

A.D. 1308

unipg

DIPARTIMENTO
DI FISICA E GEOLOGIA

Astroparticelle nello Spazio: fisica fondamentale e applicazioni

Nicola Tomassetti

**Kick-off Meeting del Piano Triennale della Ricerca e
Terza Missione del Dipartimento di Fisica e Geologia**

www.unipg.it

11 gennaio 2022

Astroparticelle nello Spazio: fisica fondamentale e applicazioni



Bruna Bertucci, Enrico Catanzani, Emanuele Fiandrini, Maura Graziani,
Lorenzo Mussolin, Michele Pauluzzi, Nicola Tomassetti (UniPG)
Giovanni Ambrosi, Federico Donnini, Matteo Duranti, Maria Ionica, (INFN)

Fisica fondamentale
ricerca di antimateria
primordiale e materia oscura

Astrofisica dei raggi cosmici
accelerazione, trasporto e
interazioni di particelle

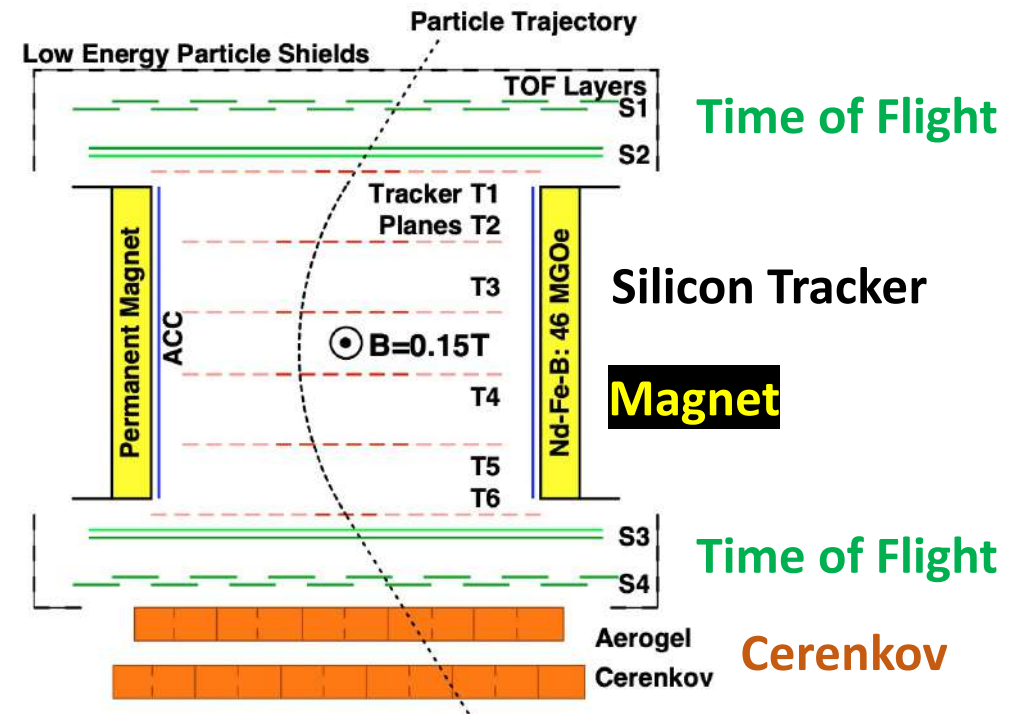
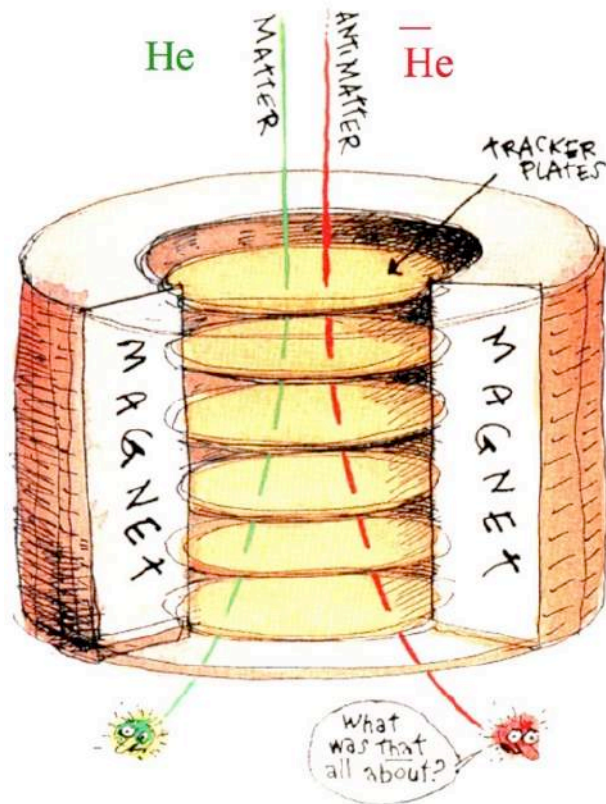
Eliofisica e space weather
radiazione nello spazio
circumterrestre e interplanetario.

- ✓ *Ambito 2 – Astrofisica delle alte energie e Astroparticelle*
- ✓ *Ambito 4 – Scienze e tecnologie per lo Spazio*



La fisica delle particelle va nello Spazio: AMS-01

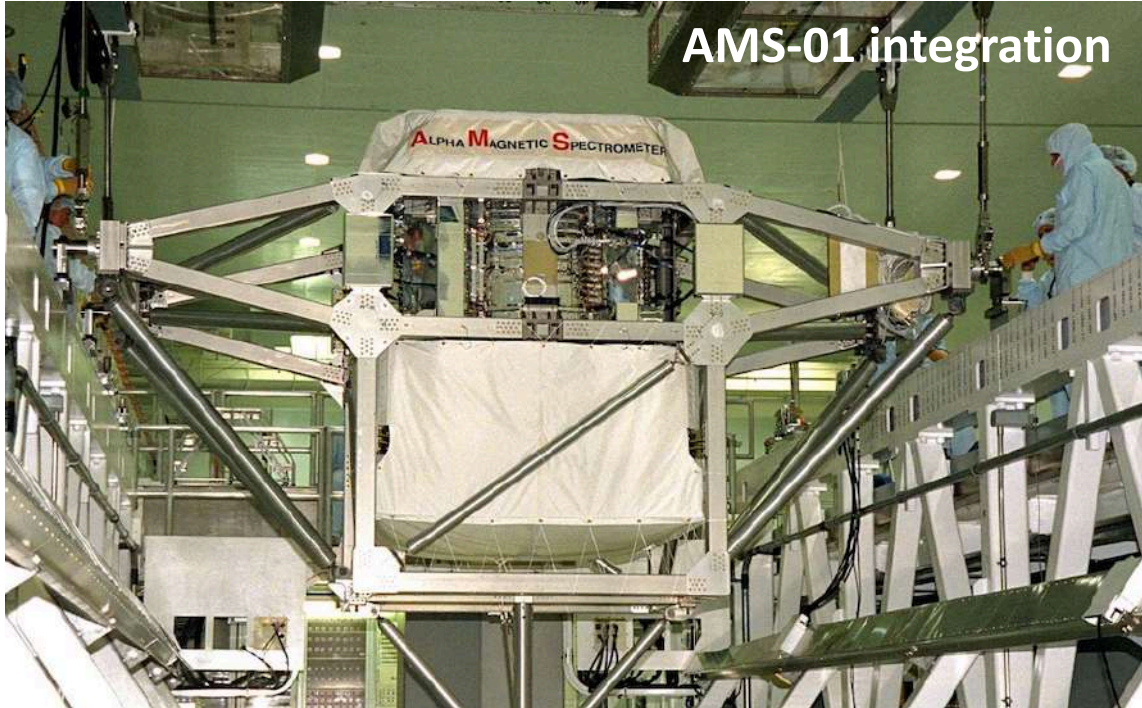
- Spettrometro per rivelare antimateria nello spazio [Ahlen et al. NIM A 350, 351 (1994)]
- AMS-01 test flight: missione STS-91 su space shuttle Discovery, **2-12 giugno 1998**
- Misure di nuclei, leptoni, antiparticelle, antinuclei, radiazione LEO a energie 0.1-100 GeV
- Validazione concept, esperienza e know-how per la realizzazione di AMS-02 sulla ISS





La fisica delle particelle va nello Spazio: AMS-01

- Spettrometro per rivelare antimateria nello spazio [Ahlen et al. NIM A 350, 351 (1994)]
- AMS-01 test flight: missione STS-91 su space shuttle Discovery, **2-12 giugno 1998**
- Misure di nuclei, leptoni, antiparticelle, antinuclei, radiazione LEO a energie 0.1-100 GeV
- Validazione concept, esperienza e know-how per la realizzazione di AMS-02 sulla ISS





La fisica delle particelle va nello Spazio: AMS-01

Risultati scientifici di AMS-01

J. Alcaraz et al., *Physics Reports* 366: 331–405, 2002 [[report](#)]

J. Alcaraz et al., *Phys. Lett.B* 461:387-396, 1999 [[antielio](#)]

J. Alcaraz et al., *Phys. Lett.B* 494:193-202, 2000 [[elio](#)]

J. Alcaraz et al., *Phys. Lett.B* 490:27-35, 2000 [[protoni](#)]

J. Alcaraz et al. *Phys. Lett.B* 484:10-22, 2000, [[leptoni](#)]

J. Alcaraz et al. *Phys. Lett.B* 472:215-226, 2000 [[protoni](#)]

M. Aguilar et al. *Nucl. Instrum. Meth. B* 234, 321-332, 2005 [[pioni](#)]

M. Aguilar et al. *Phys. Lett. B* 646:145-154, 2007 [[positroni](#)]

M. Aguilar et al. *Astrophysical Journal* 724, 329, 2010 [[nuclei](#)]

PG

M. Aguilar et al. *Astrophysical Journal* 736, 105, 2011 [[isotopi](#)]

P. Zuccon et al., 2003, *Astropart.Phys.*20:221-234,2003 [[RC atmosferici](#)]

E. Fiandrini et al., 2002, *J. of Geo. Res.* 107,A6 10, 2002 [[leptoni intrappolati](#)]

E. Fiandrini et al., 2003, *J. of Geo. Res.* 108, A11 1402, 2003 [[leptoni nella SAA](#)]

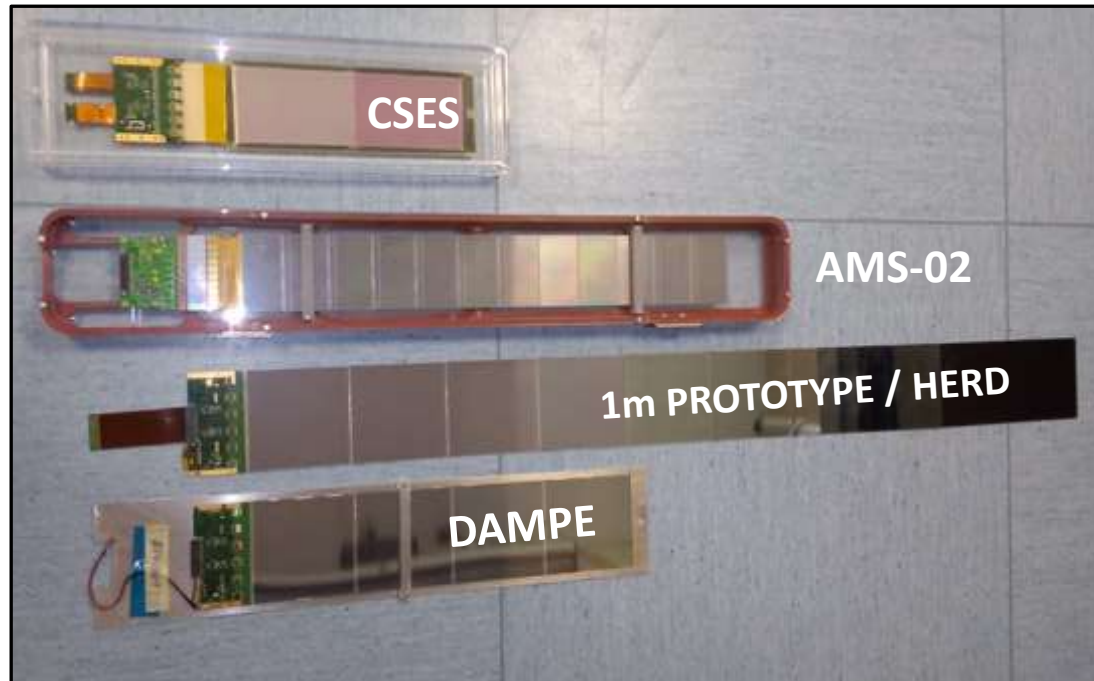
E. Fiandrini et al., 2004, *J. of Geo. Res.* 109, A10214, 2004 [[protoni intrappolati](#)]

L'Eredità di AMS-01

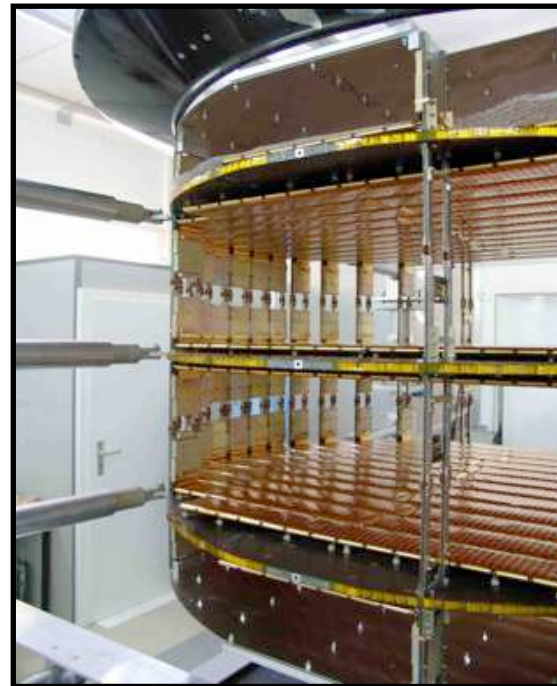


- Validazione e know-how su **spettrometria magnetica nello spazio**
- La «filiera» dei rivelatori a microstrip di **silicio** per esperimenti nello spazio
- Attività di **outreach e didattiche** con gli scintillatori o con i ladder di AMS-01.

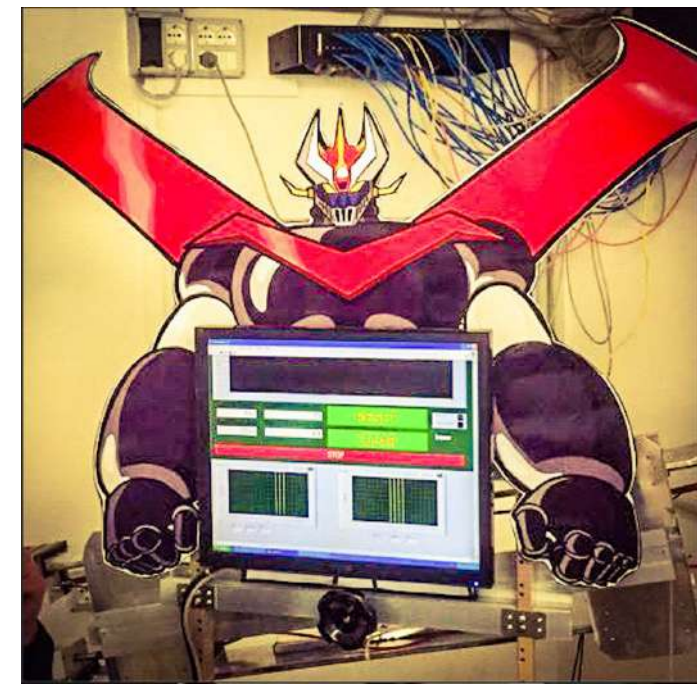
La filiera dei rivelatori al silicio



Inside the AMS tracker



Mazinga the μ -detector

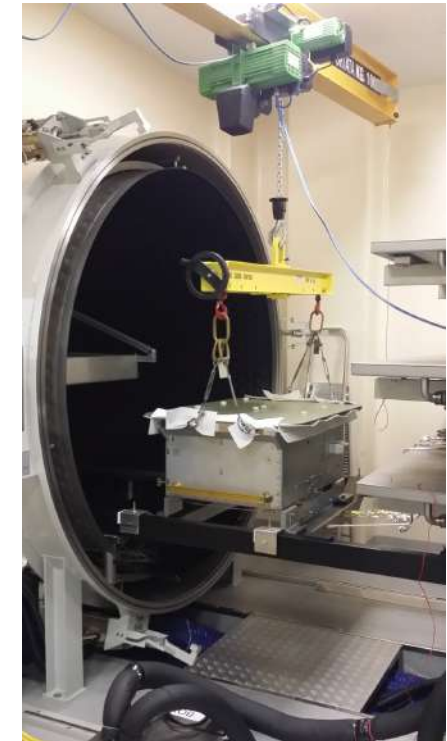


Il laboratorio S.E.R.M.S.



Laboratorio per lo Studio degli Effetti delle Radiazioni sui Materiali per lo Spazio

- Da fine anni 90, presso il Polo Scientifico e Didattico UniPG di Terni.
- Qualifica spaziale di strumenti e applicazioni per lo spazio
- Simulatori stress meccanici & termici. Banco vibrante, camera bianca, camera climatica, lab criogenia
- Fermi-LAT, ALTEA, Aurora/MegaSat1, AMS-02, Dampe, CSES (...) ==> eXTP, CubeSat [Dip Ingegneria]



L'esperimento AMS-02



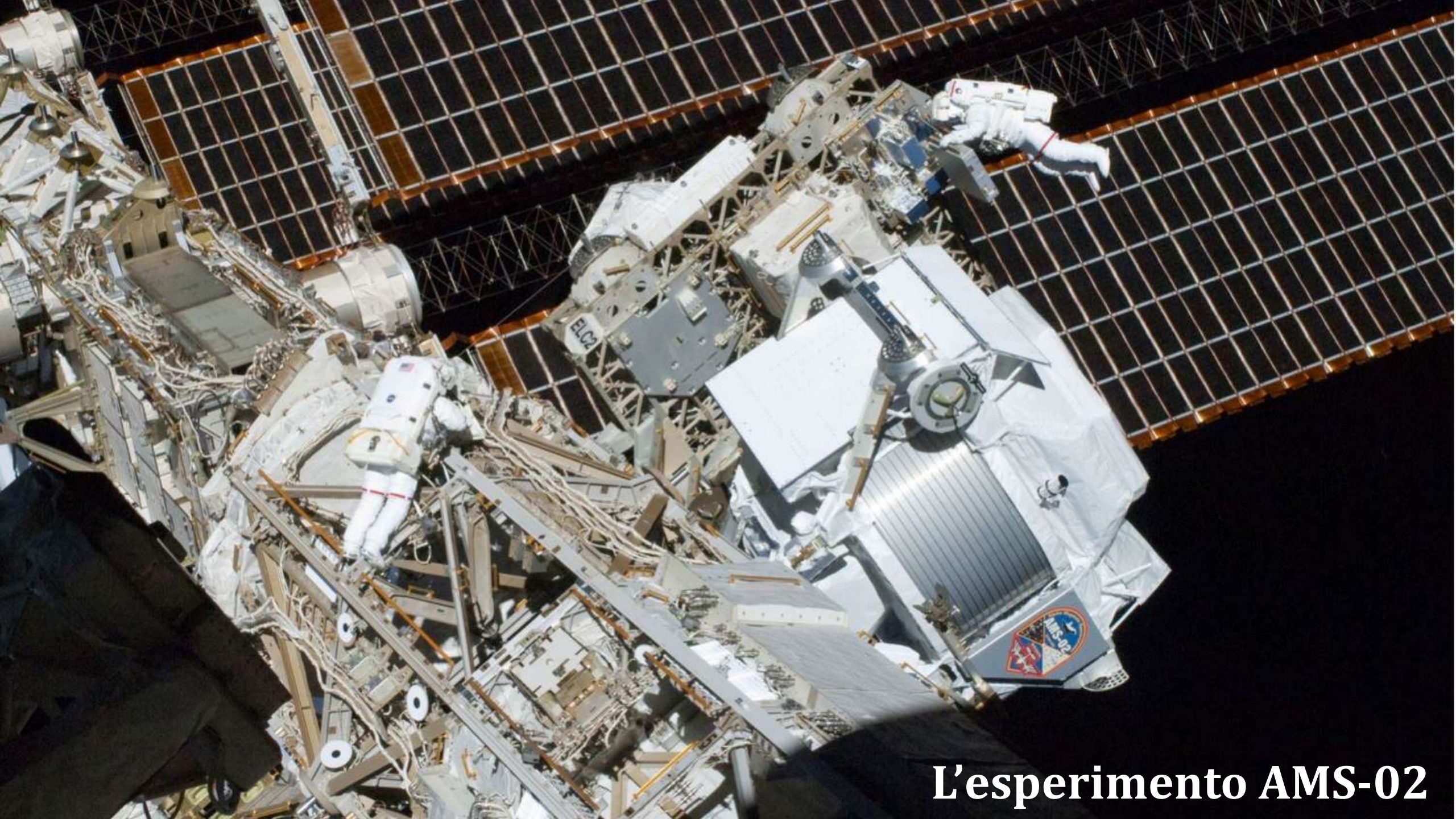
Un osservatorio spaziale per la misura diretta dei raggi cosmici a energie GeV-TeV a bordo della Stazione Spaziale Internazionale (ISS) dal Maggio 2011



→ In presa dati continua dal 19 Maggio 2011 >> sulla ISS almeno fino al 2030

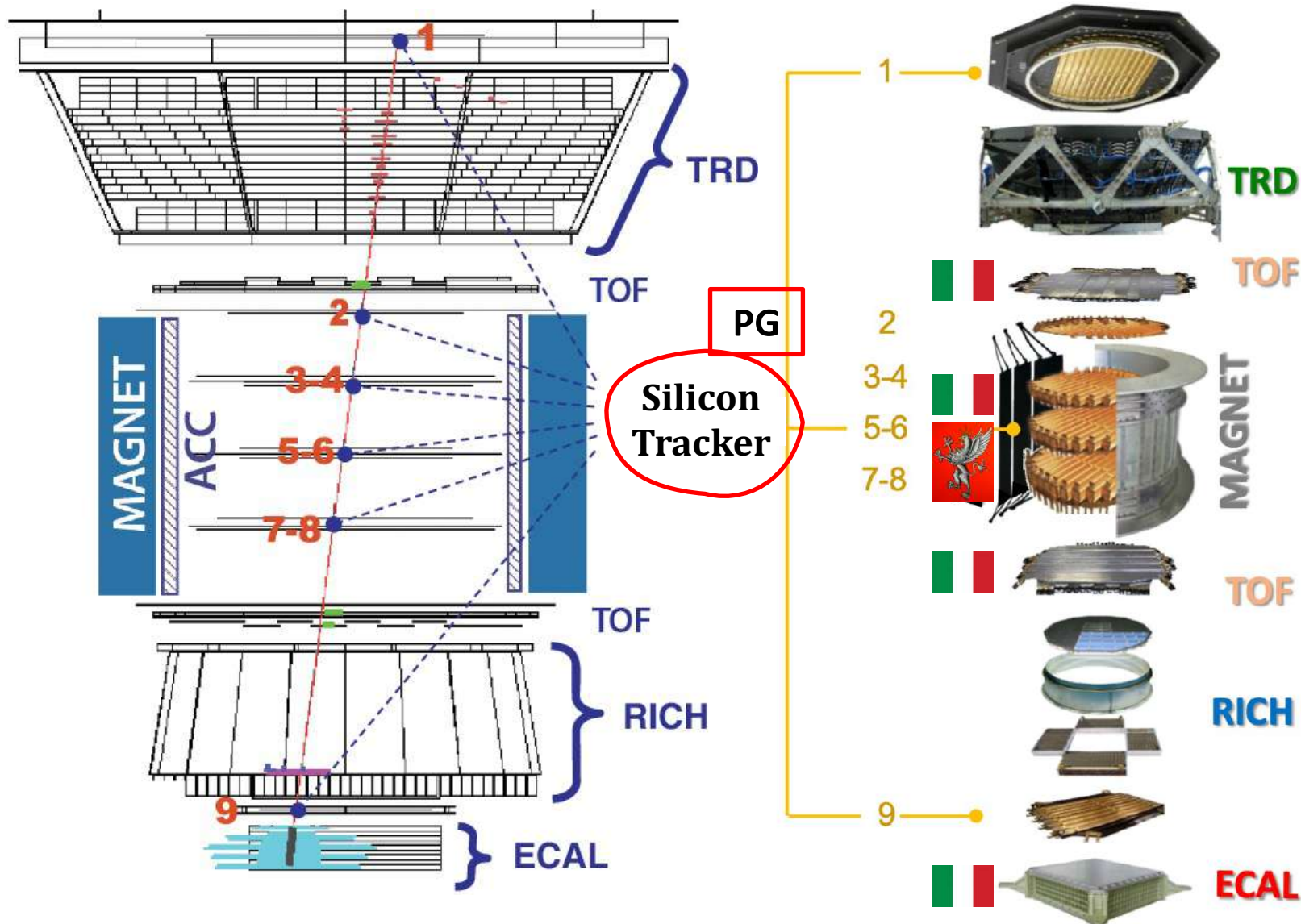
L'esperimento AMS-02





L'esperimento AMS-02

L'esperimento AMS-02



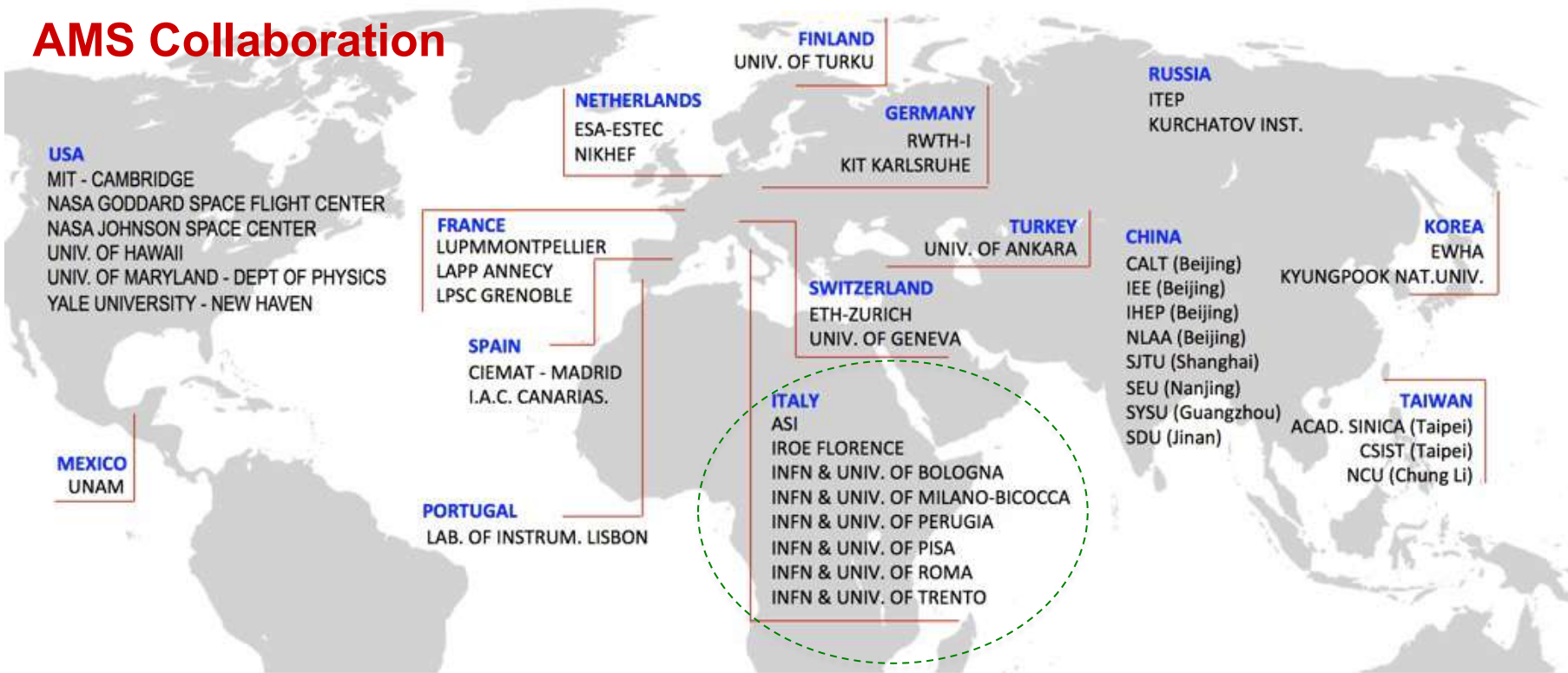
L'esperimento AMS-02



- **Fisica fondamentale** – ricerca di antimateria primordiale e di materia oscura.
- **Astrofisica dei raggi cosmici** – accelerazione, trasporto e interazioni di particelle
- **Eliofisica e space weather** – radiazione nello spazio circumterrestre e interplanetario.

AMS collaboration: 16 countries, 60 institutes, 500+ physicists, 20 years

AMS Collaboration



AMS has collected

196,575,054,699

cosmic ray events

Last update: January 11, 2022, 12:42 AM



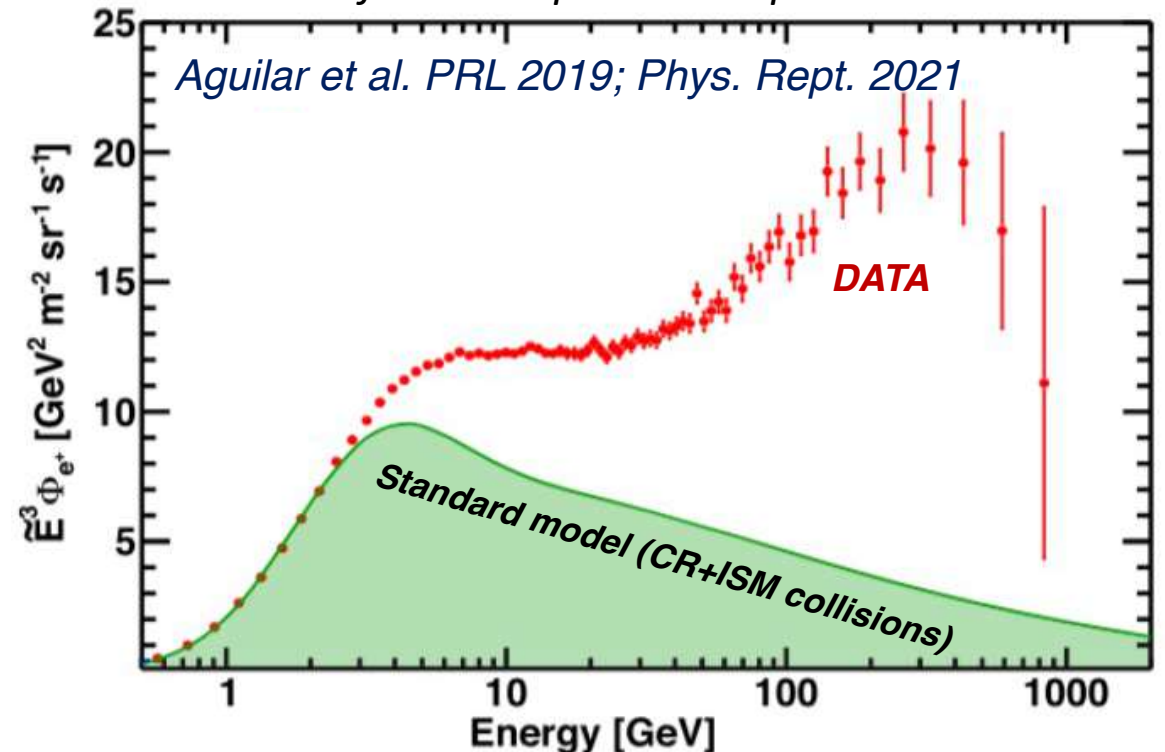
Risultati di AMS-02



[Phys. Rev. Lett. 127, 271102 \(2021\)](#), Proton vs time daily 2021
[Phys. Rev. Lett. 127, 021101 \(2021\)](#), Na-Al-N nuclei, 2021
[Phys. Rev. Lett. 126, 081102 \(2021\)](#), Fluorine, 2021
[Phys. Rep. 894, 1 \(2021\)](#), Physics Report 2021
[Phys. Rev. Lett. 126, 041104 \(2021\)](#), Iron, 2021
[Phys. Rev. Lett. 124, 211102 \(2020\)](#), Ne-Mg-Si nuclei, 2021
[Phys. Rev. Lett. 123, 181102 \(2019\)](#), Helium isotopes 2019
[Phys. Rev. Lett. 122, 101101 \(2019\)](#), **Electrons 2019**
[Phys. Rev. Lett. 122, 041102 \(2019\)](#), **Positrons 2019**
[Phys. Rev. Lett. 121, 051103 \(2018\)](#), Nitrogen 2018
[Phys. Rev. Lett. 121, 051102 \(2018\)](#), electron/positron vs time 2018
[Phys. Rev. Lett. 121, 051101 \(2018\)](#), proton/helium vs time 2018
[Phys. Rev. Lett. 120, 021101 \(2018\)](#), Li-Be-B nuclei 2018
[Phys. Rev. Lett. 119, 251101 \(2017\)](#), He-C-O nuclei 2017
[Phys. Rev. Lett. 117, 231102 \(2016\)](#), B/C nuclei 2016
[Phys. Rev. Lett. 117, 091103 \(2016\)](#), **Antiprotons 2016**
[Phys. Rev. Lett. 115, 211101 \(2015\)](#), Helium 2015
[Phys. Rev. Lett. 114, 171103 \(2015\)](#), Proton 2015
[Phys. Rev. Lett. 113, 221102 \(2014\)](#), **electron+positron 2014**
[Phys. Rev. Lett. 113, 121102 \(2014\)](#), **electron and positrons 2014**
[Phys. Rev. Lett. 113, 121101 \(2014\)](#), **positron fraction**
[Phys. Rev. Lett. 110, 141102 \(2013\)](#), **positron fraction 2013**

- **Ricerca di nuova fisica**
- **Astrofisica dei Raggi Cosmici**
- **Eliofisica & Space Weather**

Misura del flusso dei positroni e predizione standard



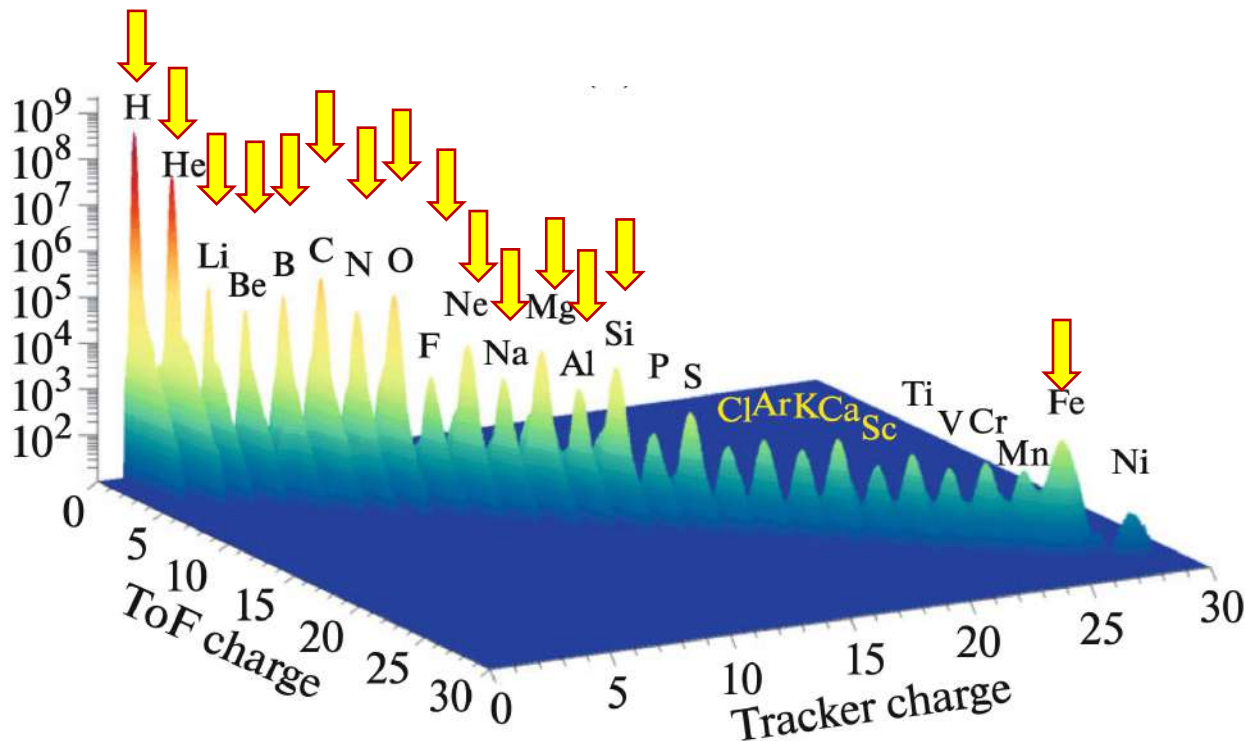
Citations/N papers: 5412/23=235

Risultati di AMS-02

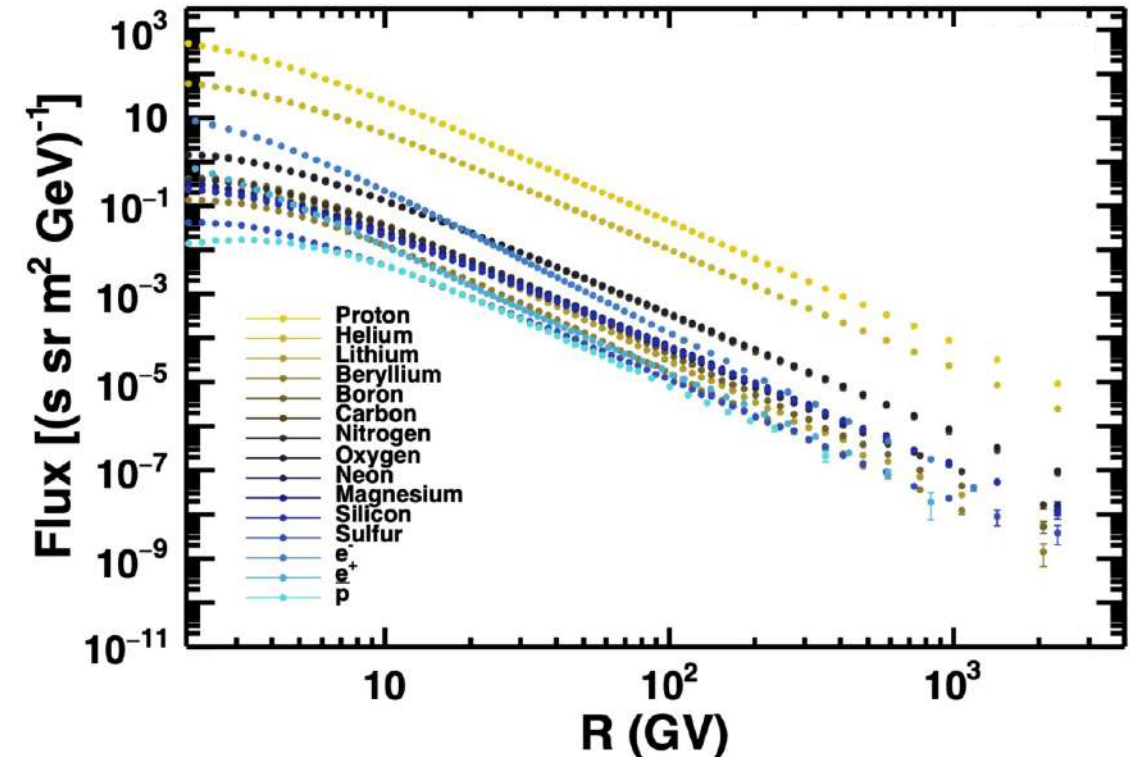


- Eccesso anomalo di **positroni**, la cui origine è ancora inspiegata.
- Tensione e possibile eccesso nel flusso degli **antiprotoni** ad alta energia
- Molteplici misure e trend inaspettati negli spettri delle componenti **nucleari**
- Nuove misure nel programma di fisica **eliosferica e spaziale**.

Elementi identificati dai sistemi ToF-Tracker



Spettri di energia di varie componenti dei RC

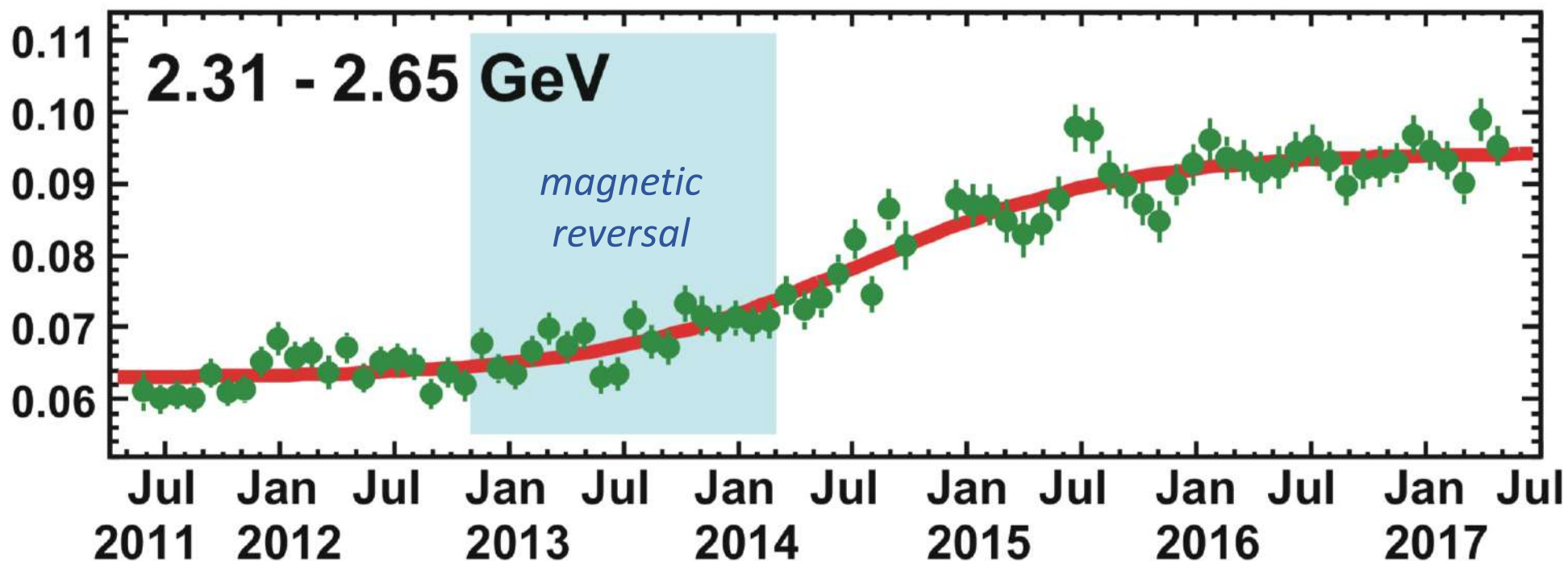


Risultati di AMS-02



- Eccesso anomalo di **positroni**, la cui origine è ancora inspiegata.
- Tensione e possibile eccesso nel flusso degli **antiprotoni** ad alta energia
- Molteplici misure e trend inaspettati negli spettri delle componenti **nucleari**
- Nuove misure nel programma di fisica **eliosferica e spaziale**.

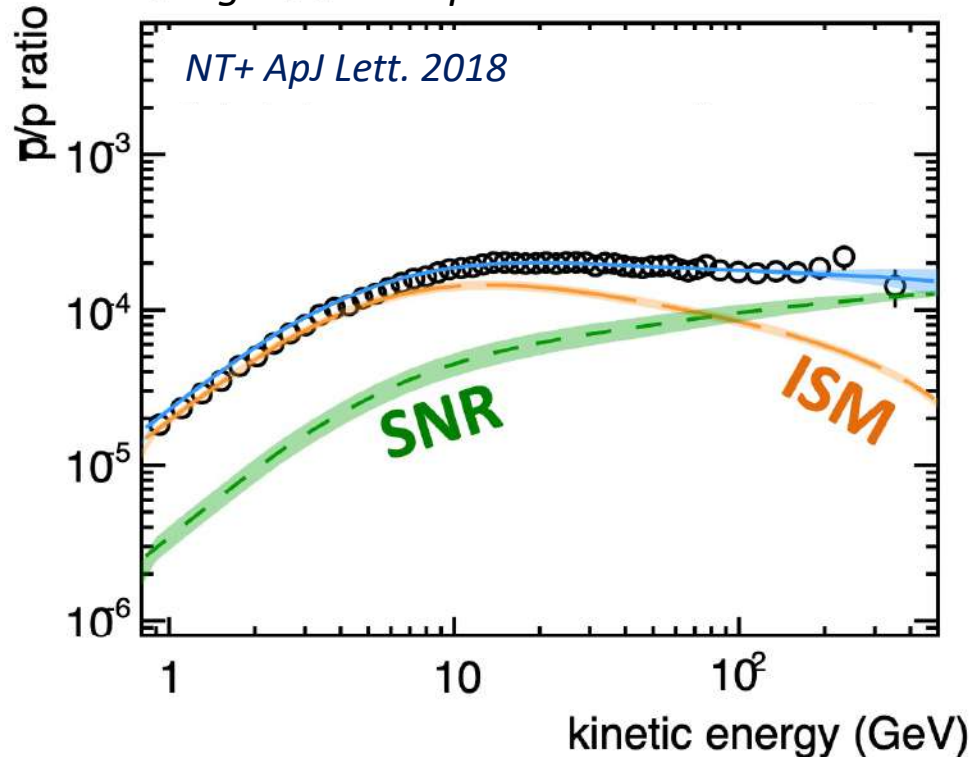
Evoluzione del rapporto positroni/elettroni nei raggi cosmici [M. Graziani]



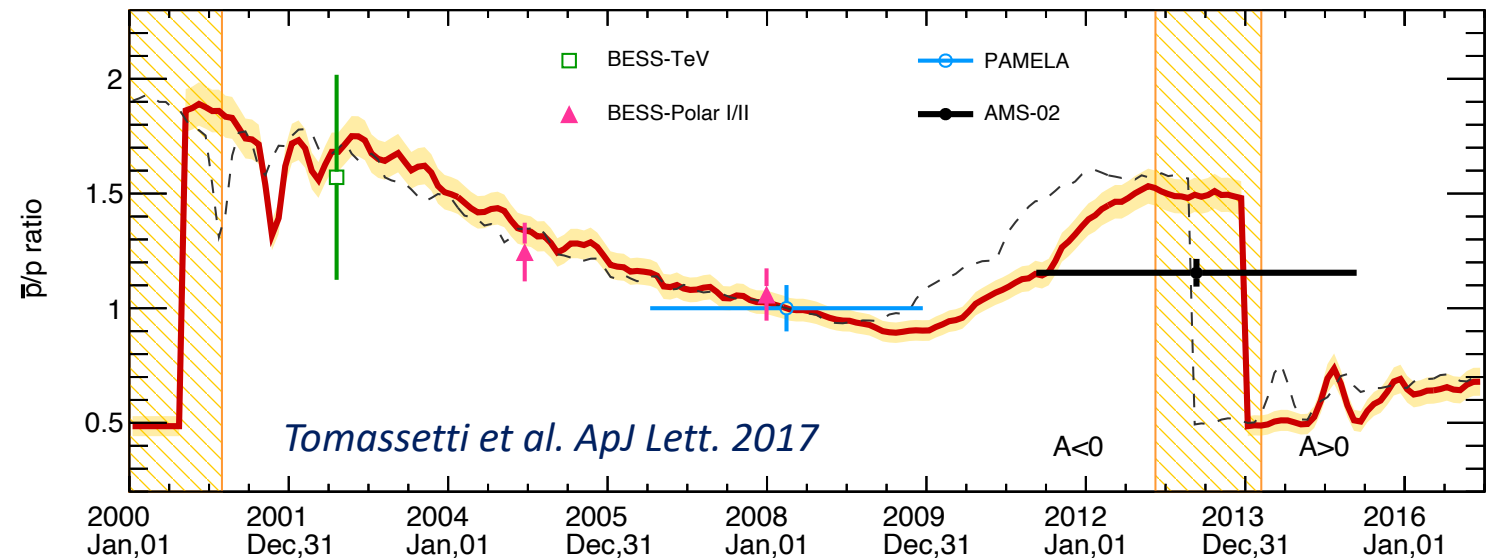
Analisi e modelli: interazioni, trasporto, antimateria

- Produzione di **antinuclei** nei raggi cosmici galattici (\bar{p} , \bar{d} , \overline{He}).
- **Collisioni** di nuclei nel mezzo interstellare e frammentazione
- Trasporto di (anti)particelle nell'eliosfera e **modulazione solare**.

Sorgenti di antiprotoni nei RC



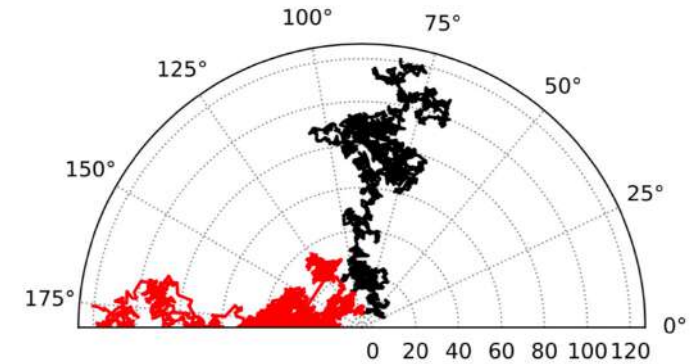
Predizione dell'evoluzione del rapporto antiprotoni/protoni



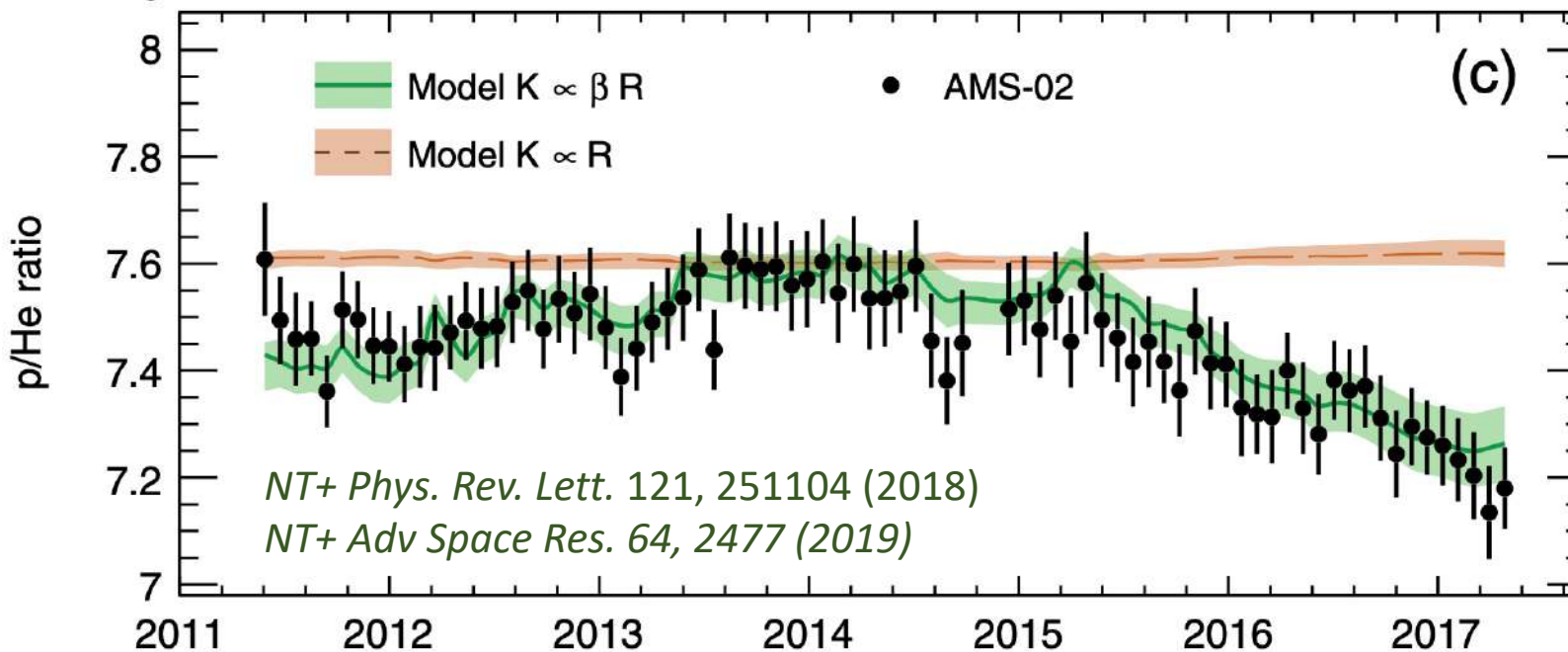
Analisi e modelli: interazioni, trasporto, antimateria

- Produzione di **antinuclei** nei raggi cosmici galattici (\bar{p} , \bar{d} , \overline{He}).
- **Collisioni** di nuclei nel mezzo interstellare e frammentazione
- Trasporto di (anti)particelle nell'eliosfera e **modulazione solare**.

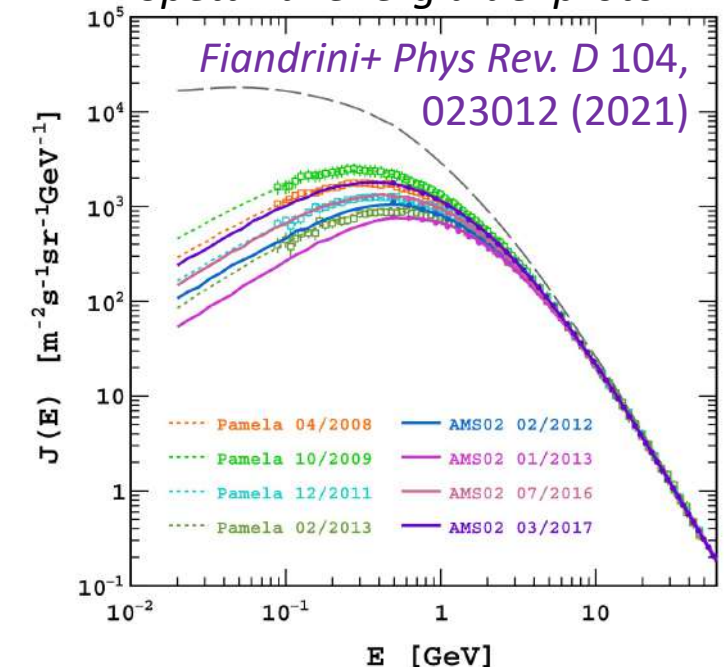
Simulazione di traiettorie



Soluzione all'anomalia di AMS nel rapporto p/He



Spettri di energia dei protoni

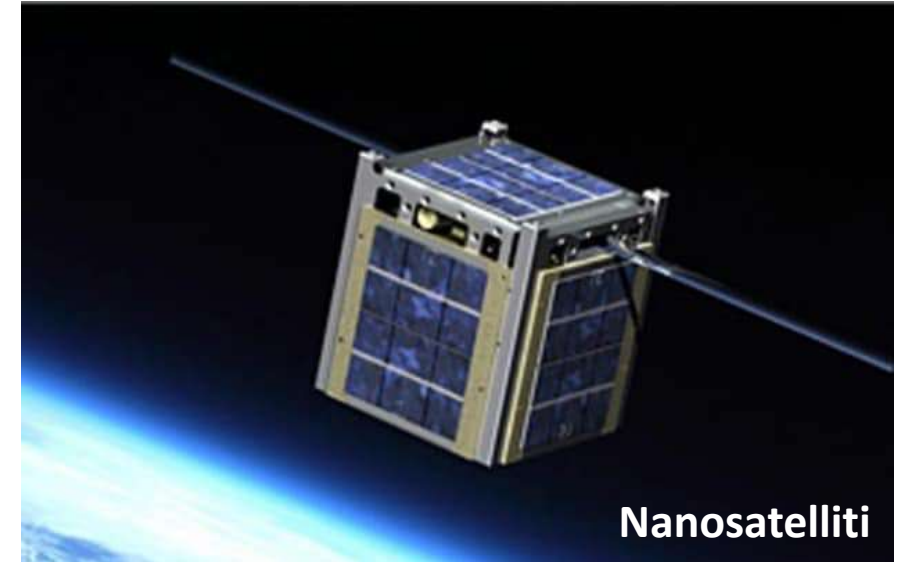
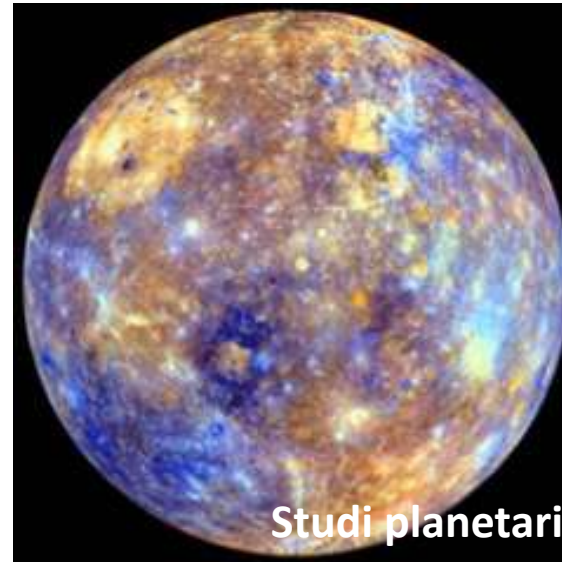
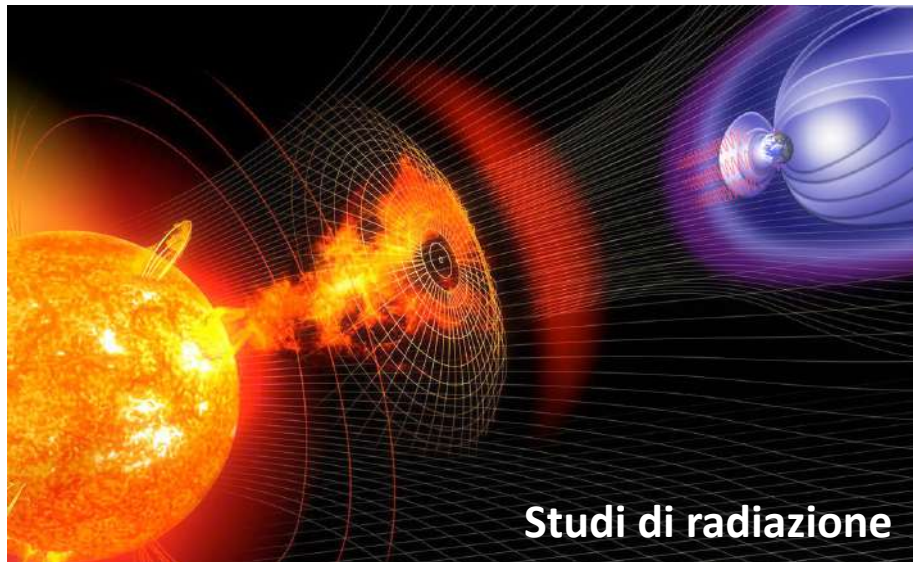


Analisi e modelli: Elio fisica e space weather

Accordo ASI-UNIPG 2019-2-HH.0 a lungo termine per attività di ricerca e sviluppo di competenze innovative in ambito spazio [2019-2034]

- ✓ **Studi di radiazione:** misure e modelli per l'ambiente di radiazione nello spazio.
- ✓ **Geologia planetaria** – studio processi fisico-chimici, analisi spettrale e catalogazione.
- ✓ **Programma nanosatelliti** – missione cubesat per esperimenti in orbita [Dip. Ingegneria].

Vasto programma di ricerca multidisciplinare, applicazioni, sviluppi tecnologici, attività di outreach



Analisi e modelli: Elio fisica e space weather



Accordo ASI-UNIPG 2019-2-HH.0 a lungo termine per attività di ricerca e sviluppo di competenze innovative in ambito spazio [2019-2034]

- ✓ **Studi di radiazione:** misure e modelli per l'ambiente di radiazione nello spazio.
- ✓ **Geologia planetaria** – studio processi fisico-chimici, analisi spettrale e catalogazione.
- ✓ **Programma nanosatelliti** – missione cubesat per esperimenti in orbita [Dip. Ingegneria].

➤ Analisi dati e misure di flusso

➤ Modelli per la modulazione solare dei raggi cosmici

DRIFT: Cosmic antimatter drifting through the Solar Wind

>> Fondo ricerca di base. Studio del trasporto dell'antimateria nell'eliosfera [2020-2022]

CAESAR: Comprehensive spAce wEather Studies for ASPIS prototype Realization

>> Proposta progettuale vincitrice del Bando ASI-INAF [<http://aspis.iaps.inaf.it>]

>> Network di 77 ricercatori da 10 istituzioni italiane (UniPG, INAF, INFN, ASI, ...)

>> Goal: creazione e popolamento di ASPIS, centro scientifico ASI per lo Space Weather [2022-24]



Il progetto PAN – Penetrating particle Analyzer



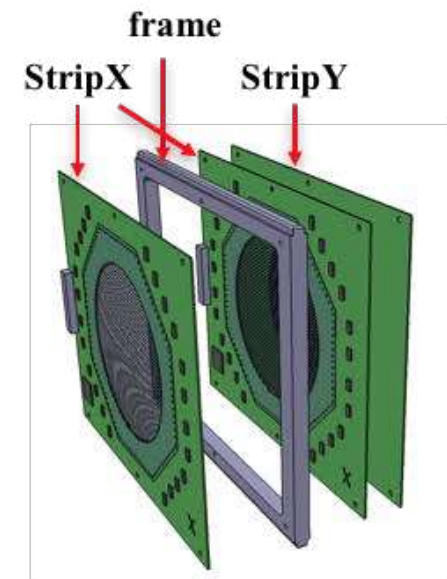
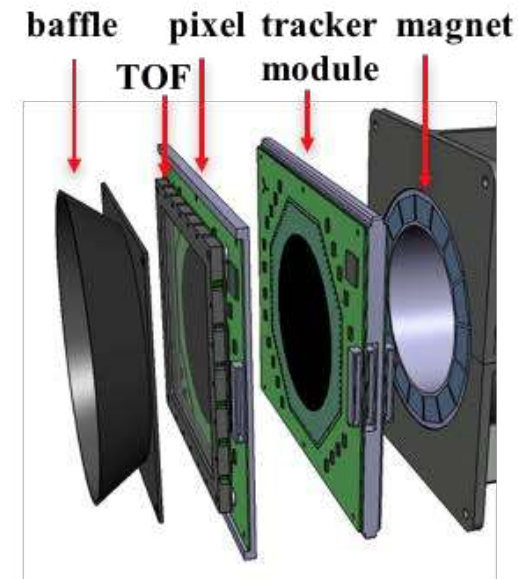
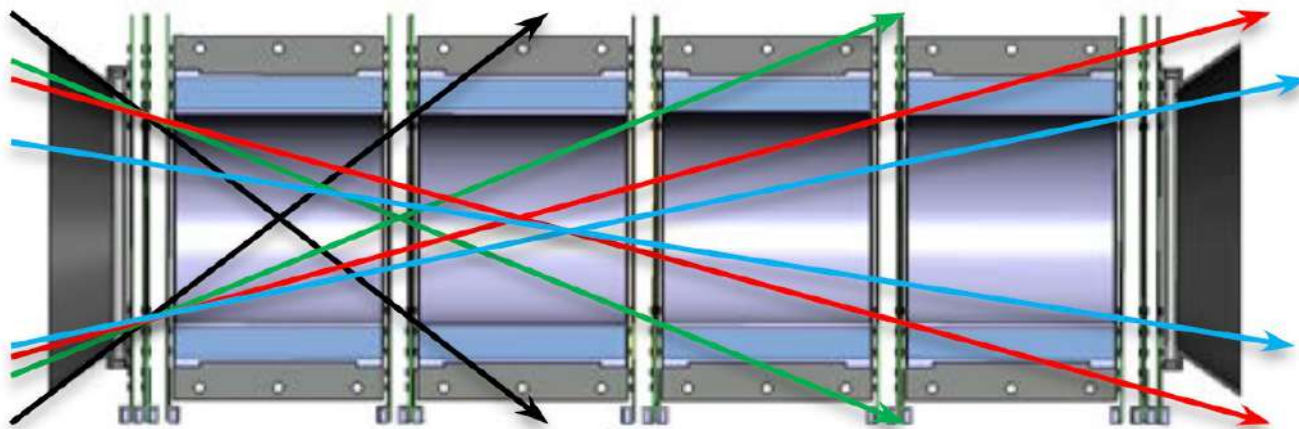
analizzatore spettrometro compatto e modulare per misure di bassa energia

- ❑ INFN & UniPG + Università Tecnica di Praga + Università di Ginevra
- ❑ Strumentazione di bordo in missione di esplorazione spaziale long-term
- ❑ Studio di eventi solari violenti, raggi cosmici e meteorologia spaziale
- ❑ Misure di nuclei, leptoni, antimateria a 50 MeV – 20 GeV. Long-duration missions >> yrs



Sviluppo dimostratore "Mini-PAN" (2020-23) progetto EU H2020 FET_OPEN GA 862044

White paper: [Wu et al. Adv Space Res. 63 \(2019\)](#)

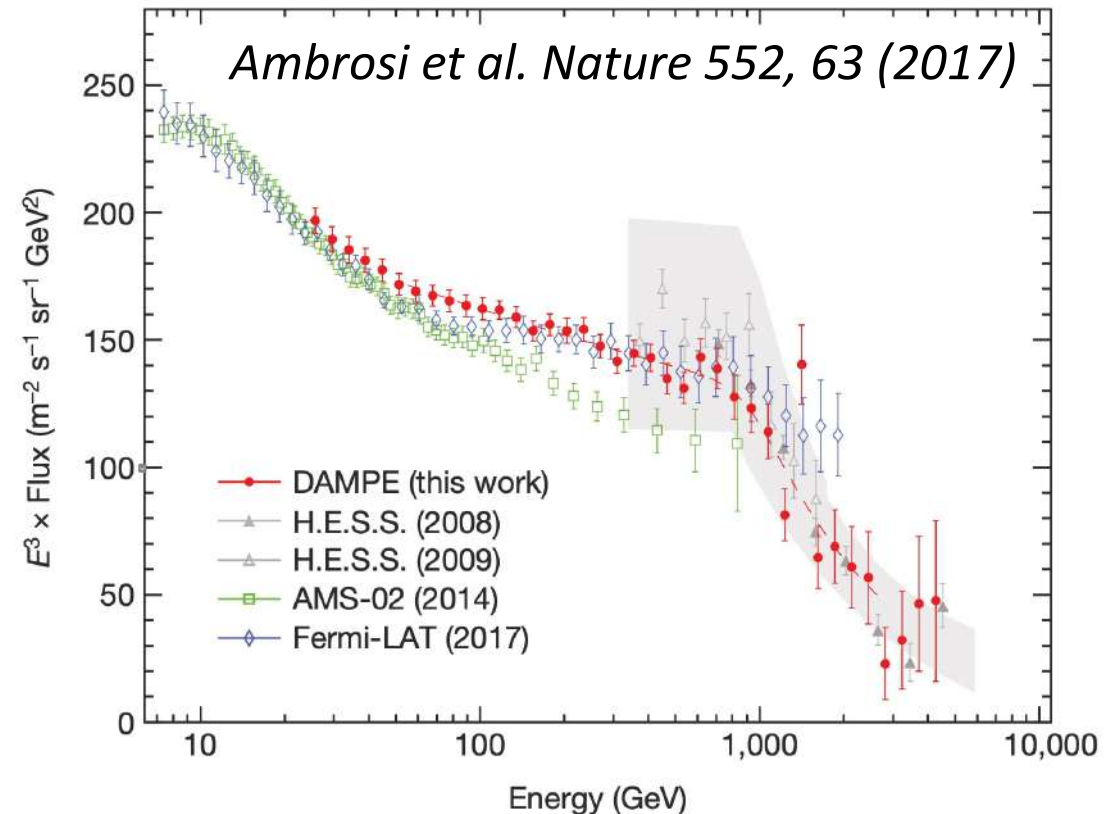


La missione DAMPE – Dark Matter Particle Explorer



- Chinese Academy of Sciences + INFN PG-BA-LE + Università di Ginevra
- Orbita su satellite a 500 km da dicembre 2015 => fino ad almeno 2024
- PG: Tracker e test di qualifica spaziale

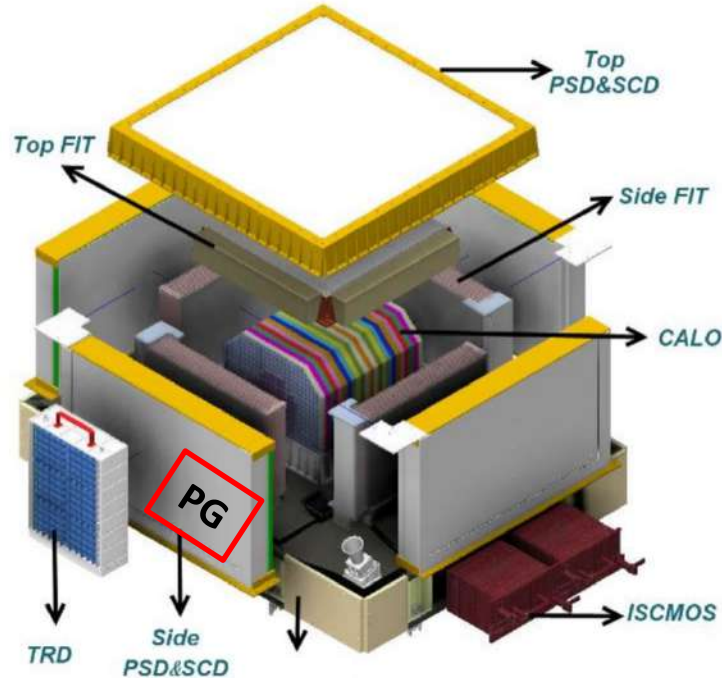
➔ Direct detection of a break in the TeV CR spectrum of $e^+ + e^-$



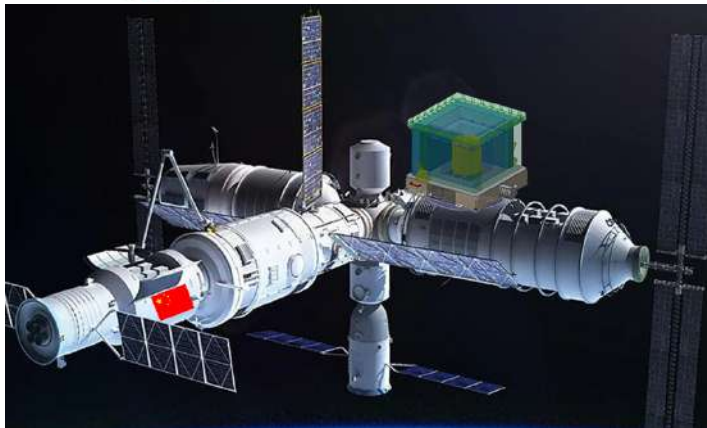
L'esperienza HERD sulla Stazione Spaziale Cinese



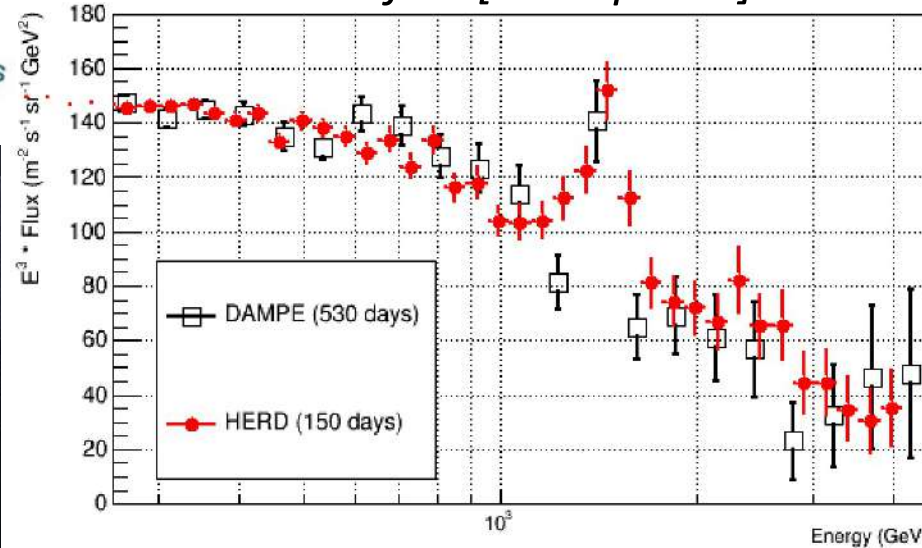
The High Energy cosmic Radiation Detection facility



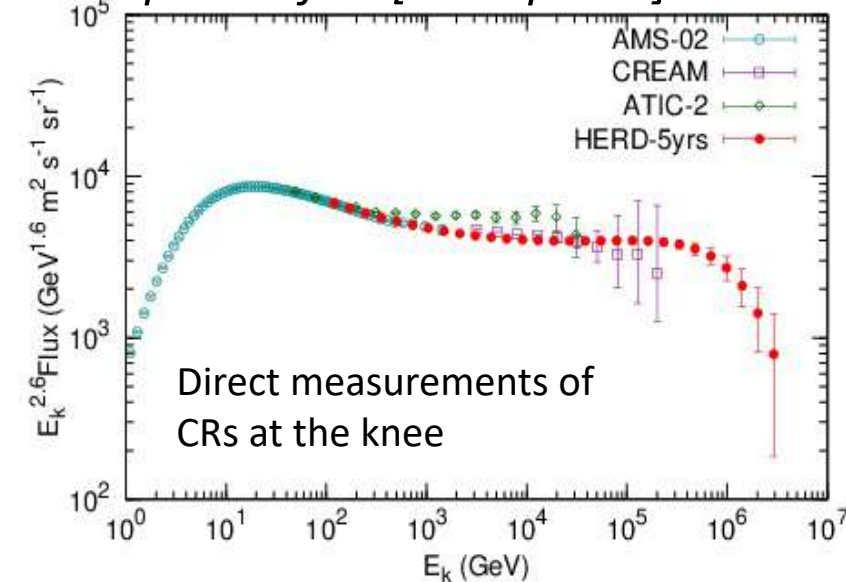
- HERD consortium: China + Svizzera + Spagna + Italia (INFN PG)
- Missione long-term ~ 10 yrs (Exp $\sim 20 \text{ m}^2 \text{ sr yrs}$), NET 2027.
- Misure calorimetriche di leptoni (multi-TeV) e nuclei (PeV!)



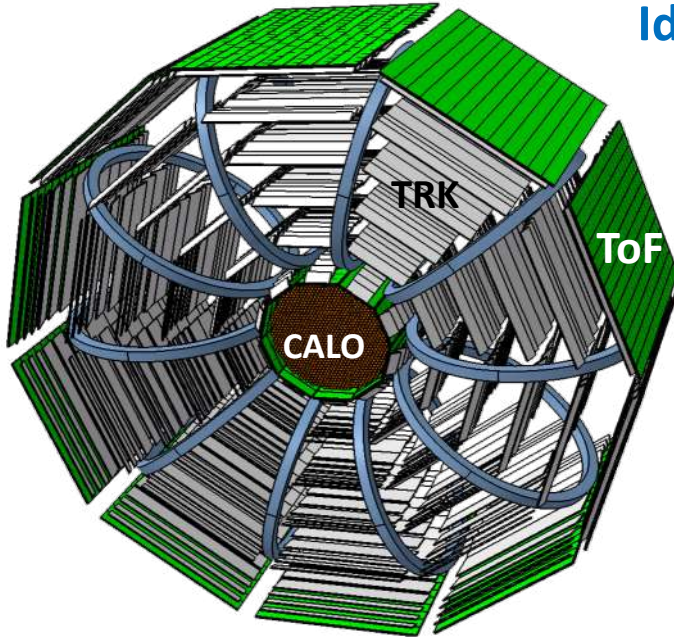
all-electron flux [anticipated]



proton flux [anticipated]



ALADInO: A Large Antimatter Detector In Orbit



Idea per uno spettrometro di futura generazione per rivelazione di antimateria ad energie multi-TeV in missioni long-term in L2

Core team members: IT, FR, DE, SE, CZ, CH

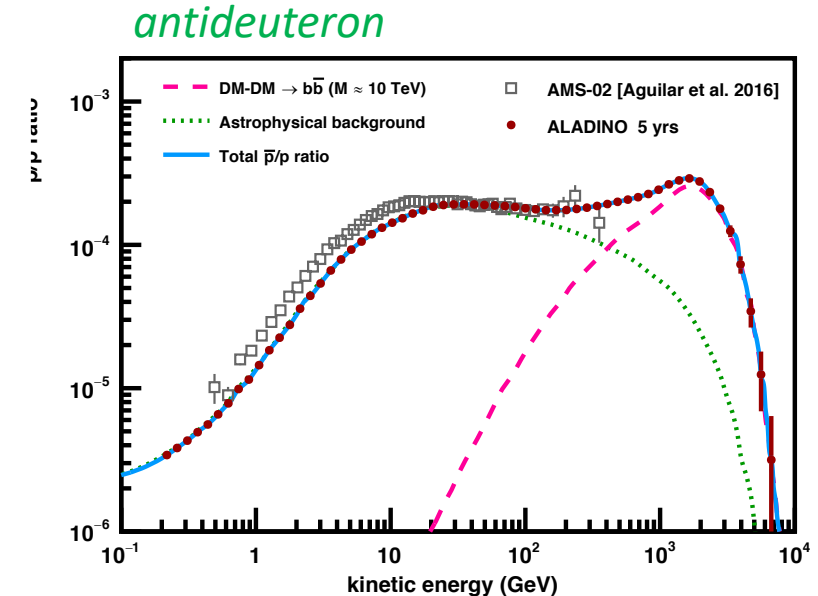
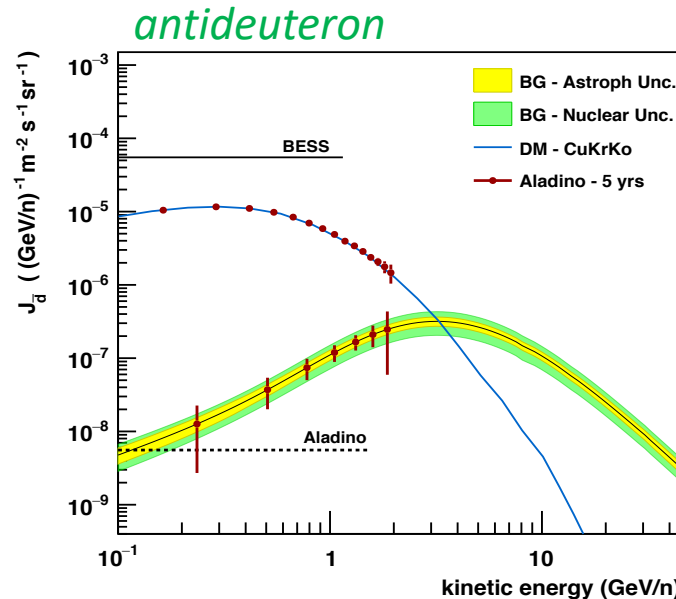
Presentato a ESA call VOYAGE 2050 (2019)

High Precision Particle Astrophysics as a New Window on the Universe *with an Antimatter Large Acceptance Detector In Orbit (ALADInO)*, Exp. Astron. 19 (2021)

- Calorimetro 3D isotropo à la HERD circondato da tracciatore toroidale
- Magnete superconduttore ad alta temperatura con $B= 0.8$ T.

Weight: 6 Tons
Power: 4 kW
channels: 2.5 M

Total acceptance	10 m ² sr
MDR	20 TV
Calo resolution e-	2%
Calo resolution N	30%
TOF resolution	100 ps



Astroparticelle nello Spazio: fisica fondamentale e applicazioni

