

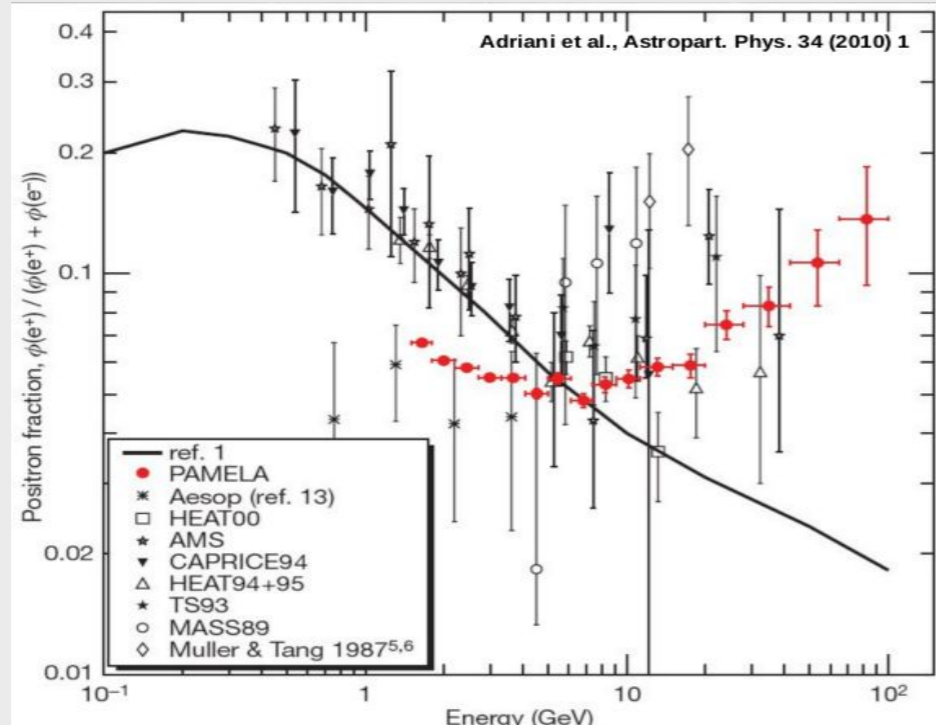
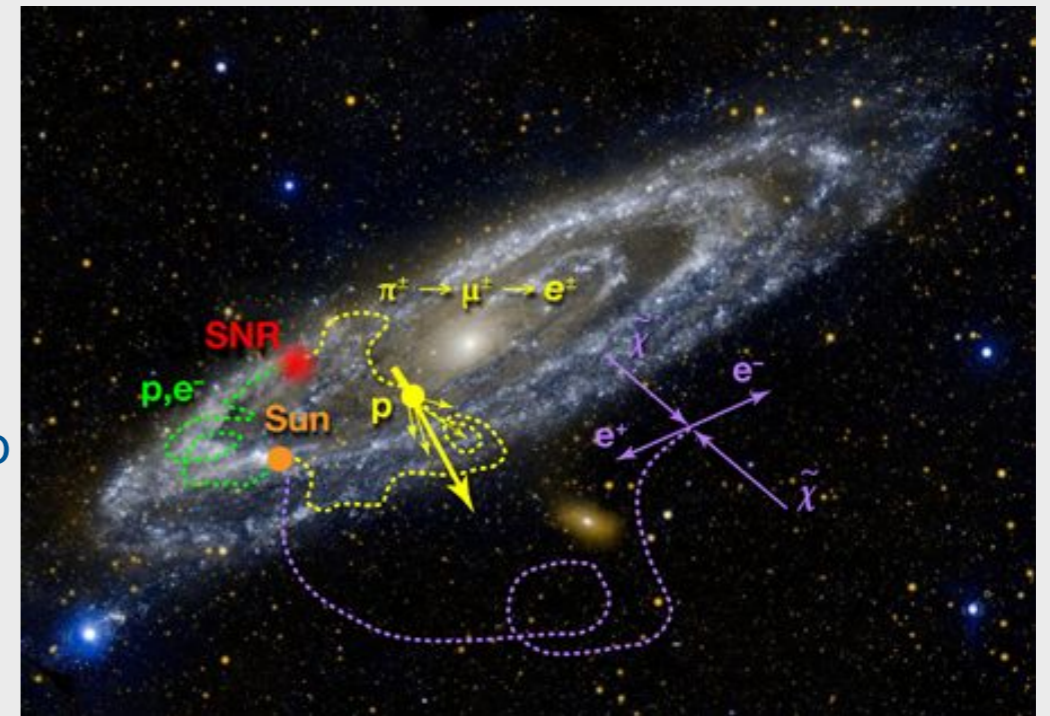


Materia oscura: raggi cosmici

Primo esempio di ricerca indiretta nei raggi cosmici: positroni.

Fondo atteso dalla produzione secondaria dovuta all'interazione dei primari con il mezzo interstellare.

Eccesso di positroni misurato da PAMELA e confermato da AMS02



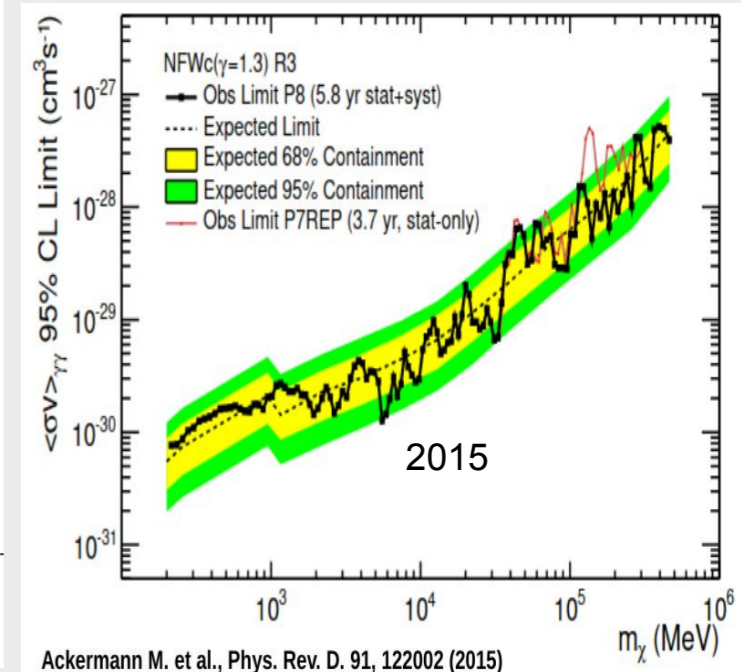
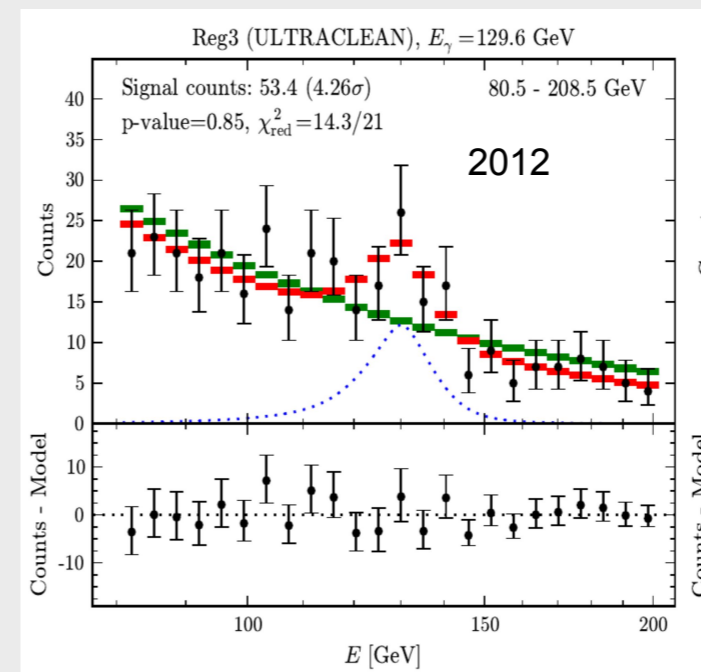
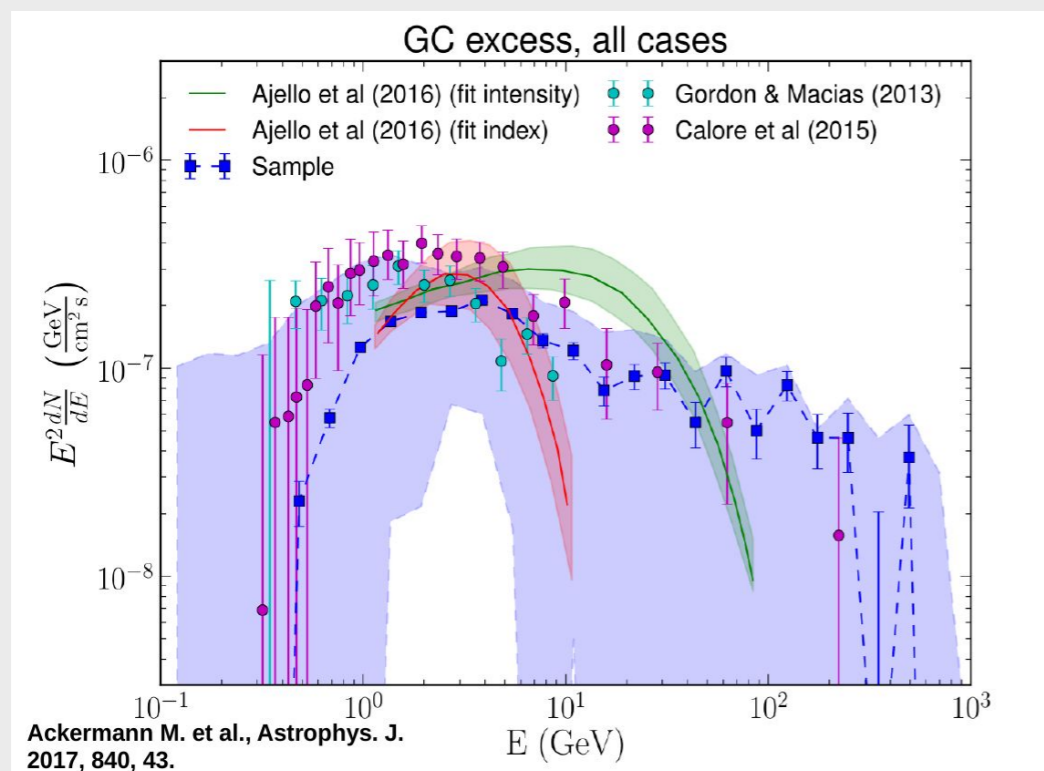
Eccesso di positroni: materia oscura rivelata?

Una spiegazione alternativa: sorgenti di positroni aggiuntive come pulsar.



Materia oscura: raggi cosmici

Altri esempi di ricerca di materia oscura tramite rivelazione di fotoni (Fermi-LAT):
Centro galattico Linee Gamma



**Iniziale eccesso rispetto alle attese.
Nuova stima delle incertezze ha evidenziato
un accordo coi modelli astrofisici**

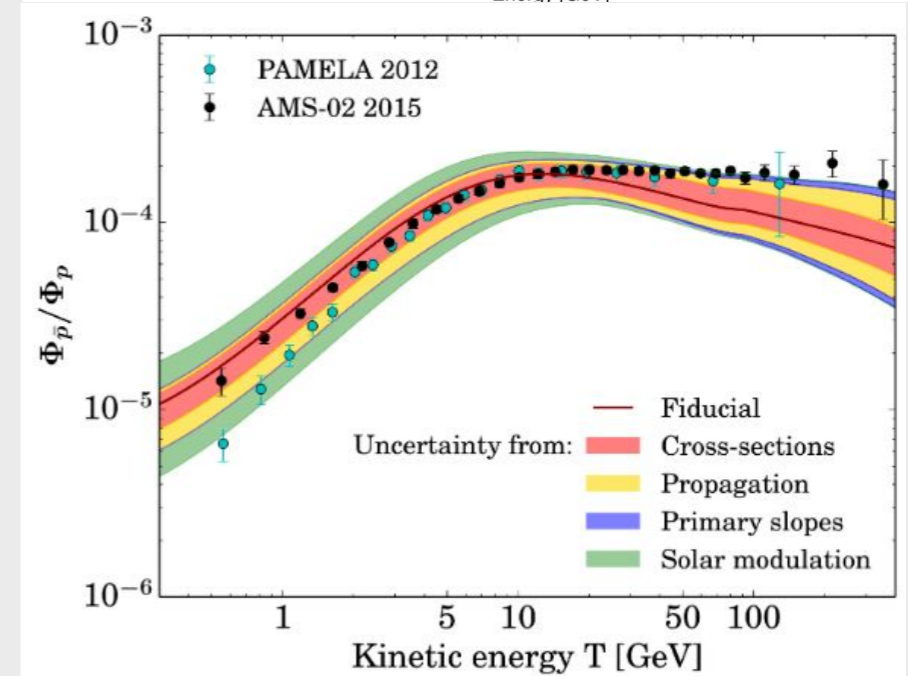
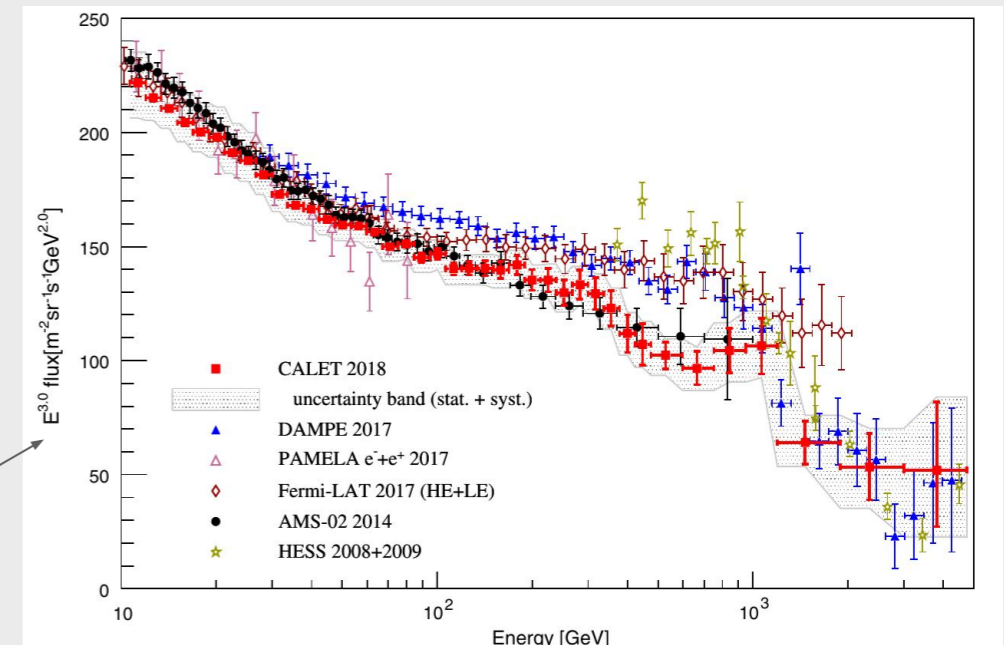
**Indicazione di una possibile linea gamma
Evidenza sparita con l'aumento della
statistica e la nuova analisi dati.**



Materia oscura: raggi cosmici

Alcune sfide per l'investigazione indiretta di materia oscura:

- Approccio multi-messenger: particelle cariche, gamma, neutrini
- Miglior controllo sui sistematici degli esperimenti.
- Modelli precisi sul fondo astrofisico.





Misure agli acceleratori possono aiutare a migliorare i modelli sul fondo astrofisico.

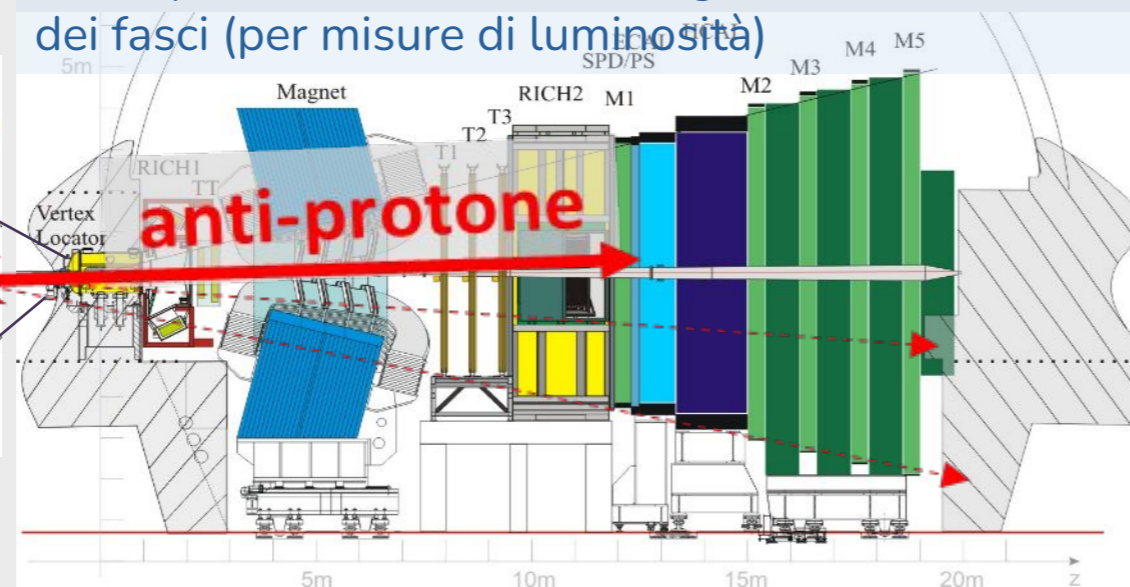
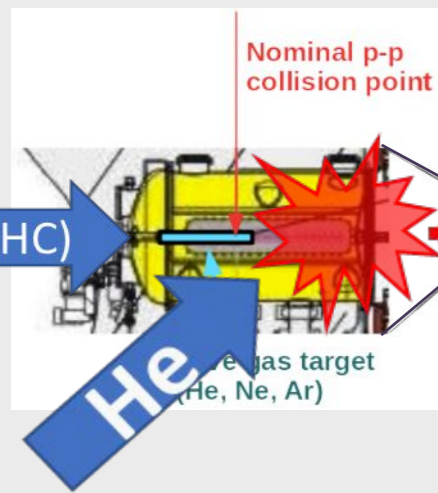
Un esempio: sezione d'urto di produzione di antiprotoni.

- Prodotti da urti di raggi cosmici con il mezzo interstellare (pp, pHe, Hep, HeHe).
- Poche misure dirette in lab disponibili (essenzialmente solo pp -> anti-p+X).

IDEA! (nata dentro l'INFN, grosso contributo di Firenze):

Possiamo iniettare He dentro LHC, studiare le collisioni pHe e misurare quanti anti-p si producono? **SI!**

LHCb può iniettare He nella regione di interazione dei fasci (per misure di luminosità)

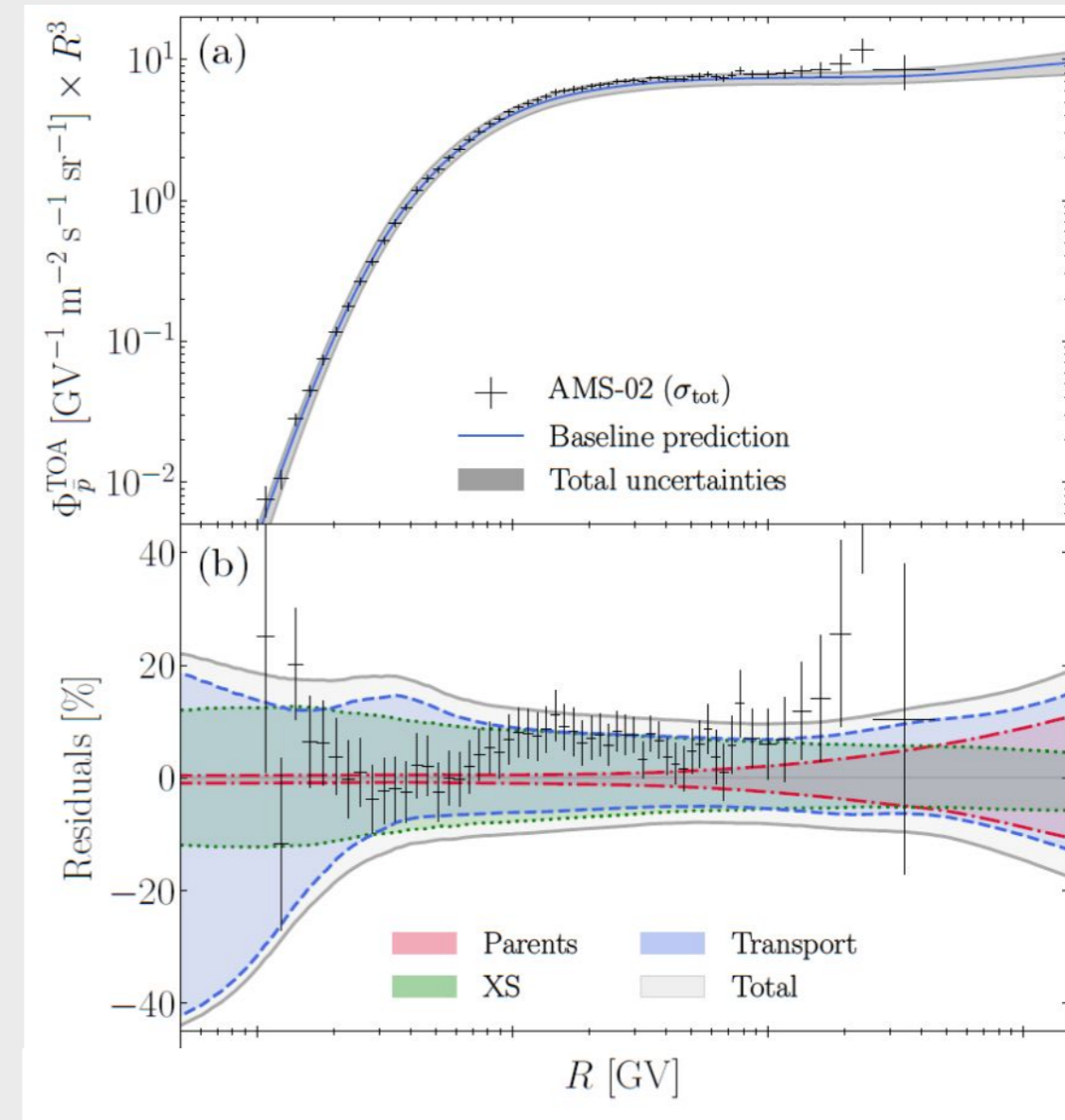
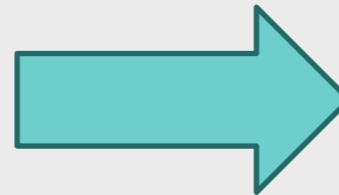
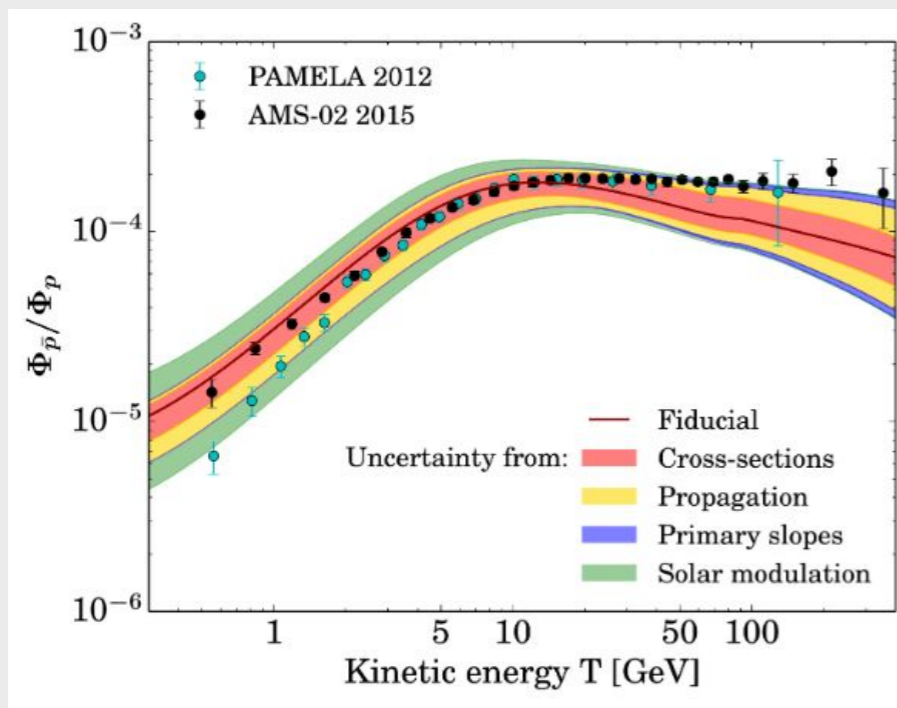


Misura diretta di sezione d'urto pHe->anti-p+X ad energie nel c.d.m. tipiche delle collisioni dei raggi cosmici!



LHCb: Prima misura diretta di sezione d'urto di produzione di anti-p in pHe:

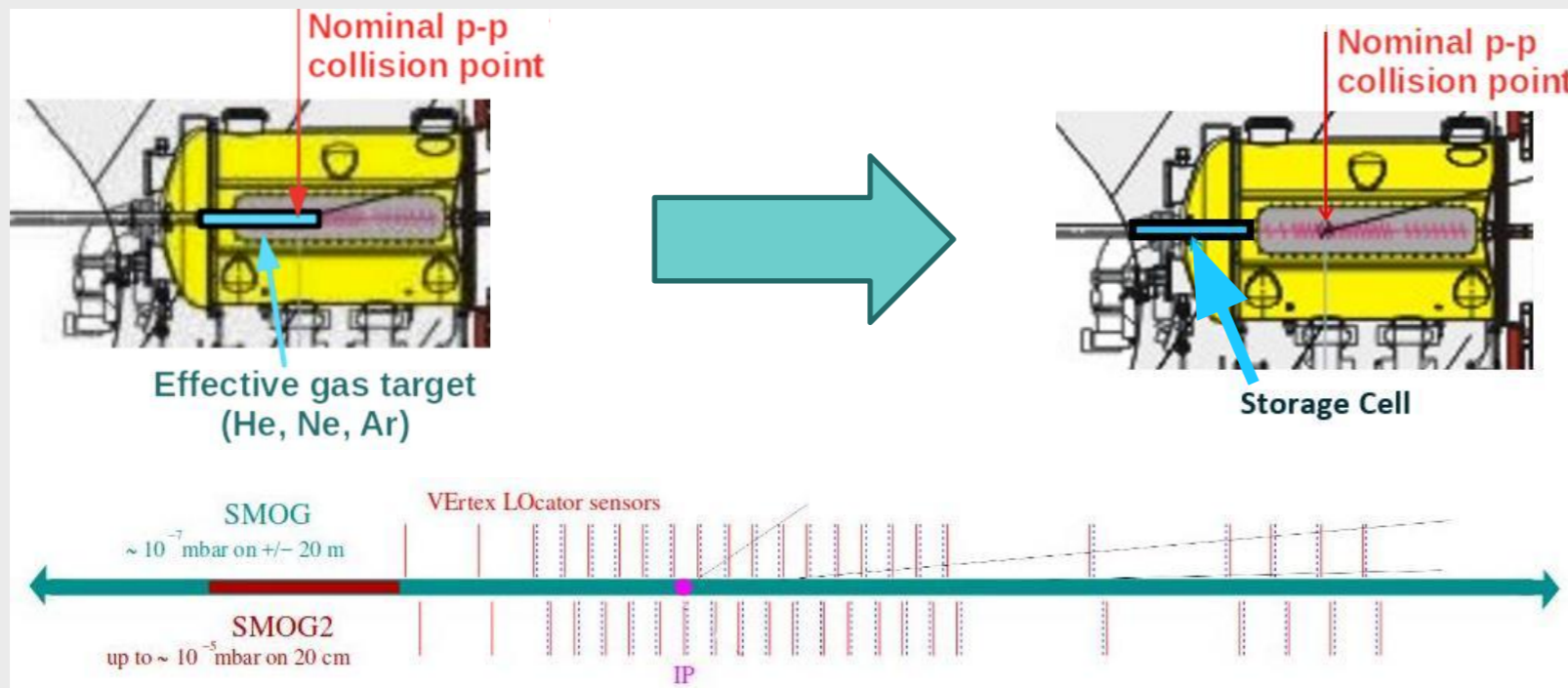
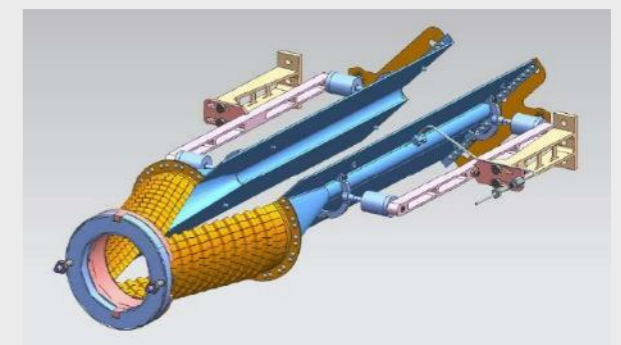
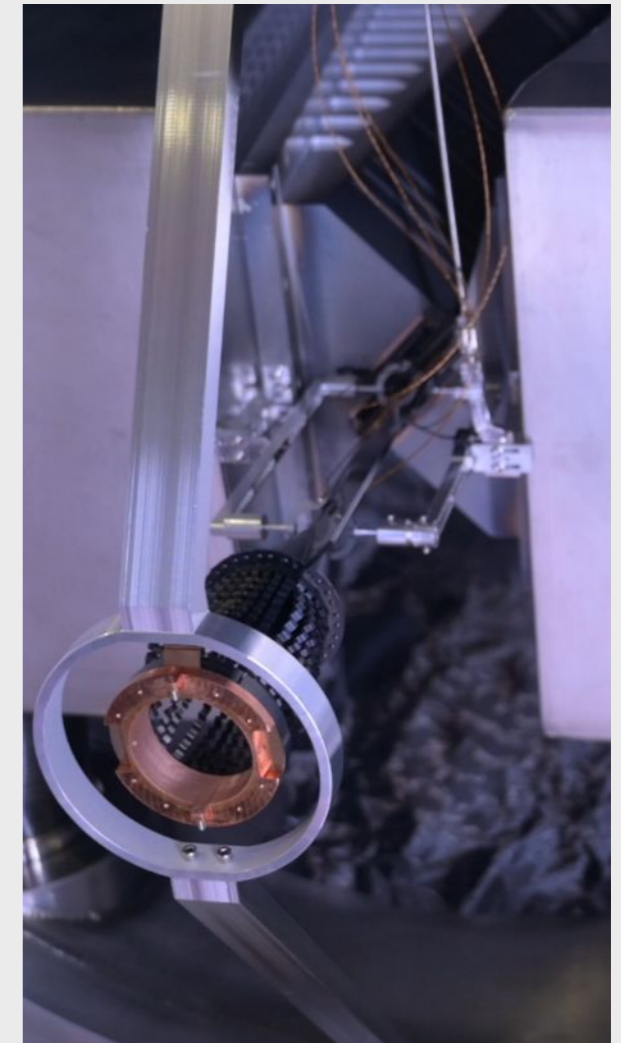
- Validazione per i modelli di estrapolazione e di evoluzione energetica delle sezioni d'urto.
- Riduzione dell'incertezza sul flusso di antiprotoni secondari.





Uno sguardo a domani: SMOG2

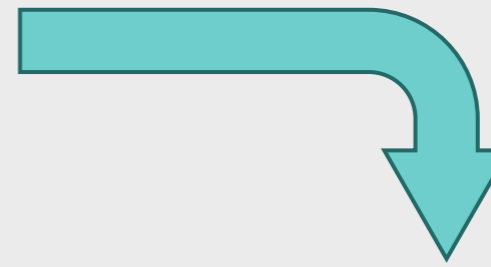
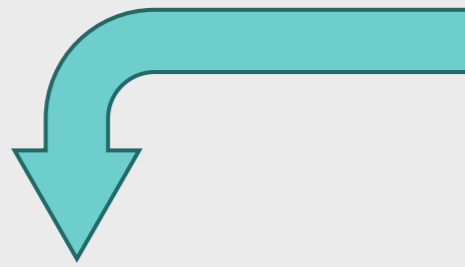
- Misura precisa della pressione -> Riduzione incertezza sistematica.
- Maggiore densità -> Maggiore statistica.
- Più tipi di gas iniettabili -> Ampliare lo studio di sezioni d'urto di produzione di antimateria e ridurre le incertezze sui modelli.



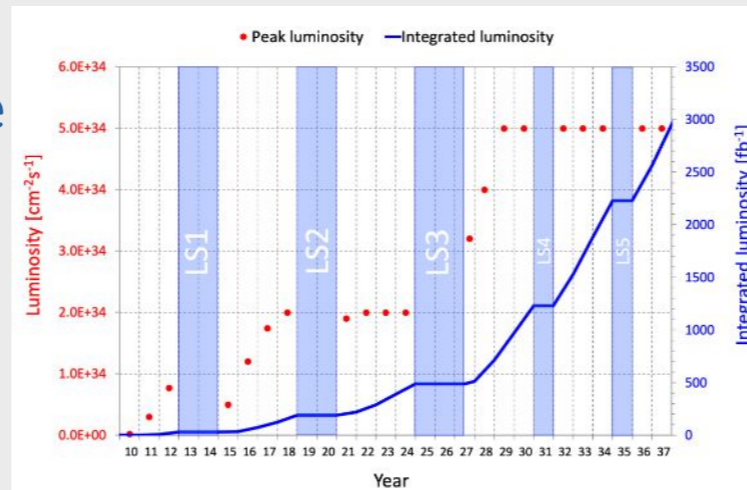
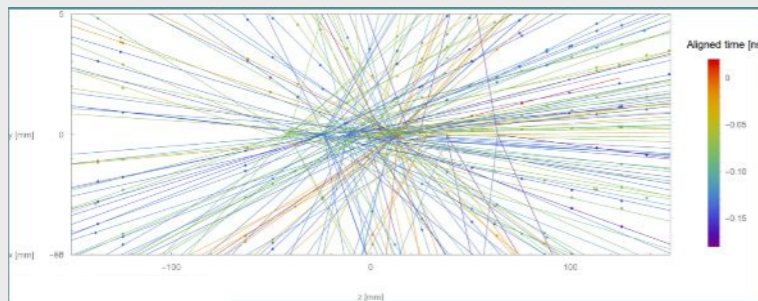


HL-LHC e esperimenti futuri:

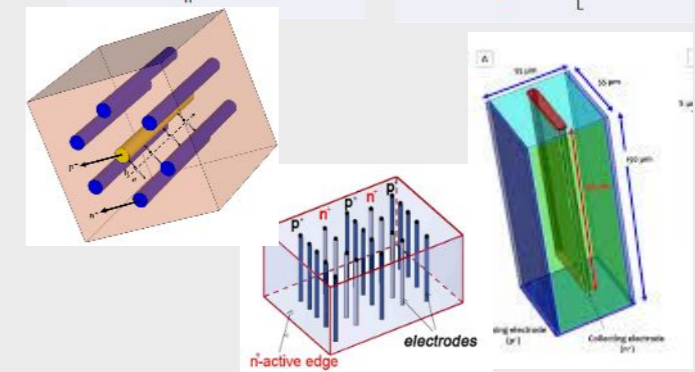
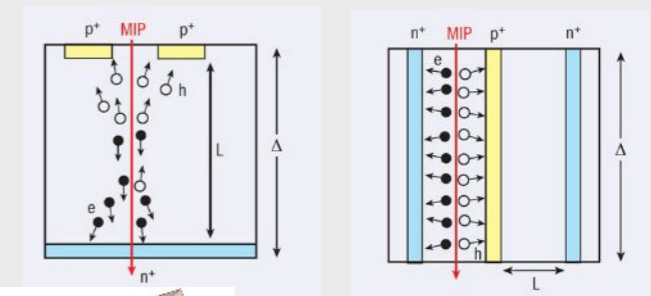
- Maggiore luminosità
- Maggiore pile-up
- Maggiore irraggiamento

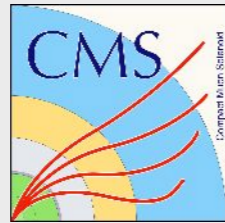


Elevata risoluzione spazio-temporale per identificare gli eventi "interessanti"



Nuovi materiali/geometrie per una maggiore resistenza alle radiazioni

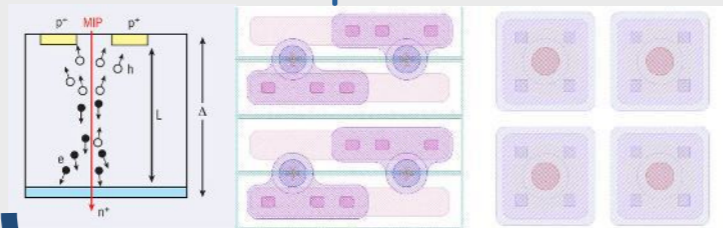




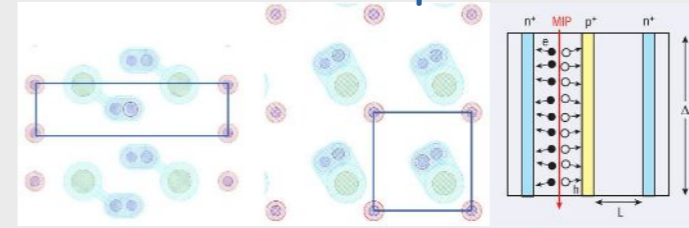
Inner tracker di CMS:

- Elevata resistenza alle radiazioni
- Elevata risoluzione spaziale

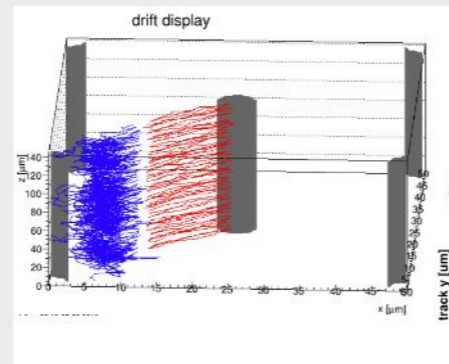
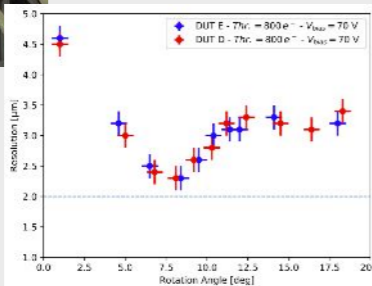
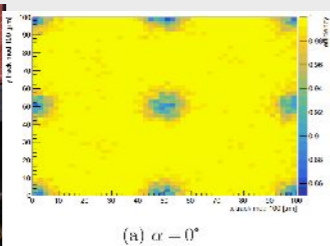
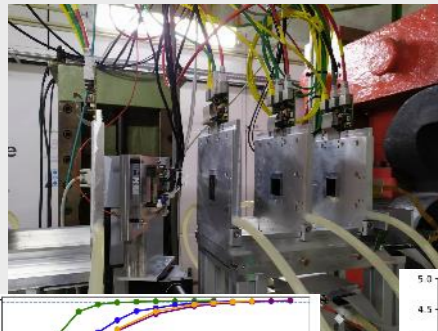
Rivelatori planari sottili



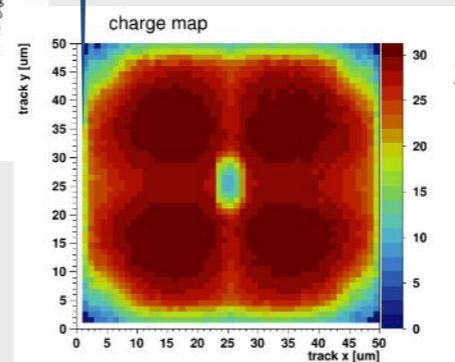
Rivelatori a pixel 3D



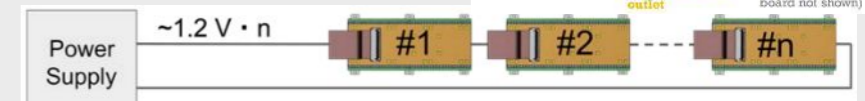
Caratterizzazione sensori



Simulazione



Sviluppo nuovi alimentatori



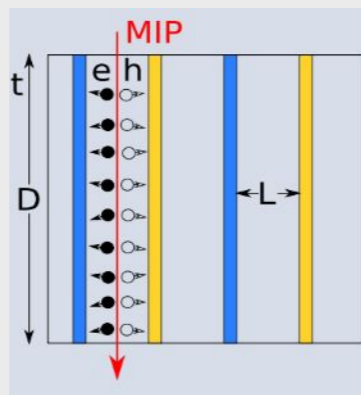


Fabbricazione via grafitizzazione

TimeSPOT

Progetto INFN TimeSPOT: Sviluppo di un tracciatore ibrido 4D completo

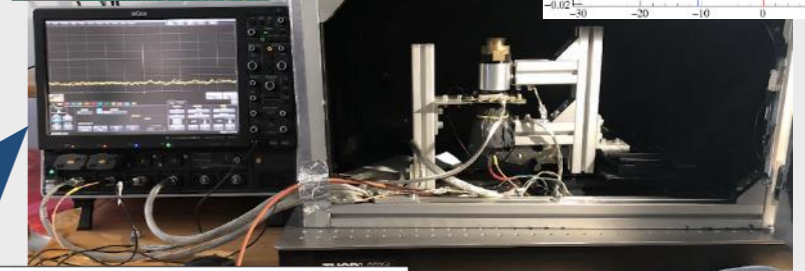
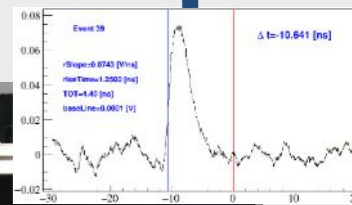
Ottimizzazione della risoluzione temporale



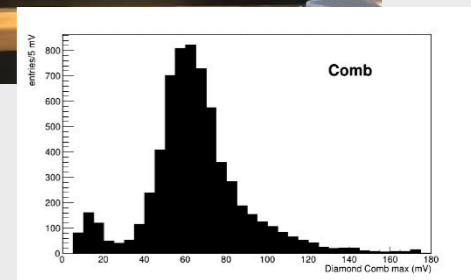
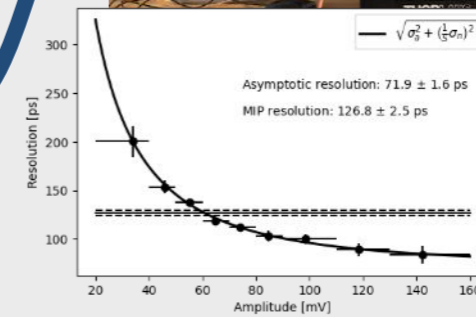
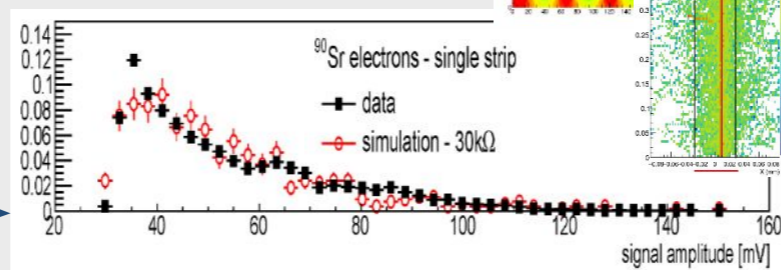
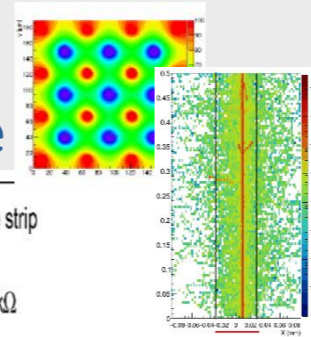
Rivelatori 3D al diamante

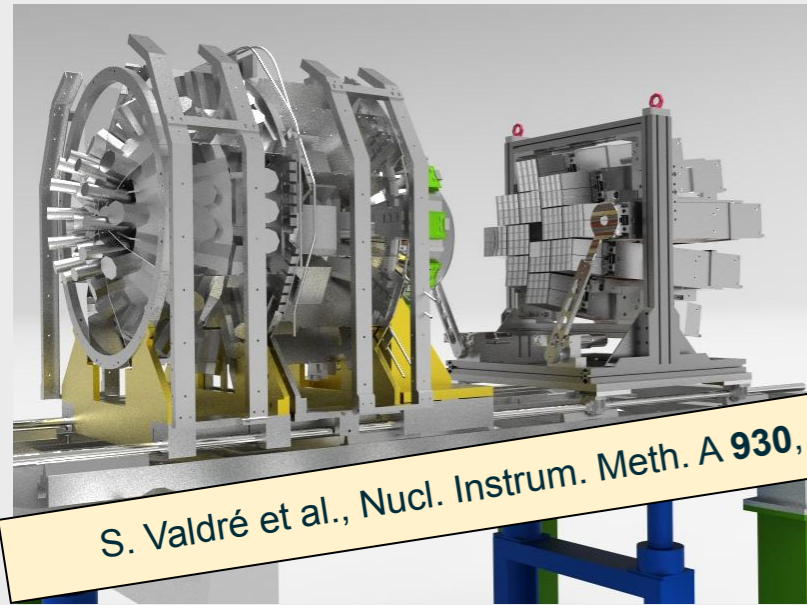


Test

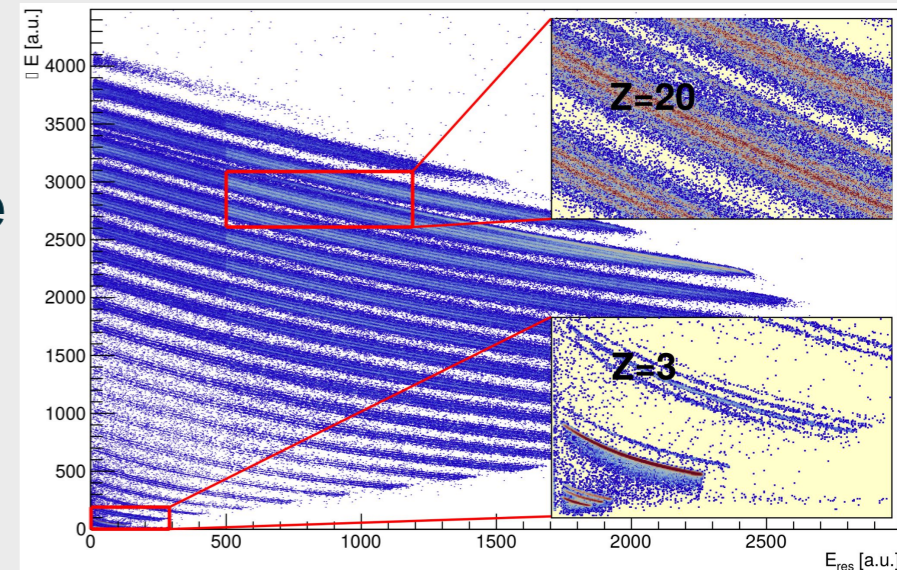


Simulazione





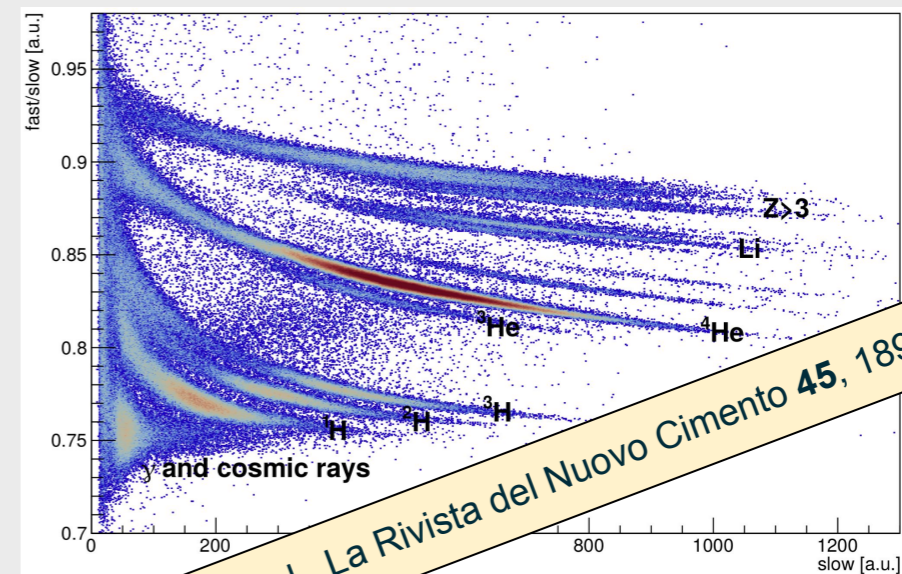
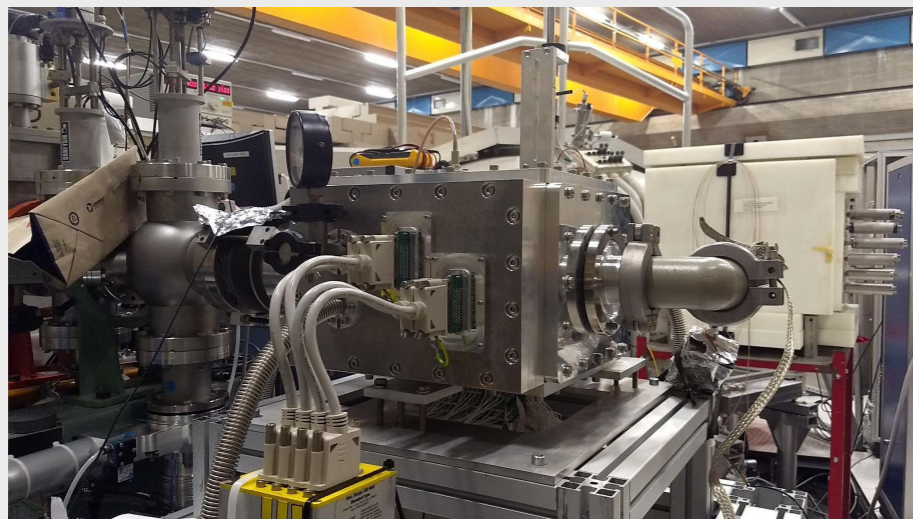
Sviluppo di nuove tecnologie in fisica nucleare a Firenze



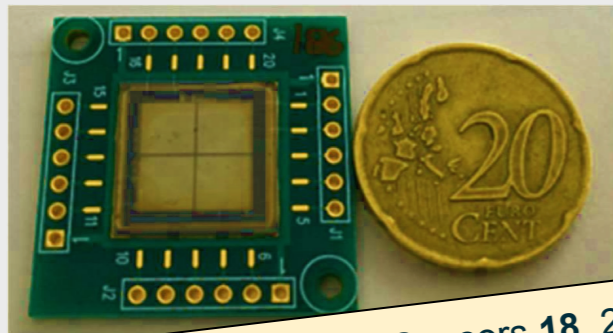
S. Valdré et al., Nucl. Instrum. Meth. A **930**, 27 (2019)

Rivelatori innovativi

Tecniche di rivelazione



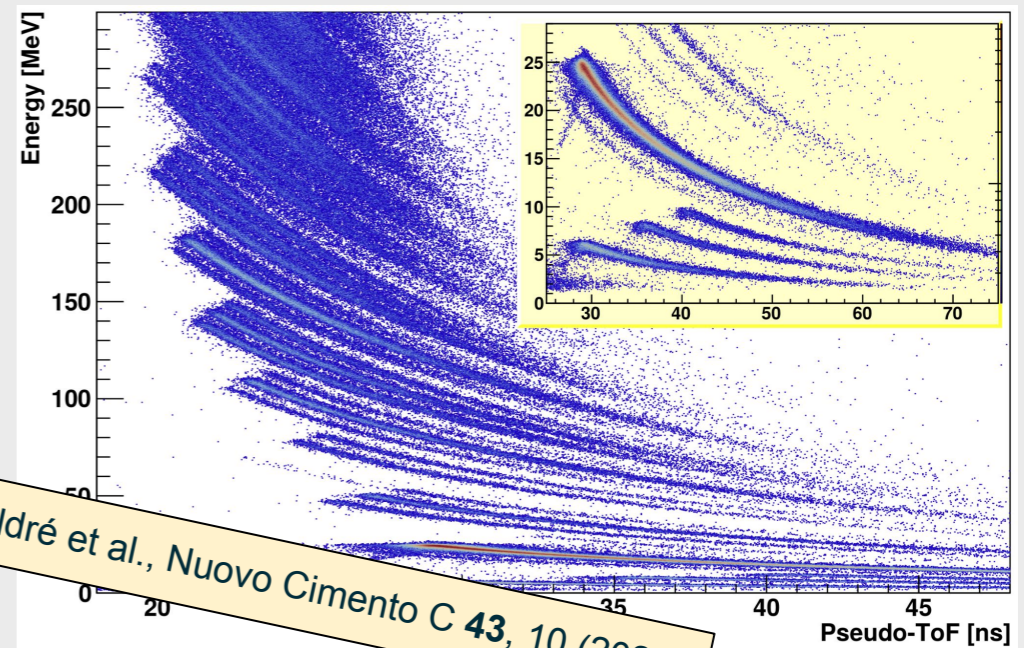
A. Badalà et al., La Rivista del Nuovo Cimento **45**, 189 (2022)



S. Tudisco et al., Sensors **18**, 2289 (2018)

I sensori al carburo di silicio (SiC) sono una naturale evoluzione dei sensori al silicio: la maggiore resistenza alle radiazioni permette l'utilizzo con fasci accelerati molto intensi

I progressi nelle tecniche di misura dei tempi di volo delle particelle permettono di discriminare ioni poco energetici che si arrestano nei primi stadi dei rivelatori



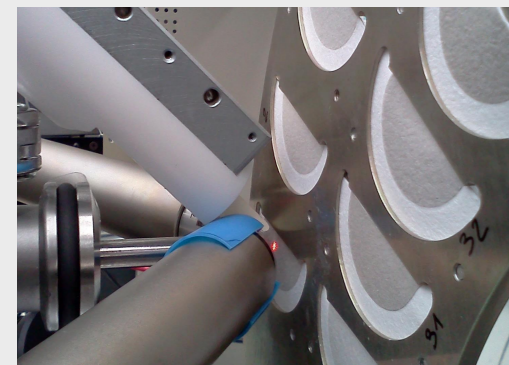
S. Valdré et al., Nuovo Cimento C **43**, 10 (2020)

Partecipazione a progetto PRIN 2022 che sfrutta l'esperienza nella sincronizzazione fra canali di acquisizione ai livelli del picosecondo per misurare il potere di arresto della materia nello stato di plasma



Fisica e Società

Applicazioni all'ambiente



Ion Beam Analysis per caratterizzare il particolato atmosferico



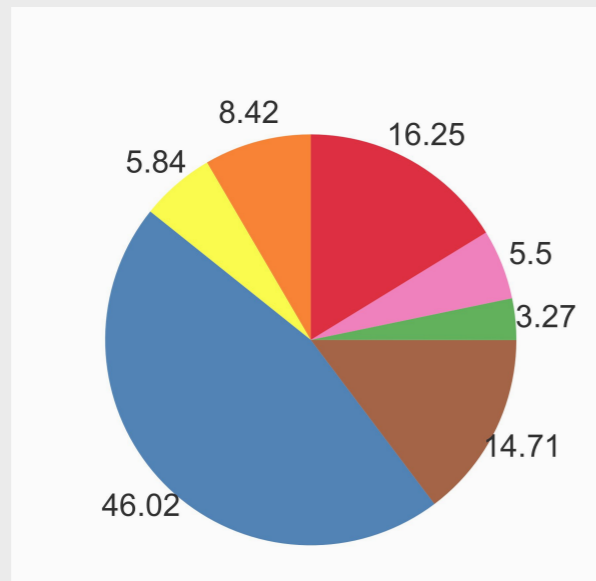
acceleratore Tandatron 3 MV @INFN-LABEC

... e ai beni culturali

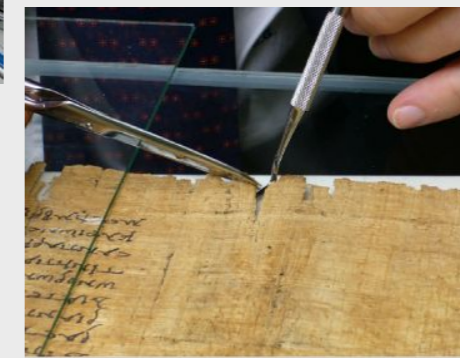
Ion Beam Analysis per caratterizzare opere d'arte



e identificare le sorgenti



- AmmoniaSulfate
- Anthropic
- Biogenic
- BiomassBurning
- Marine
- Nitrate
- Soil



Accelerator Mass Spectrometry per datazione con ¹⁴C

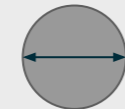
Sviluppo e applicazione di **strumentazione portatile**





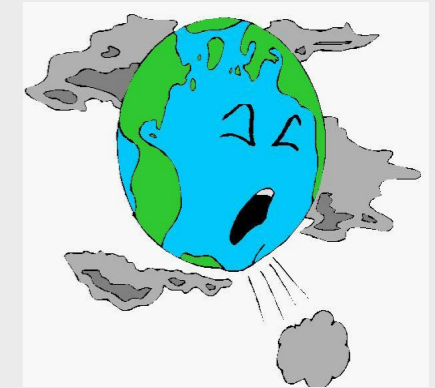
Fisica e Società: Applicazioni all'ambiente

Particolato atmosferico

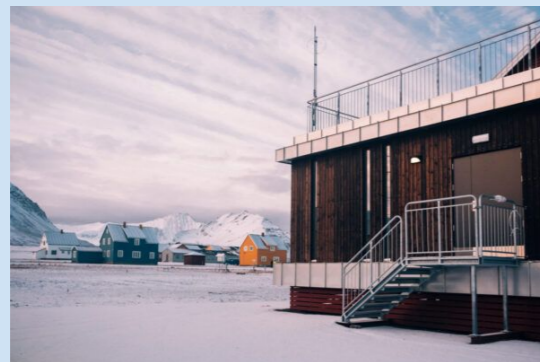


< 100 micron

particelle sospese in atmosfera aventi diametro inferiore a 100 micron



- **influenza il clima**, alterando il bilancio radiativo terrestre e quindi influenzando il riscaldamento e raffreddamento atmosferico



- ha **effetti sulla salute**.



importante comprenderne i **meccanismi di formazione e trasporto**



- **campionamento in ambienti remoti** (Isole Svalbard, Norvegia; Polo sud)
- isolare contributo sorgenti naturali e antropiche anche a grandi distanze
- **studiare i meccanismi responsabili del cambiamento climatico.**

fondamentale l'**analisi della composizione**

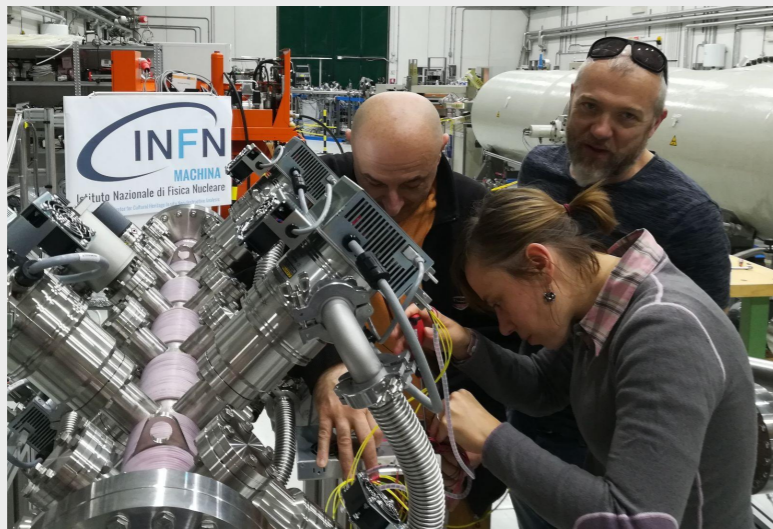


- monitoraggio in ambienti urbani, suburbani, rurali
- **identificazione sorgenti**
- **messa in atto misure di prevenzione**

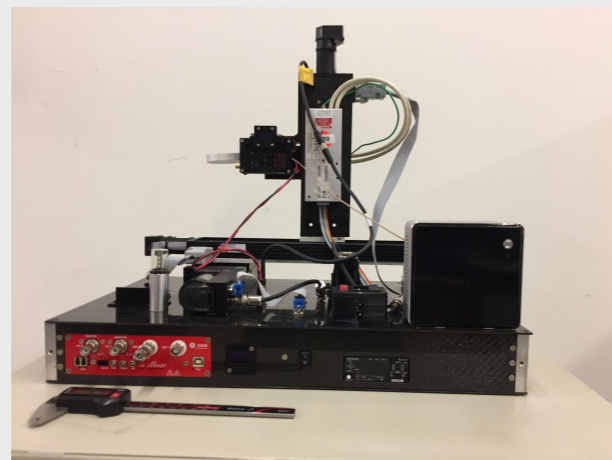
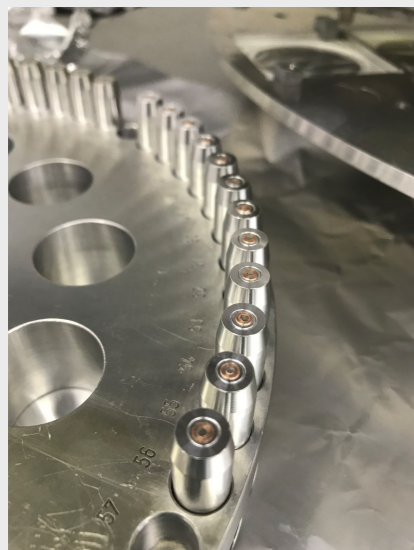


Fisica e Società: **Applicazioni ai beni culturali**

- **Sviluppo di strumentazione** e metodologie di analisi per i beni culturali **Perché analisi sui beni culturali?**



- per **conoscere i materiali impiegati** e le tecniche di realizzazione;
- per **valutare lo “stato di salute”** di un’opera;
- per **pianificare interventi di restauro**;
- per **studi di provenienza**;
- per **datare** opere o reperti;
- per info su **autenticazione**.





Fisica e Società: Applicazioni ai beni culturali

- **sviluppo di piattaforme digitali,** modelli e servizi per gestire i dati prodotti dalla rete



Archivi di dati “standardizzati”

- strumenti di ricerca
- strumenti che permettano il **riutilizzo dei dati** ai ricercatori della rete (della comunità scientifica)
- strumenti che permettano la **visualizzazione per il pubblico**



Fisica e Società: Applicazioni ai beni culturali

- **sviluppo di piattaforme digitali**, modelli e servizi per gestire i dati prodotti dalla rete



- Archivi di dati “standardizzati”
- strumenti di ricerca
 - strumenti che permettano il **riutilizzo dei dati** ai ricercatori della rete (della comunità scientifica)
 - strumenti che permettano la **visualizzazione per il pubblico**



SUM-CH Save Ukraine Monuments

Iniziativa volta a **salvare il patrimonio culturale digitale ucraino** (foto, modelli 3D, informazioni digitali), per poterlo usare per il restauro o la ricostruzione dei monumenti danneggiati

Operazione in corso

Situazione @INFN-Fi:

- 18 fra istituzioni pubbliche e PMI operanti nel settore dei beni culturali
- ~ 70 dataset scaricati (>220000 file)



Nuove tecnologie



Applicazioni



Impatto sulla società



2020: elaborato progetto su dosimetria in tempo reale

Presentato un progetto PRIN 2022 sui radiofarmaci!

2016: elaborato progetto su frammentazione del carbonio in adroterapia



Nuove tecnologie



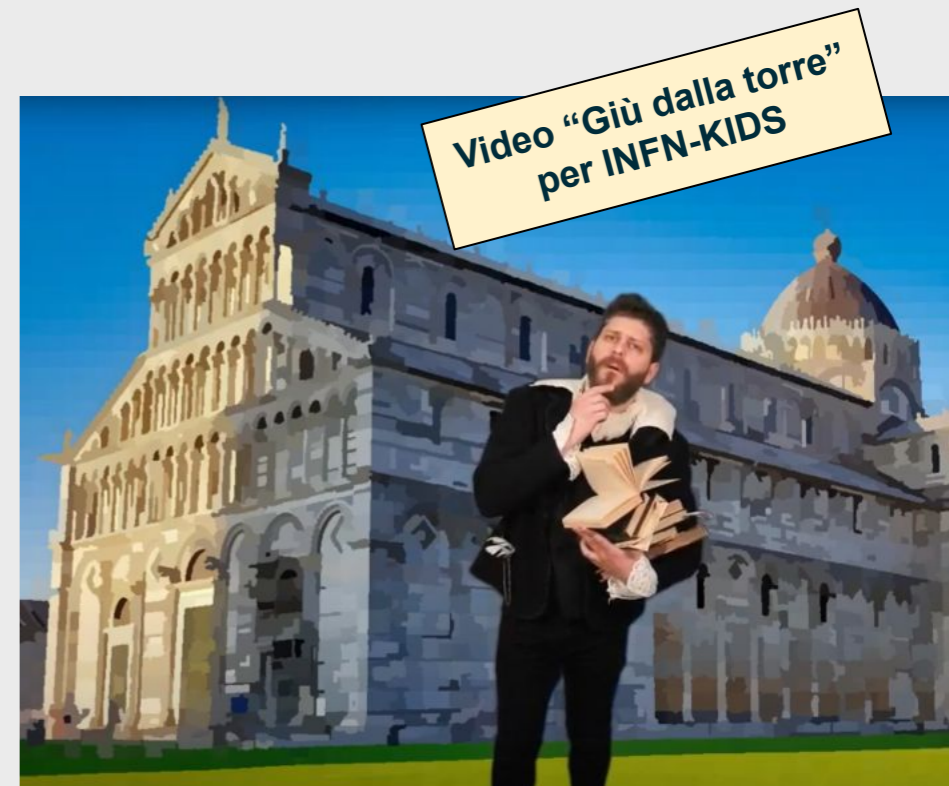
Applicazioni



Impatto sulla società



Divulgazione





SCIENZE STATE
 la divulgazione scientifica per giovani, giovanissimi e appassionati di ogni età
2022
 15 GIUGNO
 18 SETTEMBRE
 www.openlab.unifi.it



PER UN PUGNO DI LIBRI..
 Scientifici

NUCLEI E PARTICELLE
 ELETTRICITÀ E MAGNETISMO
 MATERIA OSCURA
 TERMODINAMICA
 MECCANICA

Catania, 2 Marzo, ore 15:00
 Firenze, 3 Marzo, ore 15:00
 Cagliari, 3 Marzo, ore 10:30
 Napoli, 4 Marzo, ore 15:00

70 infn 1951-2021

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

NIGHT BRIGHT NIGHT BRIGHT
DA HIGH TO BRIGHT
 NOTTE EUROPEA DELLE RICERCATRICI E DEI RICERCATORI

Regione Toscana **GIOVANI SÌ**

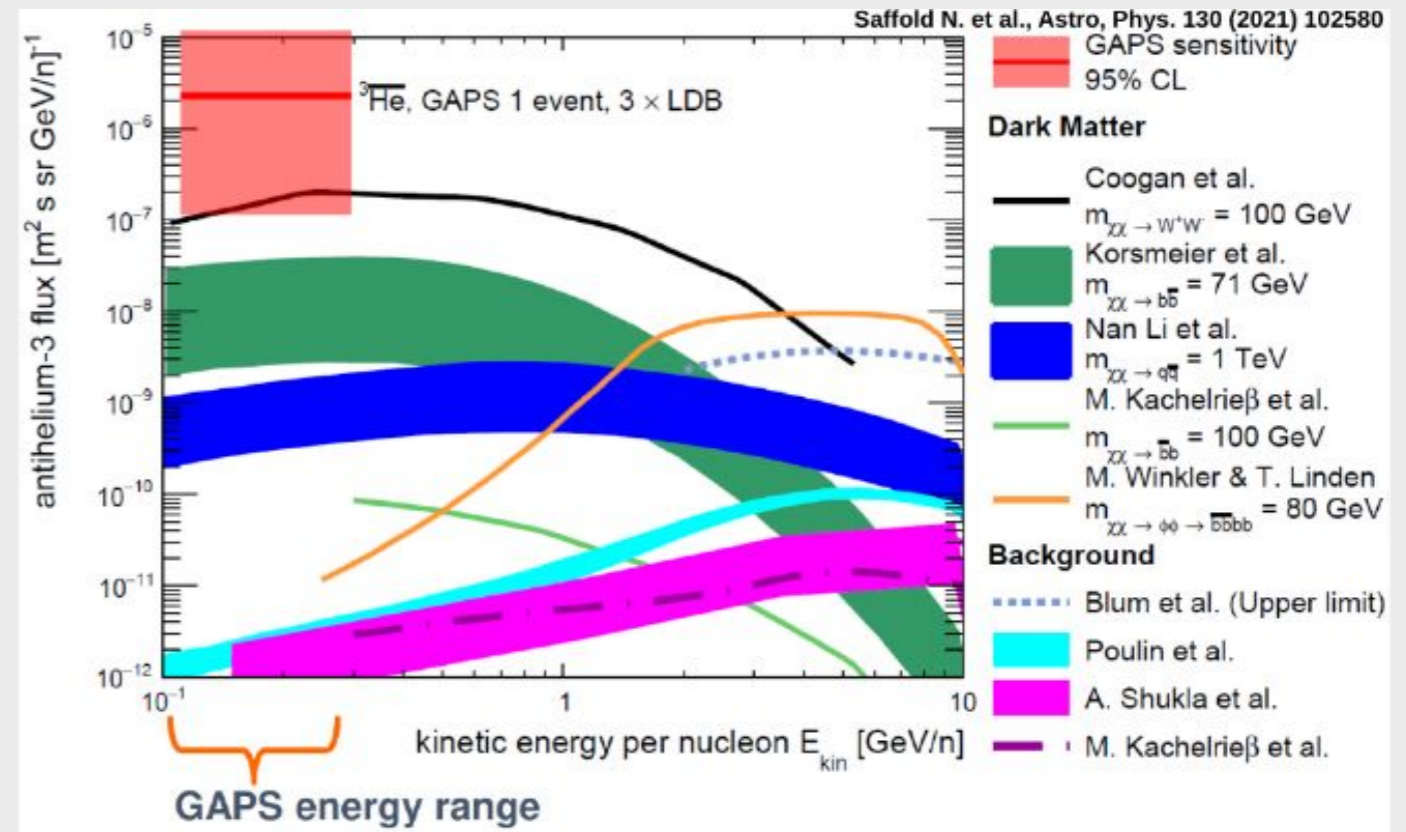
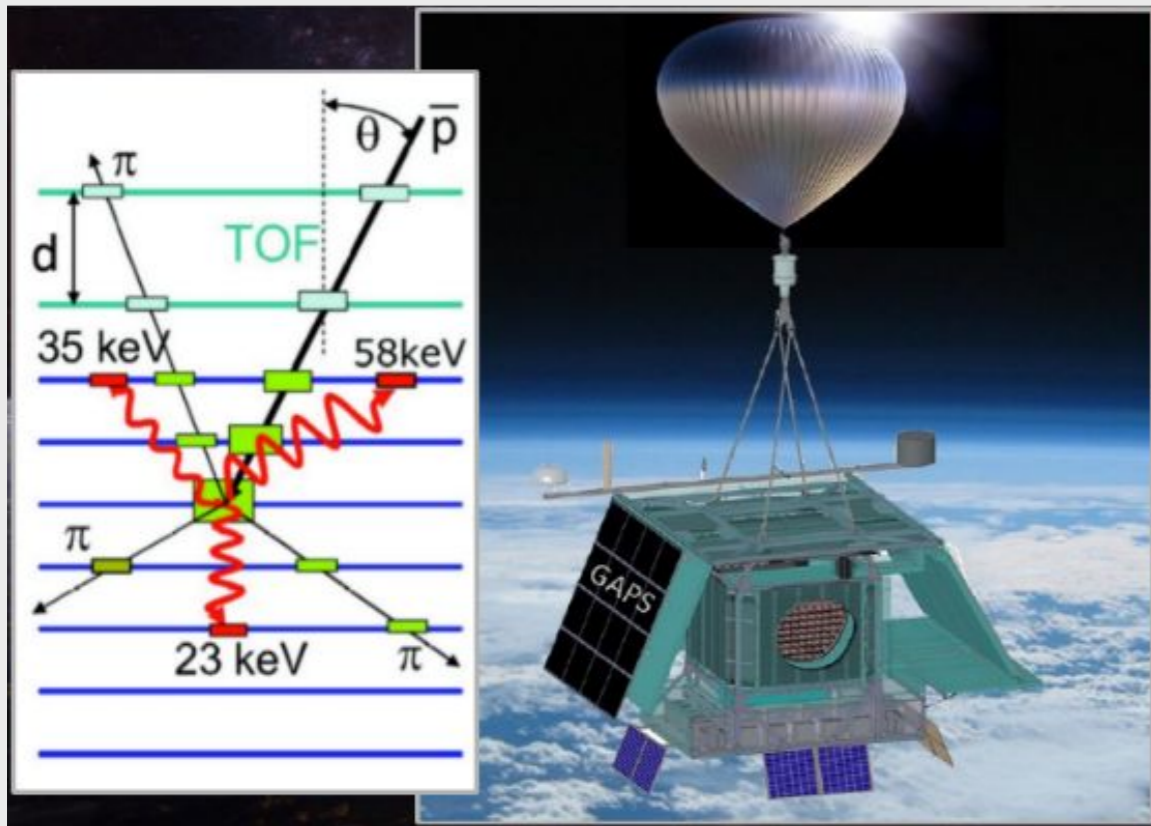
Fame Lab
 TALKING SCIENCE





Esperimenti futuri raggi cosmici

Esperimento particolare “next-gen”: GAPS (2023)



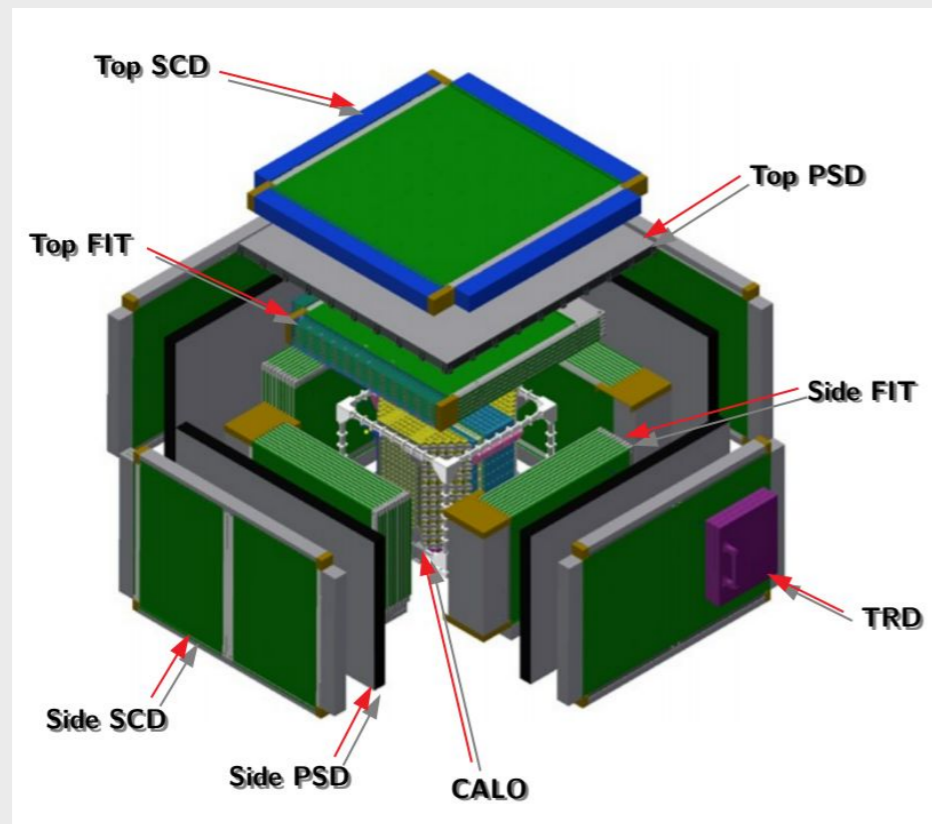
Rivelazione di anti-nuclei a bassa energia sfruttando la formazione di atomi esotici.

Sensibilità molto alta rispetto al fondo astrofisico atteso → ricerca di chiari segnali di M. O.

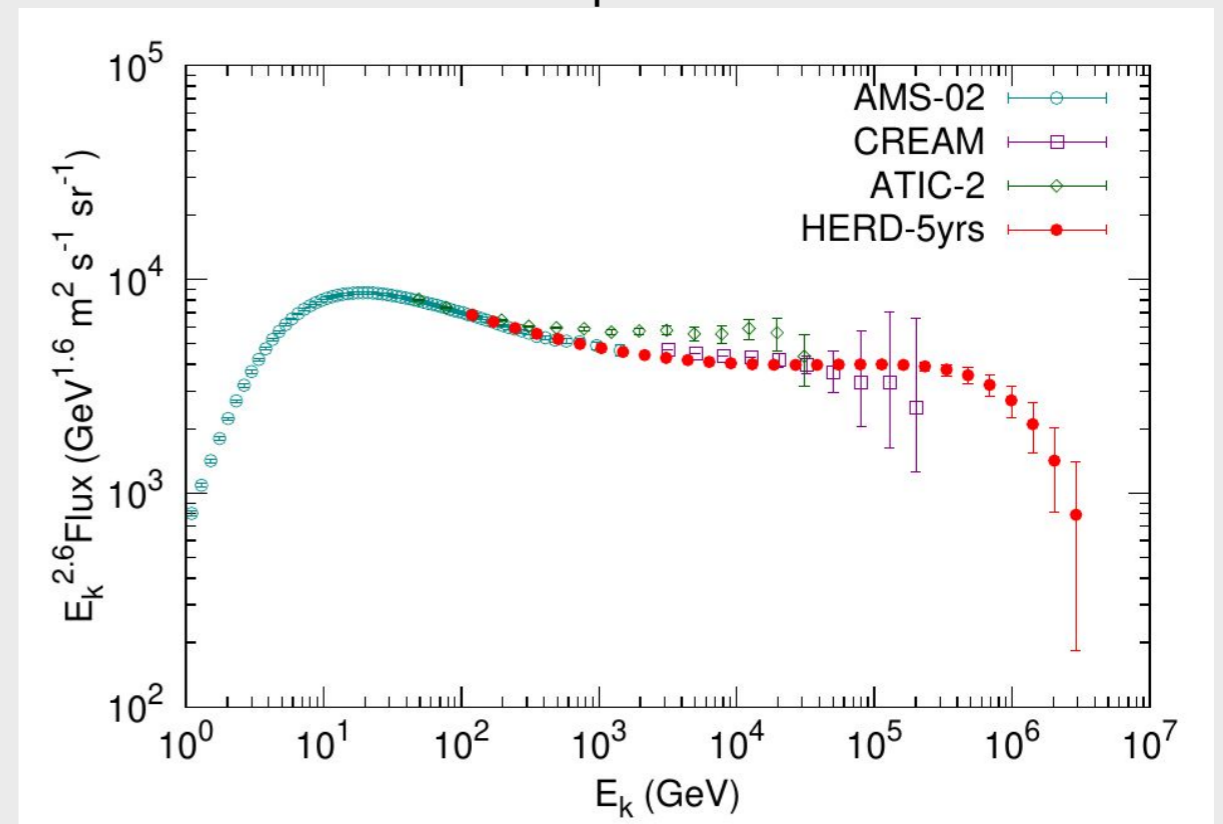


Esperimenti futuri raggi cosmici

Calorimetro 3D “next-gen”: HERD (2027).



Flusso dei protoni atteso

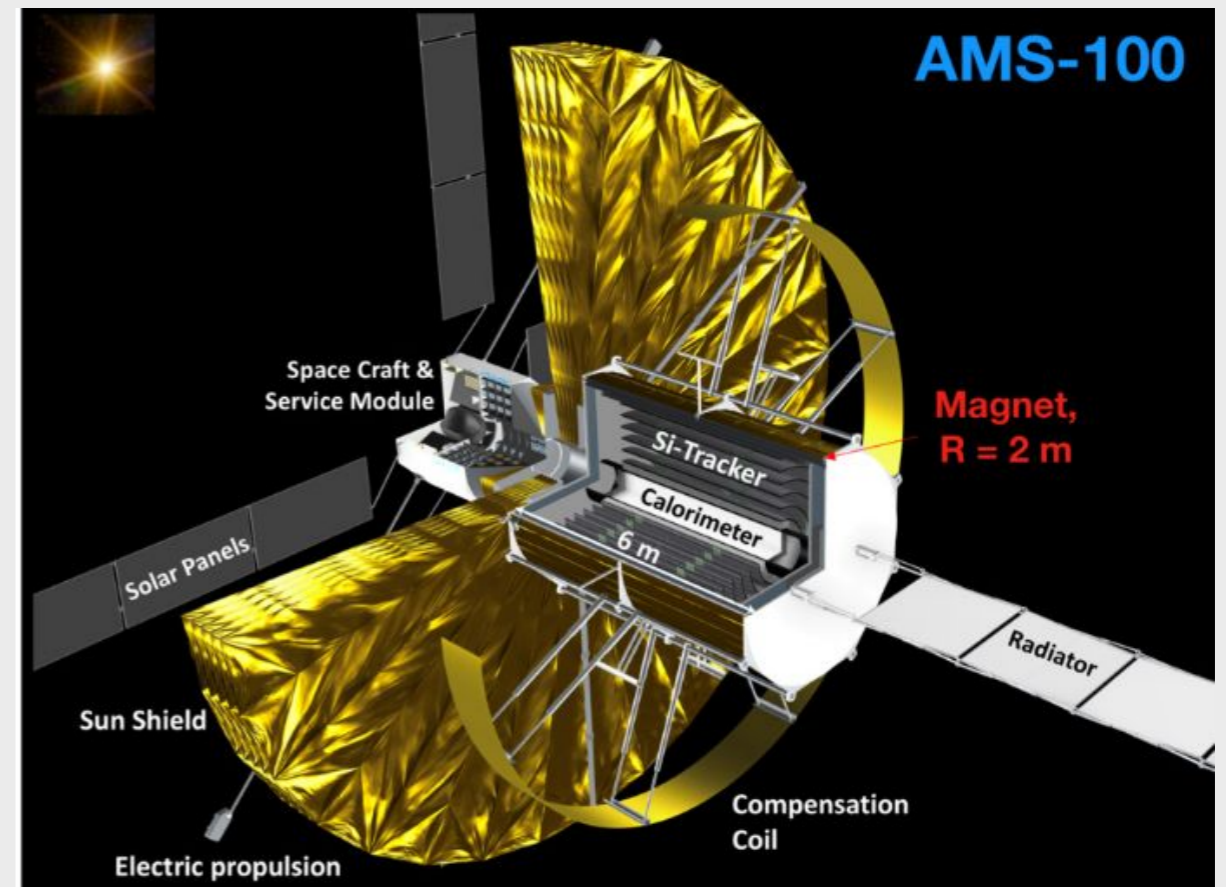
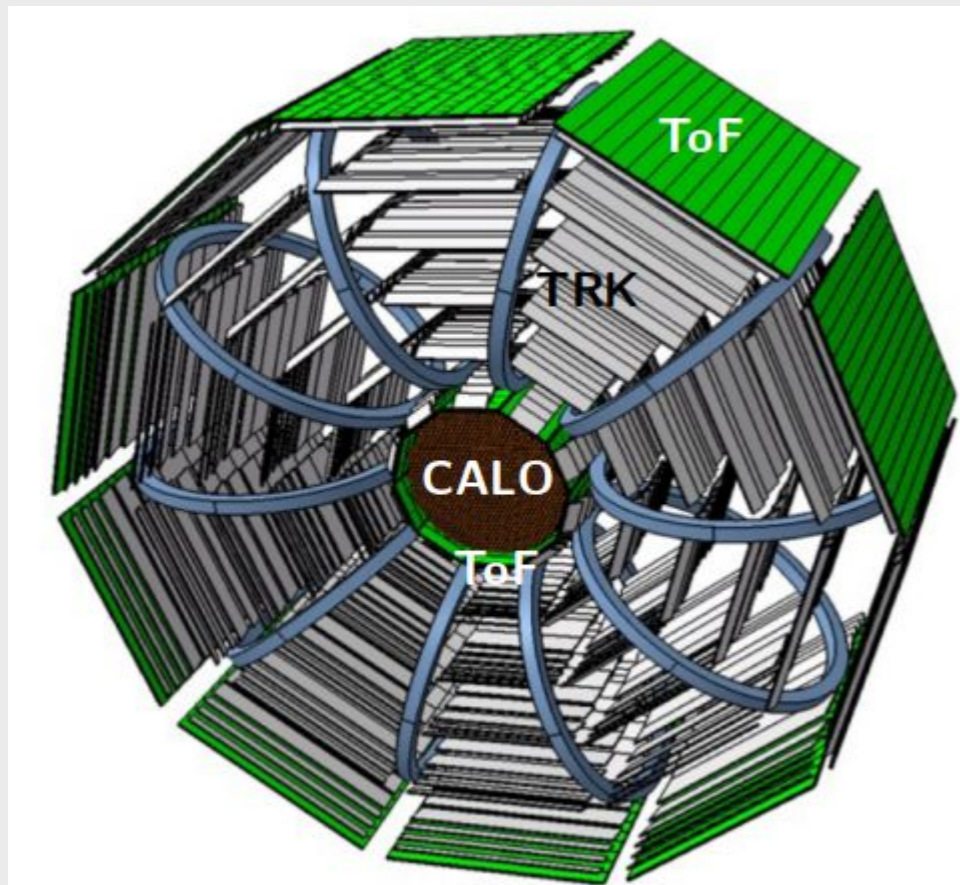


Prende spunto dal progetto R&D CaloCube ideato da INFN Firenze: scopo principale prima rivelazione del “ginocchio” per protoni, estensione di misure di elettroni e nuclei a energie non esplorate.



Esperimenti futuri raggi cosmici

Progetti per spettrometri “next gen”: ALADINO e AMS100.



ALADINO: progetto inizialmente sviluppato da INFN Firenze: misura di anti-materia ad alta energia → rivelazione indiretta di materia oscura e sorgenti astrofisiche vicine alla terra.



Gli esperimenti del futuro



ACTRIS (Aerosols, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure), l'**infrastruttura paneuropea che coordina** le osservazioni e **la ricerca scientifica europea su aerosol, nubi e gas in traccia in atmosfera**



- **il LABEC ospita l'Elemental Mass Calibration Centre (EMC2), centro di riferimento europeo per l'analisi della componente elementare dell'aerosol tramite tecniche di Ion Beam Analysis**

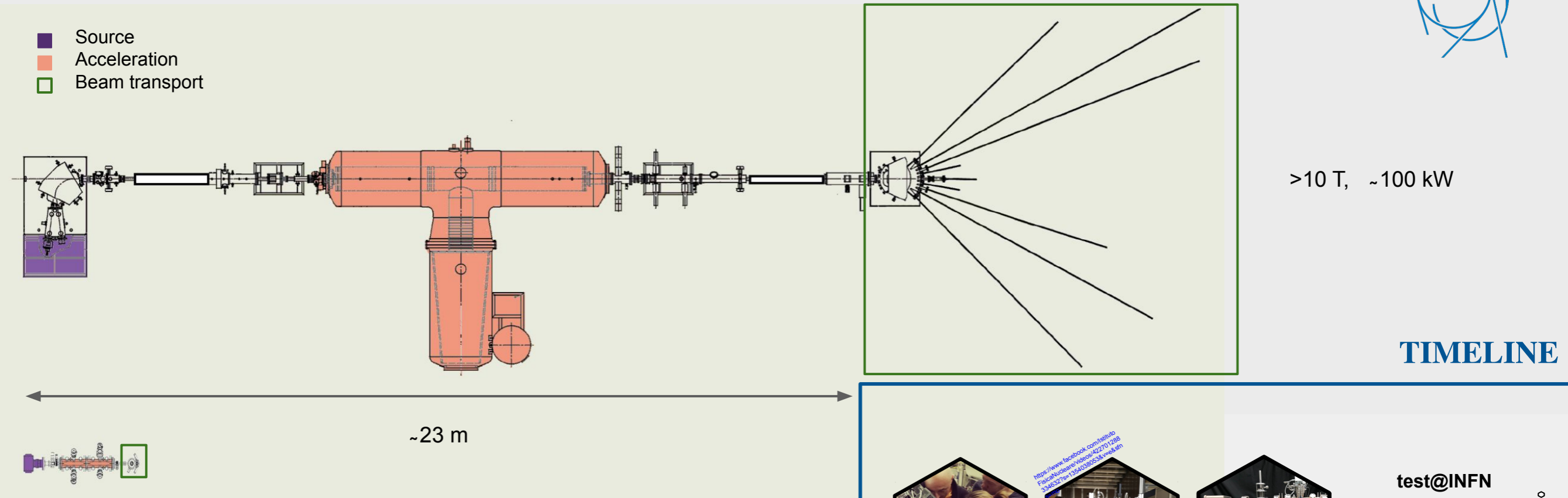
Fase di implementazione: 2020-2024

Fase di operatività a pieno regime dal 2025



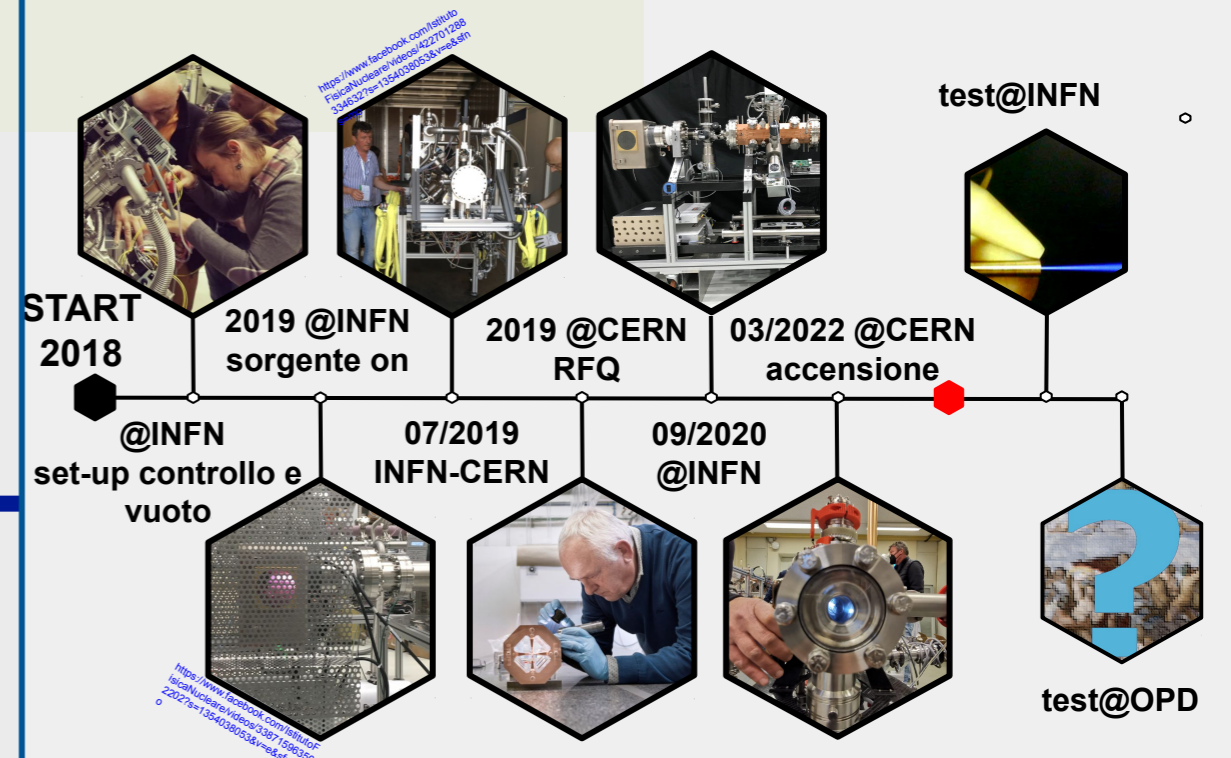
Gli esperimenti del futuro

MACHINA: realizzazione di un acceleratore di particelle trasportabile per i beni culturali, progetto FISR



TIMELINE

* power supply prototipali





Gli esperimenti del futuro

progetto per la realizzazione di un
Centro di Competenza europeo per la conservazione del patrimonio culturale



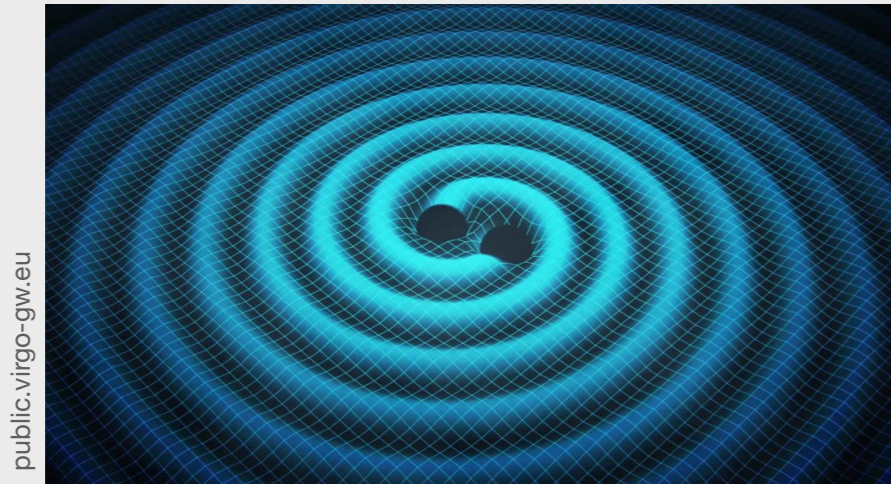
- **Conservazione attraverso nuove tecnologie e tecnologie digitali**
- **“Gemelli digitali”** di siti e monumenti che includano informazioni strutturali e sui materiali
→ **prevenzione disastri** e gestione rischio oltre che documentazione

Novembre 2021: raccomandazione della Commissione Europea, che incoraggia gli Stati membri a digitalizzare entro il 2030 tutti i monumenti e i siti a rischio e la metà dei monumenti e dei siti più visitati fisicamente

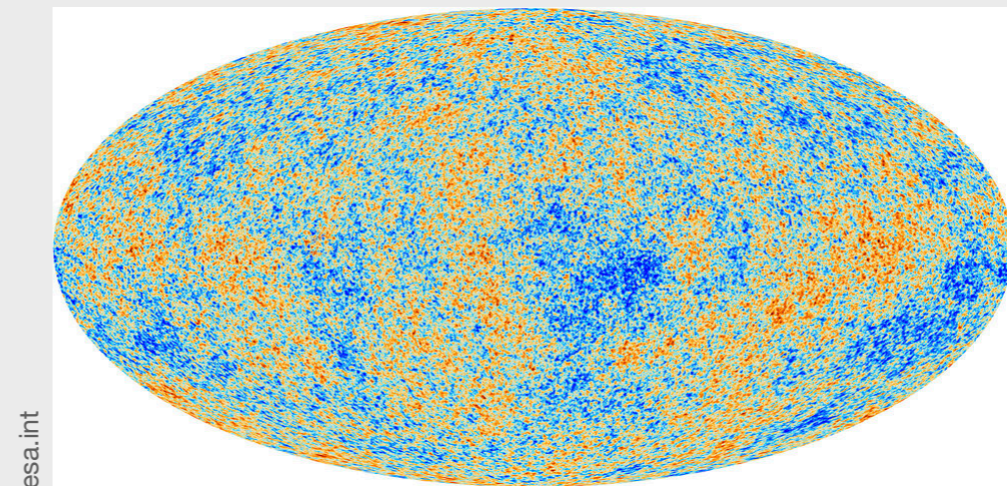
(<https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2021/1970/oj>).



Gravità classica: **Relatività generale**



Meccanica quantistica + relatività generale: **Gravità quantistica ?**



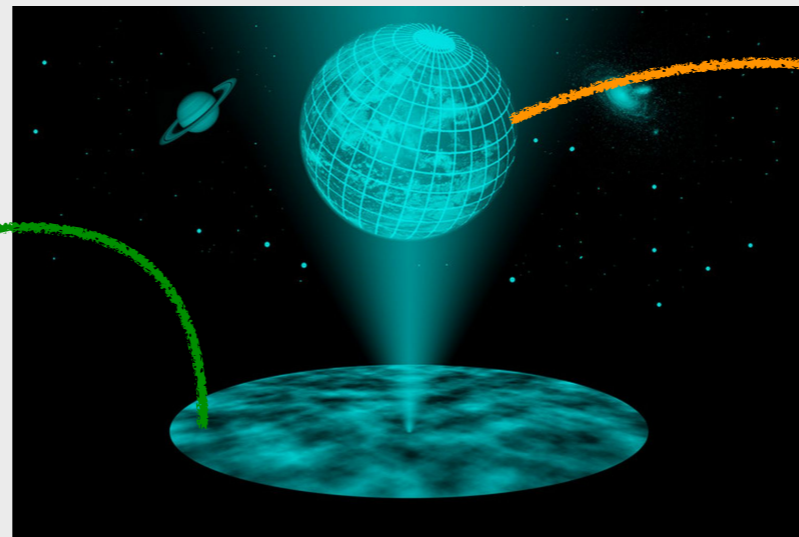
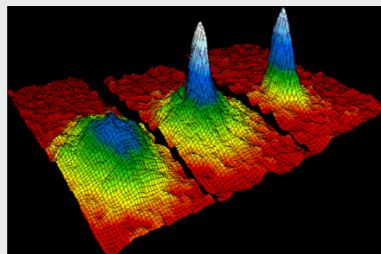


Corrispondenza olografica

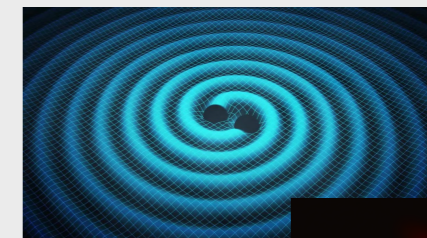
Teoria quantistica dei campi
in d -dimensioni

Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
I	II	III		
$\frac{2}{3}$ u up	$\frac{2}{3}$ c charm	$\frac{2}{3}$ t top	g gluon	H higgs
$-\frac{1}{3}$ d down	$-\frac{1}{3}$ s strange	$-\frac{1}{3}$ b bottom	γ photon	
-1 e electron	-1 μ muon	-1 τ tau	Z Z boson	
0 ν_e electron neutrino	0 ν_μ muon neutrino	0 ν_τ tau neutrino	W W boson	



Gravità quantistica
in $(d+1)$ -dimensioni



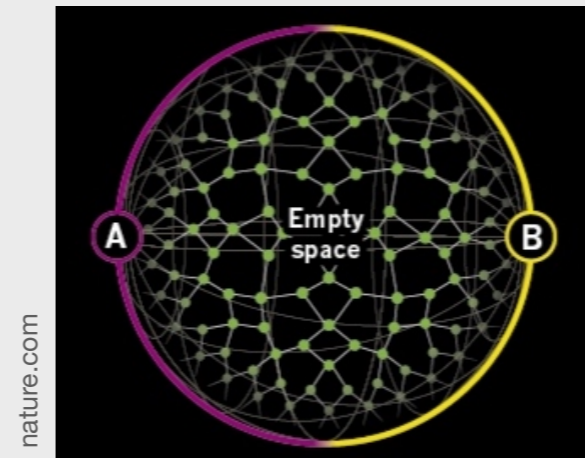
- Precisa realizzazione in teoria delle stringhe
- **Dualità**: riorganizza problemi complicati in termini più semplici
- **Approccio alla gravità quantistica**



Teoria dell'informazione quantistica: nuova prospettiva sulla gravità quantistica

Entanglement ~ geometria dello spazio-tempo

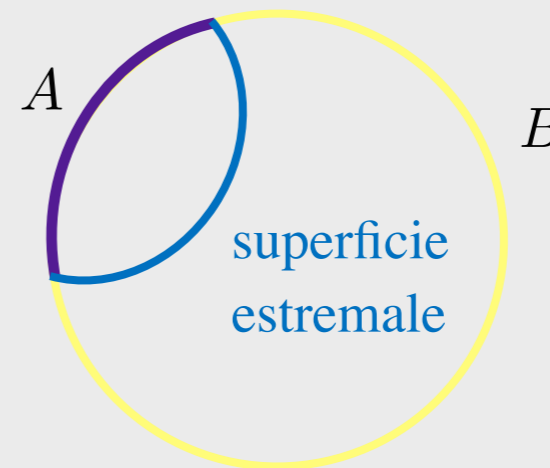
$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle_A |0\rangle_B + |1\rangle_A |1\rangle_B)$$



Entanglement entropy

$$S(A) = -\text{Tr}_A(\rho_A \log \rho_A)$$

~





Vincoli dalla teoria dell'informazione quantistica

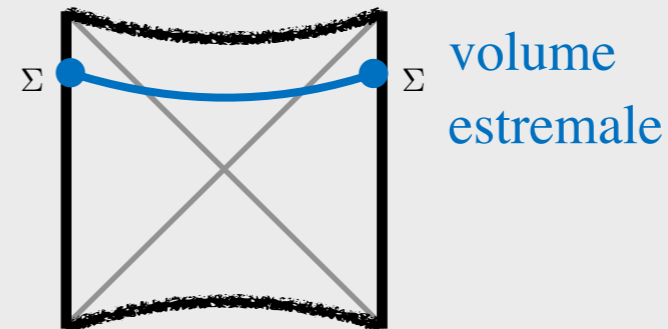
First law of entanglement entropy \sim Equazioni di Einstein

$$\delta S_A = \delta \langle H_A \rangle$$

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G_N T_{\mu\nu}$$

Quantum circuit complexity

$$\mathcal{C}(|\Psi_T\rangle) \equiv \text{Min} \int_0^1 ds F(U, Y^I) \sim$$



Cross-over tra teoria dell'informazione quantistica e gravità

- Nuove lezioni per teorie quantistiche dei campi
- Nuovo linguaggio per capire la **gravità come fenomeno emergente** dalla struttura di correlazioni quantistiche
- **Prospettiva operativa**: dal sondare al generare lo spazio-tempo
- **Entanglement in gravità** (paradosso dell'informazione)