



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

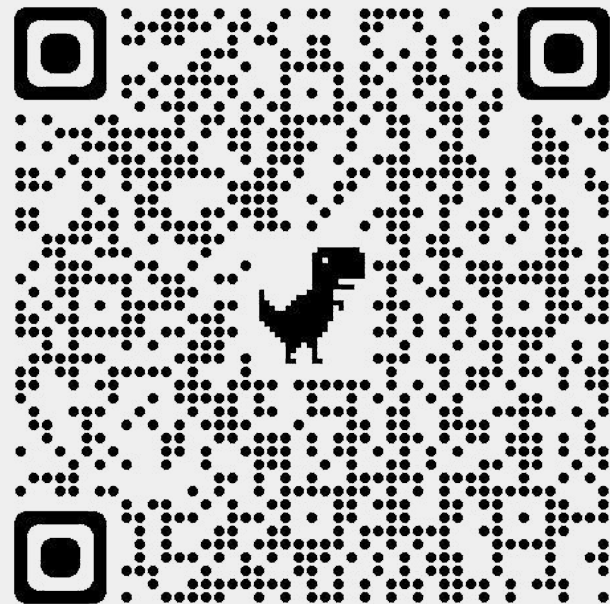
Curriculum Fisica Nucleare e Subnucleare

Ilaria Vai, a nome dell'area

Pavia, 08 Maggio 2026

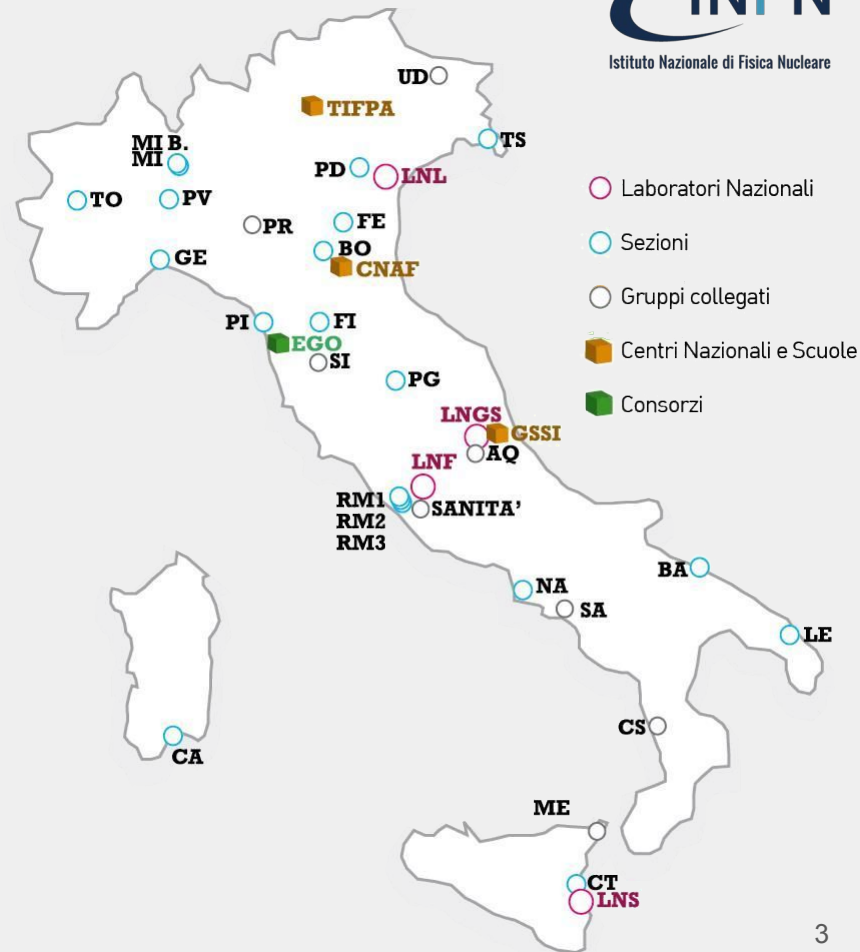
Interazioni fondamentali

- 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 Dip. Fisica 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 Dip. Fisica 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



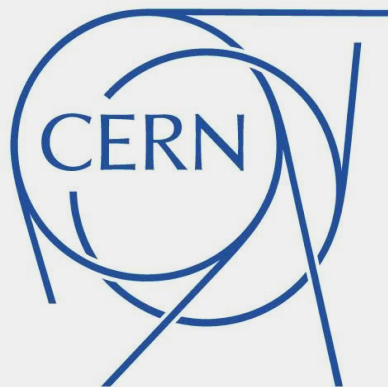
CSN3
Fisica
Nucleare



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

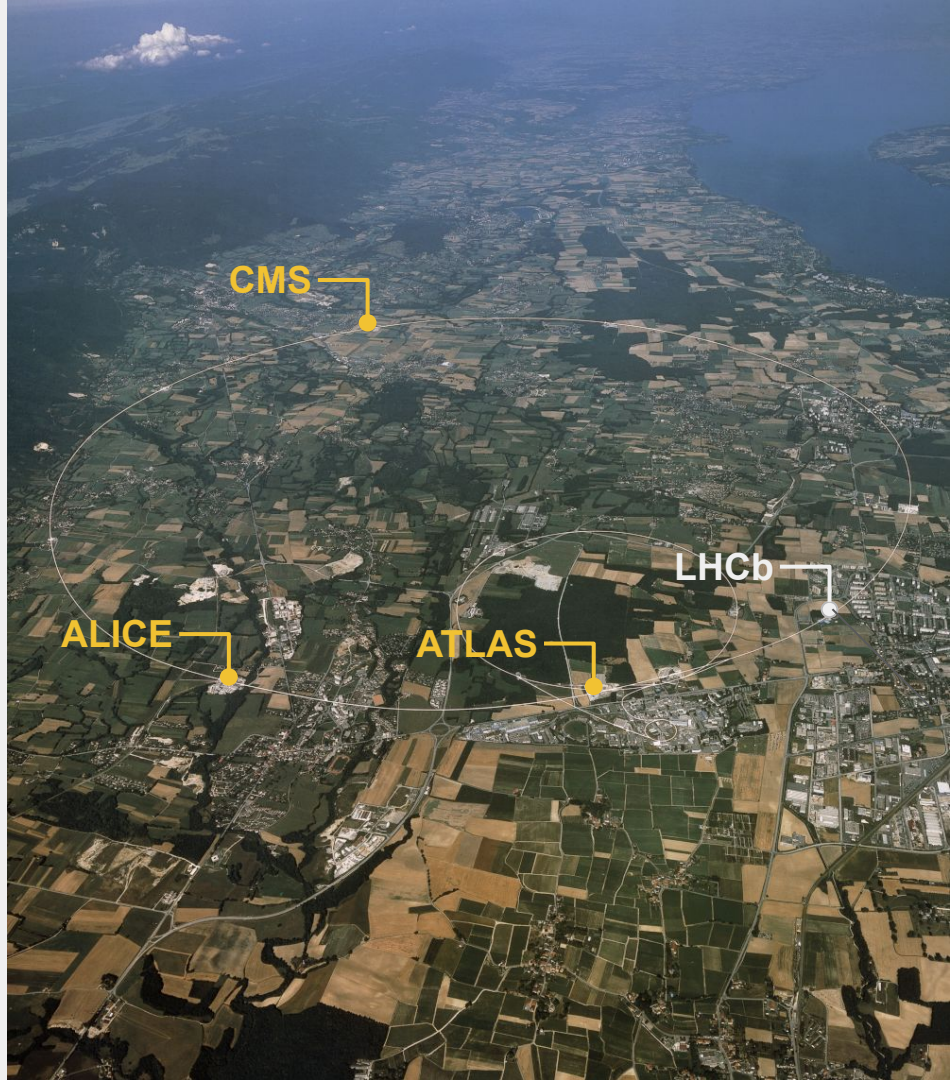
LNF

IHEP



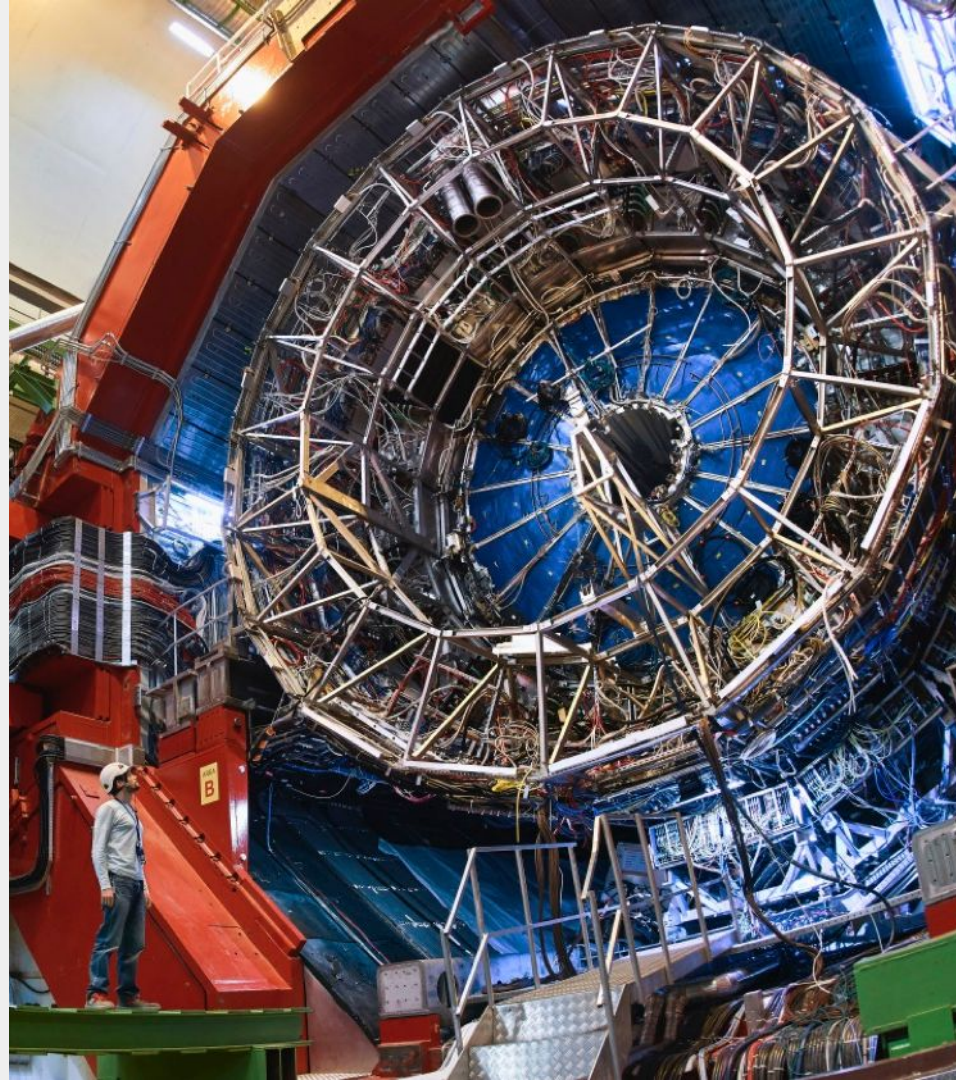
Fisica alte energie

- 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



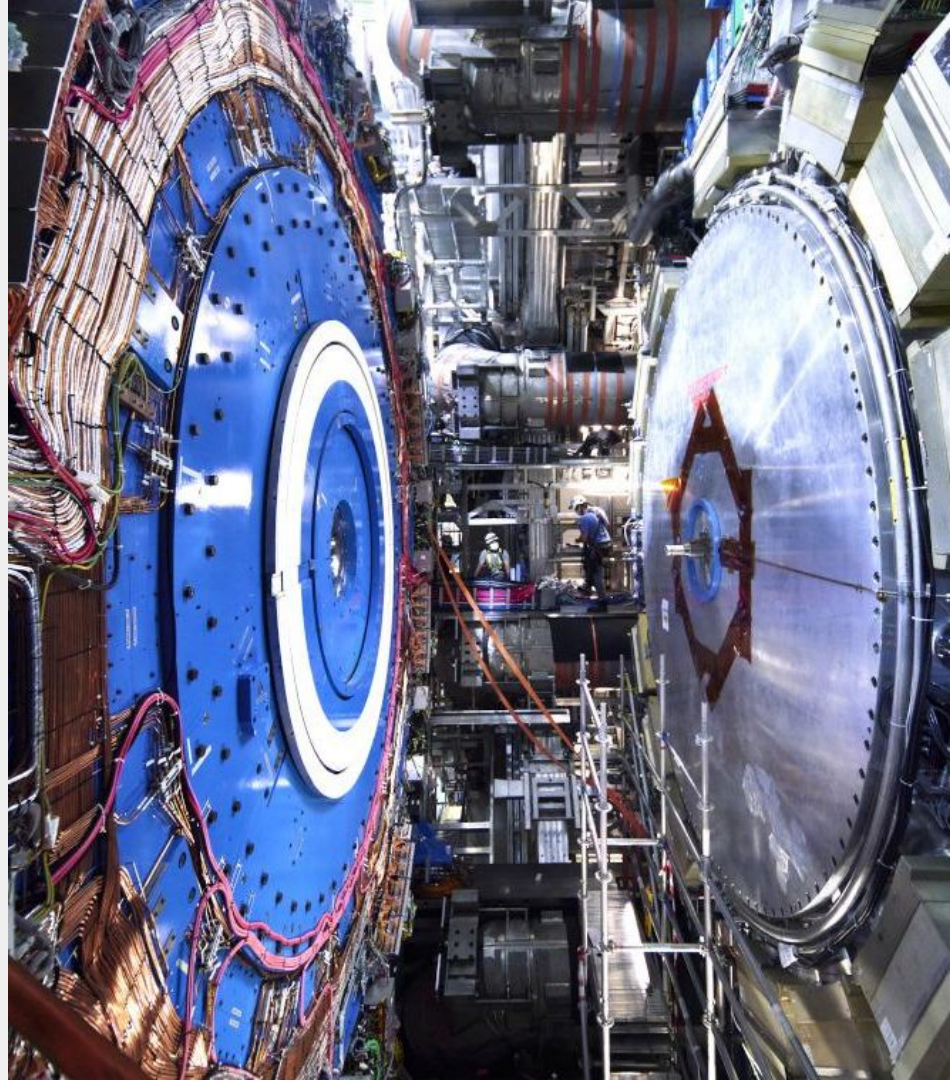
Fisica alte energie

- 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



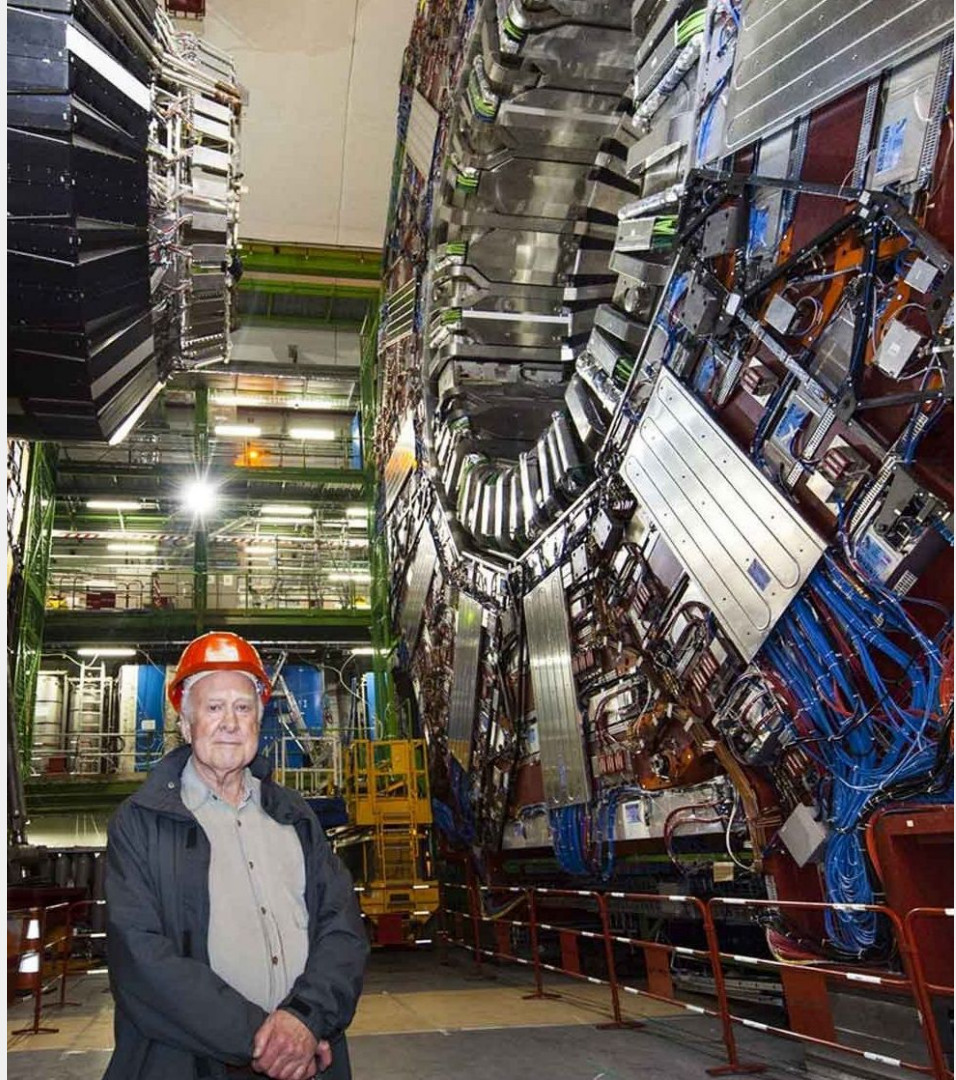
Fisica alte energie

- 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



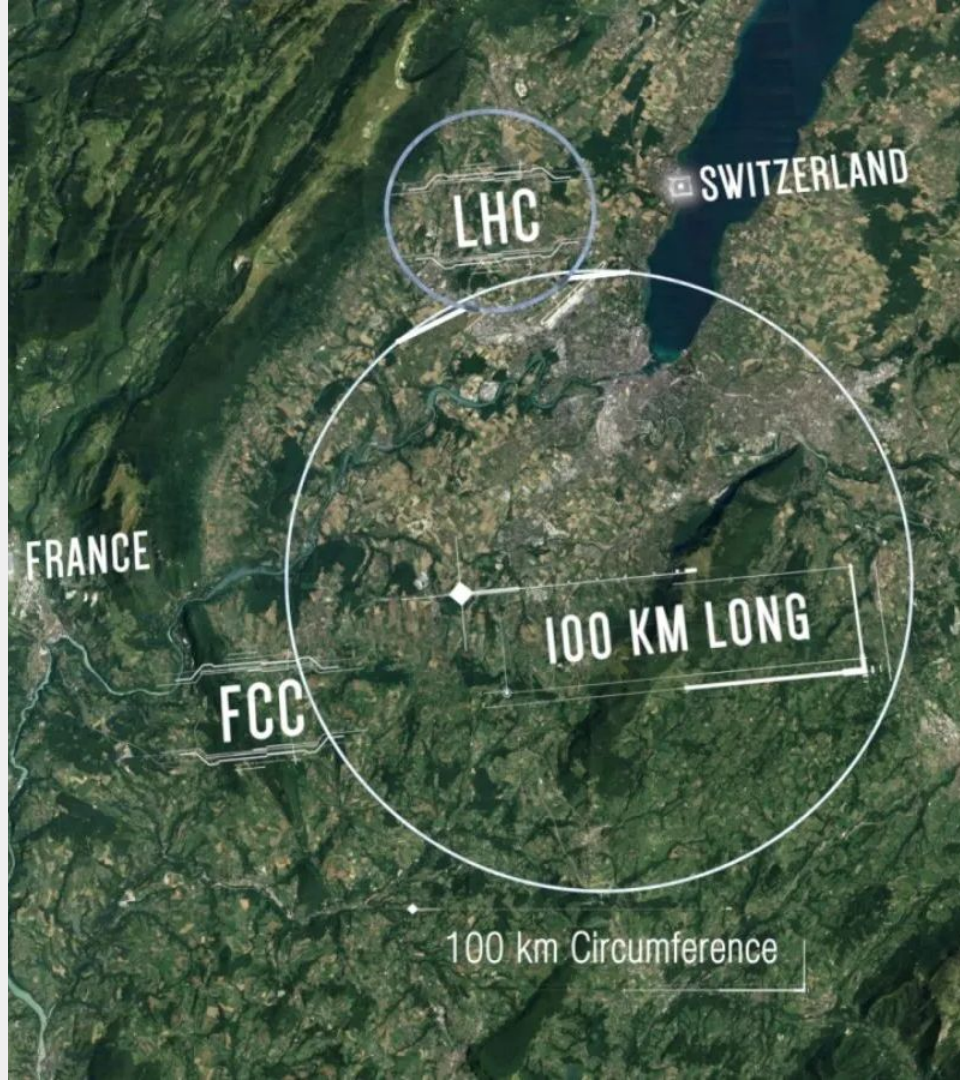
Fisica alte energie

- 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



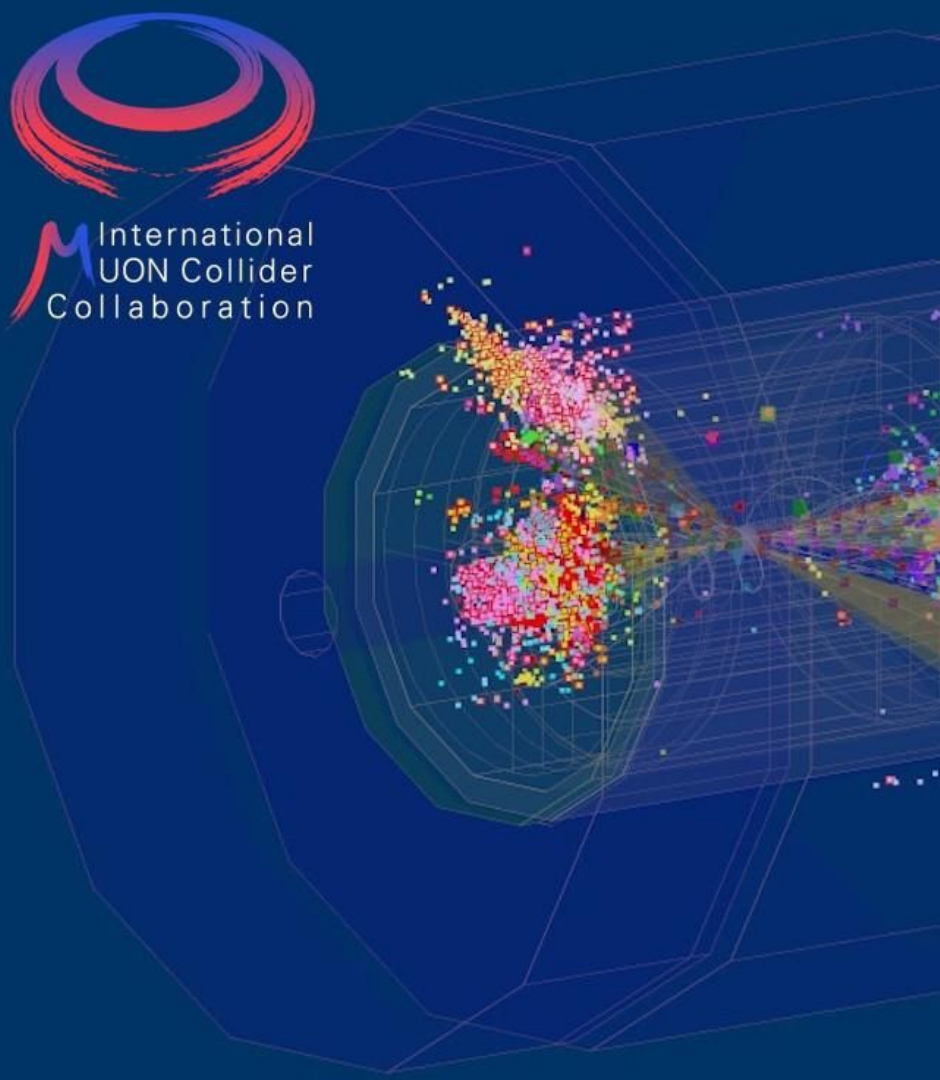
Fisica alte energie

- 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



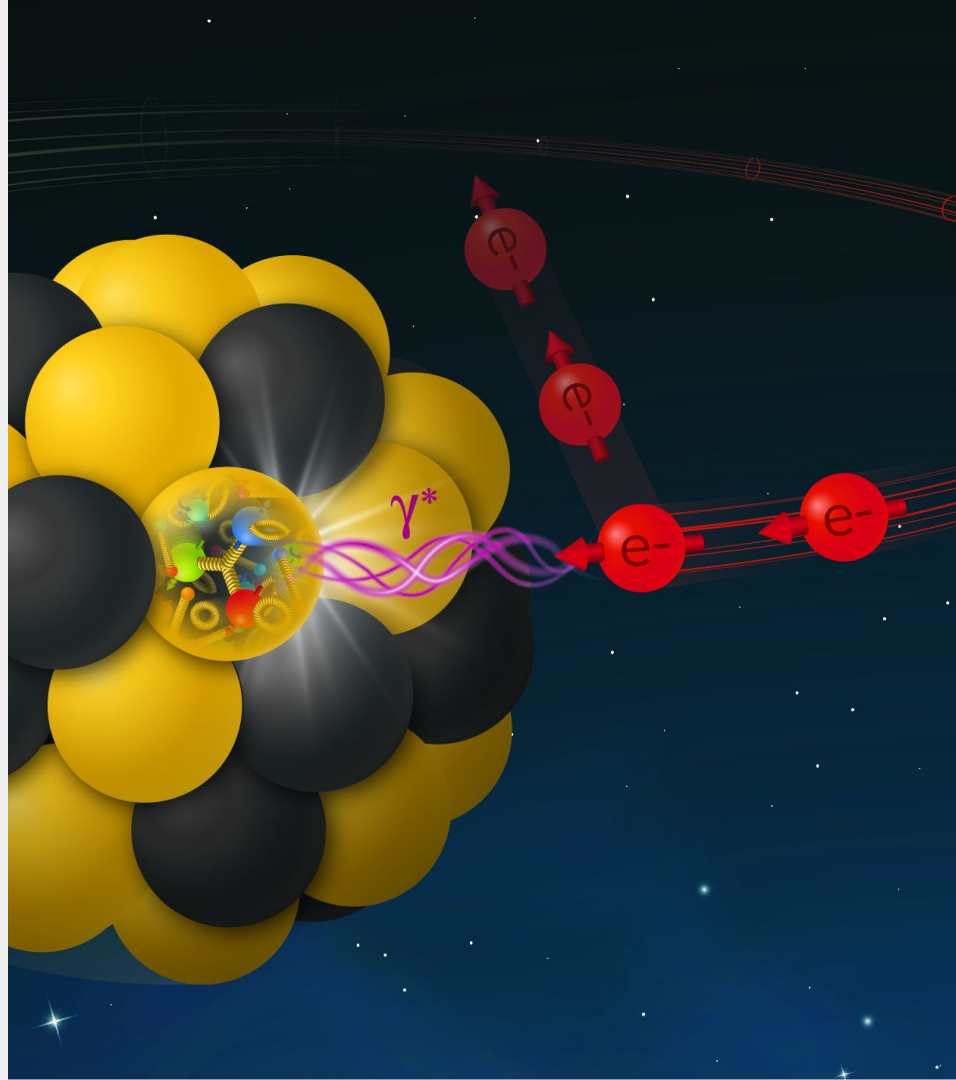
Fisica alte energie

- 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



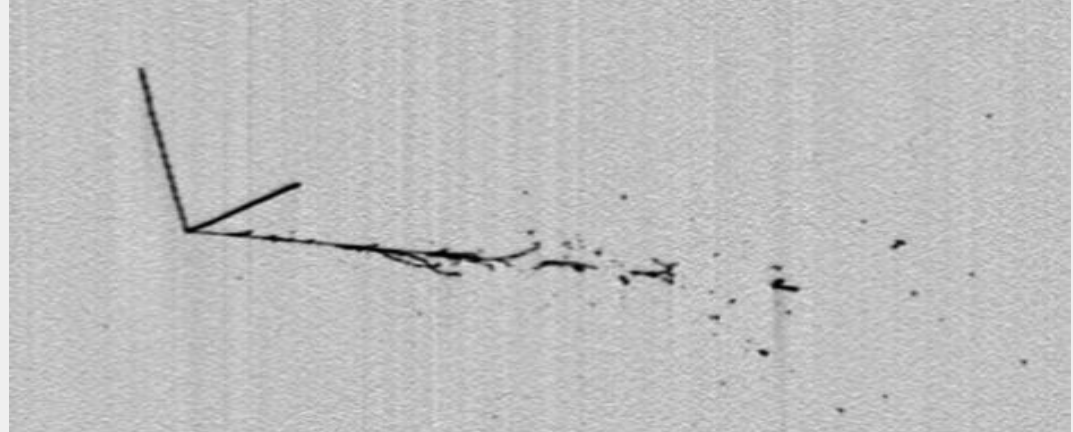
Fisica alte energie

- 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



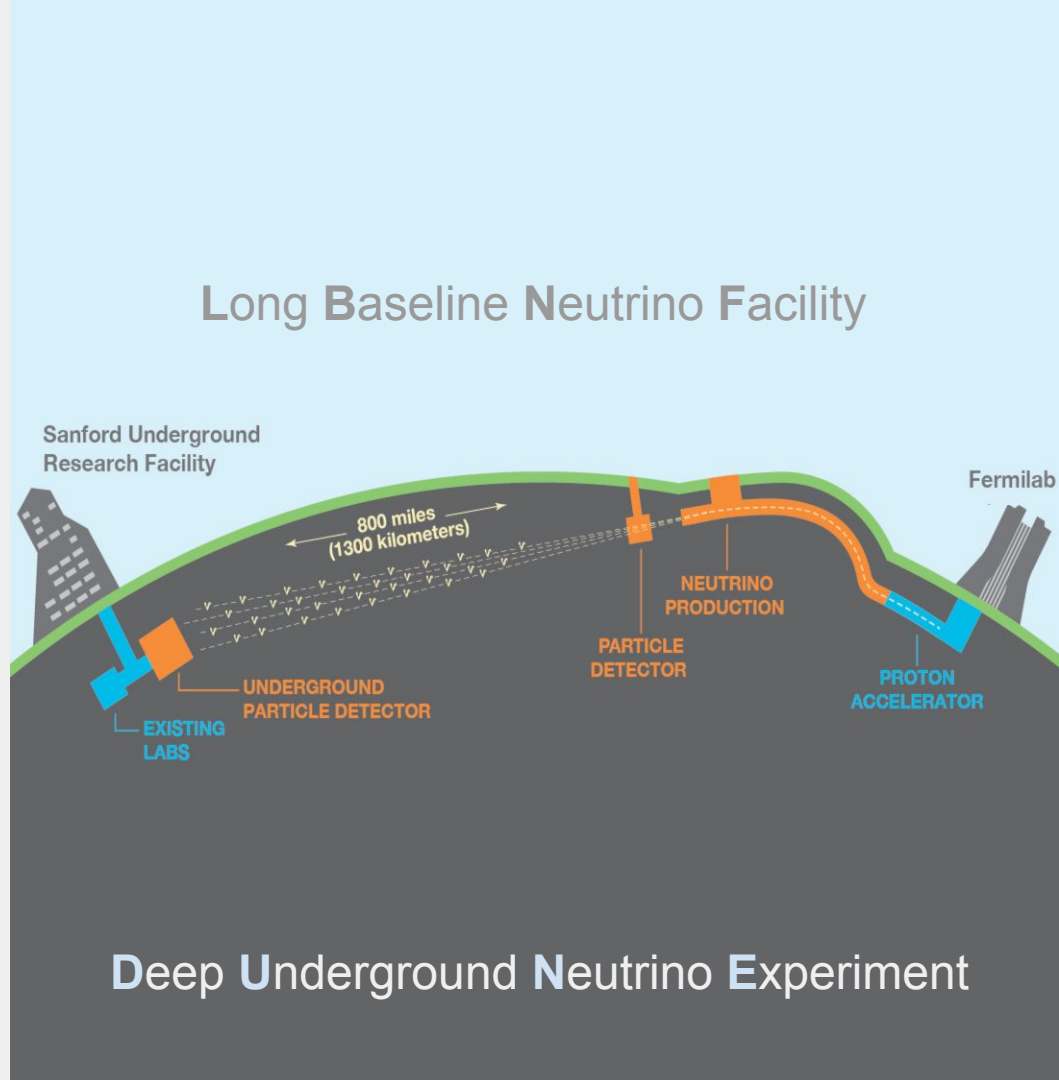
Fisica leptonica

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



Fisica leptonica

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



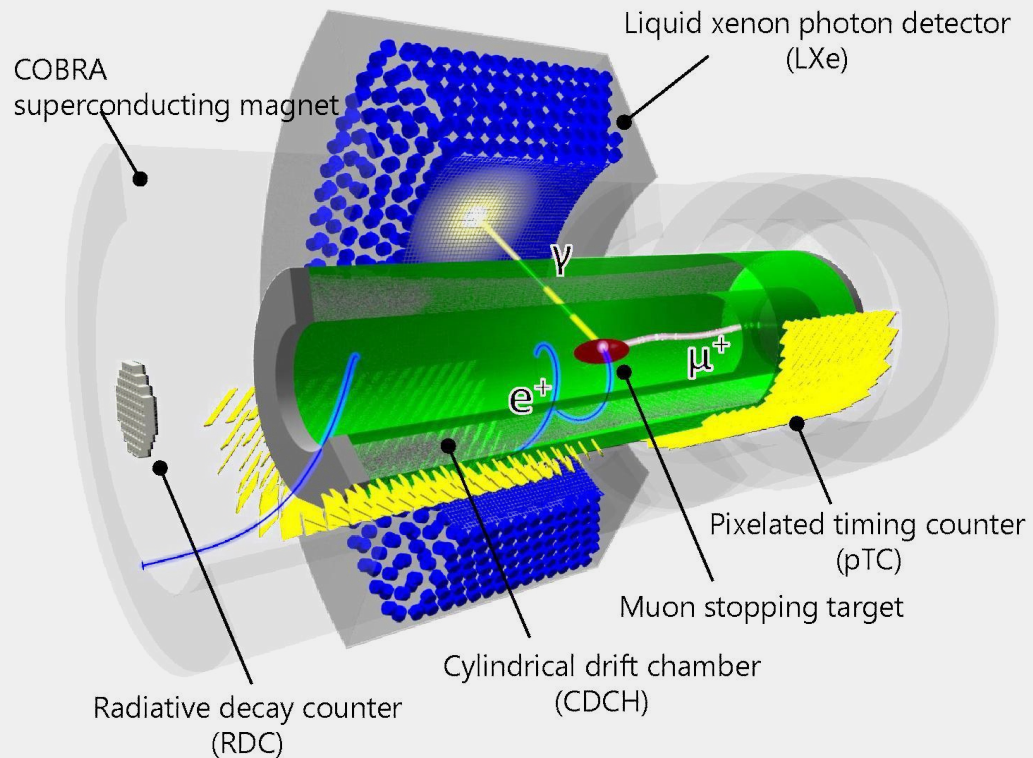
Fisica leptonica

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



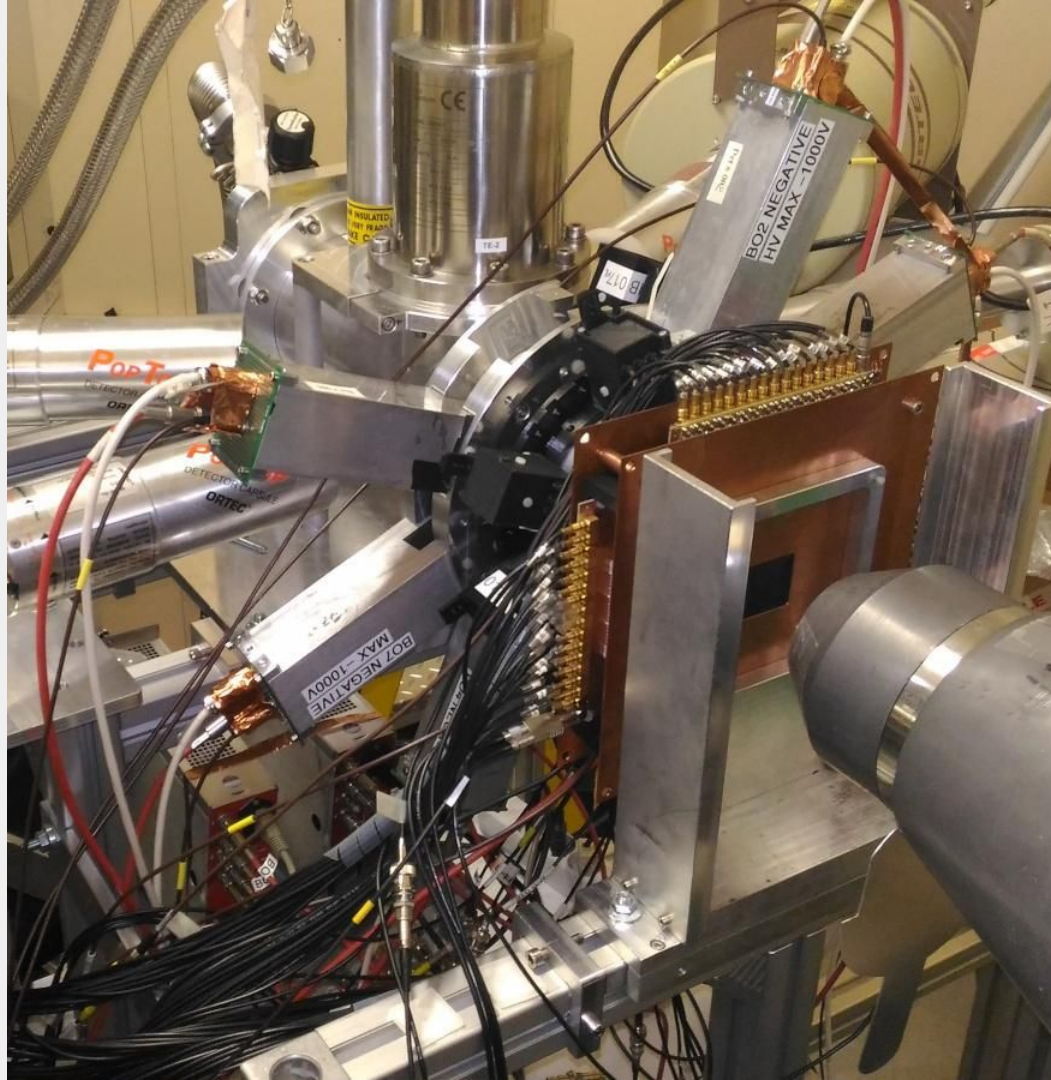
Fisica leptonica

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



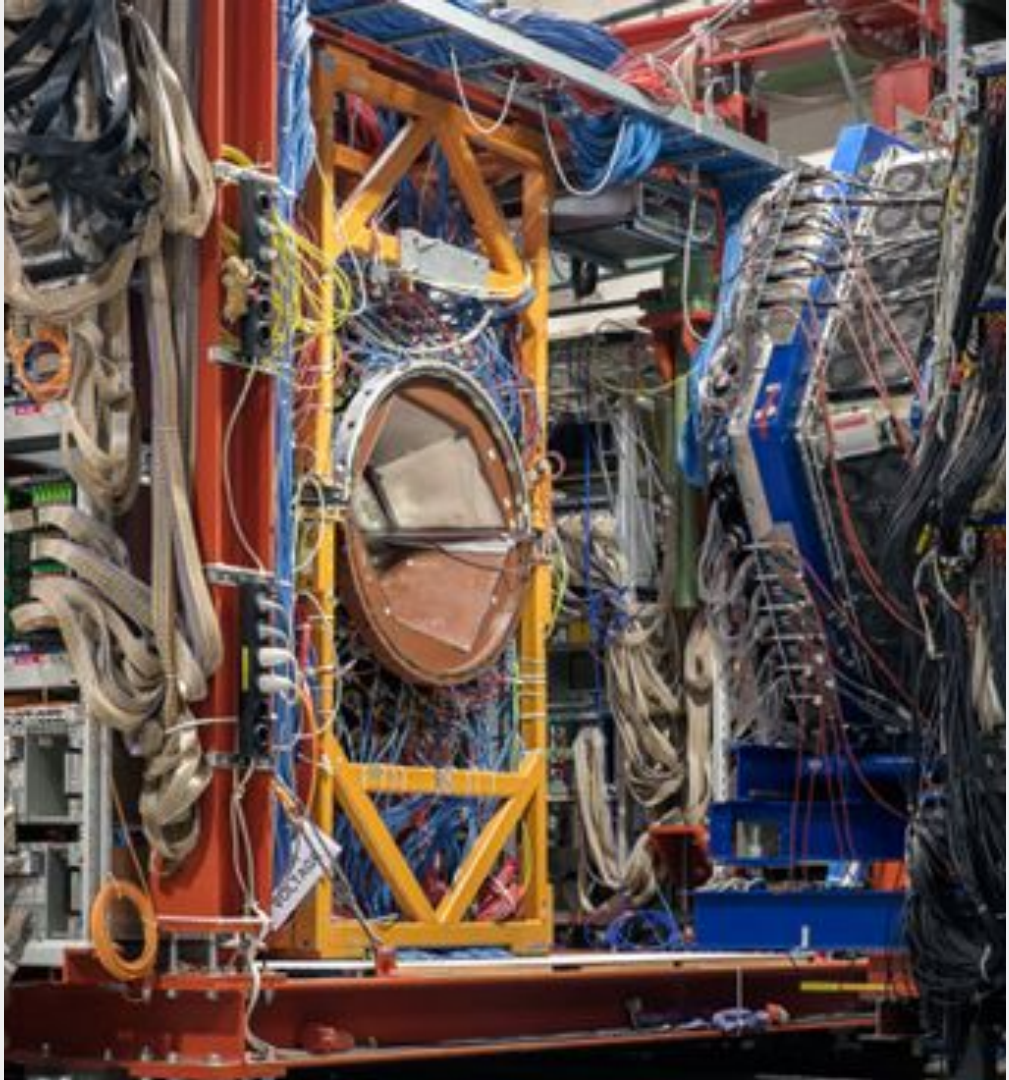
Fisica nucleare

- 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

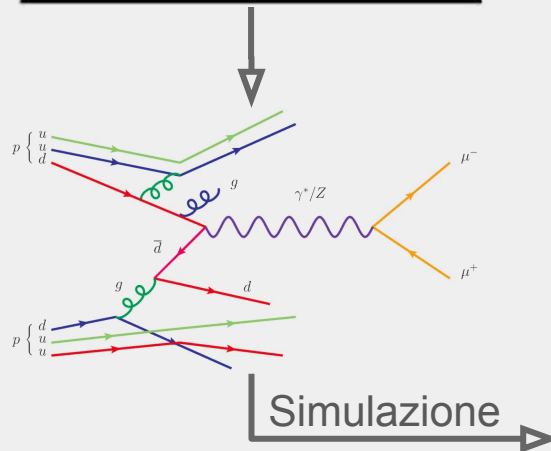
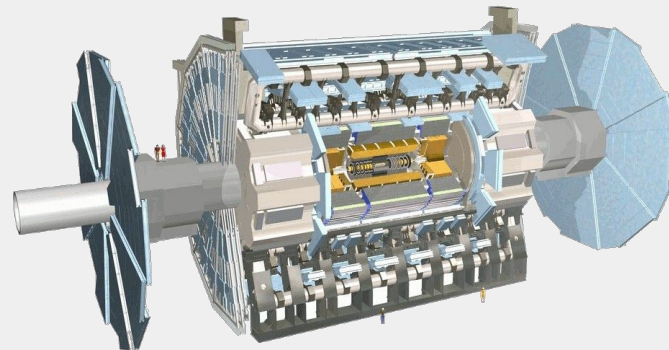
- Rivelatori
 - R&D
 - Costruzione
 - Manutenimento
 - Presa dati
- Analisi dati
 - Simulazione
 - Ricostruzione
 - Analisi finale



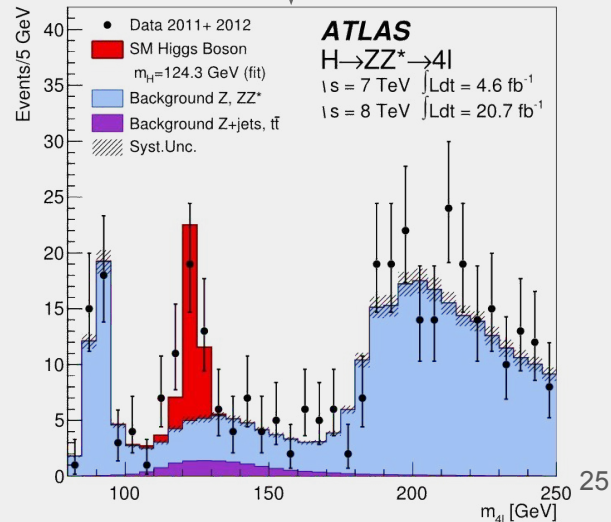
Attività

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

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



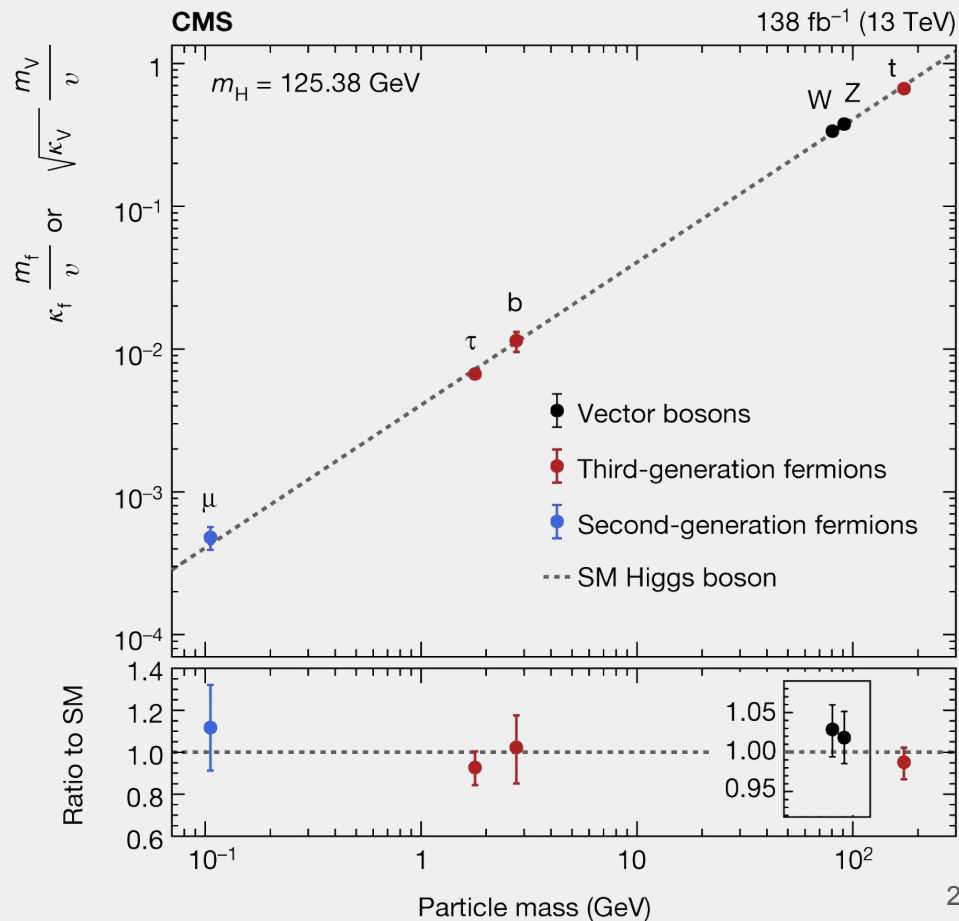
Presca dati



Analisi

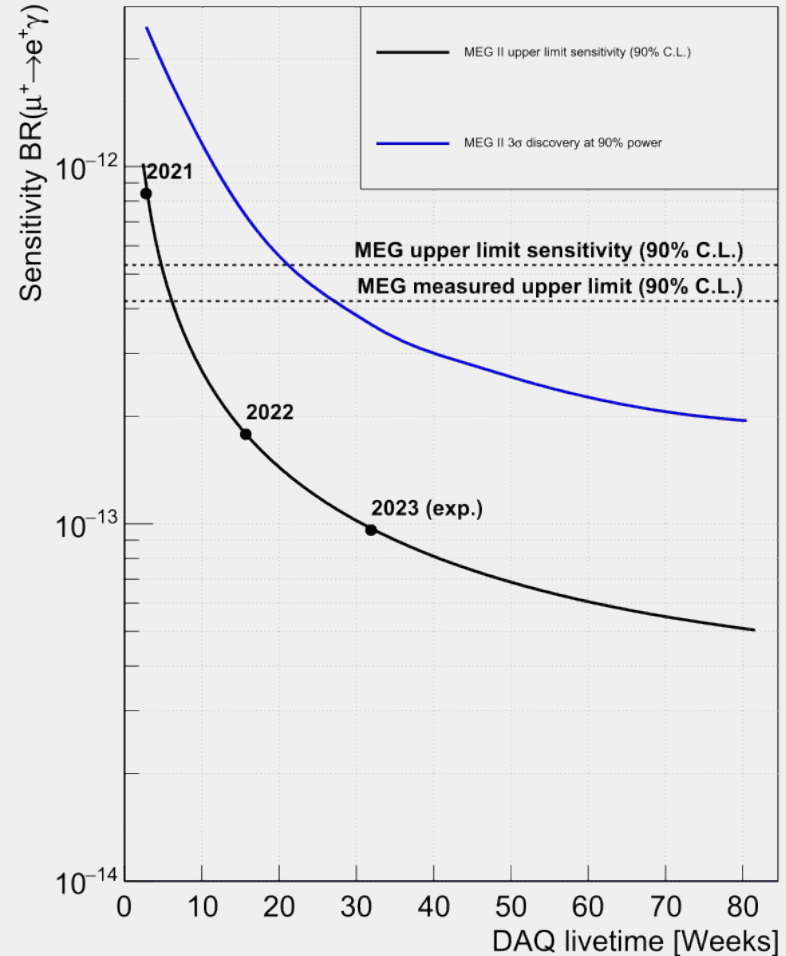
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...

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



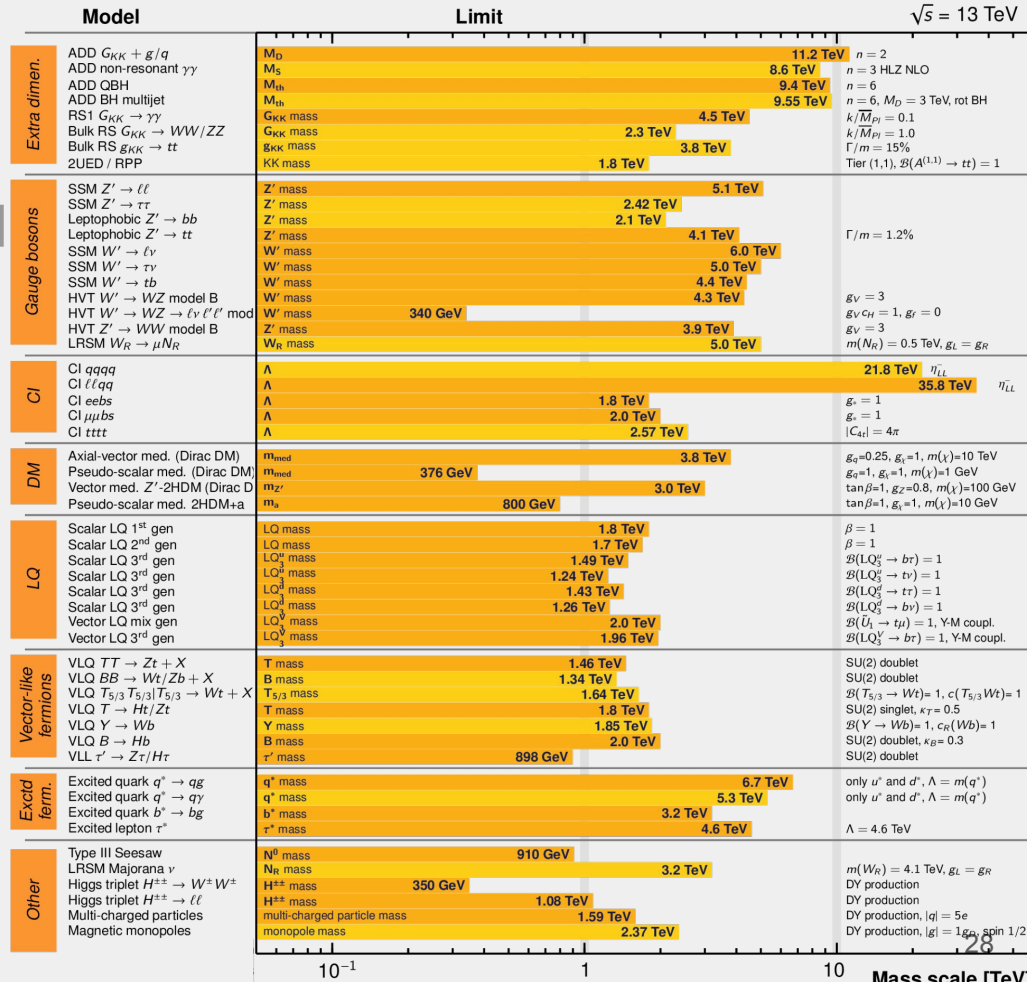
Analisi

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



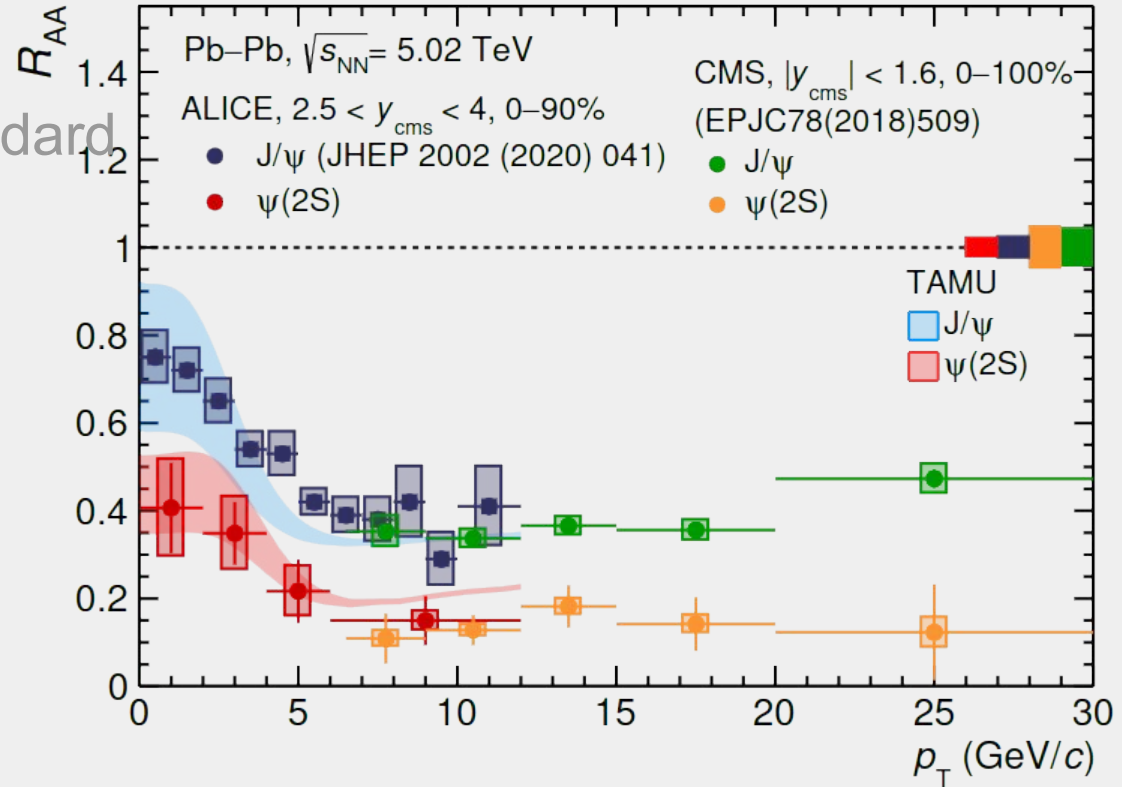
Analisi

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



Analisi

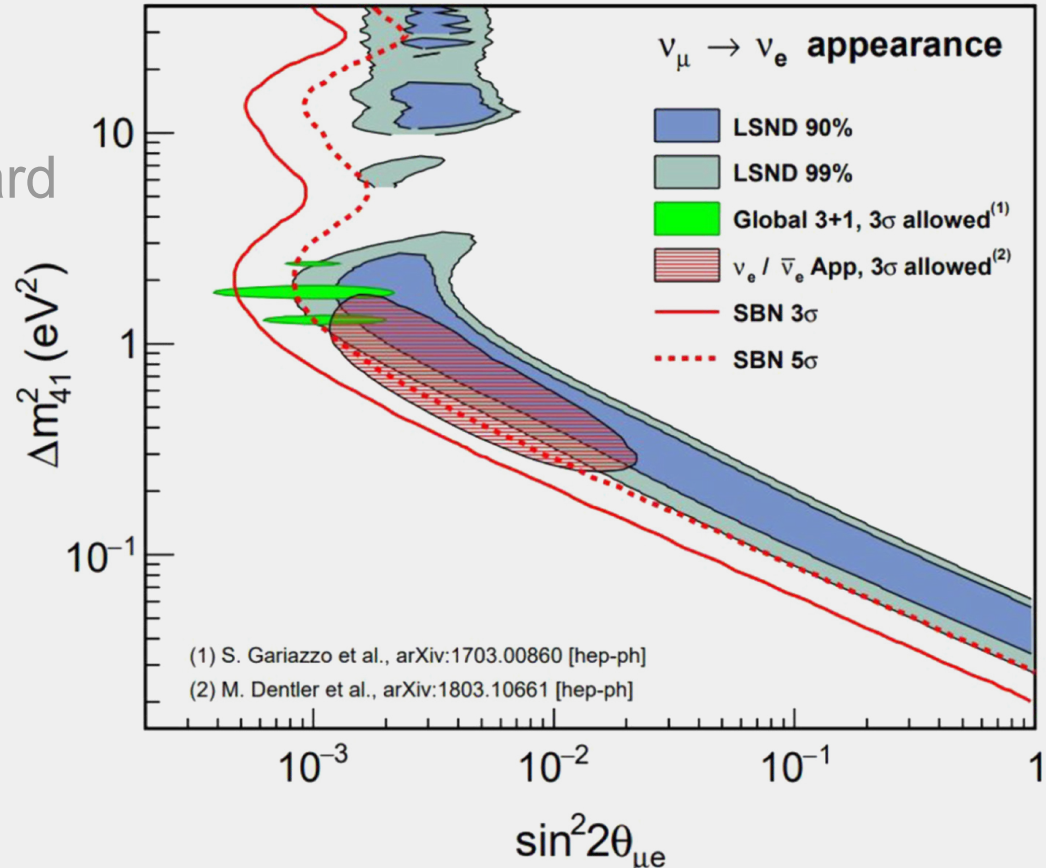
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



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

Analisi

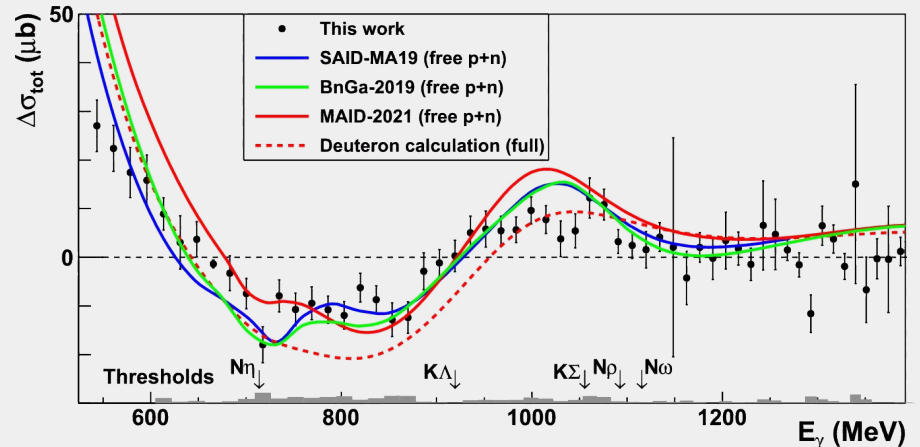
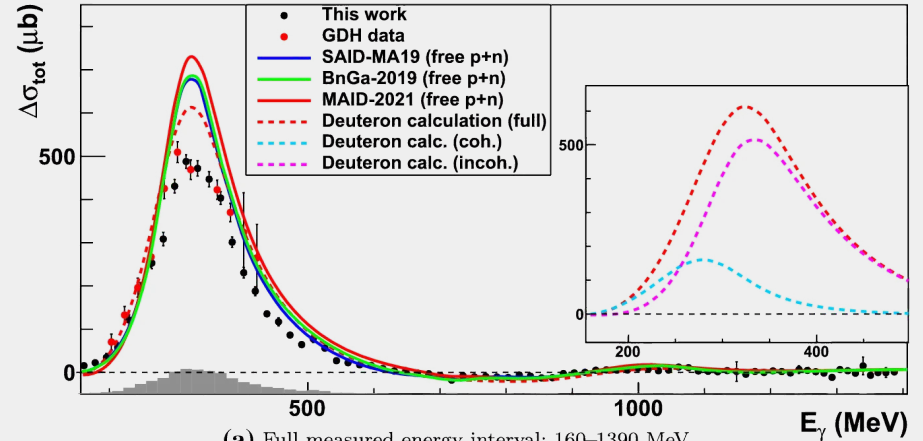
- Fisica del Modello Standard
- Ricerca di nuova fisica
- Quark-gluon plasma
- Studio dei neutrini
- Risonanze barioniche
- ...



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 PHYS-02/A: base teorica
 - 24 CFU di PHYS-01/A nell'ambito di fisica nucl. e subnucl.
 - 12 CFU di PHYS-01/A (fisica sperim.) e PHYS-06/A (fisica appl.)
 - 12 CFU nei settori PHYS-05/A (astrofisica) e IINF-05/A (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

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



24 CFU di fisica (sub)nucleare

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Particle physics	PHYS-01/A	6	I	M
Neutrino physics	PHYS-01/A	6	I	M
Laboratory of nuclear and subnuclear physics I	PHYS-01/A	6	II	M
Laboratory of nuclear and subnuclear physics II	PHYS-01/A	6	I	M
Laboratory of ionizing radiations	PHYS-01/A	6	II	M
Radioactivity	PHYS-01/A	6	I	M
Particle accelerators and nuclear reactors	PHYS-01/A	6	I	M
Fisica nucleare	PHYS-02/A	6	II	M

12 CFU di fisica teorica

Stampo teorico

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

12 CFU di fisica sperimentale

Nome insegnamento	Settore	CFU	Semestre	Laurea
Particle detectors	PHYS-01/A	6	II	M
Statistical methods in physics	PHYS-01/A	6	I	M
Artificial Intelligence for experimental & applied physics	PHYS-01/A	6	II	M
Simulations for experimental and applied physics	PHYS-06/A	6	I	M
Tecniche digitali di acquisizione dati	PHYS-01/A	6	I	T
Tecnologie fisiche e beni culturali	PHYS-06/A	6	II	T

Corsi Affini: 12 CFU

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

+ 12 CFU a scelta libera

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-Bourdarios - *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

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.

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

Menegolli A., **Montagna P.**,
Montanari C., **Negri A.**,
Pareti A.,
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

