



UNIVERSITÀ  
DI PAVIA

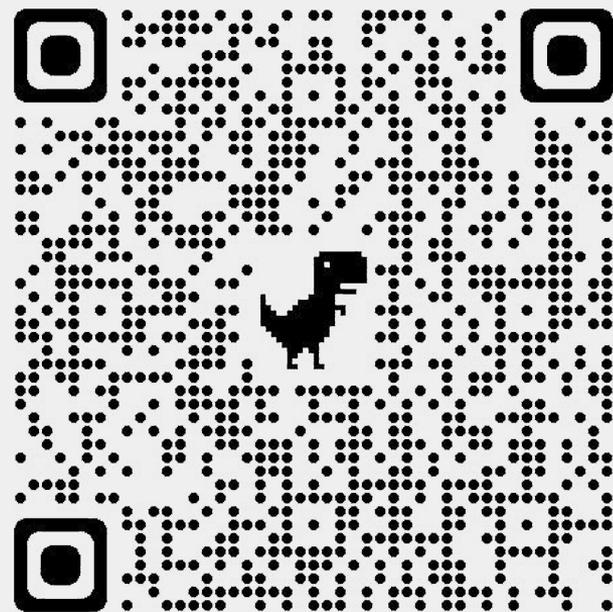
# Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare

Mario Pelliccioni, a nome dell'area

Pavia, 19 Maggio 2025

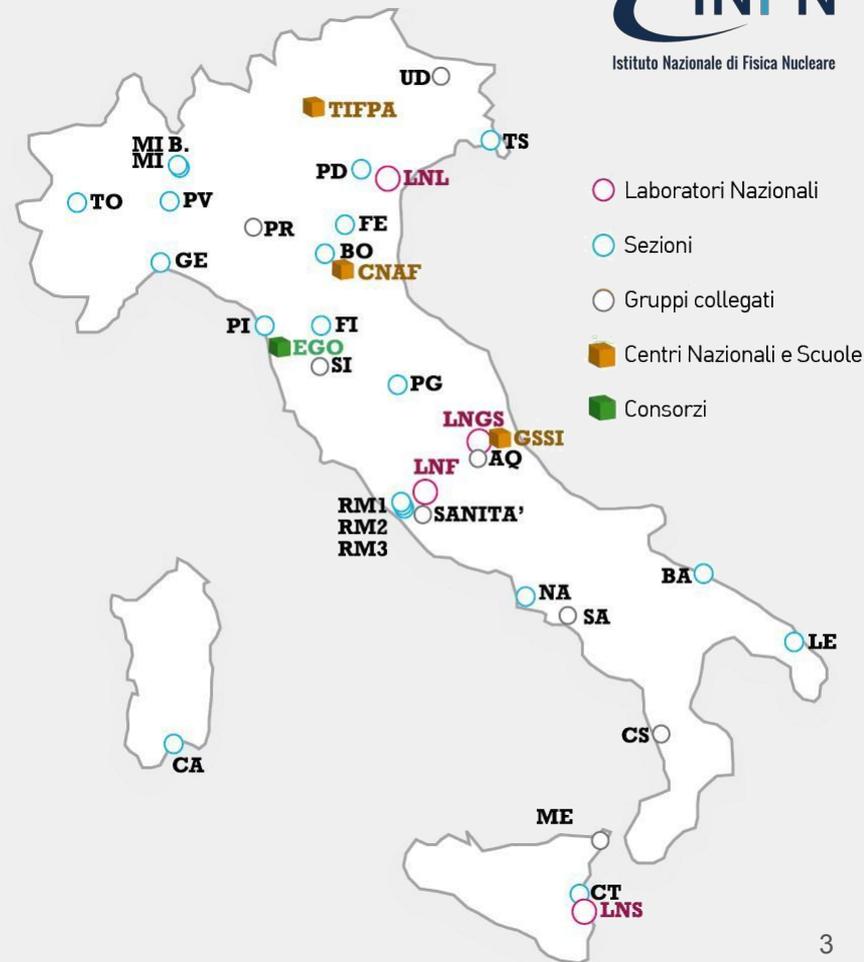
# Interazioni fondamentali

- Fisica sperimentale delle Interazioni Fondamentali [\[link\]](#)
- Studi delle proprietà
  - dei nuclei atomici: **Fisica Nucleare**
  - delle particelle: **Fisica Subnucleare**
- Inoltre
  - astrofisica, fisica spaziale e applicata
- A Pavia circa 70 persone coinvolte
  - Con ingegneria e Brescia e Bergamo



# Attività di ricerca

- In collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
  - Ente pubblico di ricerca
  - Finanzia ricerca nel settore
  - Sezioni nelle maggiori Università
- **Sinergia** tra DF e INFN
  - Universitari integrati nelle attività e nei ruoli INFN
  - Ricercatori INFN con incarichi didattici in università



# Attività di ricerca

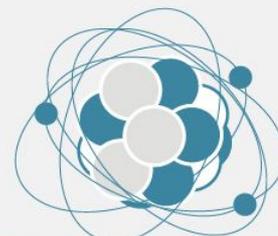
- In collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
  - Ente pubblico di ricerca
  - Finanzia ricerca nel settore
  - Sezioni nelle maggiori Università
- **Sinergia** tra DF e INFN
  - Universitari integrati nelle attività e nei ruoli INFN
  - Ricercatori INFN con incarichi didattici in università



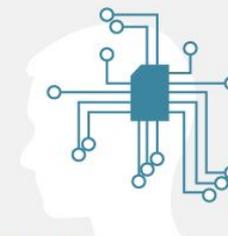
**CSN1**  
Fisica delle  
**Particelle**



**CSN2**  
Fisica delle  
**Astroparticelle**



**CSN3**  
Fisica  
**Nucleare**



**CSN5**  
Ricerca  
**Tecnologica**

# Collaborazioni in essere

- CERN, Ginevra
- FermiLab, Chicago
- BNL, Brookhaven
- PSI, Zurigo (CH)
- RAL, Didcot (UK)
- MAInz Microtron, Mainz (D)
- Laboratori INFN di Frascati, Legnaro e Gran Sasso
- IHEP per CepC, Cina
- Lab. di Energia Nucleare Applicata



Science & Technology  
Facilities Council



# Collaborazioni in essere

FERMILAB



BNL

RAL



CERN



MAMI

PSI

LNL

LNGS

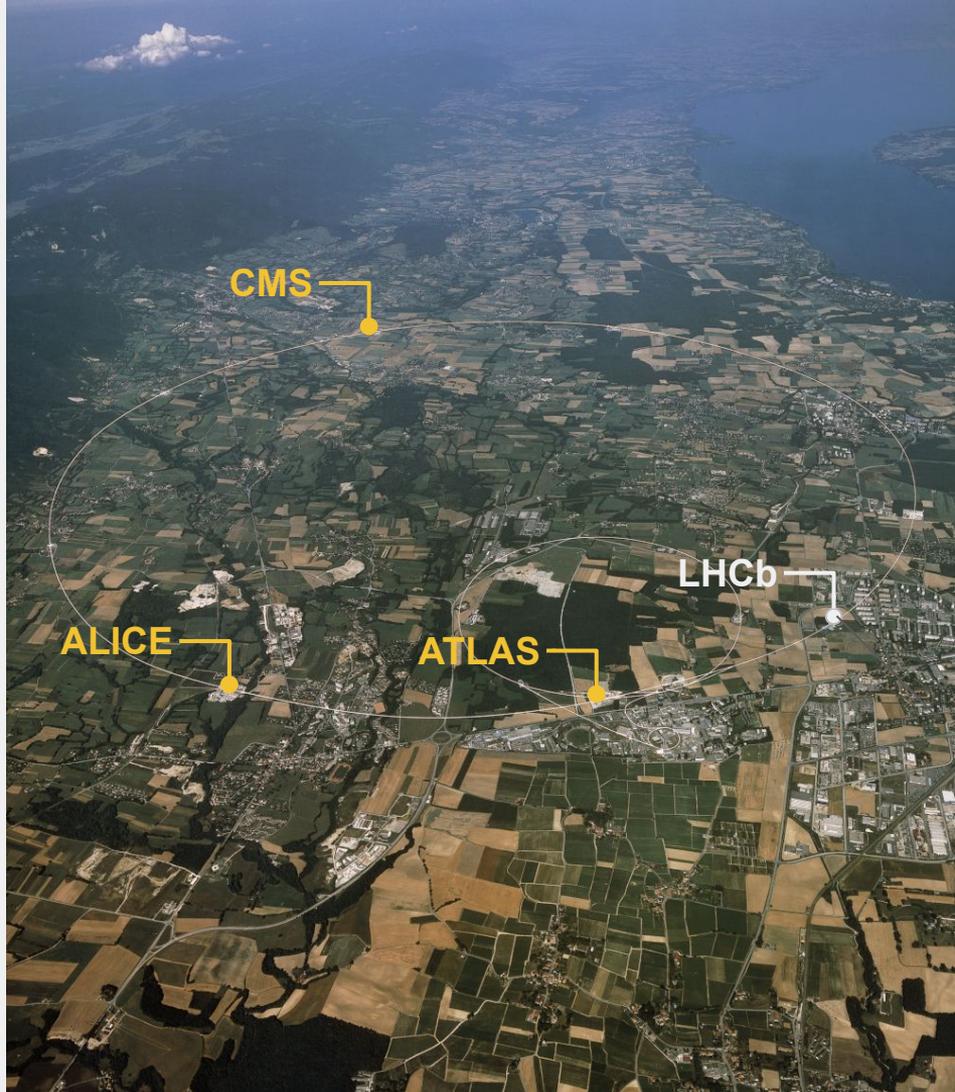
LNF

IHEP



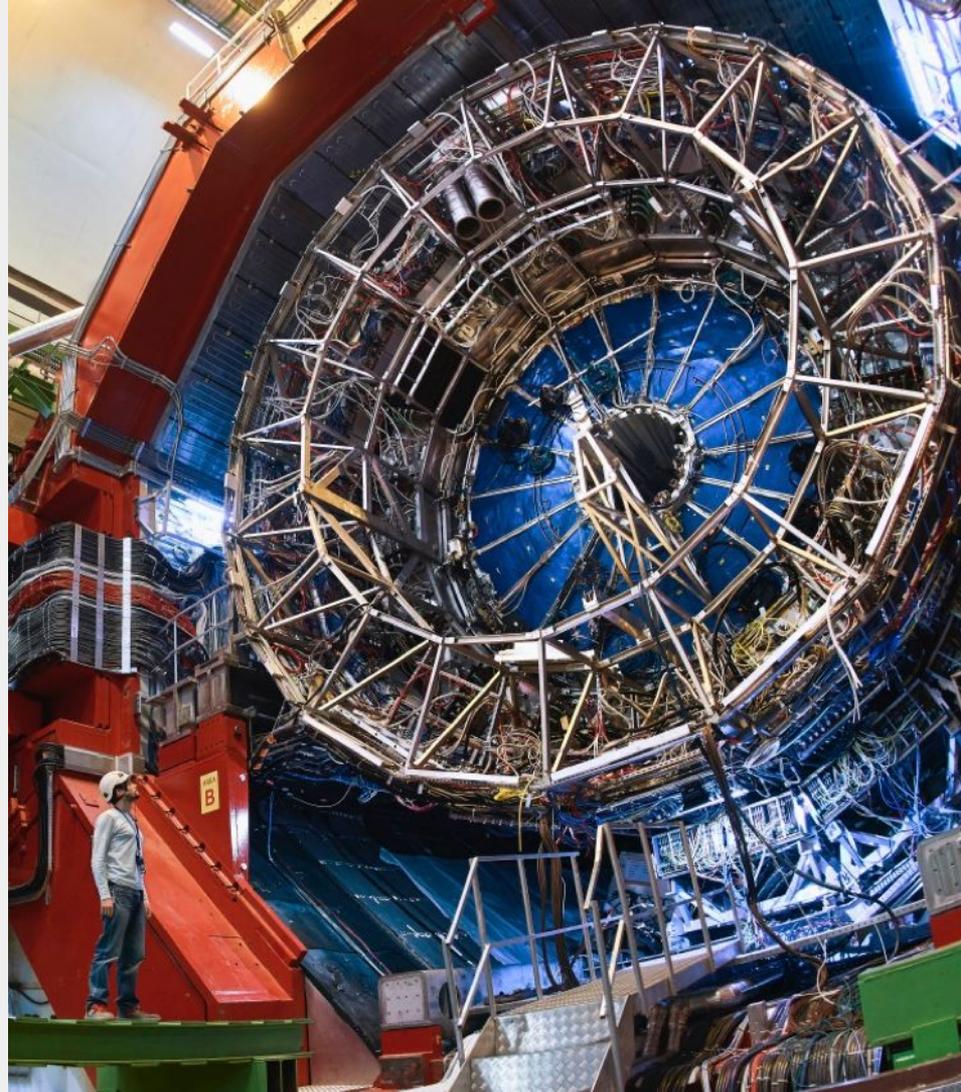
# Fisica alte energie

- Pavia partecipa a 3 dei 4 principali esperimenti di LHC
  - Finanziati fino al 2038
- ALICE
  - quark-gluon plasma
- ATLAS e CMS
  - “General Purpose”
    - Da misure di precisione del modello standard
    - a ricerca di nuova fisica



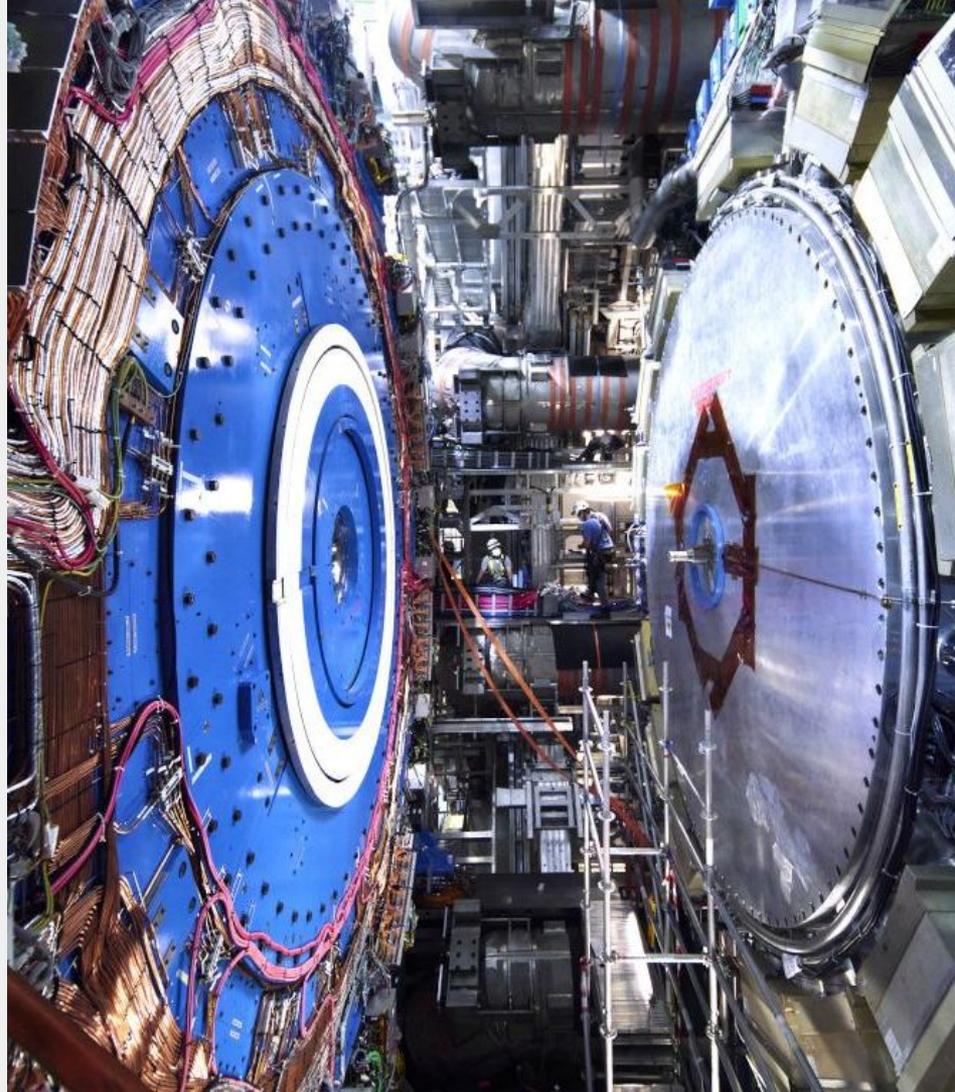
# Fisica alte energie

- Pavia partecipa a 3 dei 4 principali esperimenti di LHC
  - Finanziati fino al 2038
- ALICE
  - quark-gluon plasma
- ATLAS e CMS
  - “General Purpose”
    - Da misure di precisione del modello standard
    - a ricerca di nuova fisica



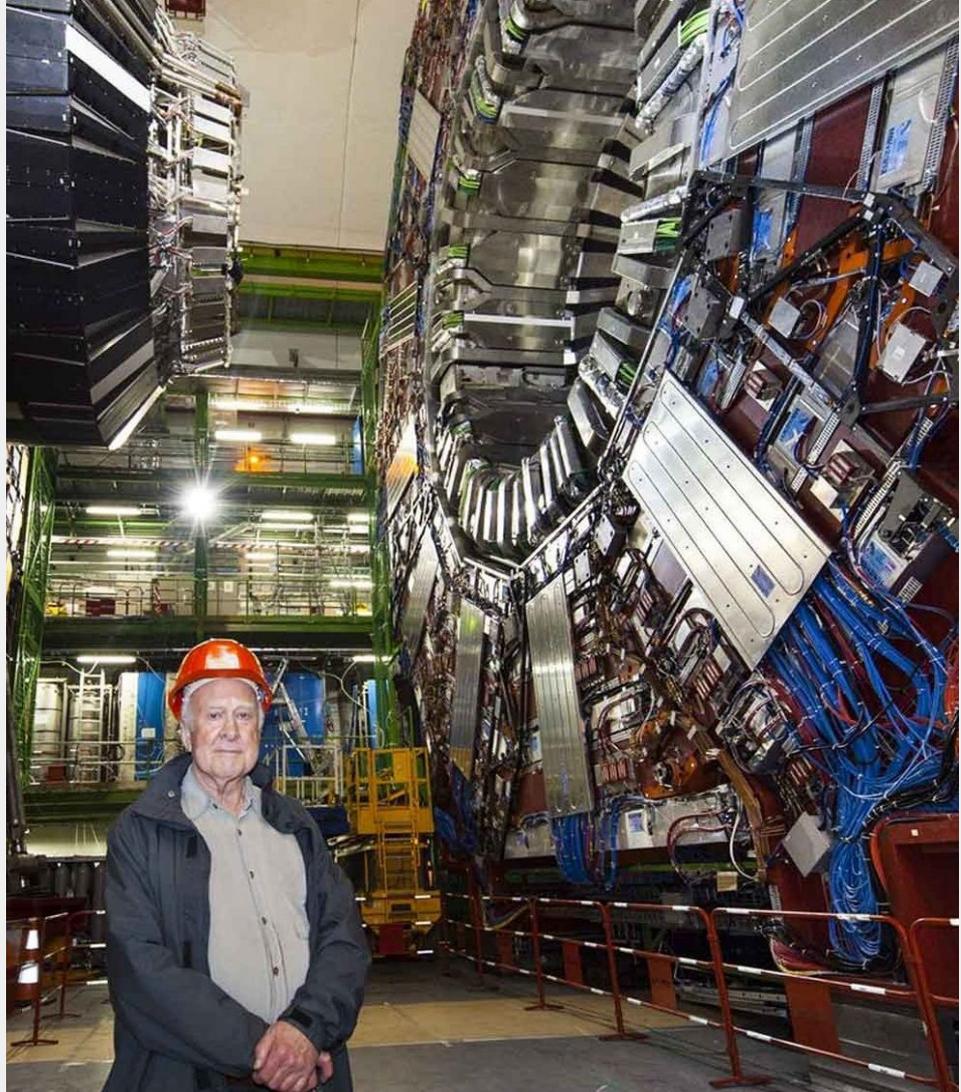
# Fisica alte energie

- Pavia partecipa a 3 dei 4 principali esperimenti di LHC
  - Finanziati fino al 2038
- ALICE
  - quark-gluon plasma
- ATLAS e CMS
  - “General Purpose”
    - Da misure di precisione del modello standard
    - a ricerca di nuova fisica



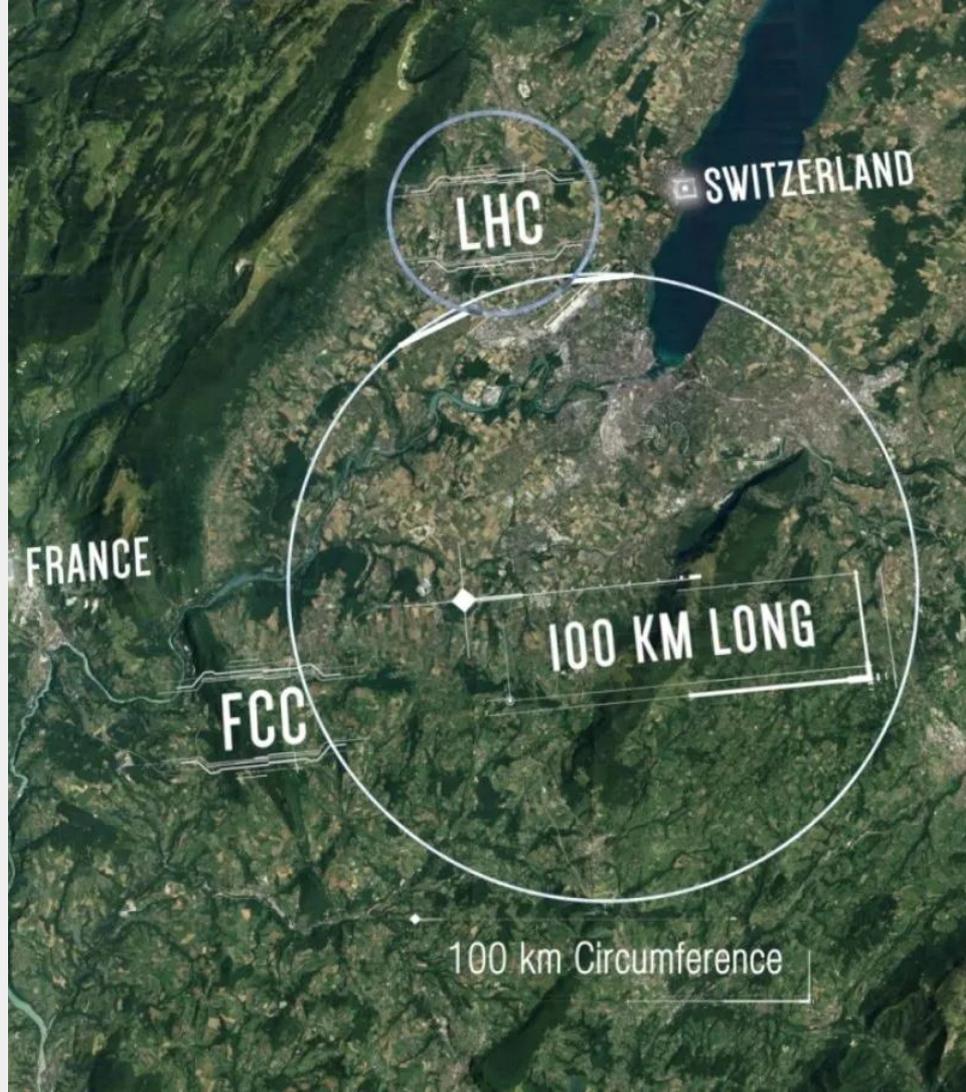
# Fisica alte energie

- Pavia partecipa a 3 dei 4 principali esperimenti di LHC
  - Finanziati fino al 2038
- ALICE
  - quark-gluon plasma
- ATLAS e CMS
  - “General Purpose”
    - Da misure di precisione del modello standard
    - a ricerca di nuova fisica



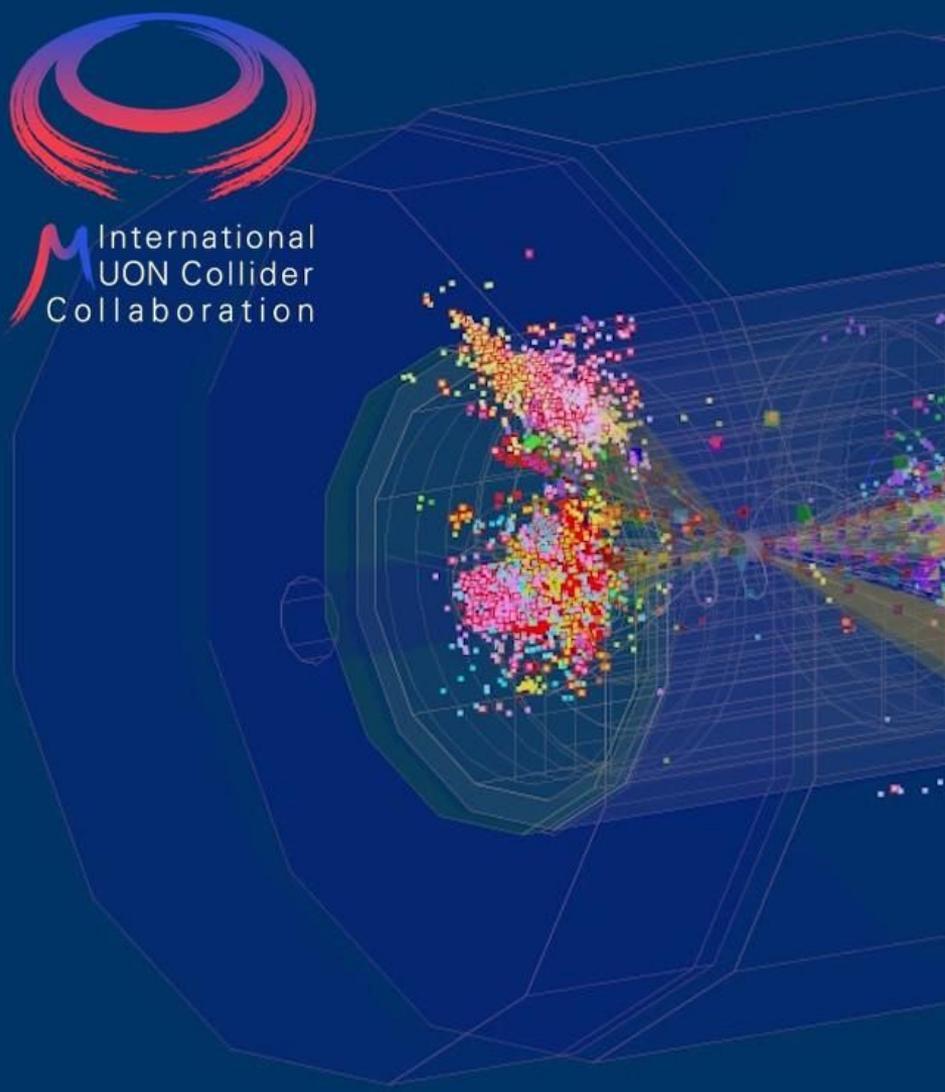
# Fisica alte energie

- Oltre LHC
  - Numerose attività in corso
- R&D futuri collider (~2040)
  - $e^+e^-$  da 100 km
    - @Cern: FCC-ee
    - @Cina: CepC
  - [muon collider](#)
- [Electron Ion Collider](#) (~2030)
  - ePIC @ BNL



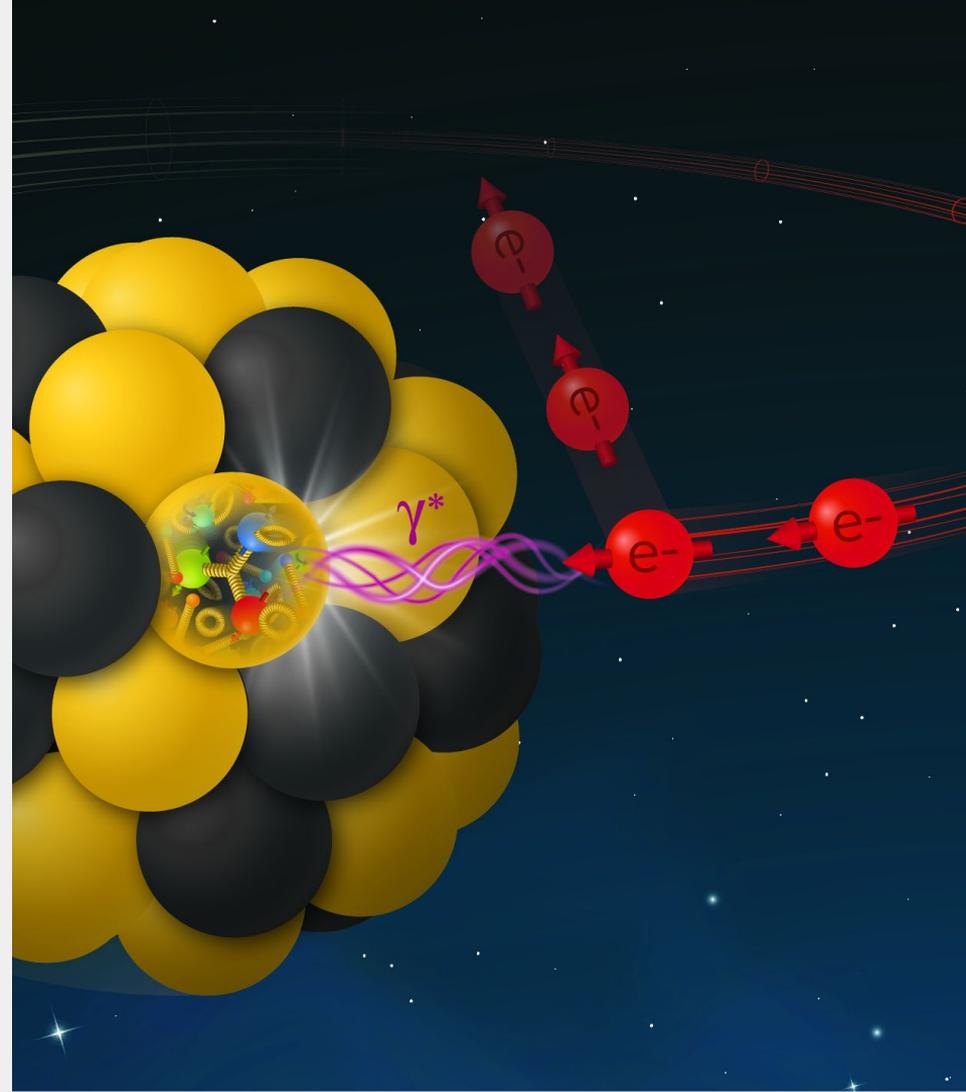
# Fisica alte energie

- Oltre LHC
  - Numerose attività in corso
- R&D futuri collider (~2040)
  - $e^+e^-$  da 100 km
    - @Cern: FCC-ee
    - @Cina: CepC
  - muon collider
- Electron Ion Collider (~2030)
  - ePIC @ BNL



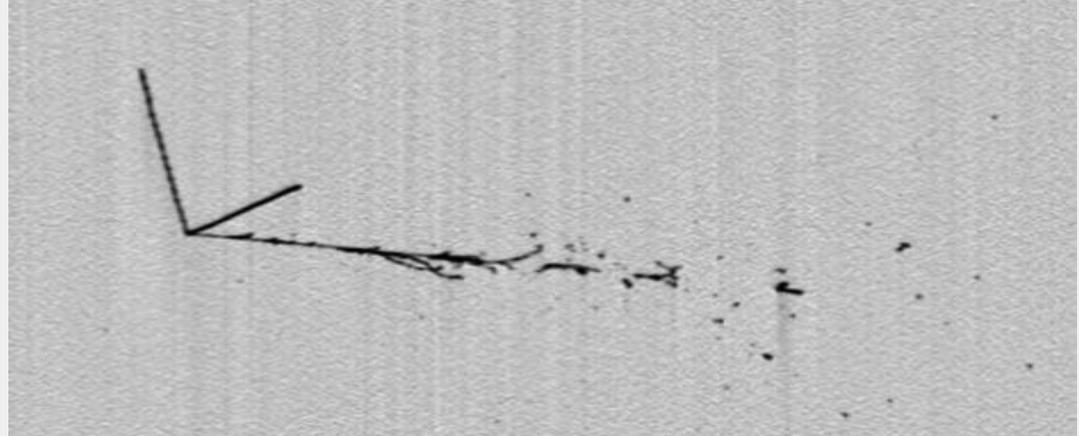
# Fisica alte energie

- Oltre LHC
  - Numerose attività in corso
- R&D futuri collider (~2040)
  - $e^+e^-$  da 100 km
    - @Cern: FCC-ee
    - @Cina: CepC
  - muon collider
- Electron Ion Collider (~2030)
  - ePIC @ BNL



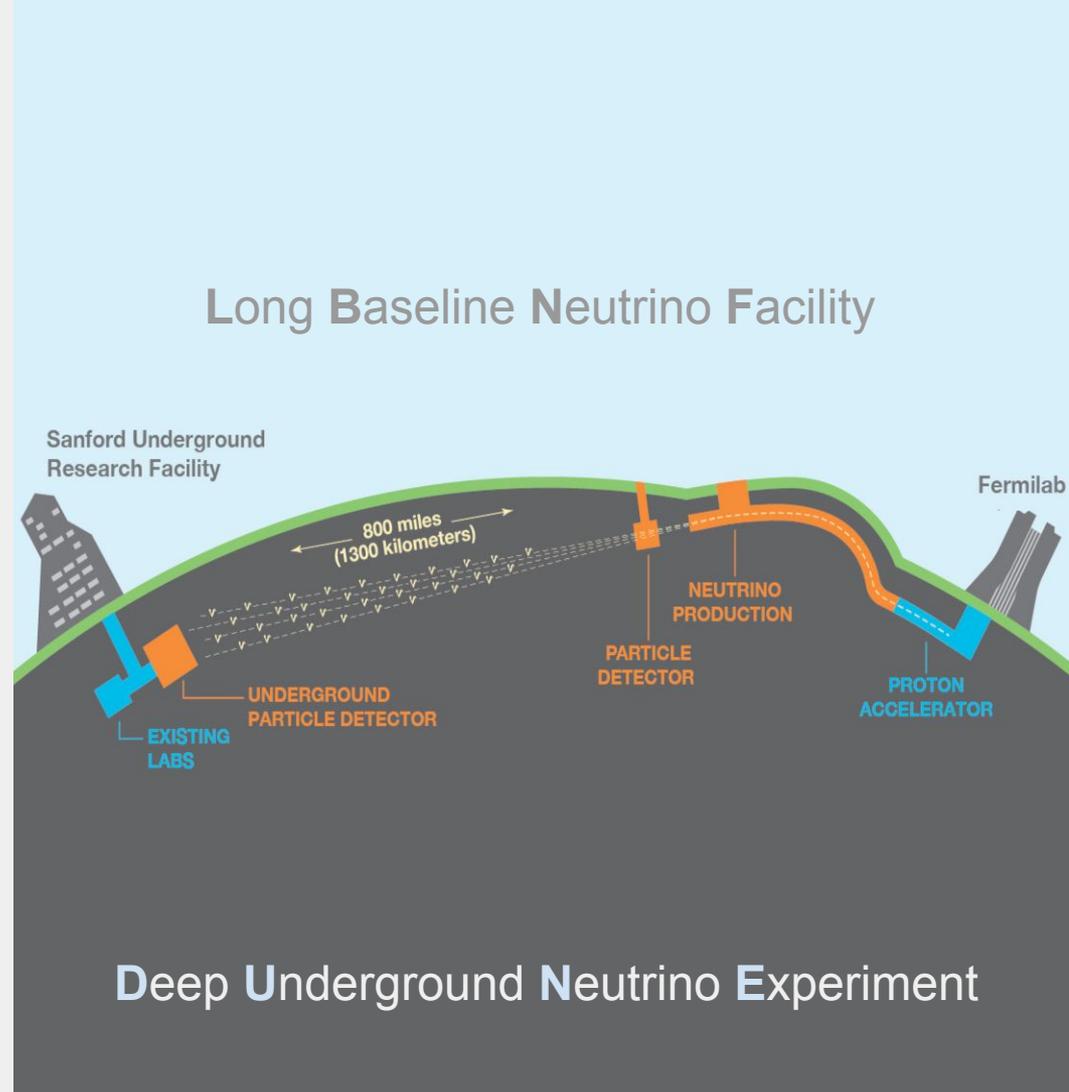
# Fisica leptonica

- [ICARUS](#) @ Fermilab
  - Fisica dei neutrini
  - DUNE
- [CUORE/CUPID](#) @ LNSG
  - Doppio decadimento beta senza neutrini
- [MEG](#) @ PSI
  - Violazione numero leptonic



# Fisica leptonica

- ICARUS @ Fermilab
  - Fisica dei neutrini
  - DUNE
- CUORE/CUPID @ LNSG
  - Doppio decadimento beta senza neutrini
- MEG @ PSI
  - Violazione numero leptonico



# Fisica leptonica

- [ICARUS](#) @ Fermilab
  - Fisica dei neutrini
  - DUNE
- [CUORE/CUPID](#) @ LNSG
  - Doppio decadimento beta senza neutrini
- [MEG](#) @ PSI
  - Violazione numero leptonico



# Fisica leptonica

- ICARUS @ Fermilab

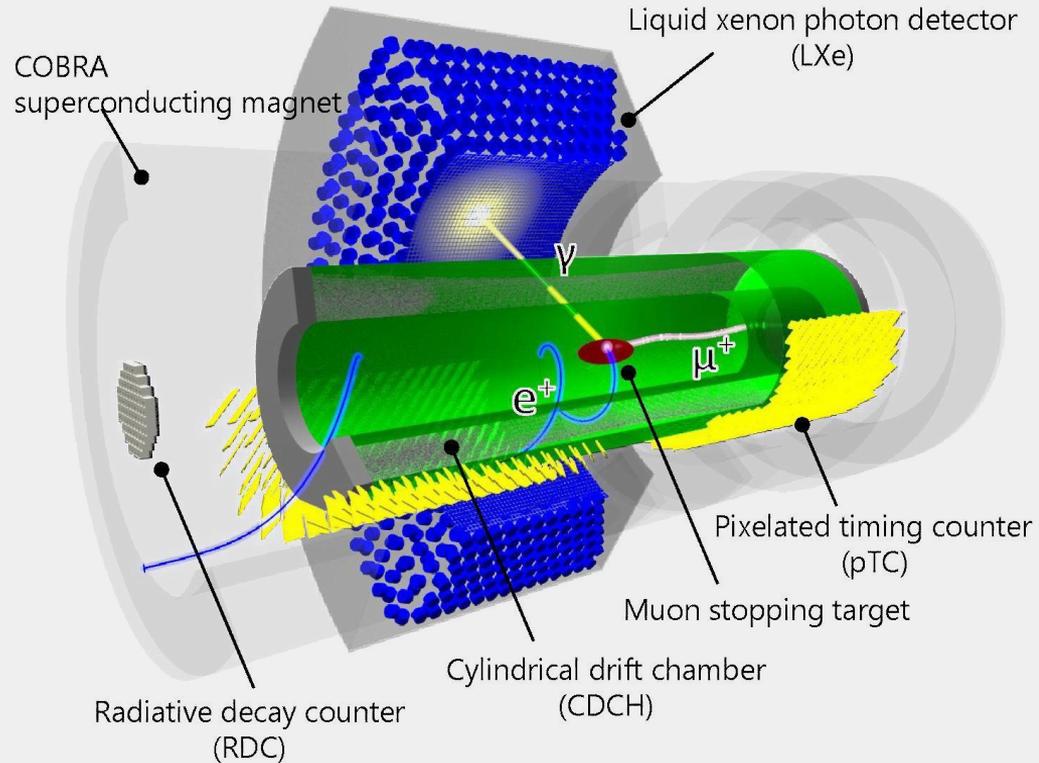
- Fisica dei neutrini
- DUNE

- CUORE/CUPID @ LNSG

- Doppio decadimento beta senza neutrini

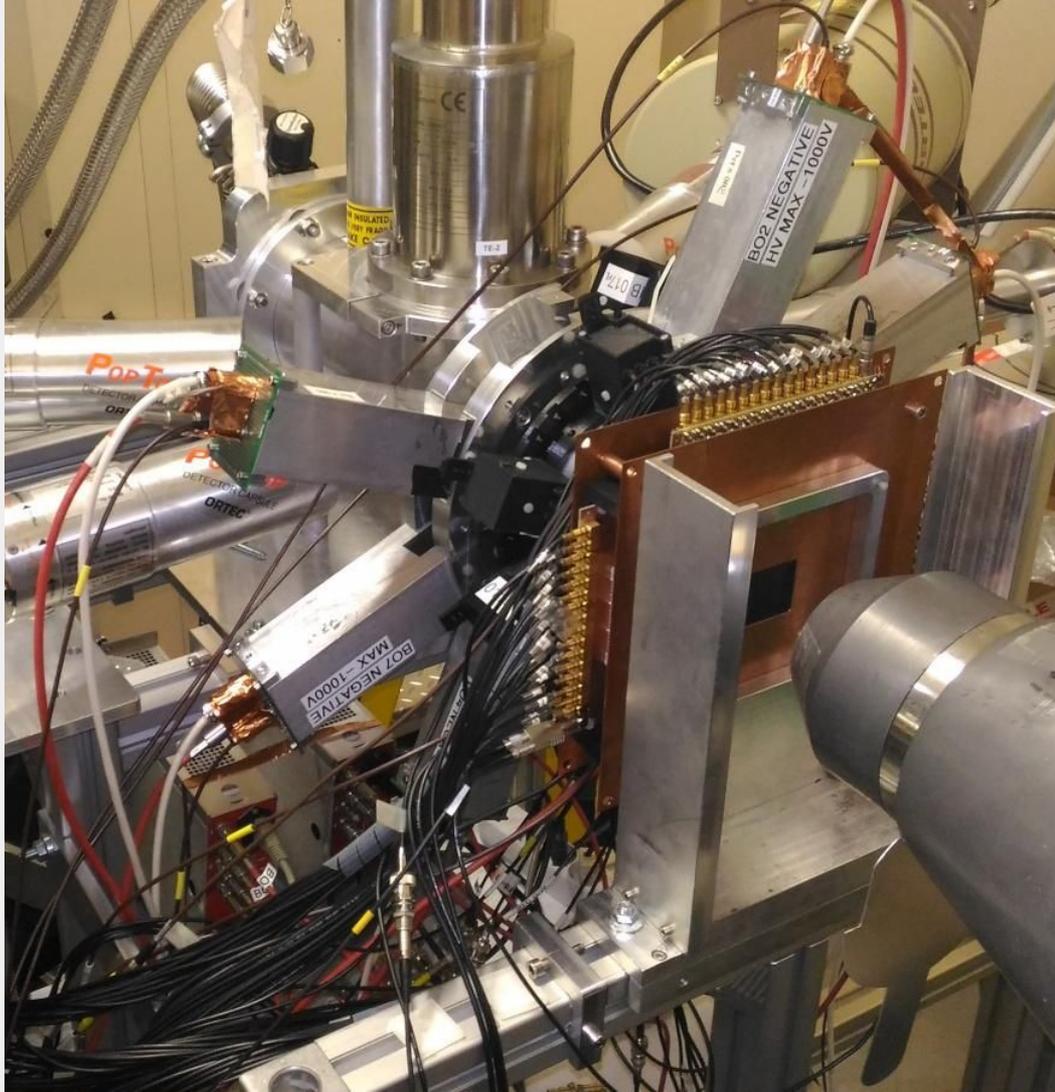
- MEG @ PSI

- Violazione numero leptonic



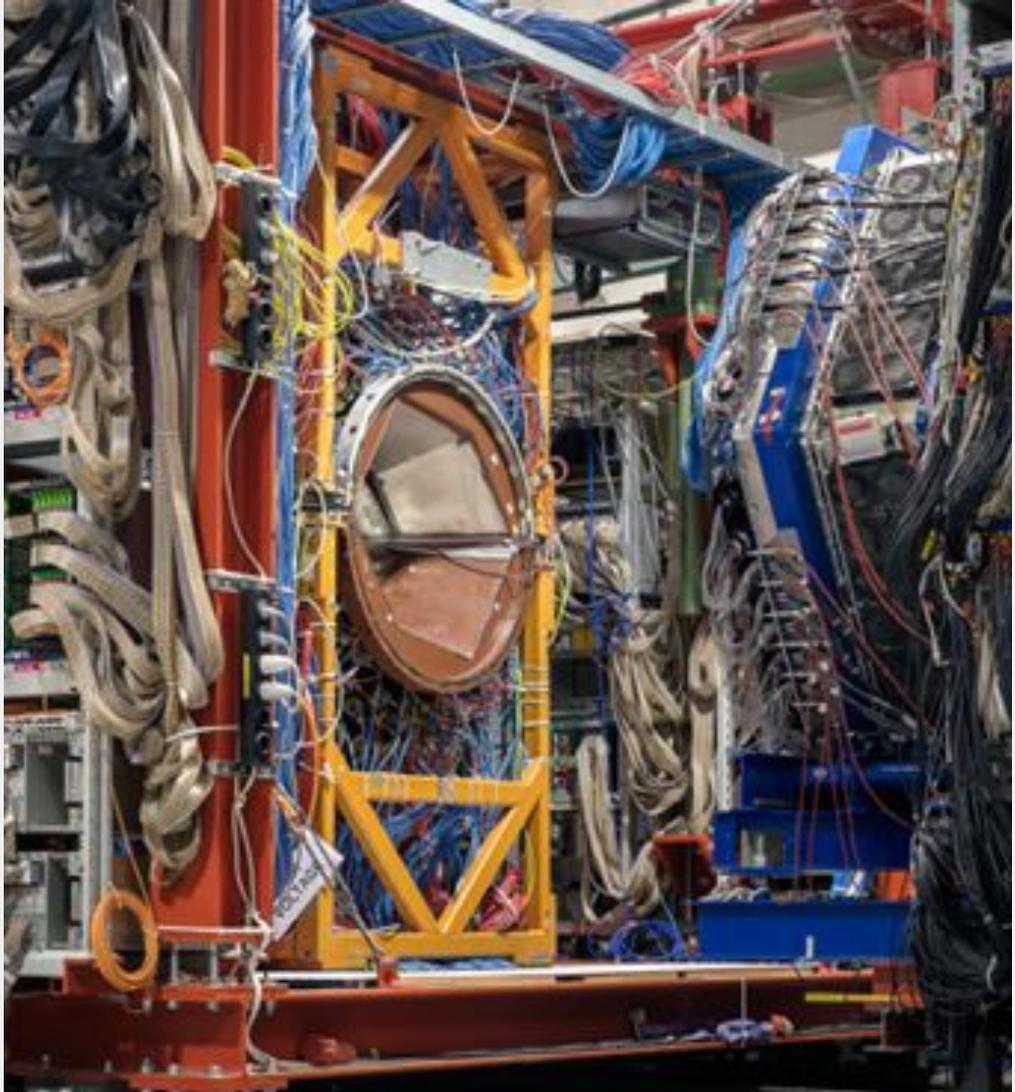
# Fisica nucleare

- FAMU @ RAL
  - Dimensioni del protone
- MAMBO  
@ MAMI & ELSA
  - Studio proprietà di p, n e dei loro stati risonanti
  - Verifica principi quantistici fondamentali



# Fisica nucleare

- FAMU @ RAL
  - Dimensioni del protone
- MAMBO  
@ MAMI & ELSA
  - Studio proprietà di p, n e dei loro stati risonanti
  - Verifica principi quantistici fondamentali





# Attività

- Rivelatori
  - R&D
  - Costruzione
  - Manutenimento
  - Presa dati
- Analisi dati
  - Simulazione
  - Ricostruzione
  - Analisi finale



# Attività

- Rivelatori
  - R&D
  - Costruzione
  - Manutenimento
  - Presa dati
- Analisi dati
  - Simulazione
  - Ricostruzione
  - Analisi finale



# Attività

- Rivelatori
  - R&D
  - Costruzione
  - Manutenimento
  - Presa dati
- Analisi dati
  - Simulazione
  - Ricostruzione
  - Analisi finale



# Attività

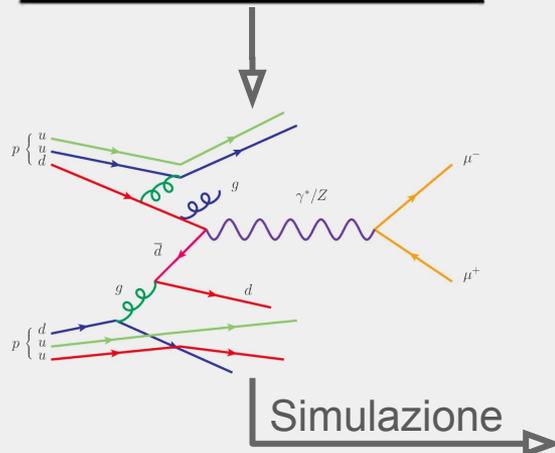
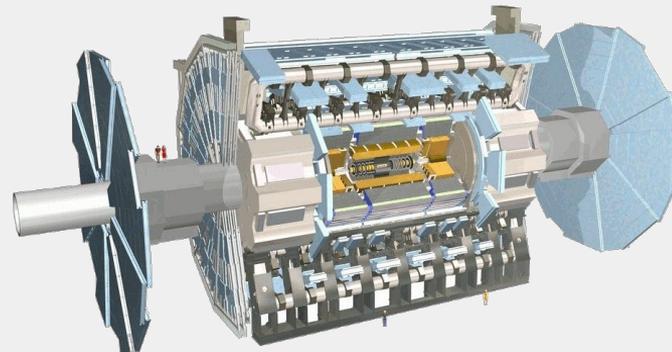
- Rivelatori
  - R&D
  - Costruzione
  - Manutenimento
  - Presa dati
- Analisi dati
  - Simulazione
  - Ricostruzione
  - Analisi finale



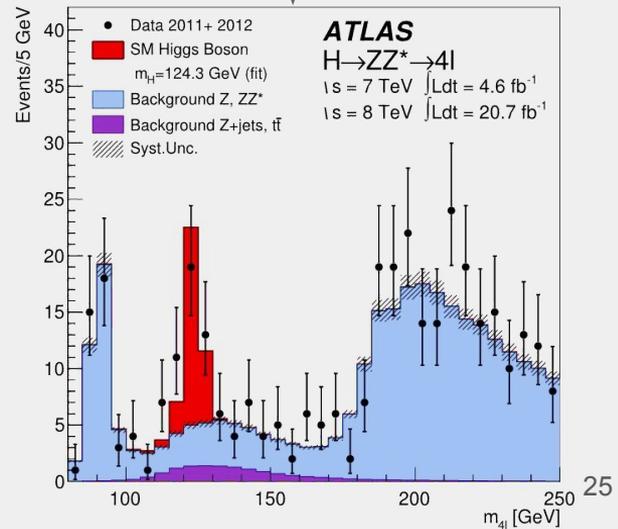
# Attività

- Rivelatori
  - R&D
  - Costruzione
  - Manutenimento
  - Presa dati
- Analisi dati
  - Simulazione
  - Ricostruzione
  - Analisi finale

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi + h.c. + \bar{\Psi}_i y_{ij}\Psi_j\Phi + h.c. + |D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)$$



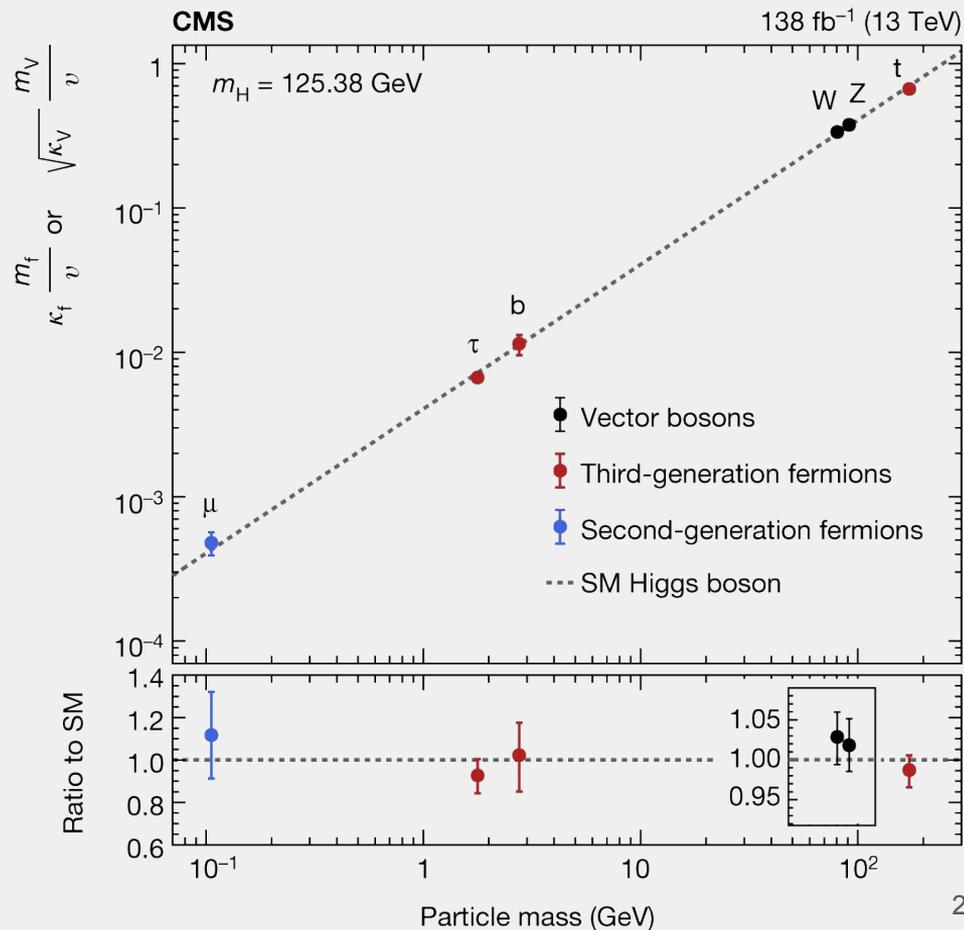
Presca dati



# Analisi

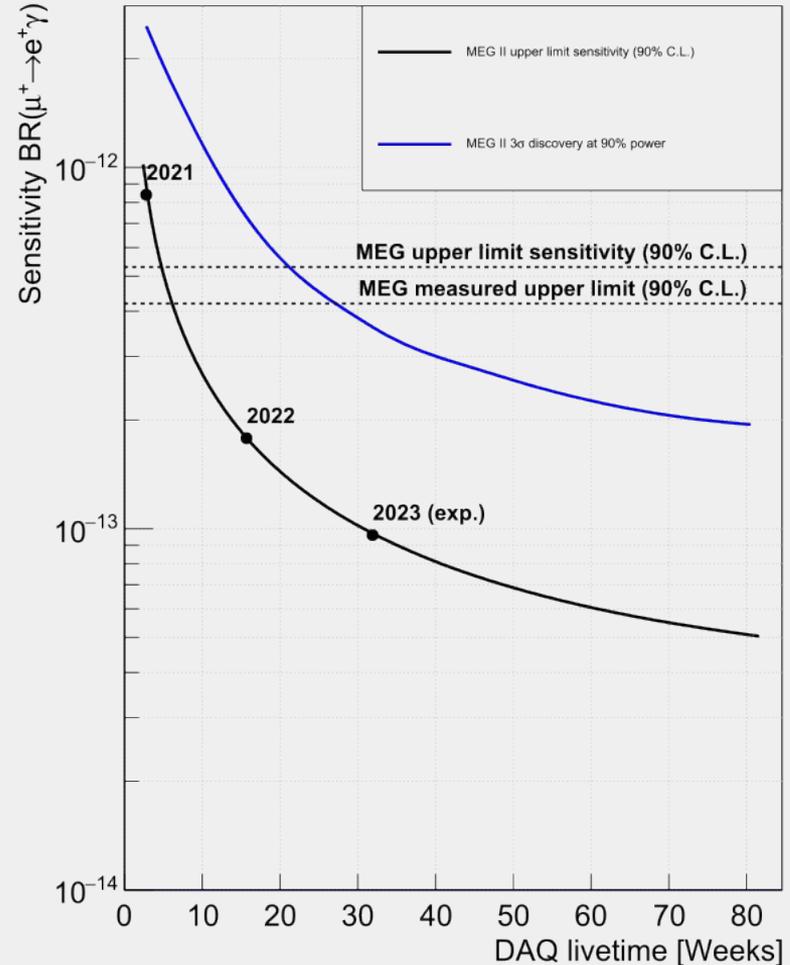
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...

"A portrait of the Higgs boson by the CMS experiment ten years after the discovery", Nature 607, 60–68 (2022)



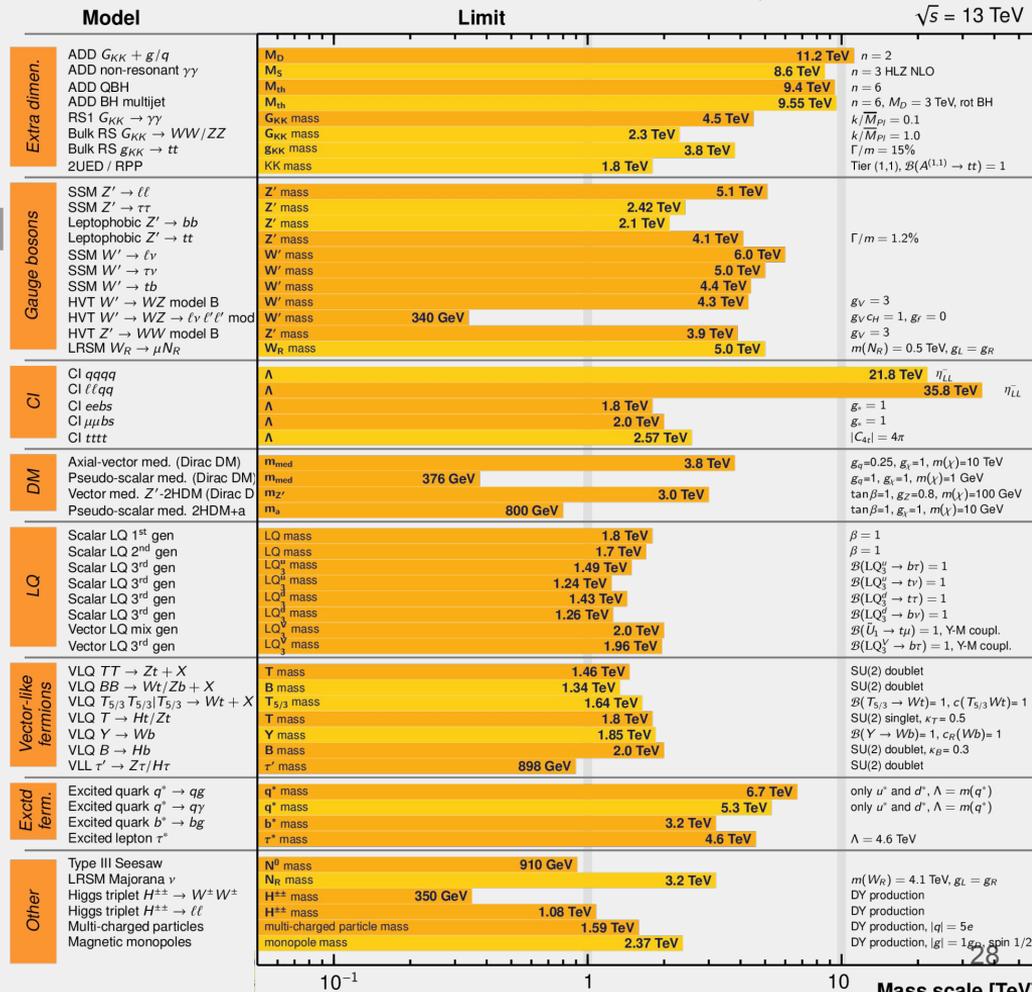
# Analisi

- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



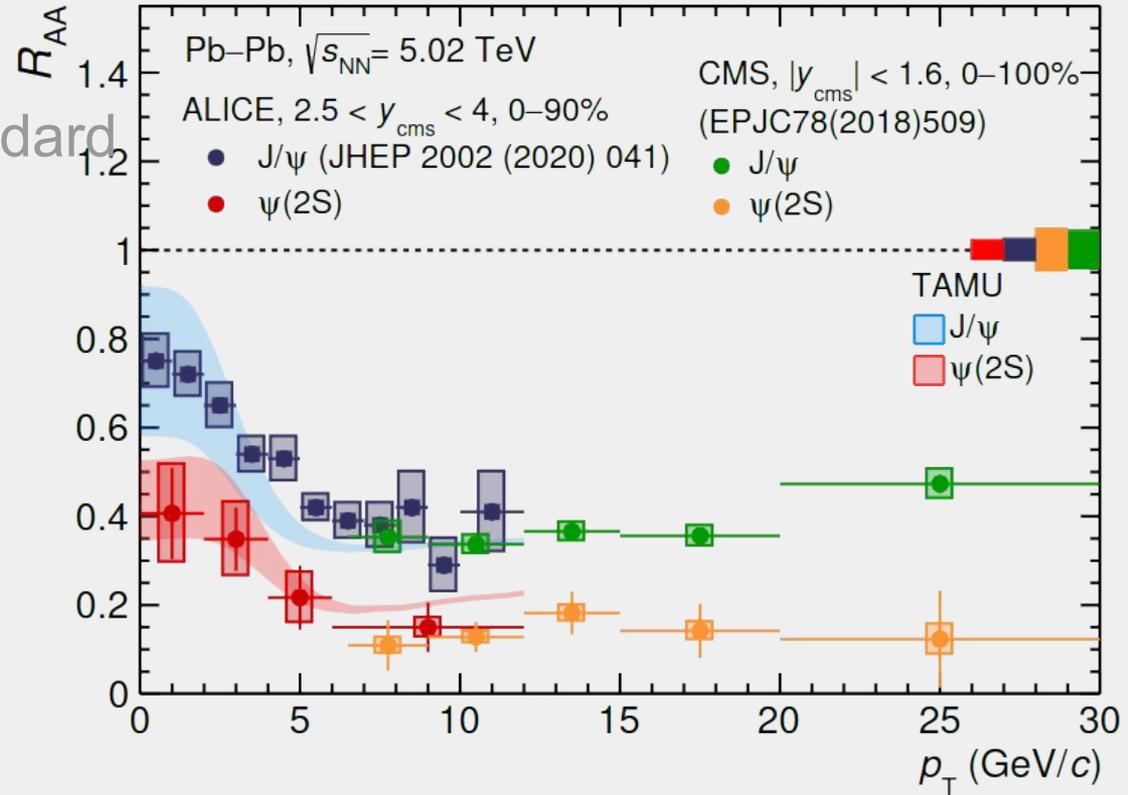
# Analisi

- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



# Analisi

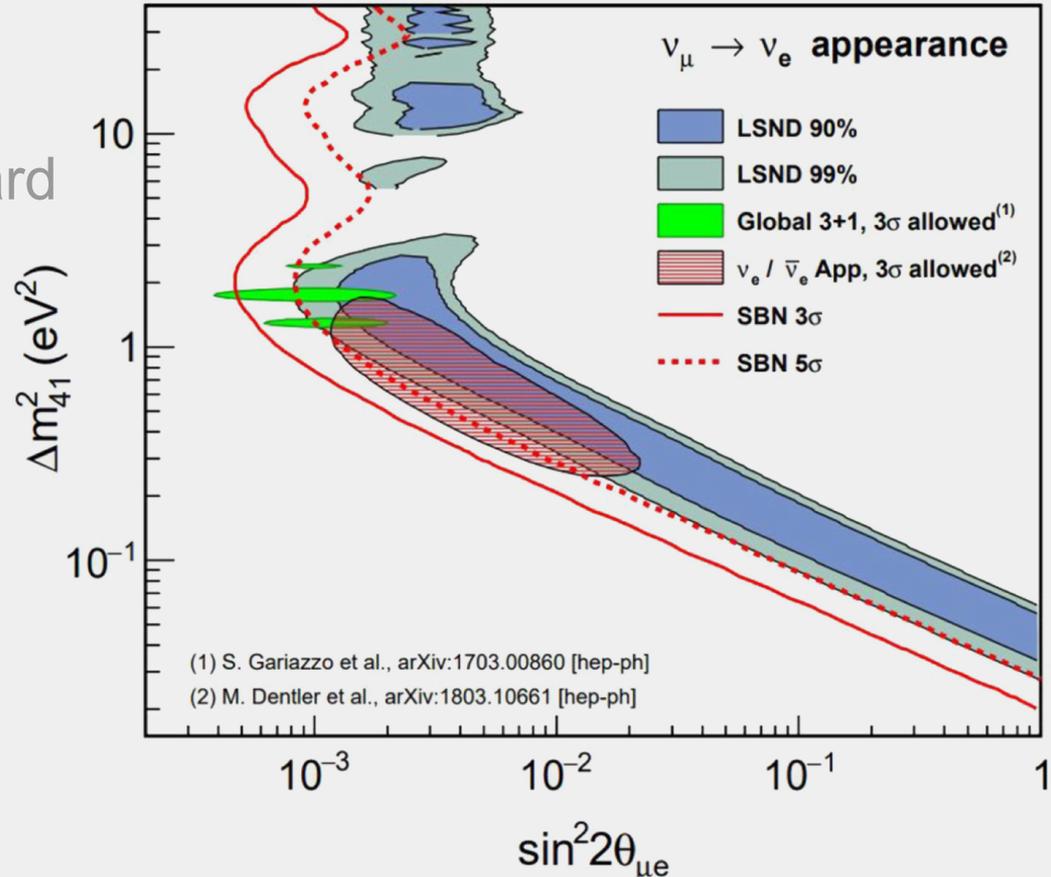
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



The  $R_{AA}$  (nuclear modification factor) for  $\psi(2S)$  and  $J/\psi$  as a function of  $p_T$ .  
Comparison with theory models and results from the CMS

# Analisi

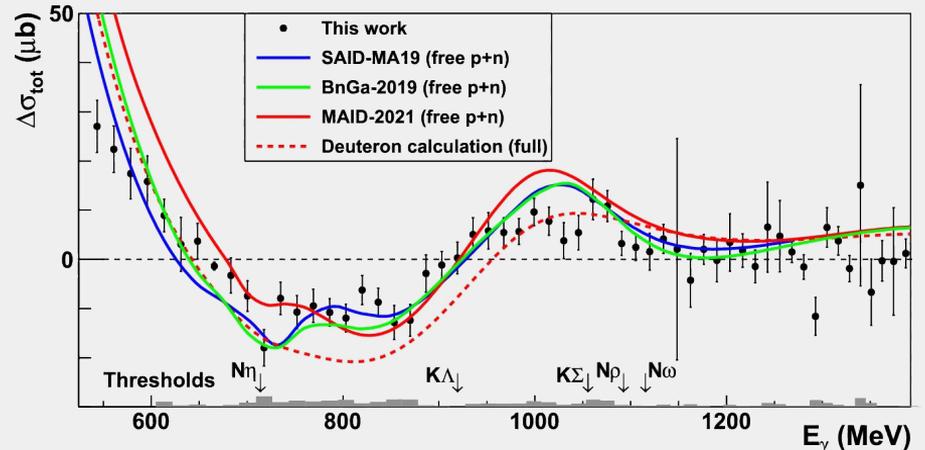
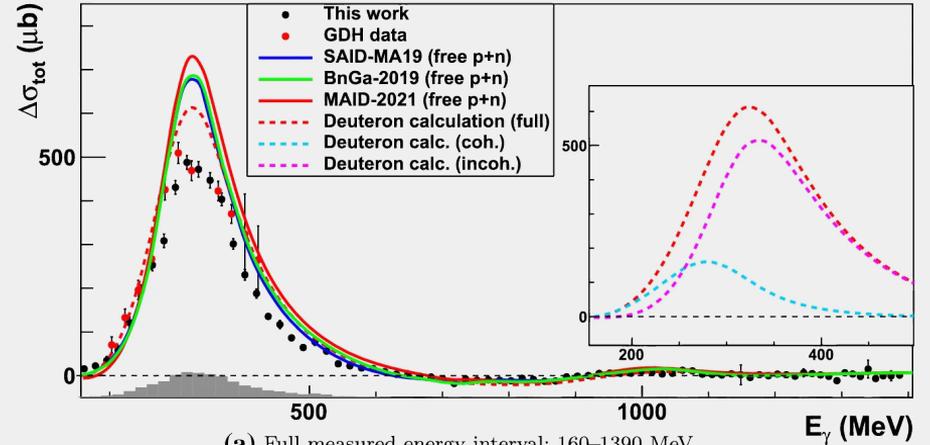
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



Sensitivity plots for the combined appearance analyses of all three detectors in the SBN program (SBND, MicroBooNE, ICARUS)

# Analisi

- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



# Curriculum fisica nucleare e subnucleare

- 72 CFU totali in 12 corsi
  - 12 CFU di FIS/02: base teorica
  - 24 CFU di FIS/04: fisica nucleare e subnucleare
  - 12 CFU di FIS/01 (fisica sperim.) e FIS/07 (fisica applicata)
  - 12 CFU nei settori FIS/05 (astrofisica) e ING-INF/05 (AI)
  - 12 CFU a scelta libera
- Alcuni corsi tenuti in lingua inglese per
  - passaggio in inglese del CV biosanitario
  - accordo di doppia laurea con Parigi

# 24 CFU di fisica (sub)nucleare

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Particle physics	FIS/04	6	I	M
Neutrino physics	FIS/04	6	I	M
Laboratory of nuclear and subnuclear physics I	FIS/04	6	II	M
Laboratory of nuclear and subnuclear physics II	FIS/04	6	I	M
Laboratory of ionizing radiations	FIS/04	6	II	M
Radioactivity	FIS/04	6	I	M
Particle accelerators and nuclear reactors	FIS/04	6	I	M
Fisica nucleare	FIS/04	6	II	M

# 12 CFU di fisica teorica

Stampo teorico

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Computational methods in physics	FIS/02	6	II	M
Quantum electrodynamics	FIS/02	6	I	M
Teoria quantistica dei campi	FIS/02	6	II	M
Teoria delle interazioni fondamentali	FIS/02	6	I	M
Elettrodinamica e relatività	FIS/02	6	I	L
Relatività generale	FIS/02	6	II	M
Gruppi e simmetrie fisiche	FIS/02	6	II	M
Complementi di fisica teorica	FIS/02	6	I	M

# 12 CFU di fisica sperimentale

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Particle detectors	FIS/01	6	II	M
Statistical methods in physics	FIS/01	6	I	M
Artificial Intelligence for experimental & applied physics	FIS/01	6	II	M
Simulations for experimental and applied physics	FIS/07	6	I	M
Tecniche digitali di acquisizione dati	FIS/01	6	I	T
Tecnologie fisiche e beni culturali	FIS/07	6	II	T

# Corsi Affini: 12 CFU

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Artificial Intelligence	ING-INF/05	6	I	M
Machine learning	ING-INF/05	6	I	M
Deep learning	ING-INF/05	6	II	M
Information security	ING-INF/05	6	II	M
Introduzione all'astronomia	FIS/05	6	I	T
Astronomia	FIS/05	6	I	M
Astrofisica	FIS/05	6	II	M
Astroparticles	FIS/05	6	II	M

+ 12 CFU a scelta libera

# Doppia laurea magistrale Pavia / Paris Cité

- Doppio titolo Università di Pavia e Université Paris Cité
  - di secondo livello francese
  - di LM italiano (dopo la discussione della tesi in Italia)
- In inglese: “*Nuclear, particle, astroparticle and cosmology*”
  - Primo anno a Pavia con corsi selezionati del CV nucleare
  - Secondo anno a Parigi all’interno del Master NPAC
- Selezione partecipanti a luglio
  - Contatto locale:  
[alessandro.menegolli@unipv.it](mailto:alessandro.menegolli@unipv.it)



# Cosa si impara?

- La **fisica** delle particelle
  - Da subito sul fronte delle ricerca (in prima persona)
- Lavoro di **gruppo** in ambiente internazionale e competitivo
  - Comunicazioni regolari a meeting di collaborazione
  - Sviluppo capacità critica e autonomia



# Cosa si impara?

- Fisica dei detector
  - Tecnologie innovative con ricadute sulla società
- Analisi dei dati (analytics)
  - Da “sempre”: *simulazioni, analisi via criteri di selezione, data mining, ...*
  - Dagli anni 90: *big data, cloud computing, machine learning, ...*
  - Recentemente: *quantum computing*

Higgs  
challenge



the HiggsML challenge

May to September 2014

When High Energy Physics meets Machine Learning



info to participate and compete : <https://www.kaggle.com/c/higgs-boson>



#### Organization committee

Balázs Kégl - *Appst@LAL*  
Claire Germain - *TAO-LRI*

David Rousseau - *Atlas-LAL*  
Glen Cowan - *Atlas-RHUL*

Isabelle Guyon - *Chaleam*  
Claire Adam-Baudarinos - *Atlas-LAL*

#### Advisory committee

Thorsten Wendler - *Atlas-CERN*  
Andreas Hoecker - *Atlas-CERN*

Joerg Stelzer - *Atlas-CERN*  
Marc Schoenauer - *INRIA*

# Cosa si fa dopo la laurea?

- Percorso “*ricerca*”
  - PhD in IT o all'estero (collaborazioni)
  - molti ex laureandi post-doc all'estero
    - Svizzera (CERN), Germania (Amburgo, Heidelberg, Mainz), Austria, UK, ...
- Percorso “*lavoro*”
  - facile assorbimento nell'industria grazie alle competenze acquisite
    - analytics in tutti i campi (es finanza)
    - agenzie di consulting
    - sensoristica applicata

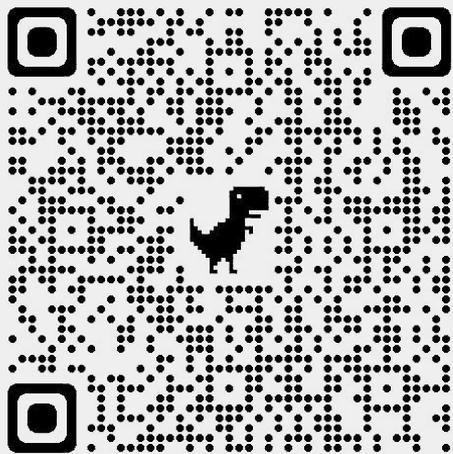


# Contatti su sito Dip [\[link\]](#)



UNIVERSITÀ DI PAVIA  
Dipartimento di Fisica

Abuzeid S., **Braghieri A.**, Brunoldi M., Calzaferri S., Carloni Calame C., Cattaneo P.W., Chiesa M., Copello S., Costanza S., Cresta T., De Vecchi C., Ferrari R., Gaioni L., Gaudio G., Introzzi G., Kourkoumeli-Charalampidi A., Lanza A., Lazzaroni P., Manco G., Manghisoni M.,



**Menegolli A.**, **Montagna P.**, Montanari C., **Negri A.**, Pareti A., Pascali V., **Pedroni P.**, **Pelliccioni M.**, Piccinini F., Polesello G., **Protti N.**, Rappoldi A., Raselli G.L., Ratti L., **Rebuzzi D.**, Re V., **Riccardi C.**, Riceputi E.,

Romano E., Rossella M., Rossini R., **Salvini P.**, Tamigo A., Traversi G., Vacchi C., **Vai I.**, Valle N., Vercesi V., **Vitulo P.**, Zelaschi F.

\*) Lista non esaustiva. In grassetto i docenti LT/LM

Home / Ricerca / Linee e gruppi di ricerca / Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali

## Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali



La fisica delle interazioni fondamentali si occupa dello studio delle reazioni tra le particelle elementari. La teoria che definisce le nostre attuali conoscenze in tale ambito è chiamata Modello Standard. Le ricerche in atto si propongono di giungere ad una più profonda comprensione di tale teoria e, nel contempo, alla scoperta di fenomeni che portino ad un suo superamento.

Le ricerche in questo ambito sono svolte in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e hanno luogo in diversi laboratori internazionali: il CERN di Ginevra, il Fermilab di Chicago, il Paul Scherrer Institut (PSI), il Rutherford Appleton Laboratory (RAL) e i laboratori di Mainz e Bonn.

Le attività locali, che si avvalgono del supporto del gruppo dipartimentale di fisica teorica delle interazioni fondamentali, riguardano: fisica delle particelle, fisica delle astroparticelle e fisica nucleare.