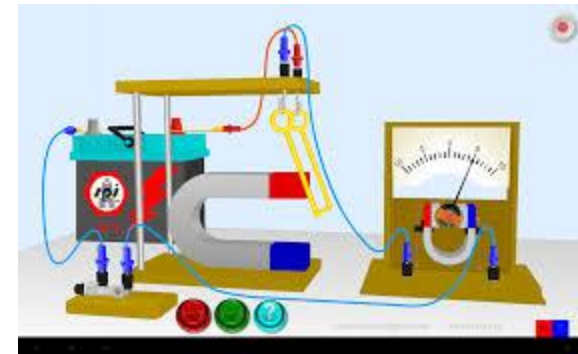
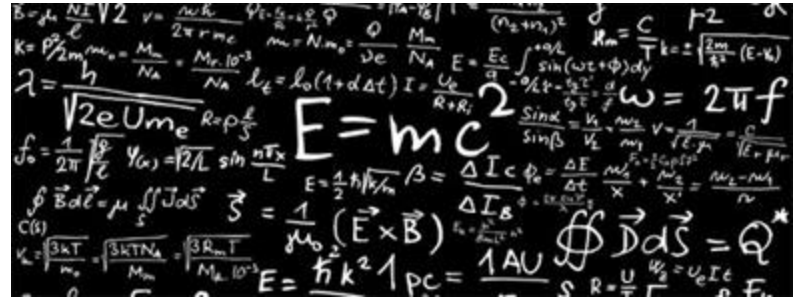
Accesso diretto dalla Laurea Triennale in Fisica.

PASSIONI

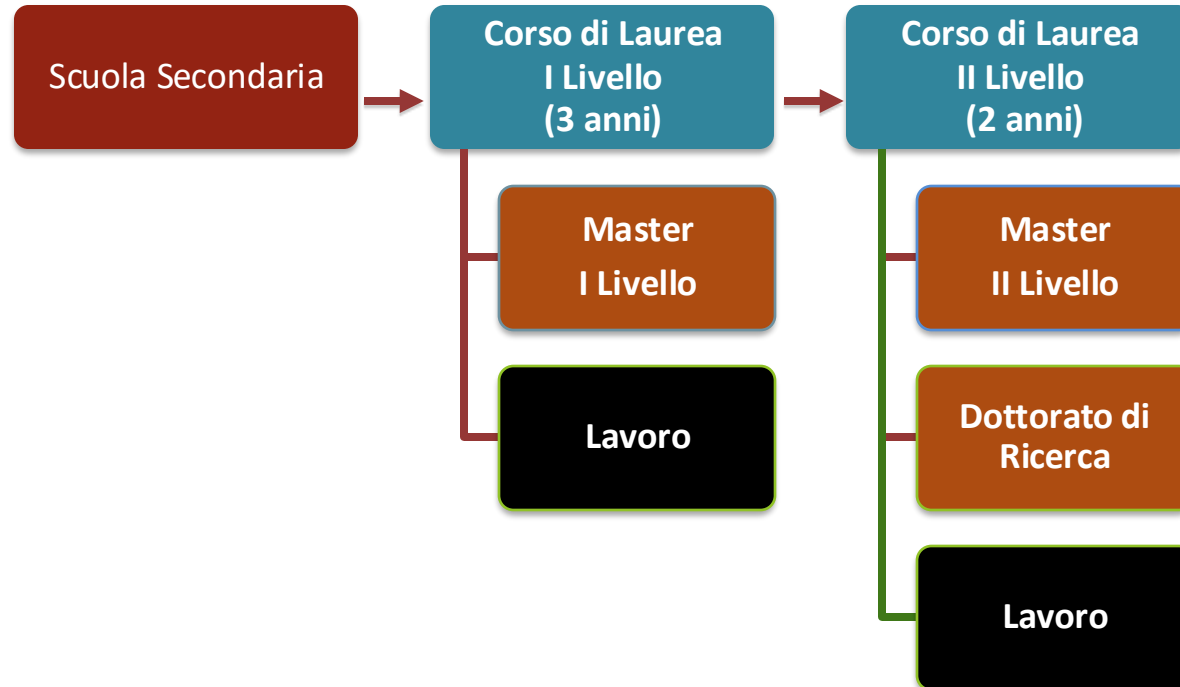
- Desiderio di conoscenza di argomenti complessi
- Volontà di impegnarsi in prima persona nelle attività sperimentali
- Curiosità sui meccanismi che governano i fenomeni naturali

CONOSCENZE IMPORTANTI

Lingua Inglese, Informatica



Percorso Formativo



Come si articola il Curriculum

CURRICULUM IN PHYSICS OF FUNDAMENTAL INTERACTIONS AND EXPERIMENTAL TECHNIQUES

INSEGNAMENTI OBBLIGATORI:



Physics of Fundamental Interactions and Experimental Techniques

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

INSEGNAMENTI OBBLIGATORI: 52 CFU - INSEGNAMENTI A SCELTA: 18 CFU DA ELENCO - Tesi: 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?

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 Interd. Applications

FIS/01 Space Instruments

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 Semestre

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

In Italiano ma può essere erogato in Inglese:

FIS/03 Fisica del Neutrone ed Applicazioni

Come si articola il percorso di studi?

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?

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)

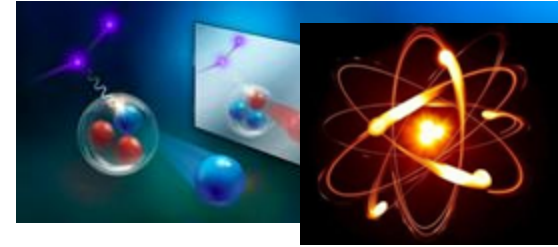
FIS/01 Cibernetica (I Semestre)

Come si articola il percorso di studi?

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?

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.)

Altri Indirizzi di Fisica Applicata

CURRICULUM IN FISICA

PIANO DI STUDI 1: ELETTRONICA E CIBERNETICA

COMPETENZE SPECIFICHE:

Tecniche di progettazione e realizzazione di sistemi di elaborazione elettronica dei segnali. **Collaborazioni** INFN, INAF ...



Curriculum in Fisica – Elettronica e Cibernetica

Curriculum in Fisica – Elettronica e Cibernetica					
I Anno - I Semestre	Metodi Matematici della Fisica 2	9 CFU	II Anno - I Semestre	Fisica delle particelle elementari 1	6 CFU
	Meccanica Quantistica 2	9 CFU		Esame a Scelta – FIS/05 o FIS/06	6 CFU
	Struttura della Materia 2	6 CFU		Esame a Scelta – Elenco 1	6 CFU
	Cibernetica	6 CFU		Esame a Scelta Libera	6 CFU
				Tesi	8 CFU
I Anno - II Semestre	Laboratorio di Elettronica	8 CFU	II Anno - II Semestre	Tesi	30 CFU
	Elettronica 1	6 CFU			
	Esame a Scelta – Elenco 2	6 CFU			
	Esame a Scelta	6 CFU			
	Lingua Inglese (avanzato)	2 CFU			

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

STUDI SPECIALISTICI

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

Perché Tor Vergata ?



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
- Centro VIRGO
- ecc.



Contatti



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



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



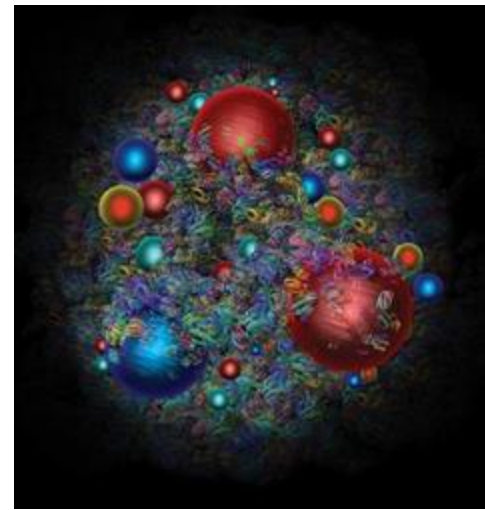
Manager Didattico: Samanta Marianelli samanta.marianelli@uniroma2.it

Coordinatore dei Corsi di studio in Fisica roberto.senesi@uniroma2.it



1. Indirizzo di fisica delle alte energie

- La fisica delle alte energie:
 - studia i costituenti fondamentali della materia e le loro interazioni
 - Vuole rispondere ad alcune delle domande fondamentali dell'uomo:
 - Di cosa siamo fatti?
 - Quali sono i mattoni fondamentali di cui è fatta la materia?
 - Come si muovono? Quali sono le forze che li tengono insieme?
- Per rispondere a queste domande l'uomo ha:
 - costruito macchine potentissime, chiamate **acceleratori di particelle**, che sono in grado di accelerare e poi far scontrare ad altissima energia particelle stabili (ad es. elettroni, positroni, protoni). Il risultato di tali collisioni ci aiuta a capire le regole del mondo microscopico.
 - costruito **rivelatori** in grado di rivelare le particelle che si sono prodotte da queste collisioni
 - **analizzato i dati raccolti** da questi rivelatori per studiare le proprietà fisiche (massa, spin, carica elettrica etc..) delle particelle prodotte in queste collisioni
- Sono queste le tre aree fondamentali di ricerca che caratterizzano questo indirizzo e che sono presenti nell'attività di ricerca della nostra università.

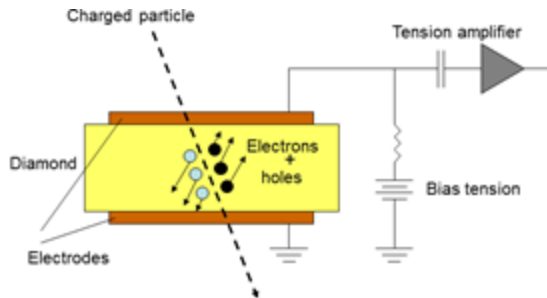


Rivelatori di particelle e sistemi di acquisizione dati

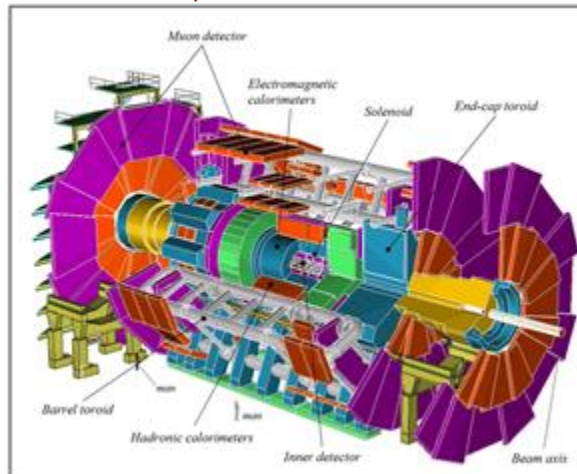
Competenze tecniche richieste

- ▶ 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)

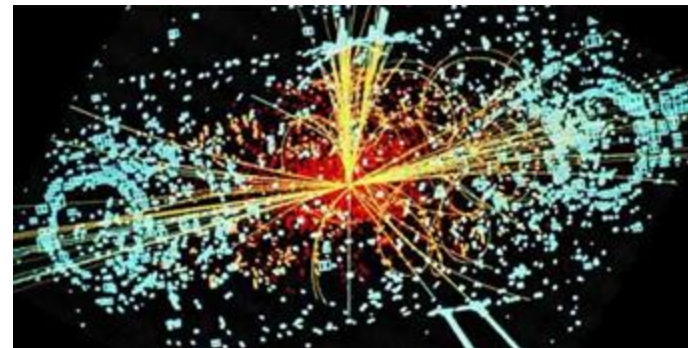
Principio di funzionamento di un particolare rivelatore



Rivelatore completo, fatto da molti sottomoduli



Evento di collisione ricostruito



Aree di ricerca

Analisi dei dati

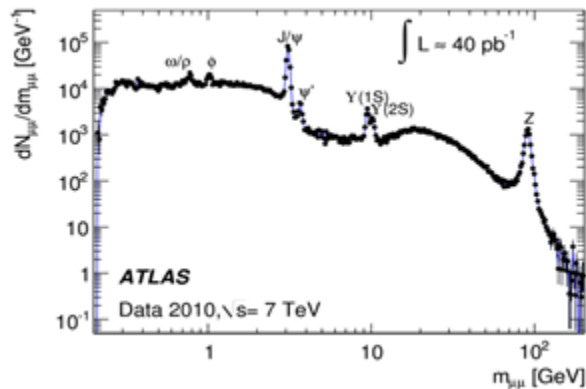
Competenze tecniche richieste

- ▶ 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

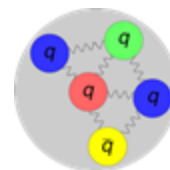
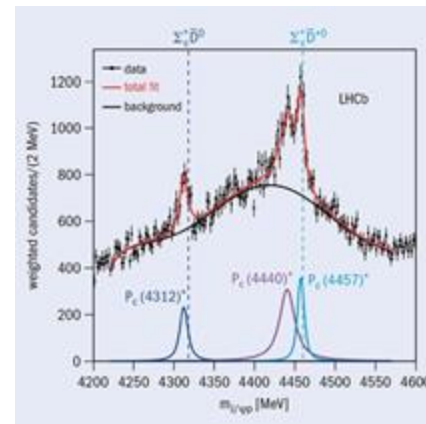
La gestione dei dati passa per grandi data center



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



Evidenza di stati esotici (pentaquark)



Aree di ricerca

Attività a Tor Vergata

- ▶ Resistive Plate Chambers (RPC) per il rivelatore **ATLAS** al Large Hadron Collider del **CERN**
 - ▶ 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 (2028)
 - ▶ Analisi dei dati (già raccolti e futuri) nelle aree di fisica del quark top, dei mesoni B e delle performance dei muoni
- ▶ 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 (μ RWELL) per Upgrade-II in collaborazione con i Laboratori Nazionali di Frascati INFN (LNF-INFN)
- ▶ Esperimento **NA62** al CERN
 - ▶ Trigger del calorimetro a Krypton liquido
- ▶ Attività sperimentali ai LNF-INFN
- ▶ Il **CERN**: è un esempio di collaborazione scientifica su scala mondiale



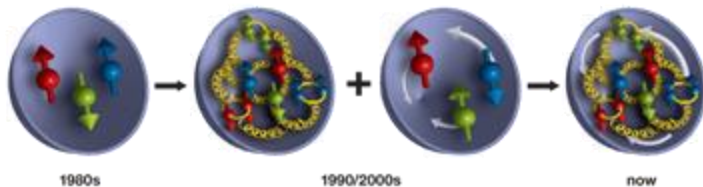
2. Fisica Nucleare e Adronica

Ambito Culturale:

- Studia come i costituenti elementari interagiscono tra loro nella formazione dei **protoni e neutroni** e come questi interagiscono tra loro nella **formazione dei nuclei**.
- Utilizzando gli stessi **strumenti** della fisica delle Alte Energie (**acceleratori+rivelatori+codici di analisi dati**) si pone le seguenti domande:
 - 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?



Le attività di Ricerca :



- 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 - μ RWELL in collaborazione con i LNF)
- Studio delle reazioni nucleari utili alle **diagnosi e terapie mediche**.
- Studio di reazioni nucleari che avvengono nelle stelle

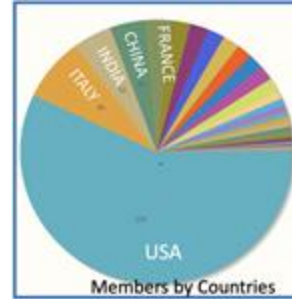
Fisica Adronica alle alte energie: ePIC @ EIC

- 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.

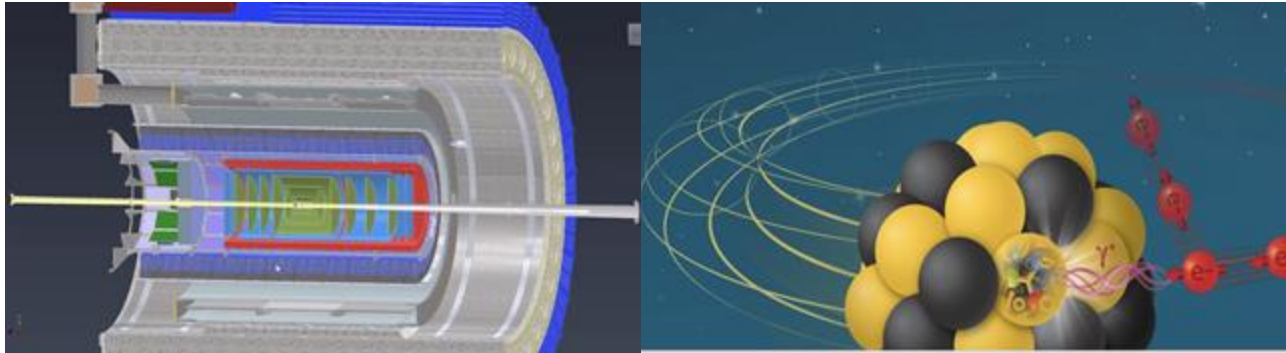
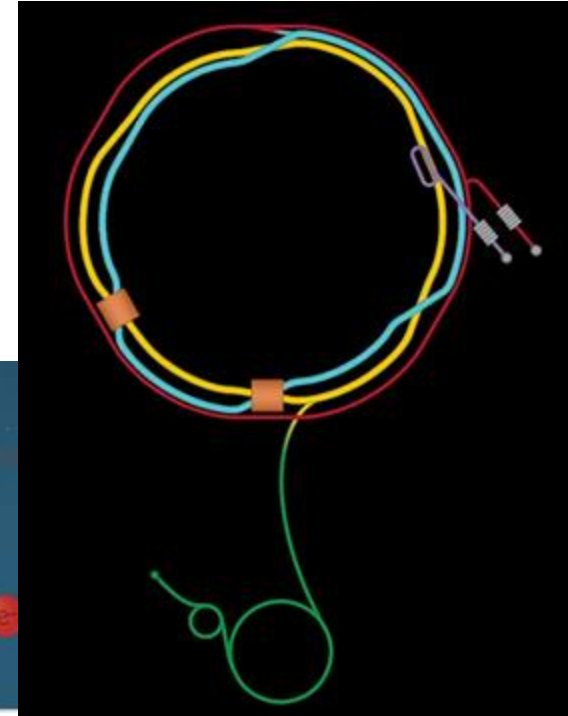
$E_e = 100-140 \text{ GeV}$

101 Ricercatori INFN
16 Sedi INFN

1300 Scienziati

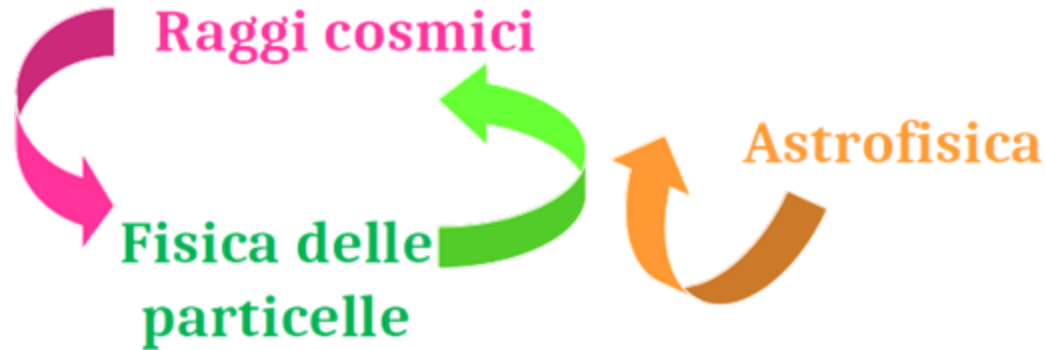


Electron-Ion Collider



3. Fisica delle astro-particelle

La fisica delle astro-particelle è oggi un **ambito molto ampio**, che coinvolge molte ricerche e attività diverse, sia sperimentali che teoriche



È un settore interdisciplinare che si occupa di problemi scientifici tipicamente astrofisici, utilizzando concetti e tecniche mutuati dalla fisica delle particelle

Tematiche di grande attualità

- Origine della asimmetria **materia-antimateria** nell'universo
- La natura della **materia oscura** 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**
- Astrofisica **multimessenger** (fotoni, raggi cosmici, onde gravitazionali, neutrini)
- Test di **relatività generale**

Astro-particelle a Tor Vergata

1. **Fisica del neutrino** (neutrini solari, oscillazione dei neutrini, massa e gerarchia, doppio decadimento beta e natura dei neutrini massivi: Majorana/Dirac)
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 diretta e indiretta, energia oscura)

NUCLEUS, CUPID

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

**LISA, VIRGO, SATOR-G,
ET-ITALIA**

DAMA, QUBIC, LITEBIRD

3. Astrofisica nucleare

Studia le reazioni nucleari che avvengono nelle stelle e che ne caratterizzano l'evoluzione e la nucleosintesi. Negli esperimenti di astrofisica nucleare si cerca di riprodurre in laboratorio le condizioni in cui le reazioni avvengono in natura e si misurano le sezioni d'urto di processi importanti per la comprensione di temi astrofisici come ad esempio l'abbondanza relativa di elementi nell'universo e il problema del neutrino solare.



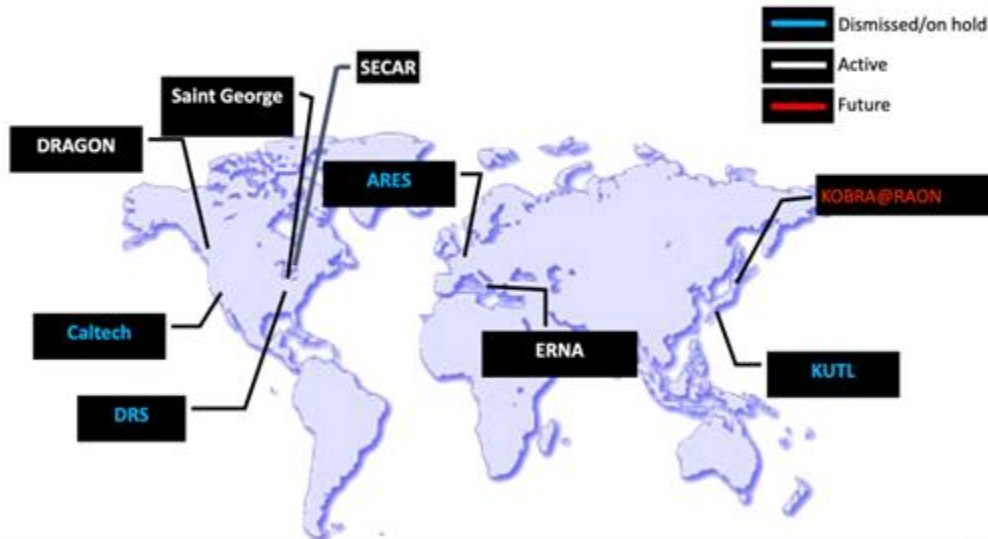
Recoil separators

Reazioni cruciali sono:

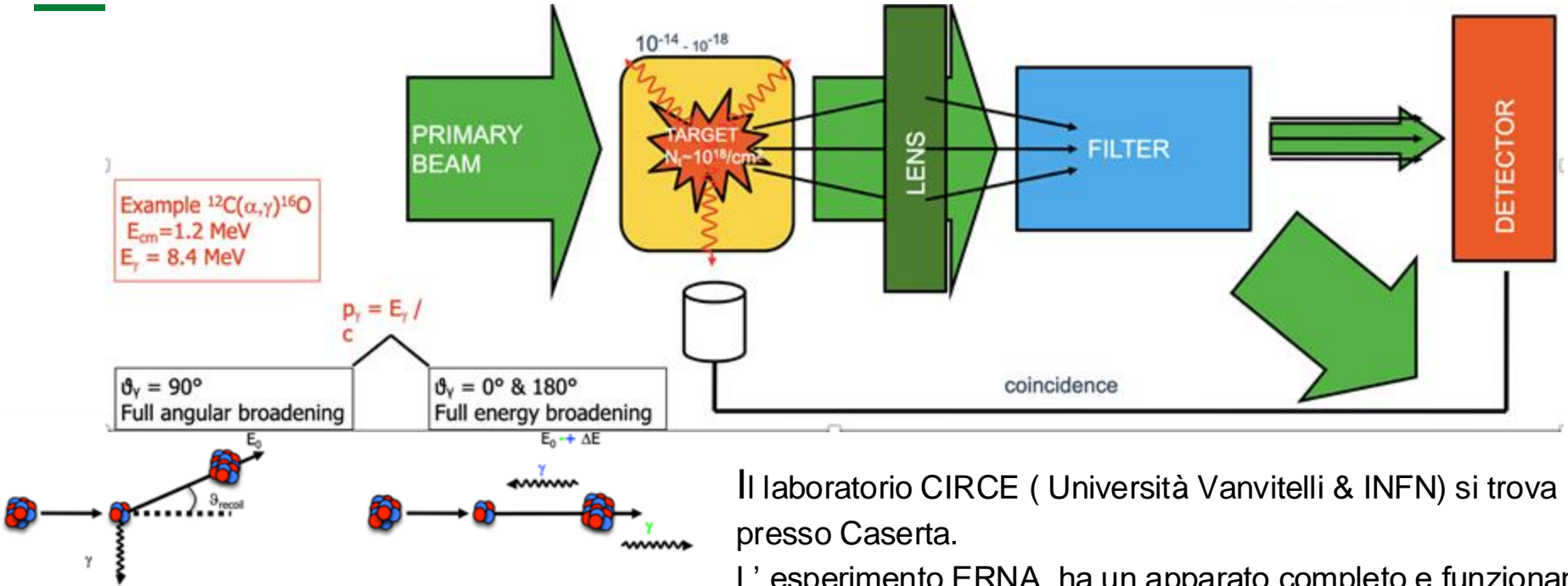
- ${}^6\text{Li}(\alpha, \gamma){}^{10}\text{B}$
- ${}^{15}\text{N}(\alpha, \gamma){}^{19}\text{F}$
- ${}^{12}\text{C}(\alpha, \gamma){}^{16}\text{O}$

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.

Recoil separators for Nuclear Astrophysics



Esperimento ERNA presso il laboratorio CIRCE



Il laboratorio CIRCE (Università Vanvitelli & INFN) si trova presso Caserta.

L' esperimento ERNA ha un apparato completo e funzionante ed è in presa dati.

Disponibilità di tesi con attività sperimentale e di analisi dati.

Responsabile: Prof. C Morone

Consigliato curriculum in Fundamental Interactions

Contatti

- Esperimento ATLAS:
 - Analisi dati: Prof. Cerrito, Prof. De Sanctis, Dr. Vanadia
 - Attività hardware: Prof.ssa Di Ciaccio, Prof. Camarri, Prof. Cardarelli, Dr. Aielli, Dr. ssa Liberti, Dr. Sessa.
- Esperimento LHCb: Prof. Santovetti, Dr. Alessia Satta, Dr. Flavio Archilli
- Esperimento LISA: Prof. Bassan, Dr. Masciantonio
- Esperimento VIRGO: Prof.ssa Fafone, Dr. Lorenzini
- Esperimenti di fisica nucleare presso il JLAB: Prof.ssa D'Angelo, Dr. ssa Lanza
- Esperimento MAMBO: Dott.ssa Fantini
- Esperimento ePIC: Prof.ssa D'Angelo
- Esperimento ERNA: Prof.ssa Morone
- Esperimento FOOT: Prof.ssa Morone
- Esperimento LIMADOU: Prof.ssa Sparvoli
- Esperimenti di fisica passiva presso LNGS (Dark Matter, neutrini, doppio decadimento beta, decadimenti nucleari rari, sviluppo di cristalli scintillatori ultra-radiopuri, bolometri): Dr. Belli, Prof. Caracciolo, Dr. Cerulli
- Esperimento NA62: Dr. Salamon
- Esperimento AMS-02: Dr. Formato
- Esperimento Muon g-2: Dr. Di Sciascio
- Esperimento NUCLEUS: Dr. Cerulli
- Esperimento CUORE_CUPID: Prof. Caracciolo

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,**
- ▶ ...

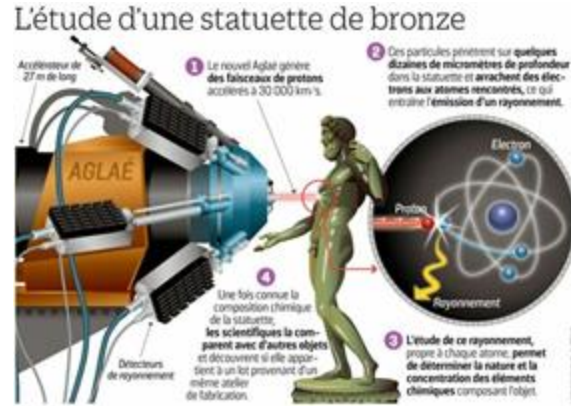
Attività di ricerca nei beni culturali

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.



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**

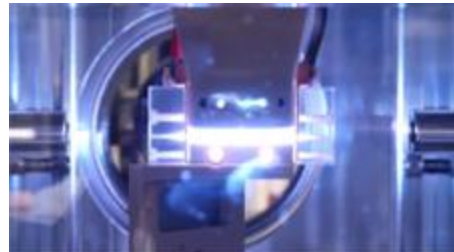
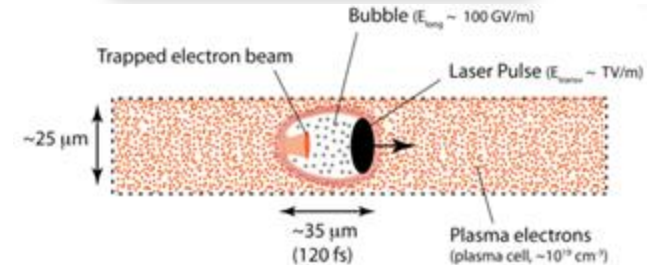
E' un campo vergine, stiamo per costruire il primo acceleratore spinto da plasma della storia.

Contatti:

Prof. Alessandro Cianchi

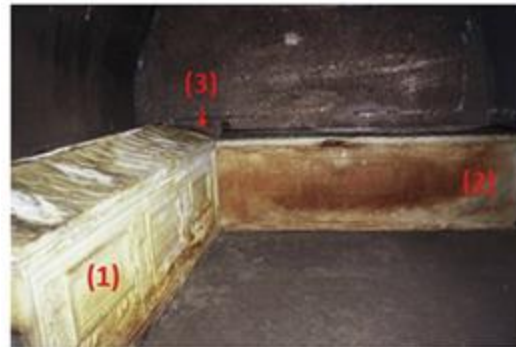
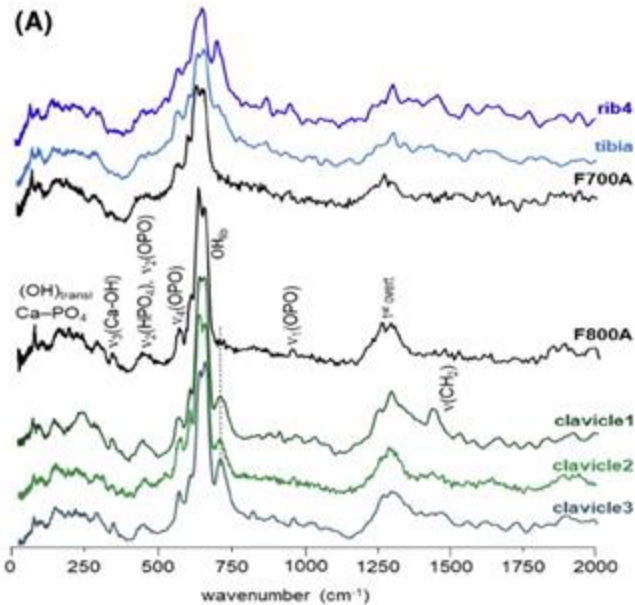
Capillary for plasma acceleration

Table top accelerators



Attività di ricerca nei beni culturali

I neutroni (particelle molto penetranti) possono essere usati per studiare materiali artistici in profondità ed in modo non invasivo.



Linee attive di ricerca (e.g.):

- Sviluppo di strumentazione per la misurazione della radioattività indotta;
- Sviluppo di tecniche di imaging neutronico per riconoscimento di molecole specifiche;
- Collaborazioni con ISIS Neutron and Muon Source (UK)

Contatti:

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

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

Dott. Triestino Minniti

Prof. Roberto Senesi

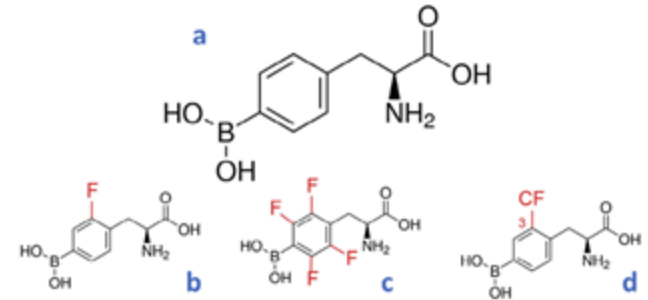
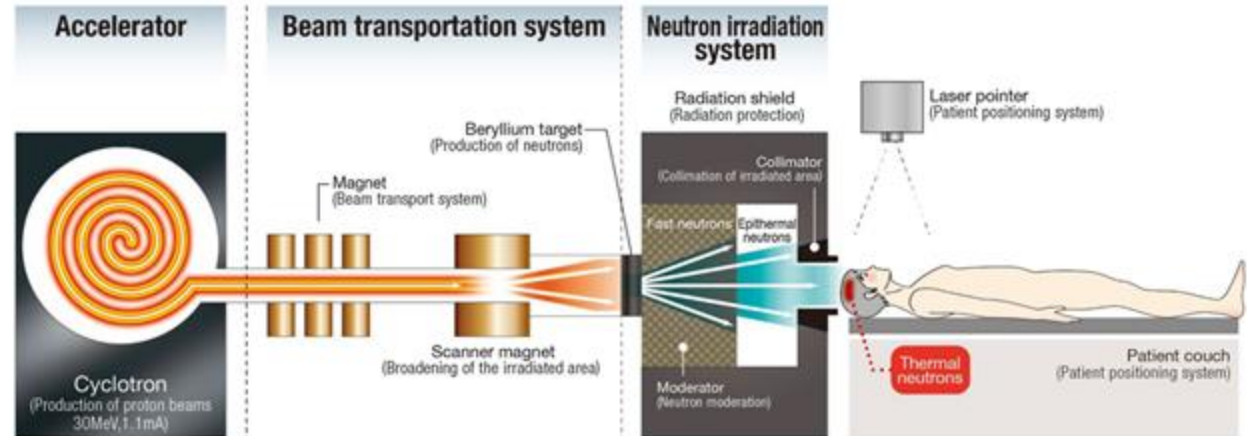


FIGURE 1 Molecular structures of (a) 4-borono-phenylalanine, and its fluorinated analogues with (b) one and (c) four ^{19}F atoms, and with (d) one $^{19}\text{C}^{19}\text{F}_3$ group replacing aromatic hydrogen atoms.



Irraggiamento di elettronica

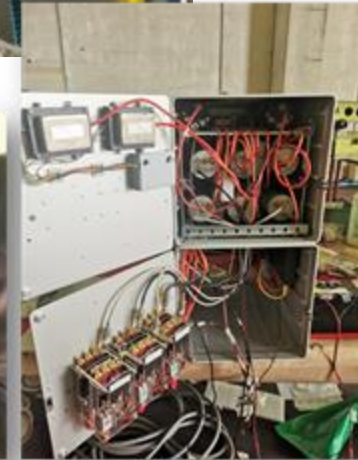
La radiazione ambientale ha una componente neutronica che causa, in dispositivi sempre più piccoli, errori software o rotture hardware.

Linee attive di ricerca (e.g.):

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

Contatti:

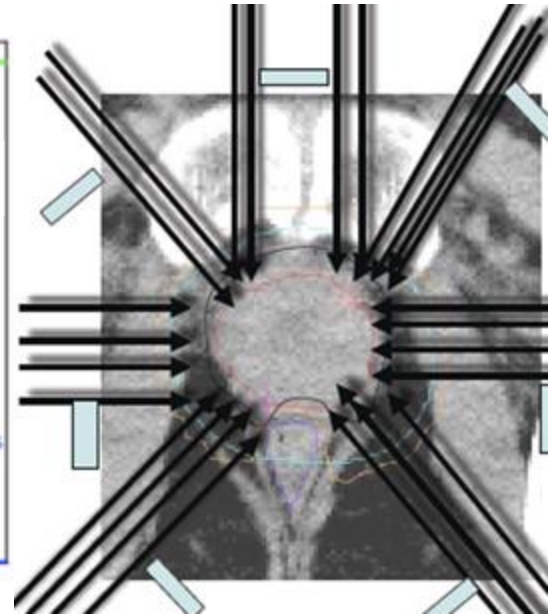
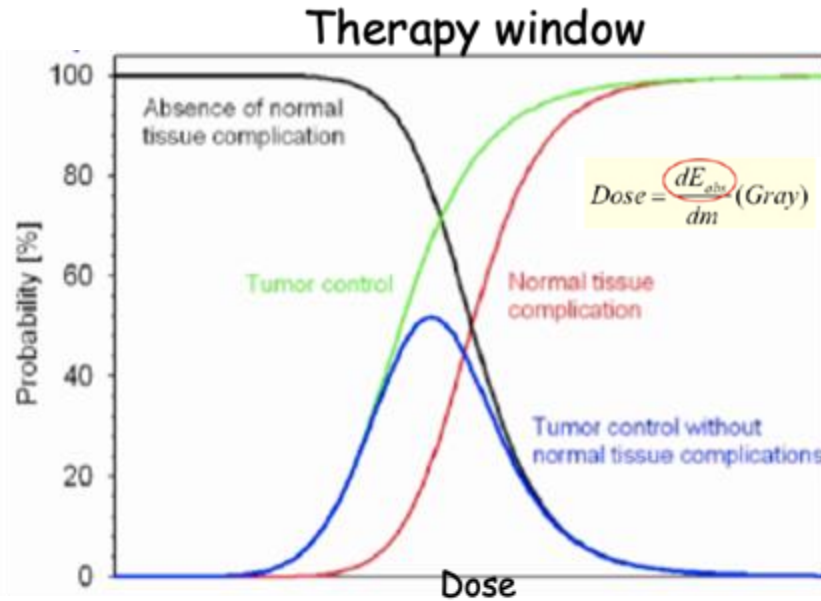
Prof. Roberto Senesi
 prof. Giovanni Romanelli



Radioterapia con fasci esterni



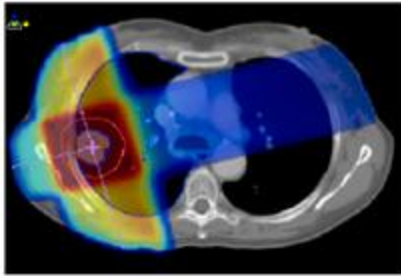
Si bombardano i volumi tumorali con elevate dosi di radiazioni provenienti da acceleratori di particelle, in maniera tale da danneggiare le cellule malate, risparmiando i tessuti sani circostanti.



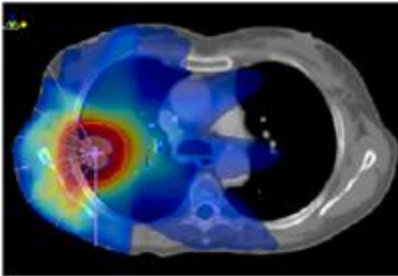
Adroterapia

Bronchial cancer

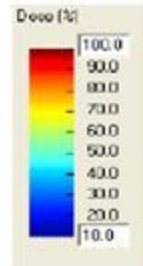
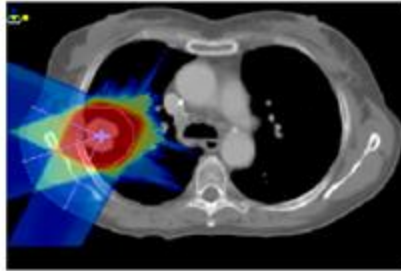
Photons 3 fields



Photons 7 fields



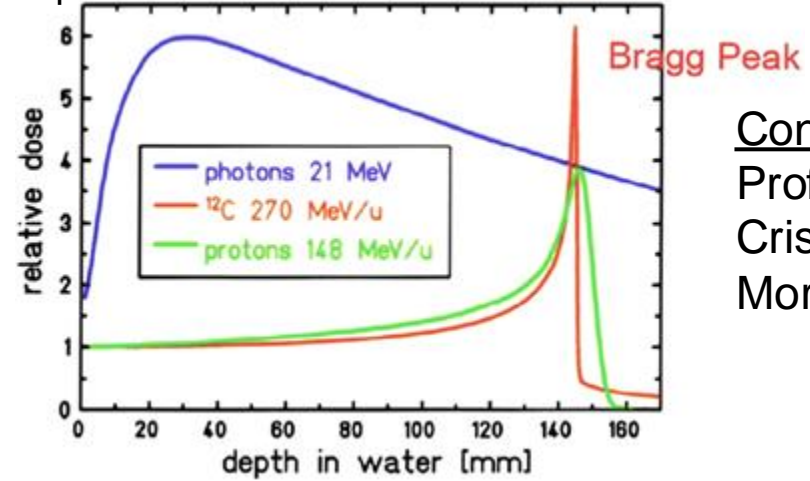
Protons 3 fields



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.

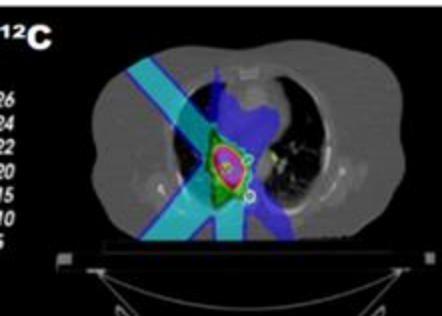
E' una tecnica in forte espansione ma ci sono ancora aspetti fisici da studiare.



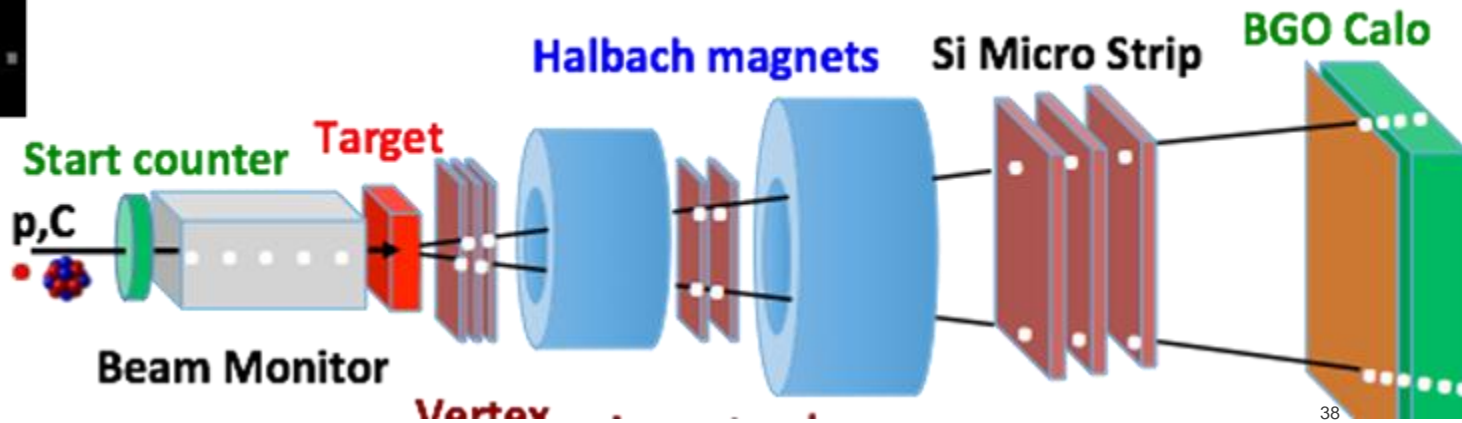
Contatti:
Prof.ssa
Cristina
Morone

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**.

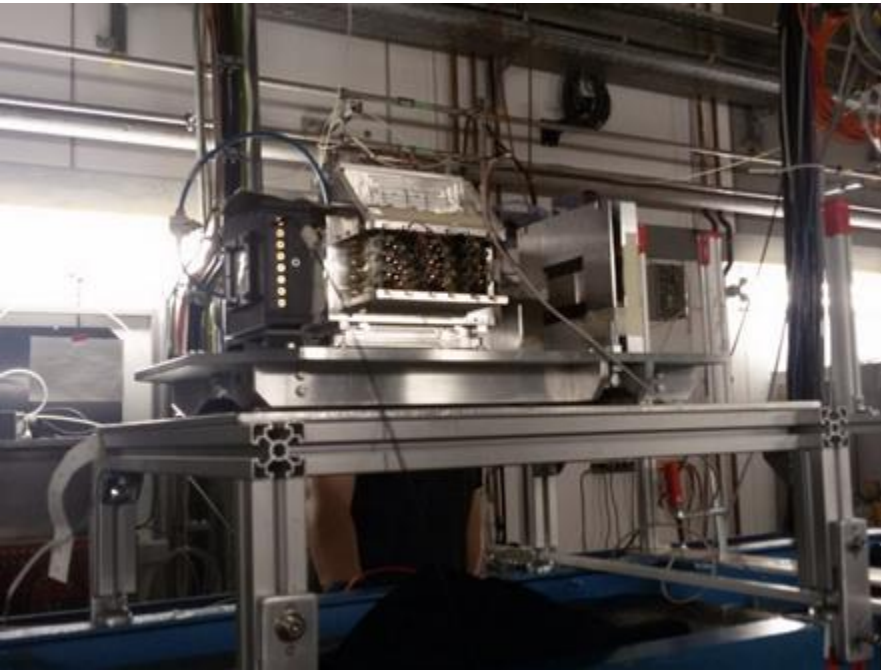


Spacecraft shielding Radio-protection in Space



FOOT

92 Autori, 33 Istituzioni (da Italia, Francia, Germania, Giappone, Cuba, India)



L'attività sperimentale si svolge presso il GSI (Darmstadt) ed il CNAO (Pavia).

Disponibilità di tesi di laurea e dottorato con attività sperimentale e di analisi dati.

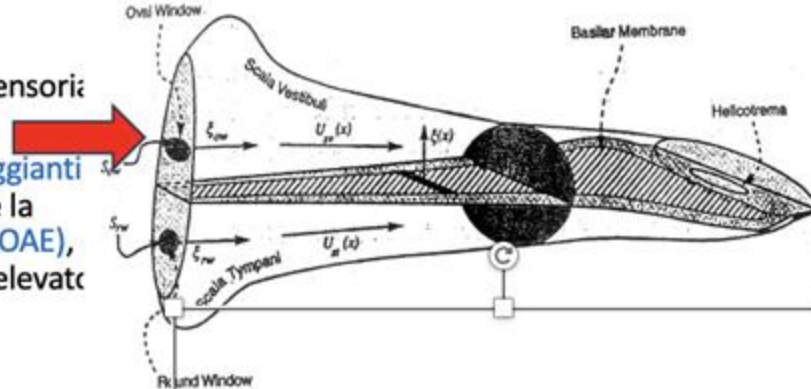
Competenze richieste: programmazione, tool di analisi dati (Root). Consigliato curriculum in fundamental interactions

Responsabile: Prof. Cristina Morone

Temi di ricerca di base

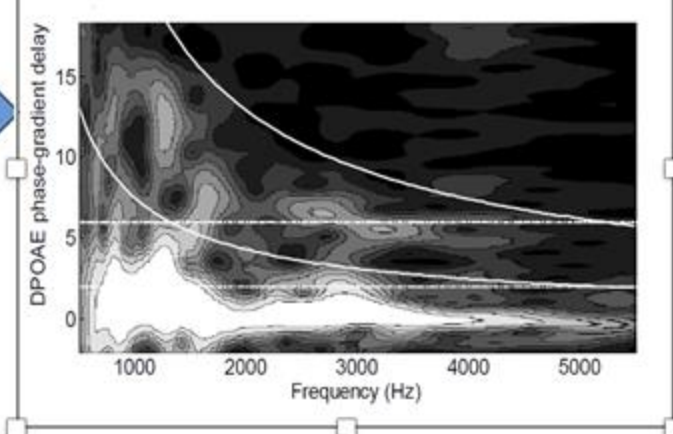
- **Teoria: Meccanica cocleare**

- Modelli **attivi e nonlineari** dell'organo sensoriale dell'udito, la **coclea**,
- Prevedono la propagazione di **onde viaggianti** lungo la coclea, la loro amplificazione, e la generazione di **emissioni otoacustiche (OAE)**, segnali misurabili nel canale uditivo, di elevato valore diagnostico



- **Analisi dei segnali:**

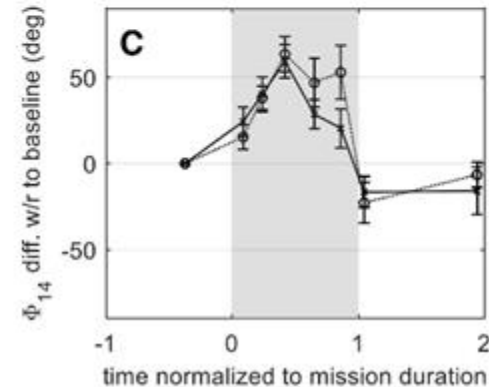
- Tecniche avanzate di filtraggio nel dominio tempo-frequenza basate sulla **trasformata Wavelet**
- Permettono di filtrare il segnale rispettando la simmetria (**invarianza di scala, come il pianoforte**) dettata dalla fisica della coclea
- Migliorano l'interpretazione diagnostica e **aumentano il SNR** delle misure OAE, fino a 10-12 dB)



Applicazioni alla medicina dello spazio

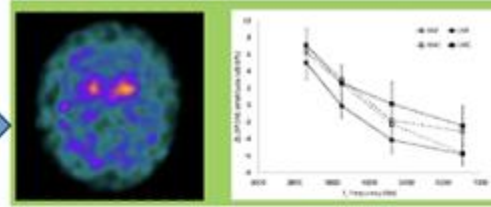
Acoustic Diagnostics: Test OAE degli astronauti della ISS

- Monitor della funzione uditiva e della pressione intracranica (ICP) degli astronauti in **microgravità**: strumento compatto per la misura delle OAE utilizzato dal 2019 al 2023 sulla **ISS** da 5 astronauti
- L'esperimento **Acoustic Diagnostics (ASI)** ha permesso di osservare in modo non invasivo l'incremento di pressione intracranica in microgravità (Moleti et al., JARO, 2024)
- Il prossimo esperimento **HESIOD** utilizzerà sulla ISS un nuovo sistema ottimizzato per la misura di ICP (coll. con INAIL, Univ. Southern California, ALTEC, AM)



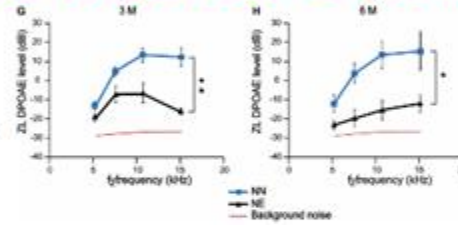
Diagnosi della malattia di Parkinson

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



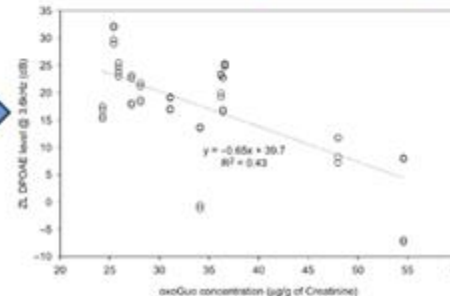
Esposizione a rumore e a sostanze ototossiche (cavie)

- Effetti sulle OAE dell'invecchiamento e dell'esposizione a sostanze ototossiche
- Stirene, nanoparticelle (ZnO)



Esposizione a rumore e sostanze ototossiche (umani)

- Esposizione di lavoratori a solventi organici, correlazione con indicatori quantitativi di esposizione e di stress ossidativo
- Esposizione ambientale pre- e post-natale a policlorobifenili



Chi siamo

- **Gruppo di ricerca locale:**

- Arturo Moleti, Triestino Minniti, Yoshita Sharma (Dip. Fisica Tor Vergata)
- Renata Sisto, Filippo Sanjust, Teresa Botti, Luigi Cerini (INAIL Ricerca, Monte Porzio Catone)

- **Collaborazioni principali:**

- University of Southern California: C.A.Shera, A.Altoè
- NW University, Illinois: S.Dhar, U.Wilson
- University of Austin, Texas: S.Mishra
- Slovak University Bratislava: T.Trnovec
- Univ. Napoli e Univ. Cattolica Roma: A.M.Fetoni, C.Grassi
- Policlinico Roma TV: A.Stefani, L.Campagnolo, A.Magrini
- Politecnico di Milano: G.Tognola
- Aziende aerospaziali: ALTEC, Telespazio, Leonardo
- Agenzie Spaziali: ASI, ESA, NASA

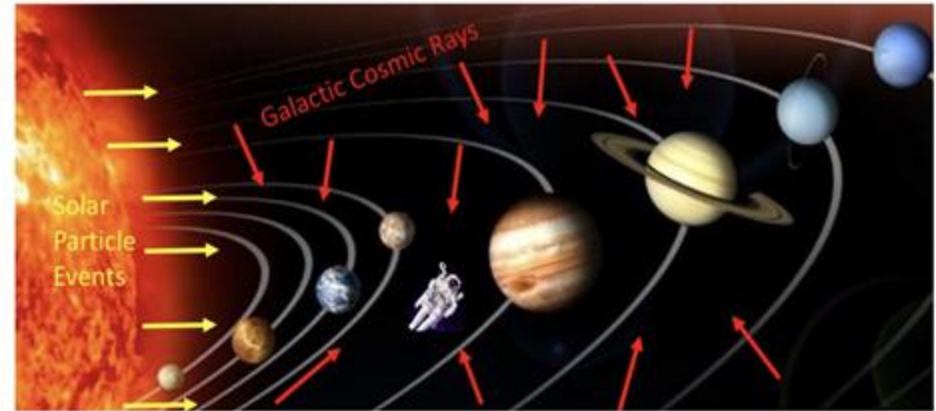
Radiazione e esplorazione umana nello spazio

La radiazione cosmica e il suo impatto sull'uomo nei viaggi spaziali

- Modelli e misure della radiazione in un ambiente spaziale

Detectors, contromisure e stima del rischio

- Detectors al silicio, detectors innovativi
- Sistemi di tempo di volo
- Analisi avanzate anche utilizzando A.I.
- Contromisure fisiche
- Parametri per la stima del rischio



*Informazioni:
Prof. Livio Narici
narici@roma2.infn.it*

Esperimenti in corso

- Misure (prima con ALTEA oggi con LIDAL, entrambi progettati a Tor Vergata) della radiazione nella Stazione Spaziale Internazionale con tecniche innovative
- Misure con detector innovativi (IRIS)
- Confronti con detector NASA e DLR (DORELI)
- Sviluppo DataBase Open Science NASA (RadLab)

Analisi innovative per lo studio della radiazione nella International Space Station

→ utilizzando il primo (e ad oggi unico) detector (LIDAL) in grado di misurare il tempo di volo degli ioni in un ambiente abitato spaziale

Sistemi di allarme 'intelligenti' per mitigare gli effetti degli eventi solari sugli astronauti

→ Sistemi di monitoraggio ('now-casting': monitoraggio a tempi brevi) per generare allarmi atti a minimizzare il rischio dovuto alle esposizioni alle 'Solar Particle Events (SPEs)



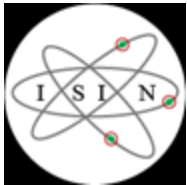
*Informazioni:
Prof. Livio Narici
narici@roma2.infn.it*

Sbocchi professionali



INAIL

ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



Ispettorato Nazionale per
la Sicurezza Nucleare e
la Radioprotezione

► Impiego presso Università, Enti di ricerca e Istituzioni nazionali e internazionali.

2 percorsi professionali principali, tramite formazione post lauream:

- 1) Esperto di Radioprotezione
- 2) Specialista in Fisica Medica

+

Tecnico e addetto sicurezza laser

Esperto responsabile sicurezza in Risonanza Magnetica

Esperto rischi Campi Elettromagnetici

Sbocchi professionali:

Ospedali, Aziende Sanitarie, Imprese presso le quali si svolgono pratiche connesse con radiazione ionizzante.

Attività professionale privata

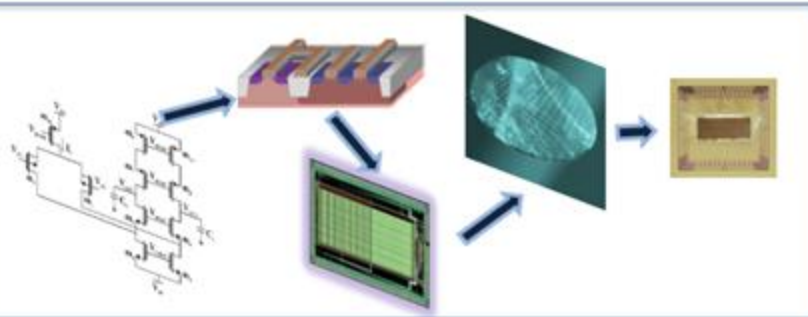
Elettronica e Cibernetica

L'area di ricerca è dedicata alla progettazione di circuiti elettronici analogici e digitali integrati su silicio, impiegati negli esperimenti di Fisica:

- front-end di rivelatori per esperimenti di fisica nucleare, delle particelle e delle astro-particelle
- schede di trigger ed acquisizione dati per esperimenti di fisica delle alte energie
- applicazioni multidisciplinari, mirate allo studio di modelli ed implementazioni in hardware degli stessi (es. Hardware neuromorfo, FPGA)

Progettazione VLSI

Intero flusso di progettazione dallo schematico, passando per le simulazioni, fino alla realizzazione dei layout. Dispositivi MOSFET - Circuiti analogici e digitali. *Standard cells* e dispositivi *custom*.



Possibilità di tesi in esperimenti INFN in ambito della Fisica sperimentale, di rivelazione di particelle, radiazioni, di astroparticelle ed interdisciplinare.

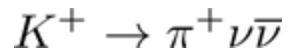
Contatti: Davide Badoni davide.badoni@roma2.infn.it

L'ELETTRONICA NEGLI ESPERIMENTI DI FISICA DELLE ALTE ENERGIE

UN ESEMPIO: NA62 AL CERN

Misure di precisione di eventi rari da selezionare all'interno di una enorme mole di dati in modo veloce ed affidabile

Esempio: decadimento **ultra-raro**



$$BR_{SM}(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (8.4 \pm 1.0) 10^{-11}$$

con una precisione O(10%)

Un ago nel pagliaio!

Contatti:
Roberto Ammendola
ro@infn.it



IL TRIGGER IDENTIFICA I FOTONI NEL CALORIMETRO A KRYPTON LIQUIDO PROGETTATO E COSTRUITO A TOR VERGATA IN COLLABORAZIONE CON ALTRE SEZIONI INFN E CON IL CERN



70 deserializer cards
(collaborazione con INFN Pg)



50 TX card
(2 x 3.4 Gbps per scheda)



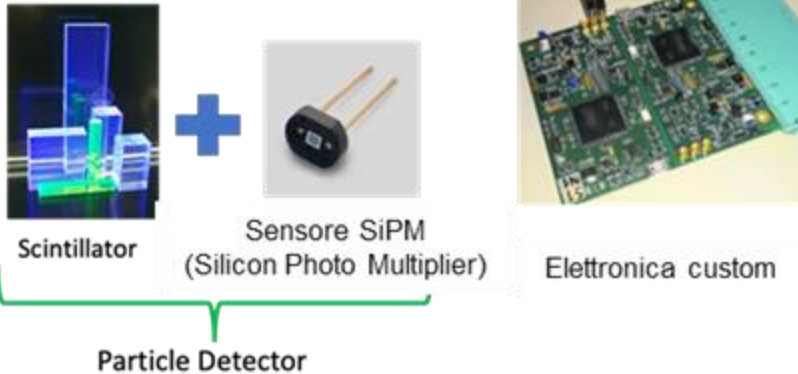
26 RX cards
(4 x 3.4 Gbps per scheda)

Studio di nuovi algoritmi di trigger e readout per esperimenti di fisica delle alte energie

Electronica e Microelettronica

Un esempio: l'esperimento

LITE – SLPD (Lightweight Integrated Technology for Space Luminoscence and Particle Detection)
 (INFN Roma1 & INFN Roma Tor Vergata)



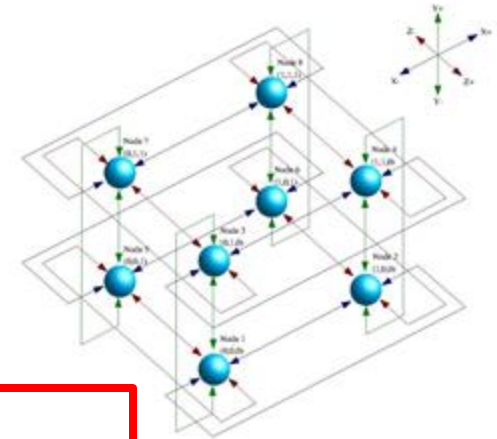
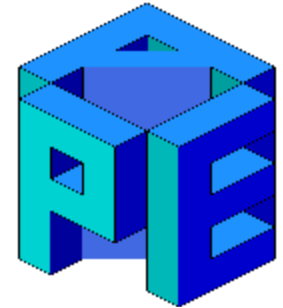
Impieghi nei sistemi cubesat e picosatelliti in fase di sviluppo, come parte integrante della strumentazione di bordo e offrendo una **piattaforma configurabile** per lo sviluppo di esperimenti scientifici possibili su singolo satellite o su costellazioni, testando il sistema tramite l'uso di palloni stratosferici.



Contatti: Davide Badoni davide.badoni@roma2.infn.it

RICERCA E SVILUPPO LABORATORIO APE

- Attività di ricerca sul Supercalcolo, Sistemi Complessi, Big Data & AI
- Sviluppi di elettronica digitale per la fisica sperimentale e computazionale:
 - Reti di interconnessione per il supercalcolo;
 - Signal & Data Processing;
 - Sistemi di Trigger & Data Acquisition.
- Collaborazioni con progetti INFN:
 - BRAINSTAIN: modellizzazione e sviluppo di reti neurali spiking su logiche programmabili;
 - PBR: progettazione e sviluppo del DAQ della Cherenkov Camera;
 - EPIC: DAQ per gli Endcap Trackers e online data reduction per il dRICH.
- Tesi di laurea/dottorato
- Tesine

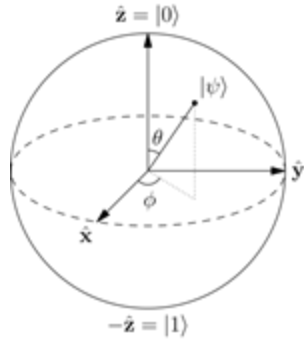


Contatti:

Gaetano Salina: gaetano.salina@roma2.infn.it

Roberto Ammendola: ro@infn.it

TECNOLOGIE QUANTISTICHE: QUANTUM INFORMATION WITH PHOTONS



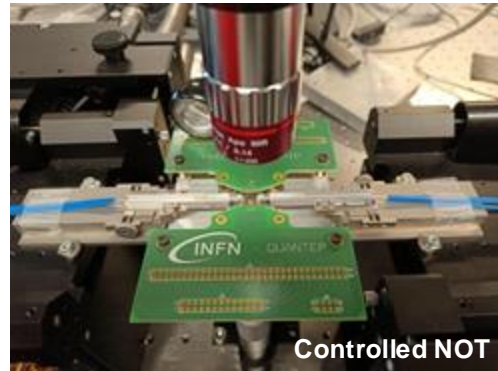
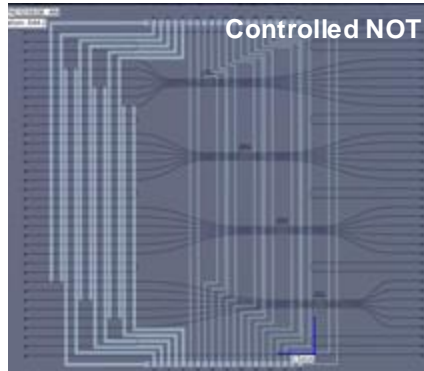
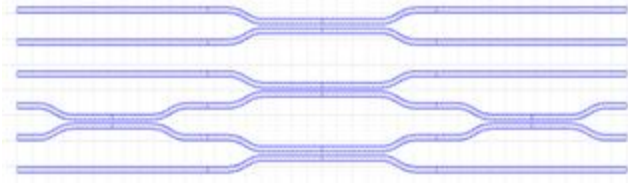
$$|\psi\rangle = \cos \frac{\theta}{2} |0\rangle + e^{i\phi} \sin \frac{\theta}{2} |1\rangle$$

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

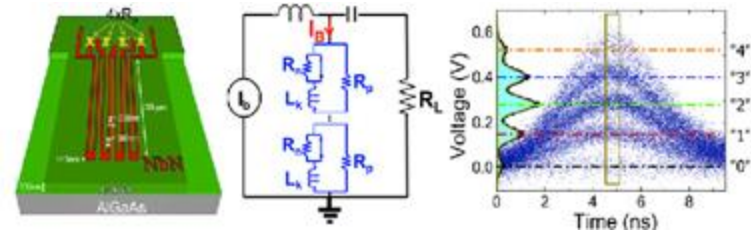
- Fotonica integrata (SOI, SiN, LiNbO3)
- Quantum Computing (with Linear Optics)
- Quantum Key Distribution
- Single Photon Detector (Bi2Se3)
- Photon Number Resolving Detector (NbN)



Controlled NOT



Superconductive Photon Number Resolving Detectors



Contatti

andrea.salamon@roma2.infn.it

fabio.dematteis@roma2.infn.it

matteo.salvato@roma2.infn.it

COMPETENZE E PROSPETTIVE LAVORATIVE PER I LAUREATI IN ELETTRONICA E CIBERNETICA

- **Corsi caratterizzanti tenuti:**
 - Obbligatoria: Cibernetica, Laboratorio di Elettronica, Elettronica 1
 - Machine Learning Methods for Physics (Buzzicotti, Salina)
 - Microelettronica (Davide Badoni)
 - Introduzione alle Tecnologie Quantistiche (Andrea Salamon)
 - Introduzione all'Ottica Quantistica (Fabio De Matteis)
 - Elettronica Digitale (Roberto Ammendola)
 - Elettronica 2 (Giulio Aielli)
- **Competenze:** sviluppo di sistemi, progettazione di circuiti stampati (PCB), logiche programmabili (FPGA), microelettronica, fotonica, sviluppo software ad ampio spettro (analisi, algoritmi, ML, ...)
- **Prospettive lavorative:** università ed enti di ricerca sia in Italia (INFN, INAF, CNR, ASI, ecc) che all'estero (CERN, ESA, ecc)
- **Prospettive lavorative:** industria (elettronica digitale ed analogica, telecomunicazioni, informatica, aerospaziale, ecc ecc) sia in Italia che all'estero.
- **Esempi:** CAEN, Elettronica Spa, Leonardo, Thales Alenia Space, Bombardier, Capgemini, Alten, RINA, Rheinmetall, NEAT, ...

Scuola di Specializzazione in Fisica Medica

*Il Fisico Medico è una **figura professionale specializzata nell'applicazione dei principi della fisica alla medicina in ambiti sia diagnostico, sia terapeutico in stretto contatto con il professionista sanitario.***

- **Diagnostica per immagini** (radiologia, risonanza magnetica, medicina nucleare)
 - Responsabilità delle apparecchiature **ad elevato contenuto tecnologico**, collaudo, revisione.
 - Controllo di qualità delle apparecchiature di **diagnostica**, dei **prodotti marcati** e dei **generatori di isotopi radioattivi**.
 - Collabora alla **messa a punto degli esami scintigrafici morfologici e funzionali**.
- **Radioterapia** (pianificazione del trattamento radiante in oncologia, dosimetria, ottimizzazione della dose)
 - **Responsabilità** degli aspetti fisico-dosimetrici relativi al trattamento radiante.
- **Radioprotezione** (sicurezza del paziente e dell'operatore, normative, controlli di qualità)
 - Risponde della organizzazione della **sorveglianza fisica della radioprotezione** per garantire la **sicurezza degli operatori, della popolazione e dei pazienti** (agli organi critici, o all'embrione)
- **Medicina Nucleare**
 - (metodi di misurazione e dalle tecniche di spettrometria, **PET, SPECT gamma camere**, tecniche avanzate di imaging ibrido come PET/CT e PET/RM, **terapia radiometabolica**)



Opportunita' Professionali: inquadrato come Dirigente Fisico (eq. Dirigente Medico -> direttore di UOC etc.)

•Ospedali e Aziende Sanitarie

Supporto alla diagnostica per immagini, ottimizzazione delle dosi radiologiche e protezione del paziente, pianificazione e verifica dei trattamenti radioterapici, controlli di qualità su apparecchiature medicali.

•Centri di Ricerca e IRCSS

Sviluppo di nuove tecnologie per imaging e radioterapia, ricerca in dosimetria e radioprotezione, intelligenza artificiale applicata alla medicina.

•Industria Biomedica e Tecnologica

Progettazione e testing di dispositivi medici, sviluppo di algoritmi per l'elaborazione di immagini e ottimizzazione della dose, validazione di nuove tecniche diagnostiche e terapeutiche.

•Agenzie di Controllo e Organismi Regulatori

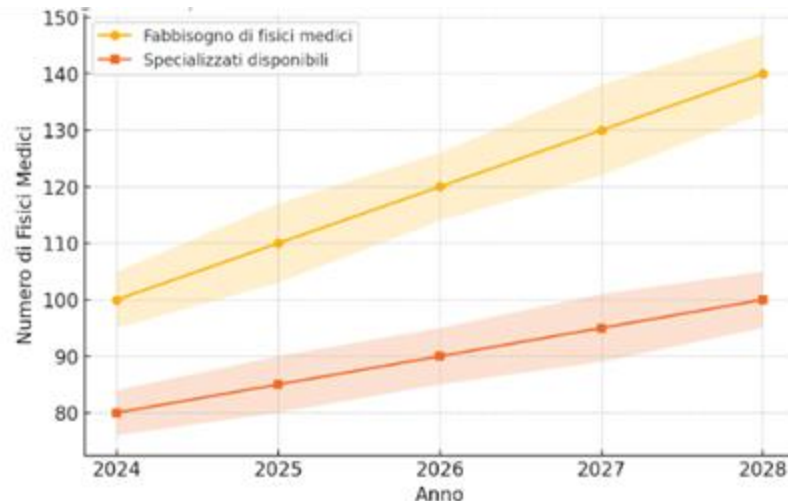
ISS, INAIL, ARPA, Ministero della Salute, implementazione e controllo delle normative di radioprotezione, certificazione e regolamentazione delle apparecchiature radiologiche.

Prof. Nicola Toschi

nicola.toschi@uniroma2.eu

+ 39 06 7260 6393

Fabbisogno Annuo vs. Offerta



Scuola di Specializzazione in Fisica Medica

Rete formativa



<https://fismed.uniroma2.it/>
<https://ssfm.uniroma2.it/>

41
Anni della Scuola

200+
Specializzati

50+
Docenti

100%
Studenti occupati

10+

Strutture convenzionate



Bambino Gesù
OSPEDALE PEDIATRICO

ENEA
INMRI

INAIL

Percorso di 3 anni
20% frontale
80% Tirocino in rete formative
con tutor dirigente fisico

BACKUP SLIDES PER FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

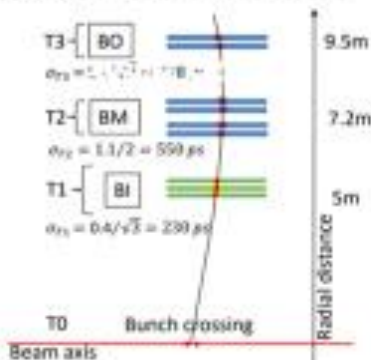
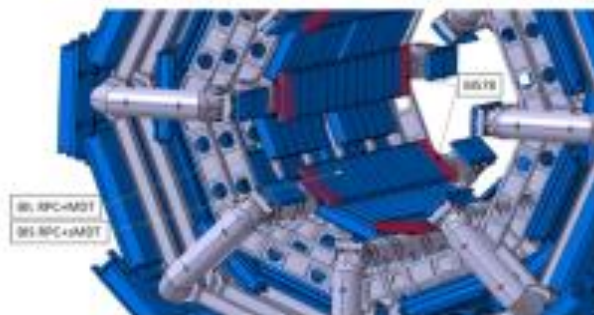
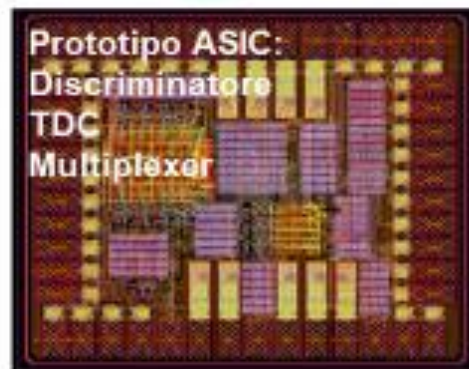
I RIVELATORI DI PARTICELLE NELLA FISICA DELLE ALTE ENERGIE

I RIVELATORI RPC (ESPERIMENTO ATLAS AL CERN)

Il gruppo ATLAS è leader della collaborazione internazionale che sta sviluppando i nuovi rivelatori RPC per l'upgrade dello spettrometro muonico in vista delle performance di High Luminosity-LHC.

Incarichi all'interno della collaborazione:

- **Progettazione e test di nuovi rivelatori RPC con elettrodi e gap sottili**
- **Sviluppo della nuova elettronica di Front End e del nuovo Time to Digital Converter (TDC) implementato su tecnologia ASIC**
- **Sviluppo della scheda Data Collector and Transmitter DCT**



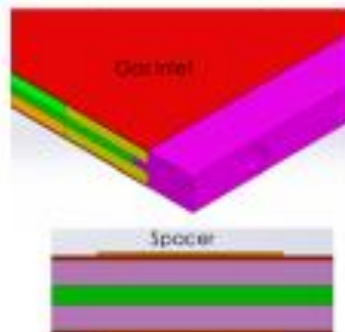
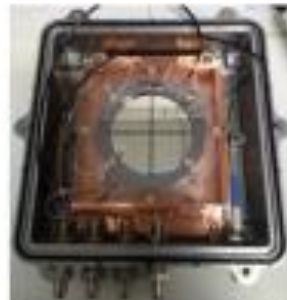
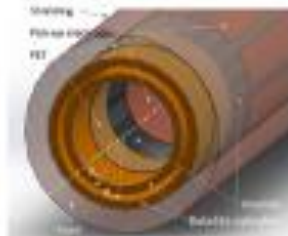
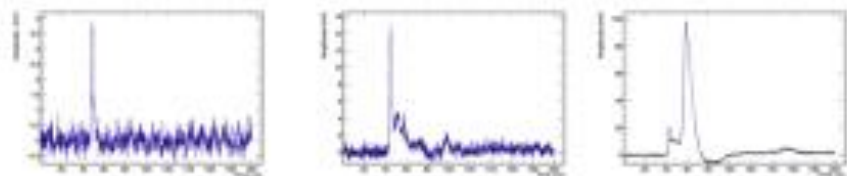
SVILUPPO DI RIVELATORI A GAS PER LA FISICA DELLE ALTE ENERGIE (RESISTIVE PLATE CHAMBERS E OLTRE)

L'attività di ricerca e sviluppo di nuovi rivelatori a gas avanza su due binari paralleli:

- Progettazione e certificazione di rivelatori di grandi dimensioni da installare nell'esperimento ATLAS
- Progettazione e caratterizzazione di nuovi rivelatori a gas per future applicazioni

Flusso di lavoro:

1. Progettazione elettromeccanica del rivelatore
2. Costruzione
3. Analisi della curva tensione – corrente
4. Analisi delle forme d'onda prodotte dal passaggio raggi cosmici
5. Caratterizzazione completa su fascio di particelle (efficienza, risoluzione temporale, cluster size, ...)
6. Studio di nuove miscele di gas



MICROELETTRONICA

Docente riferimento Dr. Davide Badoni – email davide.badoni@roma2.infn.it

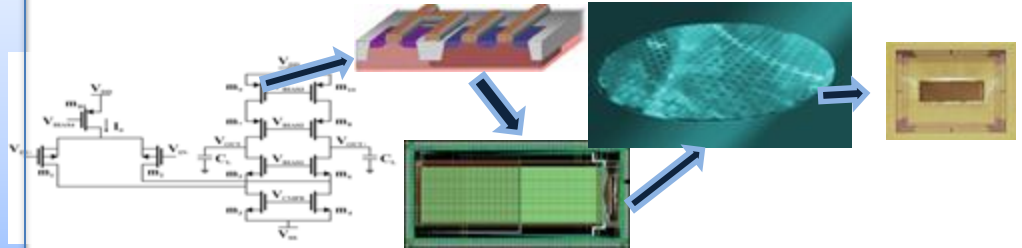
L'insegnamento si propone di fornire le conoscenze di base necessarie per la progettazione di circuiti elettronici analogici integrati su silicio mirate prevalentemente alla capacità di saper definire e progettare sistemi analogici impiegati negli esperimenti di Fisica

Esempi applicativi:

- ✓ *Front-end di rivelatori per esperimenti di fisica delle particelle elementari e delle astro particelle*
- ✓ *Multidisciplinare, mirata allo studio di modelli ed implementazione in hardware degli stessi (es. hardware neuromorfo)*

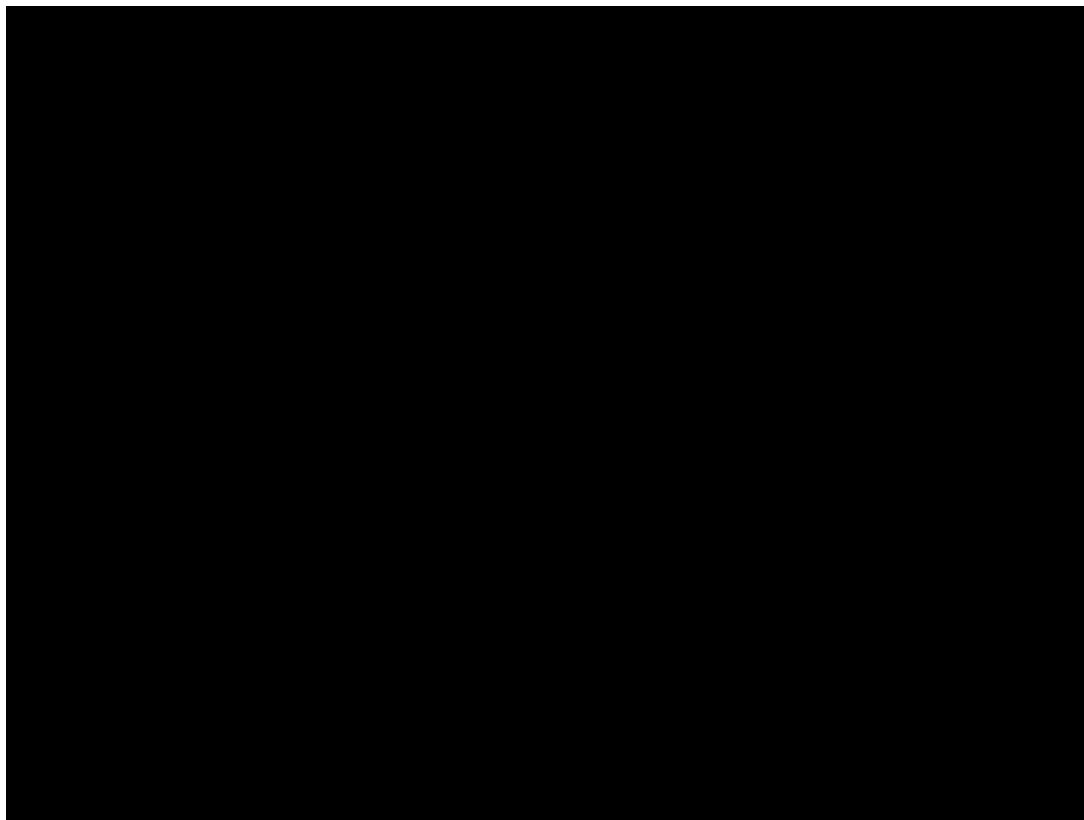
Progettazione VLSI

Intero flusso di progettazione dallo schematico, passando per le simulazioni, fino alla realizzazione dei layout. Dispositivi MOSFET - Circuiti analogici e digitali. *Standard cells* e dispositivi *custom*.



Possibilità di tesi in esperimenti INFN in ambito della Fisica sperimentale, di rivelazione di particelle, radiazioni, di astroparticelle ed interdisciplinare.

Esperienza di una vostra ex collega



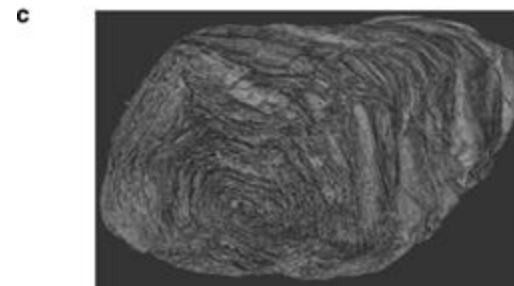
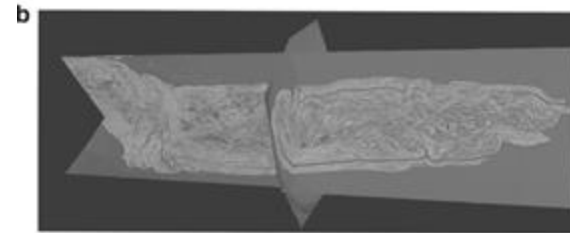
Virtual enrolling

La villa dei papiri fu ritrovata ad Ercolano nella metà del XVIII secolo.

Sono la produzione di Filodemo di Gadara

I papiri erano illeggibili e il tentativo di aprirli portava alla loro distruzione

Esposti alla luce dei raggi X di una sorgente di Sincrotrone, tramite tomografia e con una tecnica, chiamata contrasto di fase, è possibile andare ad estrarre il singolo foglietto e a ricostruire il testo dei papiri



Fisica Medica

Attività di ricerca: tecniche e metodi fisici per la protezione dalle radiazioni , dagli agenti fisici, sviluppo di metodi e strumenti per la medicina

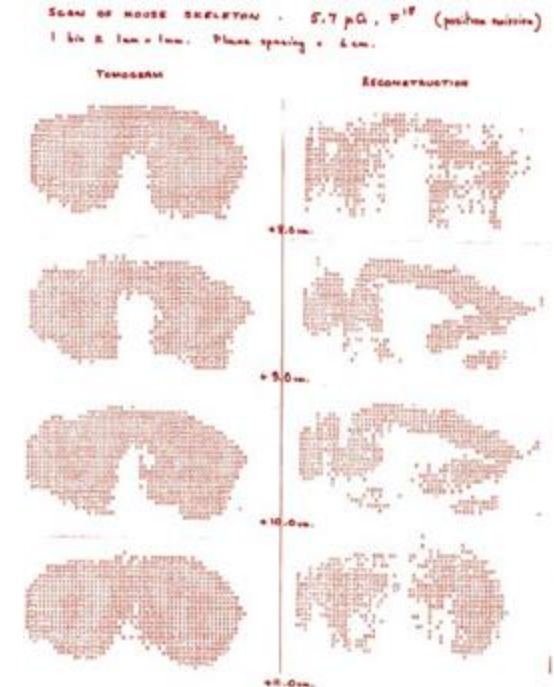
Tecniche atomiche e nucleari, radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, dispositivi, per protezione da agenti fisici, radiazioni e per la medicina

Modellizzazione numerica dei codici delle interazioni radiazione materia

Modelli del corpo umano esposto a radiazioni ionizzanti

Diagnostica non invasiva della fisiologia umana nello spazio

Esperimenti sulla stazione spaziale

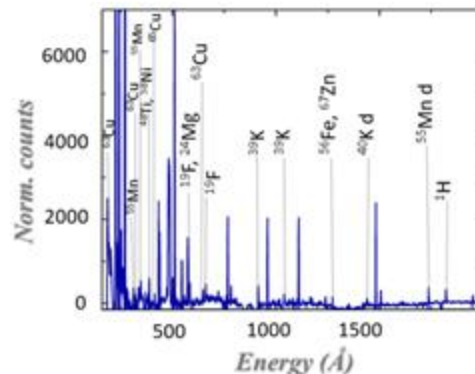


The first PET image taken at CERN, in 1977, showing the skeleton of a mouse. Unlike a modern-day image, this one is truly digital – it is composed of numbers. Each number indicates how much of the isotope has been emitted at each point. (Image: CERN)

Attività di ricerca nei beni culturali

I neutroni (particelle molto penetranti) possono essere usati per studiare materiali artistici in profondità ed in modo non invasivo.

I neutroni possono indurre radioattività artificiale per misurare elementi in piccole quantità in materiali artistici



Linee attive di ricerca (e.g.):

- Sviluppo di strumentazione per la misurazione della radioattività indotta;
- Sviluppo di tecniche di imaging neutronico per riconoscimento di molecole specifiche;
- Collaborazioni con ISIS Neutron and Muon Source (UK)

Contatti:

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