

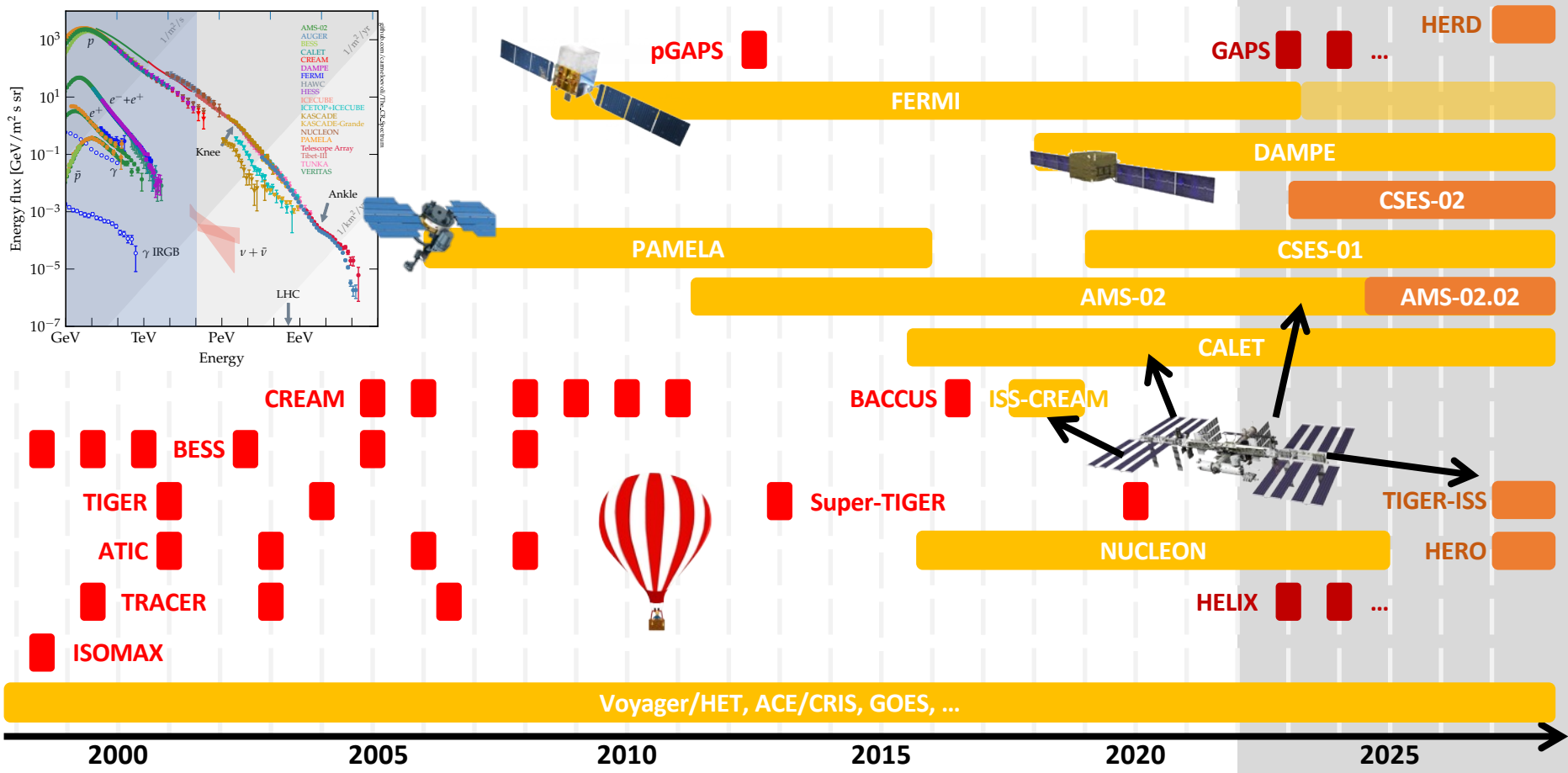
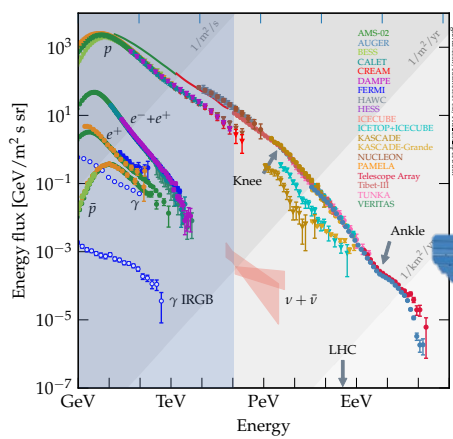
Report sulle Attività del gruppo AMS-Bologna (+ Limadou-Bologna)

A. Oliva



Assemblea della Sezione
INFN di Bologna,
28/03/2022

Misura Diretta di Raggi Cosmici (dal 2000)



La misura diretta permette di studiare le componenti dei raggi cosmici (materia e anti-materia).

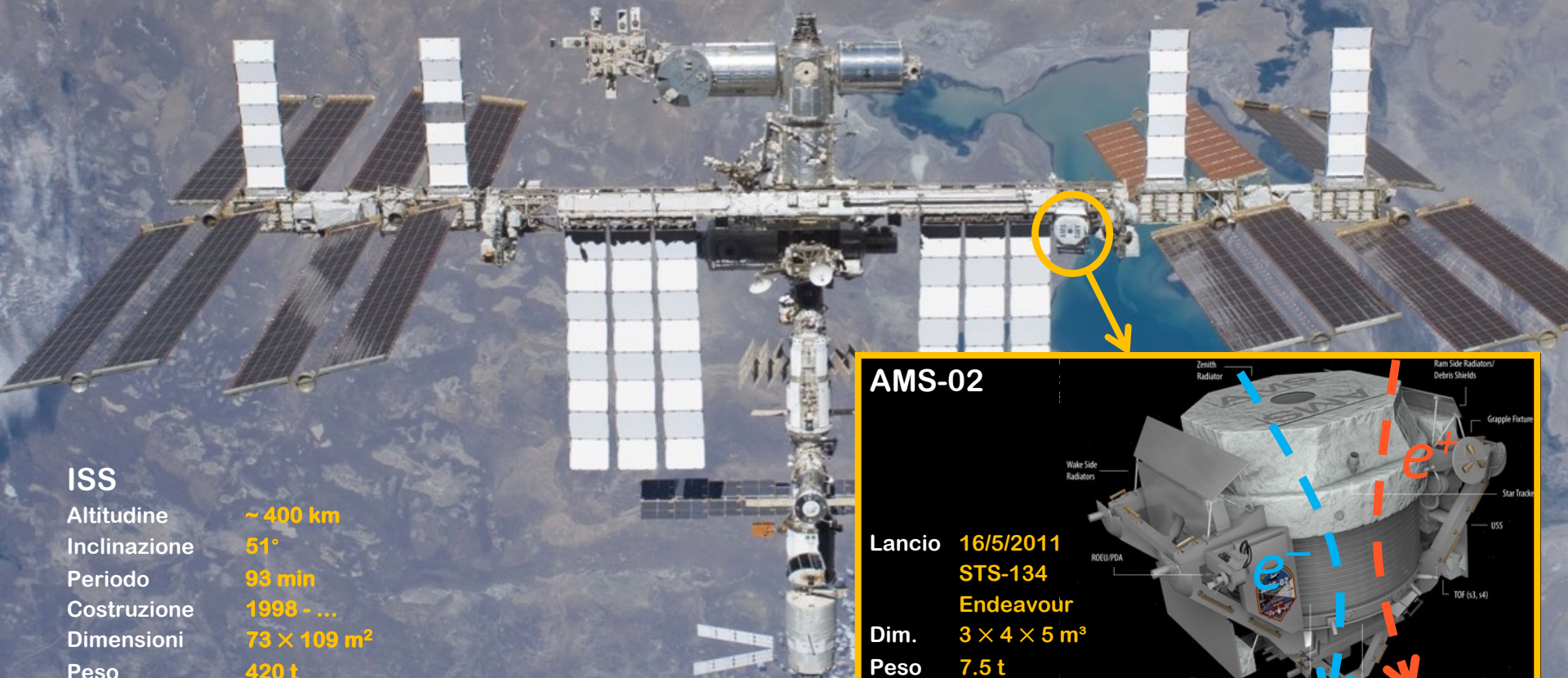
Misura sempre sta diventando sempre più "spaziale", che ha reso centrale la ISS.

Molti progetti nel passato (PAMELA), presente (DAMPE, FERMI, AMS-02) e futuro (GAPS, HERD) in cui INFN è coinvolto.

AMS-02: l'Alpha Magnetic Spectrometer

2

Installato nel 2011 sulla stazione spaziale internazionale (ISS).
Prende dati continuamente sin da allora.

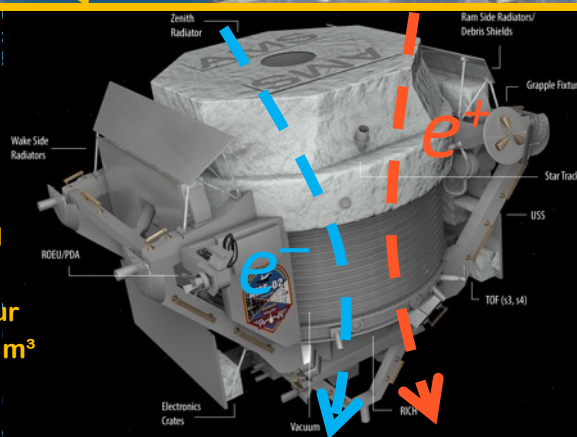


ISS

Altitudine	~ 400 km
Inclinazione	51°
Periodo	93 min
Costruzione	1998 - ...
Dimensioni	73 × 109 m ²
Peso	420 t

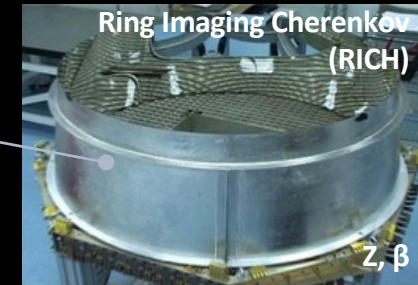
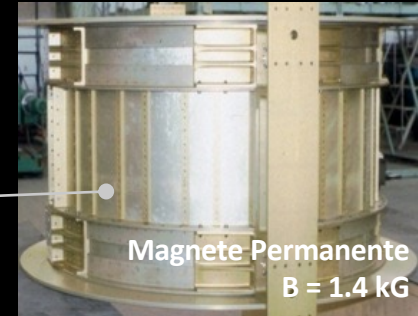
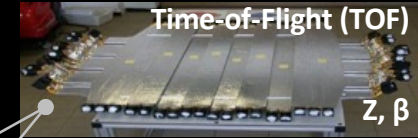
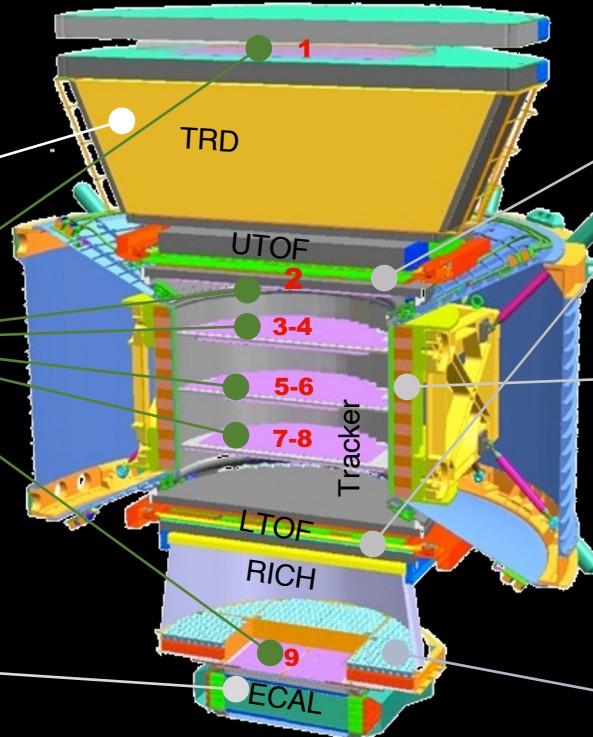
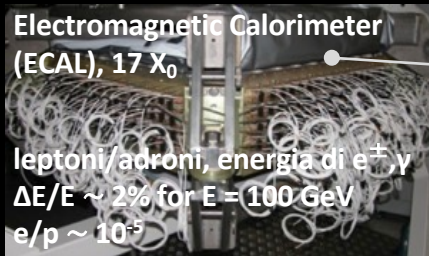
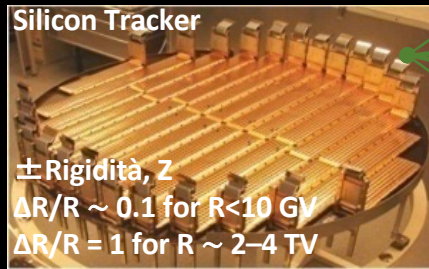
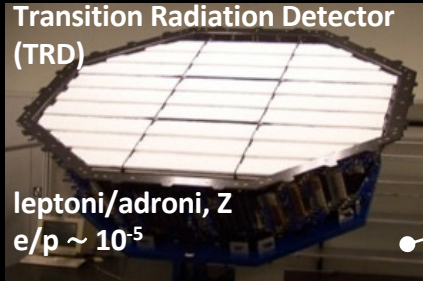
AMS-02

Lancio	16/5/2011
	STS-134
	Endeavour
Dim.	3 × 4 × 5 m ³
Peso	7.5 t
Potenza	2500 W



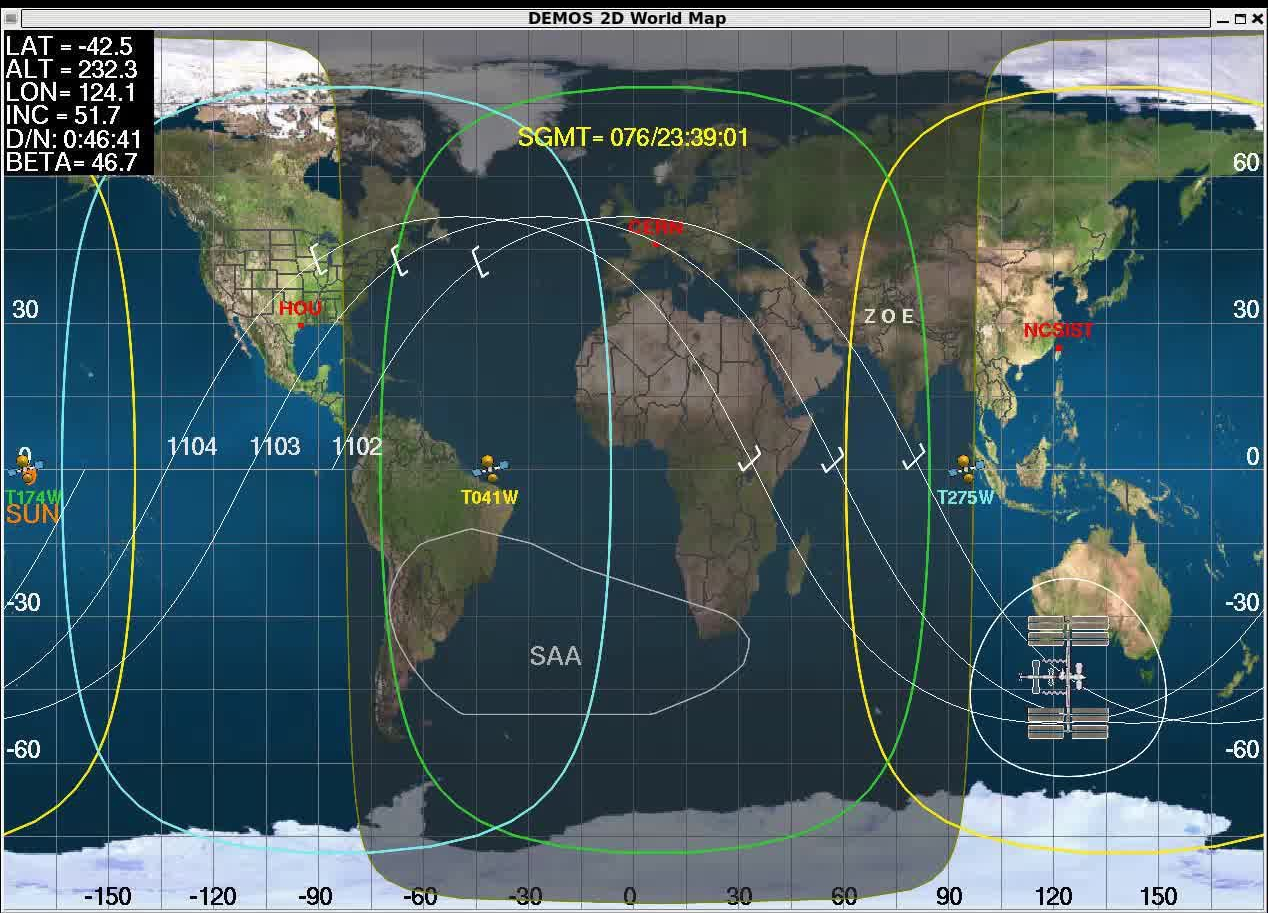
AMS-02: Uno Spettrometro Magnetico Multi-Funzionale ³

AMS-2 separa adroni da leptoni, materia da antimateria, misura la composizione chimica e isotopica di raggi cosmici da frazioni di GeV ad alcuni TeV.



Misure multiple di precisione di carica (Z), energia (β , p, E) and segno della carica (\pm).

18/03/2022, 200 Miliardi di Eventi Acquisiti



Win10Cern [Running] - Oracle VM VirtualBox

Mcs Bev 2.8 ISS Assembly Flights ULF1.1 to ULF6

File Data Models Views Camera Objects Targets Analysis Record Help

OST: 17-Mar-2022 23:39:45 DOY: 76
Model: ULF6 R2: Rafter Separation
Camera: LVLH_Plus_X
Data: ISP
Sun Event: Sunset 47:06

Camera: LVLH_Plus_Y

Parameter	Value
Beta Angle	46.8
RS Ref Frame	QIC
RS QMC Mode	CHG TR
RS Control	Slave
US Ref Frame	LVLH
US QMC Mode	CHG TR
US Ctrl Type	YEA

Axis	Roll	Pitch	Yaw
Current	-4.0	-4.3	0.7
Cmd	-4.0	-4.2	0.9
Error	0.2	0.0	-0.1
Total	0.019	-3.710	0.271

Body Rate (d/s) LVLH Rate Camera: SunCam

Lat: -42.5 Long: 124.1 Alt (km): 430.0

Camera: SunCam

Rotational control interface for a satellite simulation. It displays a 3D view of the satellite and its attitude relative to the Earth. The interface includes a menu bar, a status bar, and a data panel with various parameters and control options. A blue arrow points to the 'ROTATE' button in the status bar.

200,000,420,939

Review con i Risultati dei Primi 7 Anni di Presa Dati

Physics Reports 894 (2021) 1–116



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Physics Reports

journal homepage: www.elsevier.com/locate/physrep



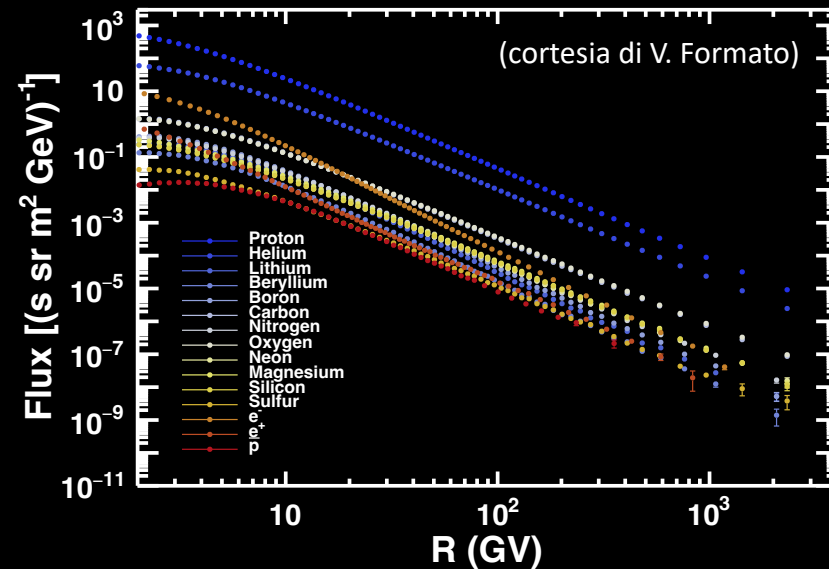
Part I è il report del 2002 su AMS-01, prototipo volato nel 1998 a bordo dello shuttle *Discovery*.

~ 200 nomi



The Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) on the international space station: Part II – Results from the first seven years

M. Aguilar³¹, L. Ali Cavazonza¹, G. Ambrosi³⁷, L. Arruda²⁹, N. Attig²⁴, F. Barao²⁹, L. Barrin¹⁵, A. Bartoloni⁴³, S. Başeğmez-du Pree^{18,a}, J. Bates²¹, R. Battiston^{40,41}, M. Behlmann¹⁰, B. Beischer¹, J. Berdugo³¹, B. Bertucci^{37,38}, V. Bindi²⁰, W. de Boer²⁵, K. Bollweg²¹, B. Borgia^{43,44}, M.J. Boschini³³, M. Bourquin¹⁶, E.F. Bueno¹⁸, J. Burger¹⁰, W.J. Burger⁴⁰, S. Burmeister²⁶, X.D. Cai¹⁰, M. Capell¹⁰, J. Casaus³¹, G. Castellini¹⁴, F. Cervelli³⁹, Y.H. Chang^{48,49}, G.M. Chen^{6,7}, H.S. Chen^{6,7}, Y. Chen¹⁶, L. Cheng²², H.Y. Chou⁴⁹, S. Chouridou¹, V. Choutko¹⁰, C.H. Chung¹, C. Clark^{10,21}, G. Coignet³, C. Consolandi²⁰, A. Contin^{8,9}, C. Corti²⁰, Z. Cui^{22,23}, K. Dadzie¹⁰, Y.M. Dai⁵, C. Delgado³¹, S. Della Torre³³, M.B. Demirköz², L. Derome¹⁷, S. Di Falco³⁹, V. Di Felice^{45,b}, C. Díaz³¹, F. Dimiccoli⁴⁰, P. von Doetinchem²⁰, F. Dong³⁵, F. Donnini^{45,b}, M. Duranti³⁷, A. Egorov¹⁰, A. Eline¹⁰, J. Feng¹⁰, E. Fiandrini^{37,38}, P. Fisher¹⁰, V. Formato^{45,b}, C. Freeman²⁰, Y. Galaktionov¹⁰, C. Gámez³¹, R.J. García-López^{27,28}, C. Gargiulo¹⁵, H. Gast¹, I. Gebauer²⁵, M. Gervasi^{33,34}, F. Giovacchini³¹, D.M. Gómez-Coral²⁰, J. Gong³⁵, C. Goy³, V. Grabski³², D. Grandi^{33,34}, M. Graziani^{37,38}, K.H. Guo¹⁹, S. Haino⁴⁸, K.C. Han³⁰, R.K. Hashmani², Z.H. He¹⁹, B. Heber²⁶, T.H. Hsieh¹⁰, J.Y. Hu^{6,7}, Z.C. Huang¹⁹, W. Hungerford²¹, M. Incagli³⁹, W.Y. Jiang¹³, Yi. Jia¹⁰, H. Jinchi³⁰



AMS-Bologna

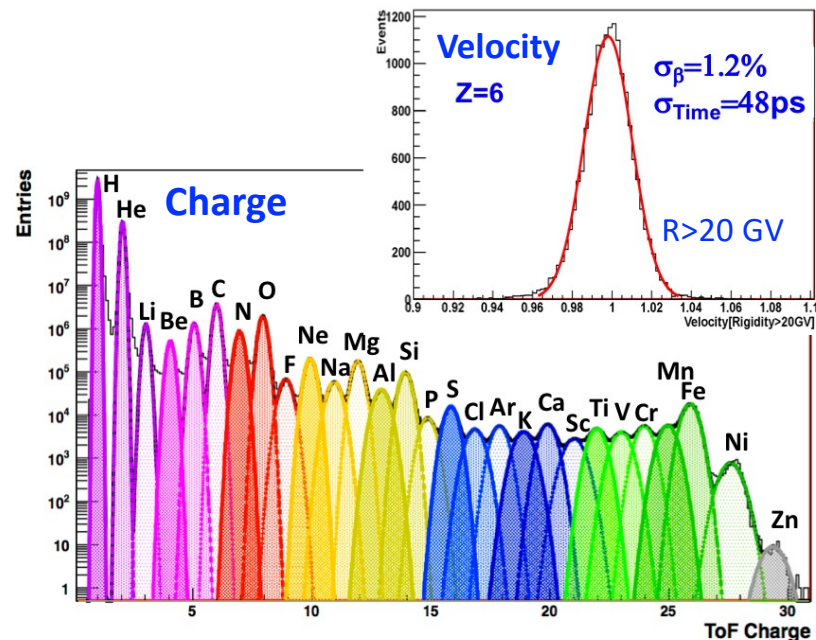
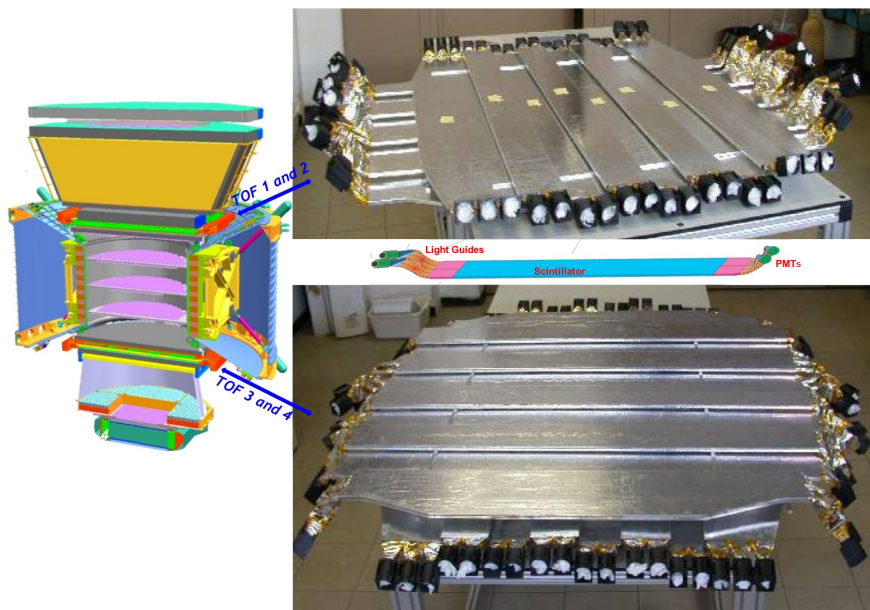
Andrea Contin	Professore Ordinario	Responsabile del TOF; Responsabile Contratto ASI-INFN « <i>Progetto AMS – Missione scientifica ed analisi dati</i> »; Responsabile AMS Finance Review Committee.
Alejandro Reina Conde	Assegnista INFN (su fondi ASI)	Misura della componente nucleare dei RC con AMS in funzione del tempo. Modellizzazione della propagazione della componente nucleare dei RC in eliosfera.
Francesco D'Angelo	Assegno DIFA post-laurea (su fondi ASI)	Valutazione del fondo astrofisico di anti-protoni nei raggi cosmici.
Nicolò Masi	Ricercatore III livello INFN	Studio della fenomenologia dei raggi cosmici in collaborazione con i gruppi GALPROP e HelMod, leader nella modellizzazione della propagazione dei RC nella galassia e nell'eliosfera.
Alberto Oliva	Ricercatore III livello INFN	Responsabile locale. Misura della della componente nucleare dei raggi cosmici con AMS.
Lucio Quadrani	Tecnico Universitario Categoria D	Responsabile monitor e calibrazione del TOF.
Giuliano Laurenti	Dirigente Tecnologo, Associato Senior	
Federico Palmonari	Professore Emerito	
Antonino Zichichi	Professore Emerito	

Il gruppo ha un importante **ruolo operativo** per AMS (responsabilità del TOF), è attivo sia nell'**analisi dei dati** di AMS contribuendo direttamente alle pubblicazioni di AMS, e nello studio della **fenomenologia** dei raggi cosmici.

Il Sistema Time-of-Flight (TOF) di AMS-02

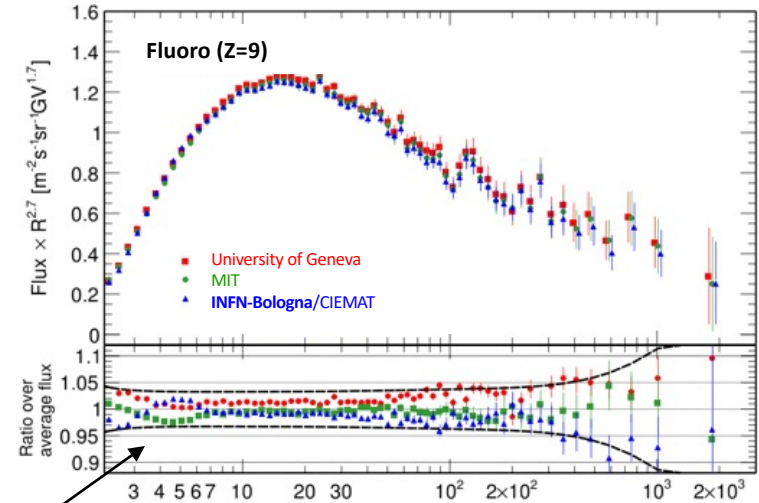
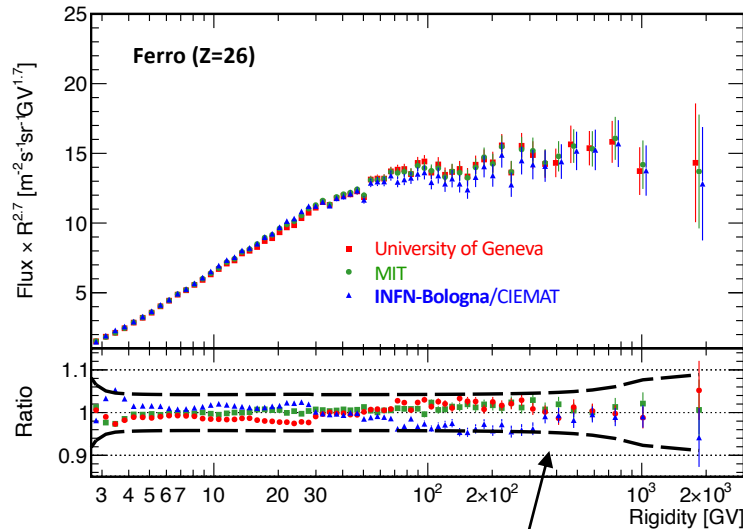
Il TOF è stato costruito a Bologna. Il Gruppo AMS-Bologna ha le complete responsabilità del TOF che comprendono:

- Il **funzionamento del TOF** (un esperto TOF on-call deve essere sempre disponibile);
- fornire un sistema di **monitoraggio on-line** per il controllo dell'acquisizione (il nostro sistema è stato ristrutturato completamente nel 2020 per affrontare l'emergenza pandemica);
- **calibrazione periodica off-line** del TOF (misura di velocità e carica) necessaria per l'analisi dati;
- fare turni di acquisizione dati in presenza al POCC di AMS al CERN e, in periodo pandemico, anche da casa.



Anche in questi tempi difficili, grazie all'aiuto del management (locale e nazionale) e dei servizi di sezione, siamo stati capaci di fare fronte ai nostri impegni.

Analisi dei Dati di AMS a Bologna: Nuclei “Pesanti”



M. Aguilar *et al.*, Phys. Rev. Lett. **126** (2021) 041104.

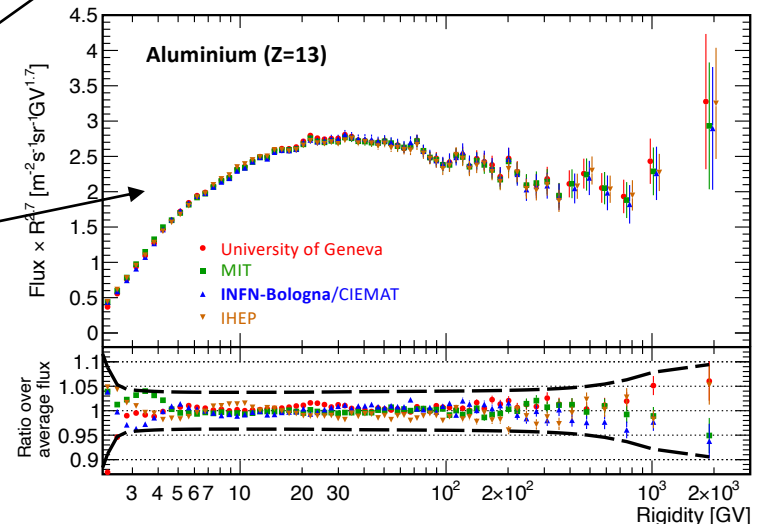
Featured in Physics

M. Aguilar *et al.*, Phys. Rev. Lett. **126** (2021) 081102.

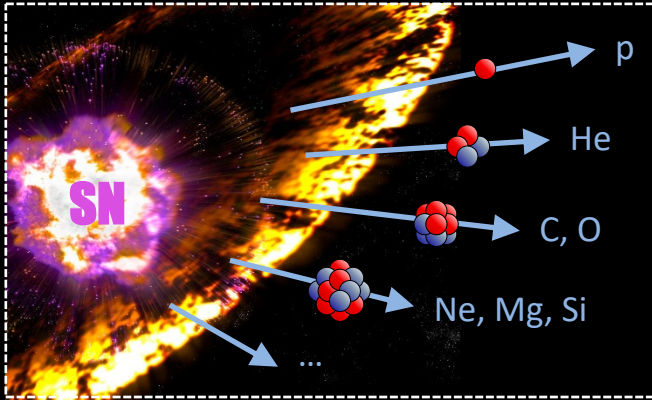
Editor's Suggestion

M. Aguilar *et al.*, Phys. Rev. Lett, **127** (2021) 021101.

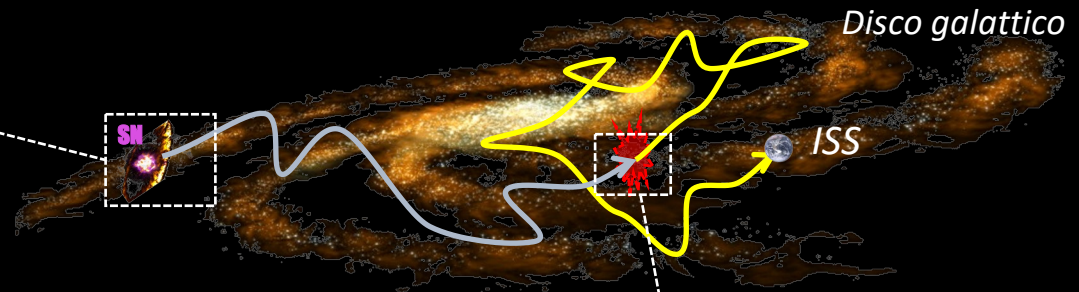
Nell'ultimo anno AMS-Bologna ha fornito analisi **complete** ed **indipendenti** della misura del **ferro** (Z=26), del **fluoro** (Z=9), del **neon** (Z=10) e dell'**alluminio** (Z=12) nei raggi cosmici, che hanno portato a tre pubblicazioni.



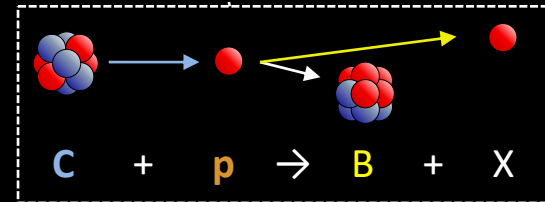
La Componente Nucleare dei Raggi Cosmici



I RC primari (p , He, C, O, Ne, Mg, Si, ..., Fe) sono prodotti durante la vita delle stelle e poi accelerate dalle onde d'urto delle esplosioni di supernova.



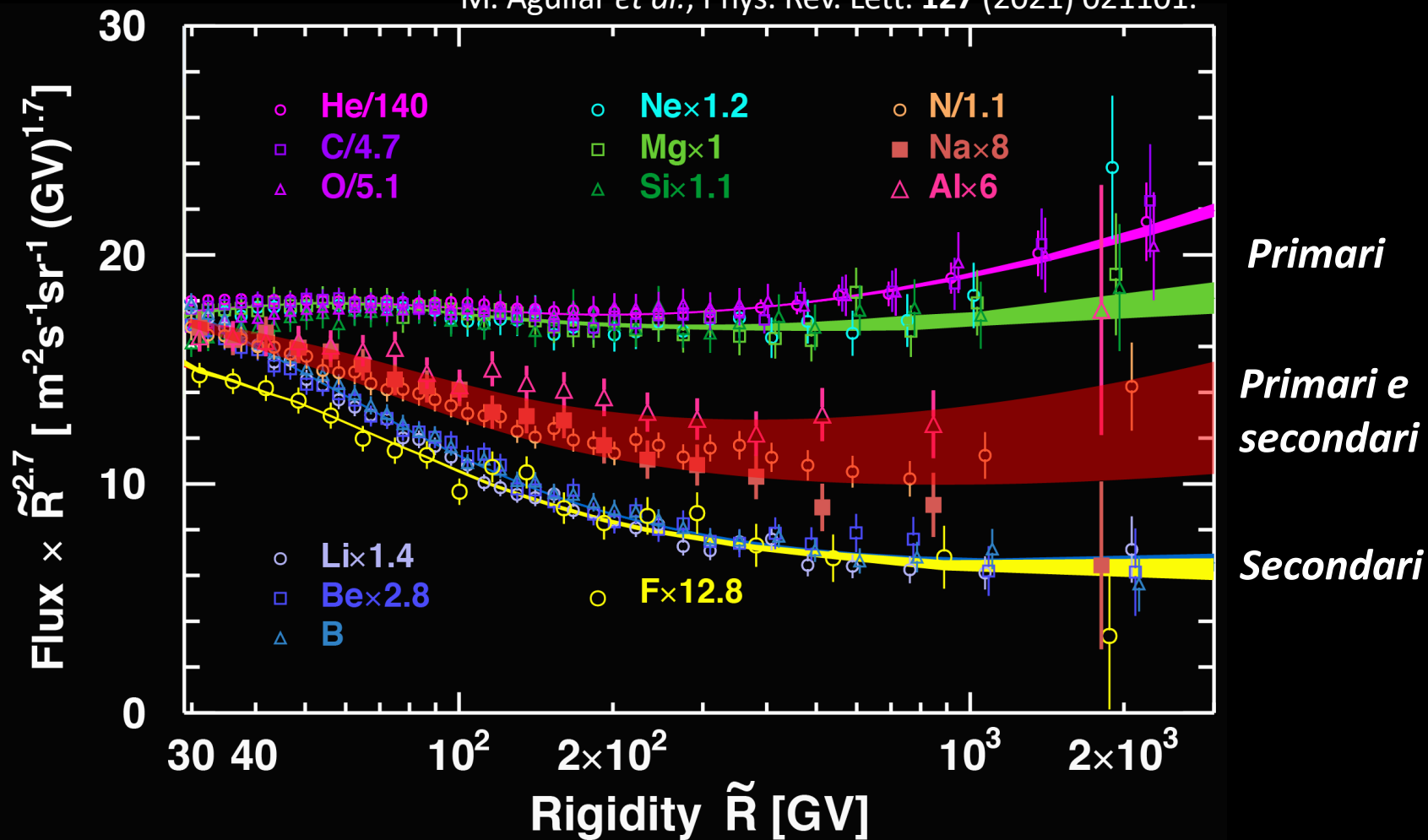
I RC secondari (Li, Be, B, F, sub-Fe, ...) sono prodotti dalla collisione dei primari con il mezzo interstellare.



I nuclei nei RC danno informazioni sui luoghi d'origine, sull'accelerazione e sulla propagazione dei RC. La ricerca indiretta di materia oscura dipende direttamente dalla nostra comprensione di questi processi.

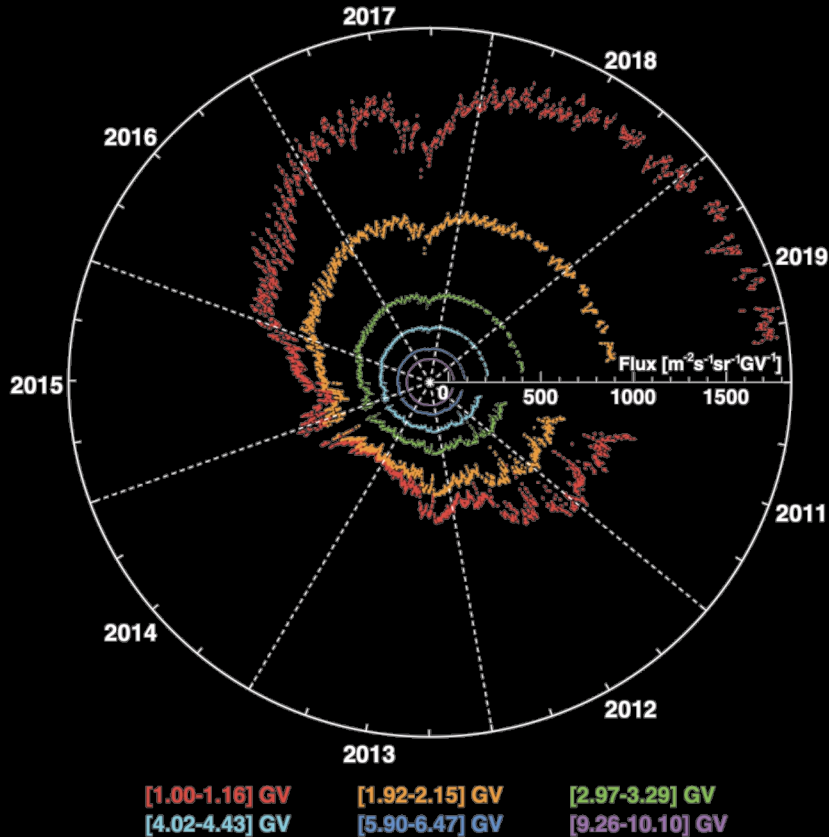
Flusso dei Raggi Cosmici con $2 \leq Z \leq 14$

M. Aguilar *et al.*, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 021101.

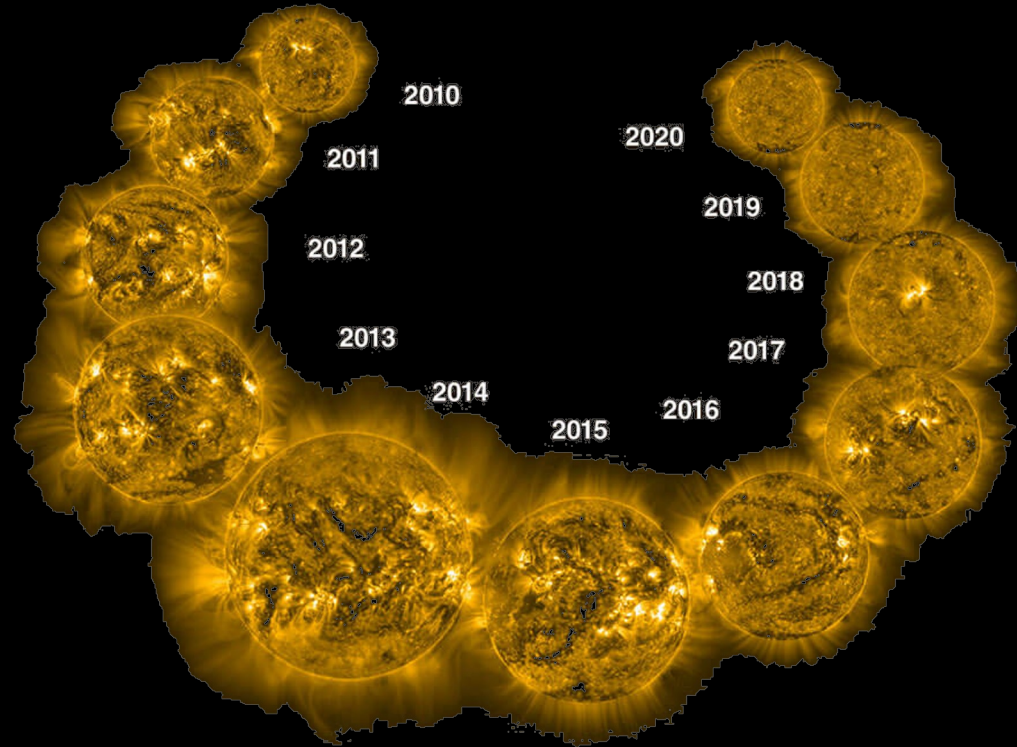


L'Ultimo Risultato Pubblicato da AMS-02: Fisica Solare 11

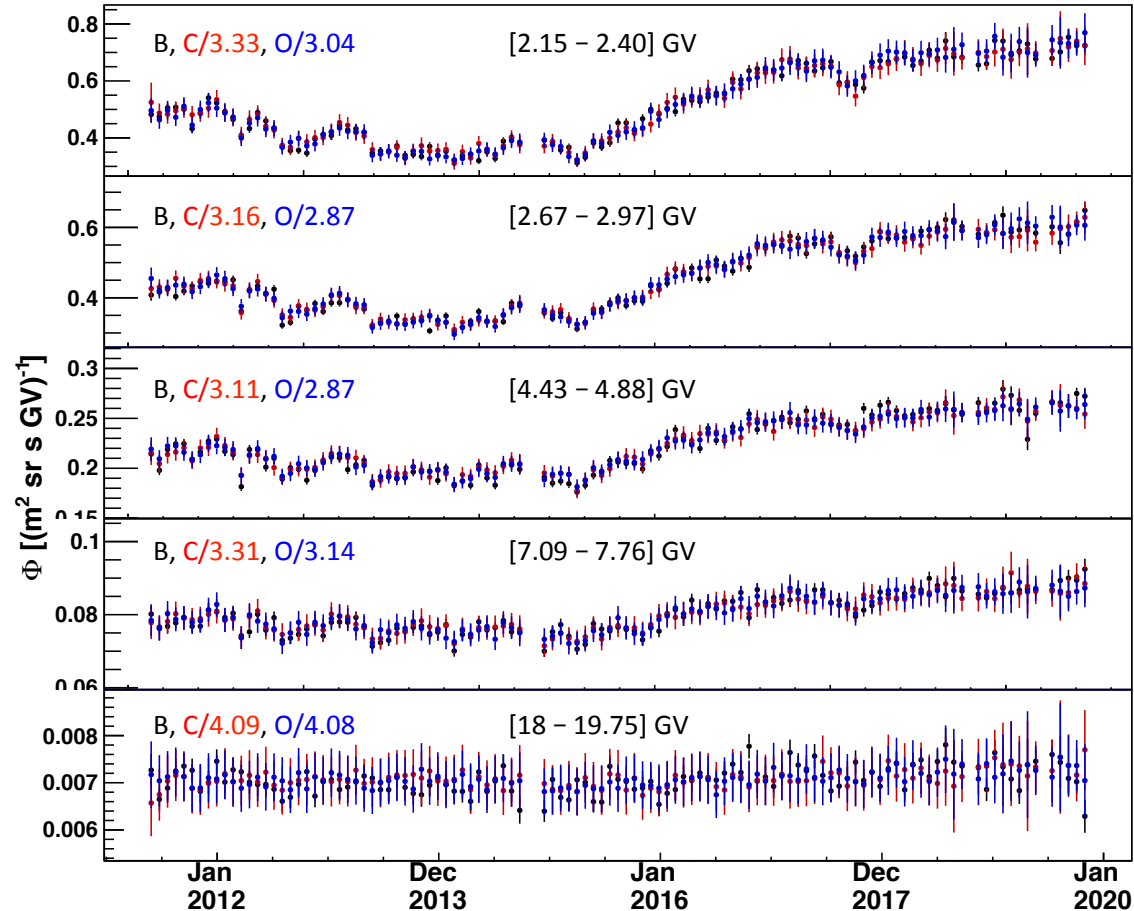
Flusso di protoni **giornaliero** misurato da AMS
M. Aguilar et al., Phys. Rev. Lett. **127** (2022) 271102.



Evoluzione del sole nell'UV, come visto dal satellite PROBA2
(da NOAA/JPL-Caltech)



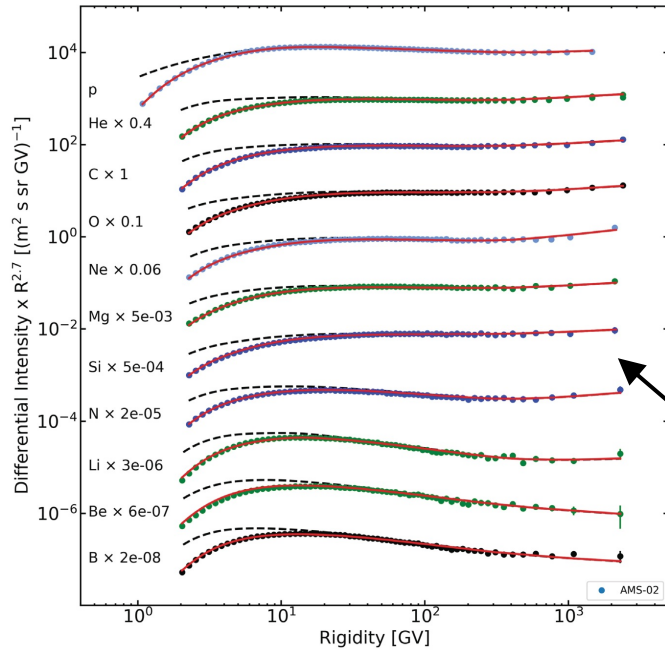
La misura ad **alta statistica** di AMS permette di studiare con precisione l'effetto dell'**attività solare** sui RC.



L'effetto del Sole è visibile sino a 7 GV. Studi fenomenologici sulla modulazione solare di B, C e O sono in corso.

→ Questo lavoro è stato proposto come una delle prossime pubblicazioni di AMS.

Analisi dei Dati di AMS a Bologna: Fenomenologia

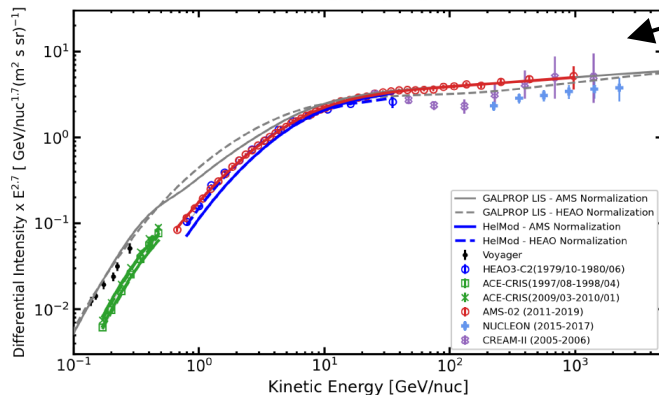


AMS-Bologna ha una collaborazione pluriennale con I gruppi che sviluppano i codici **GALPROP** (Stanford) e **HelMod** (Milano Bicocca), che sono rispettivamente i modelli di riferimento per la propagazione dei raggi cosmici nella galassia e nell'eliosfera.

M. Boschini, et al., *Astroph. J. Supp.* **250** (2020) 27.
Descrizione complessiva dello spettro di tutte le specie nei RC da carica 1 a 28.

M. Boschini et al., *Astroph. J.* **913** (2021) 5.
Osservazione di un «bump» a basse energie nello spettro dei rapporto primario/primario Fe/He, Fe/O e Fe/Si.

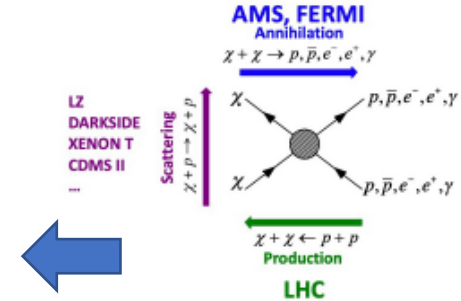
M. Boschini et al., *Astroph. J.* **925** (2022) 108.
Studio del flusso di Fluoro secondario e di un possibile contributo primario.



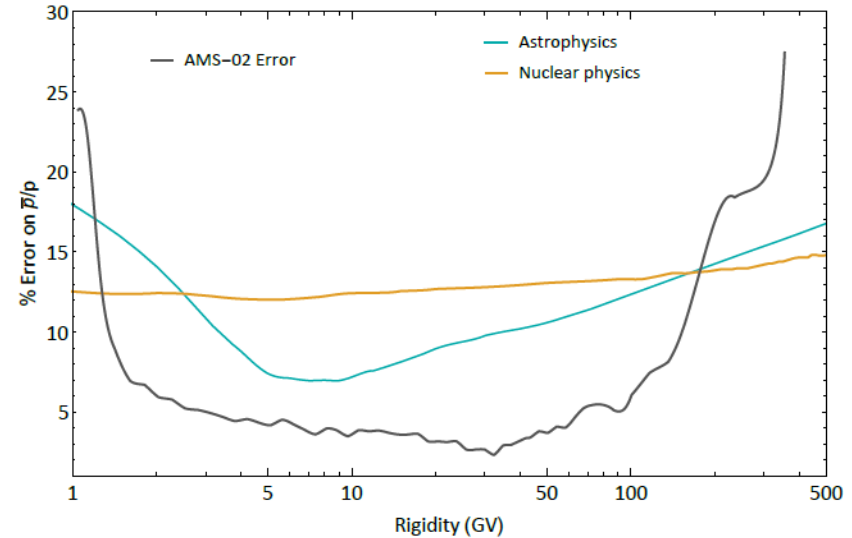
La Collaborazione con AMBER



Program	Physics Goals	Beam Energy [GeV]	Beam Intensity [s^{-1}]	Trigger Rate [kHz]	Beam Type	Target	Earliest start time, duration	Hardware additions
muon-proton elastic scattering	Precision proton-radius measurement	100	$4 \cdot 10^6$	100	μ^\pm	high-pressure H2	2022 2 years	active TPC, SciFi trigger, silicon veto,
Hard exclusive reactions	GPD E	160	$2 \cdot 10^7$	10	μ^\pm	NH_3^+	2022 2 years	recoil silicon, modified polarised target magnet
Input for Dark Matter Search	\bar{p} production cross section	20-280	$5 \cdot 10^5$	25	p	LH2, LHe	2022 1 month	liquid helium target

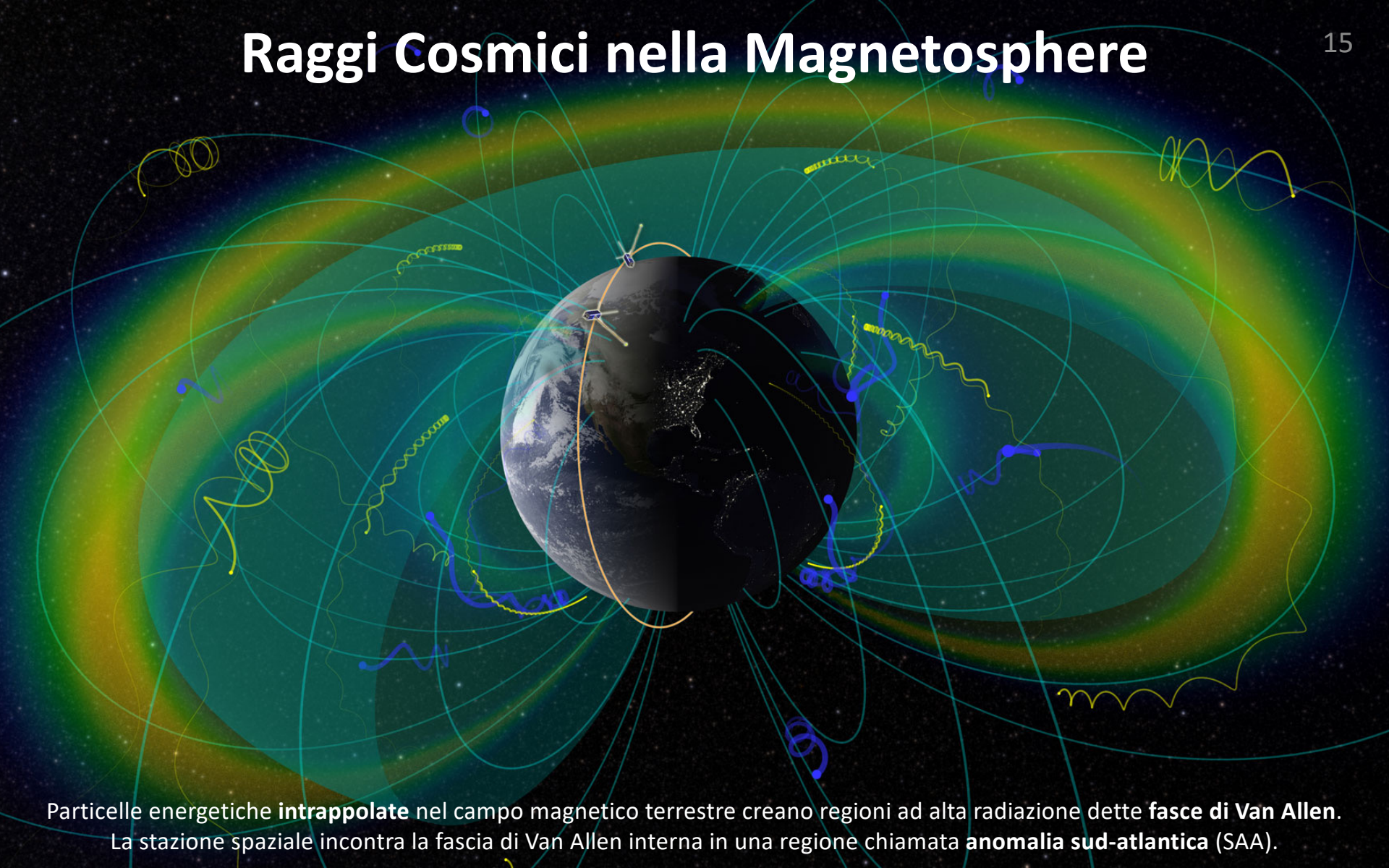


- Il flusso di anti-protoni nei RC è di interesse per lo studio della **materia oscura**. Dopo le misure di AMS le incertezze astrofisiche nella stima del flusso di anti-protoni sono diventate minori di quelle derivanti dalle sezioni d'urto di produzione.
- Nel programma **dell'esperimento AMBER** c'è la misura della sezione d'urto di produzione di anti-protoni in collisioni p+p e p+He (target di LH₂ e LHe) a differenti quantità di modo di protoni incidenti (50, 100, 190, 250 GeV/c).



Il gruppo AMS-Bologna, insieme al gruppo AMS-Trento, collaborerà allo studio dell'uso del target di LHe, alla **presa dati** di AMBER, alla simulazione GEANT4, e dello studio della misura di AMBER sulla stima del **fondo astrofisico di anti-protoni**.

Raggi Cosmici nella Magnetosphere



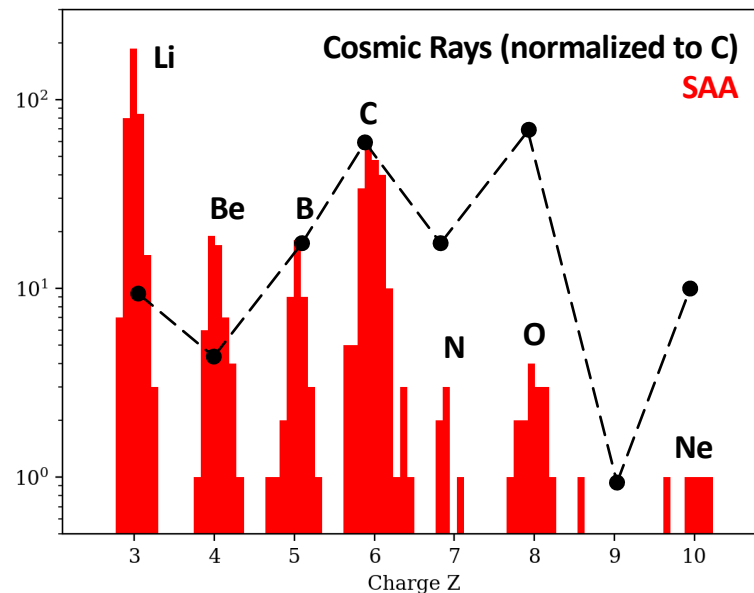
Particelle energetiche **intrappolate** nel campo magnetico terrestre creano regioni ad alta radiazione dette **fascie di Van Allen**. La stazione spaziale incontra la fascia di Van Allen interna in una regione chiamata **anomalia sud-atlantica (SAA)**.

La ISS attraversa le fasce di radiazione nella anomalia sud-atlantica (SAA).

La fascia di radiazione è composta da protoni, elettroni e nuclei di elio.

AMS ha osservato **per la prima volta** nuclei con $Z > 2$ con rigidità a 5 GV.

La composizione chimica osservata è molto differente da quella dei RC galattici.



Quale è l'origine di questa fascia di ioni? Che implicazioni ha per la radioprotezione degli astronauti?

E a proposito di RC in Magnetosfera, una digressione su Limadou ¹⁷

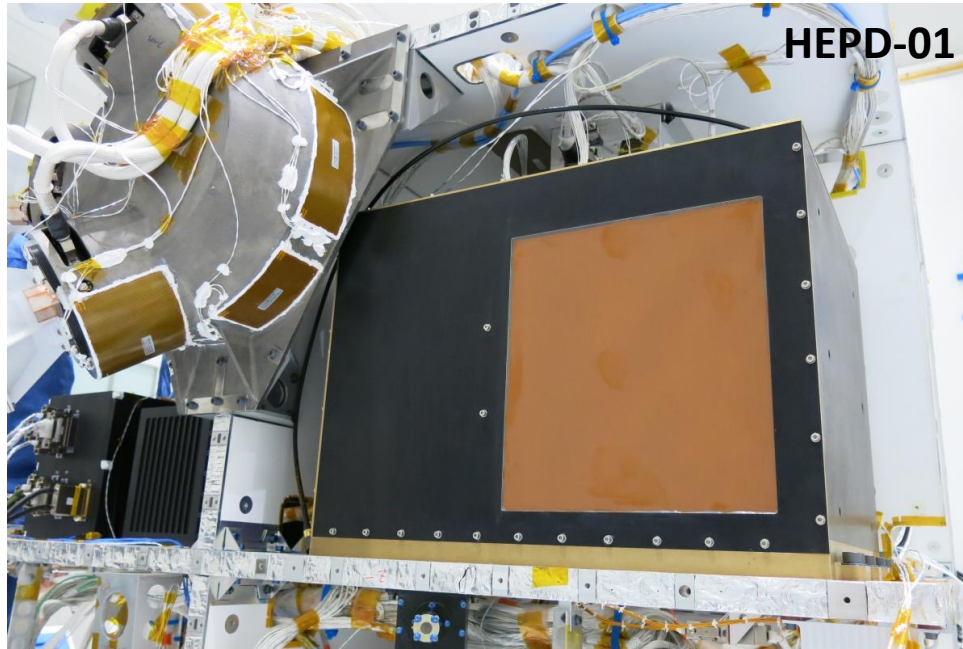
Il programma della **collaborazione Limadou** è lo studio dei meccanismi di accoppiamento tra **litosfera-atmosfera e magnetosfera** attraverso lo studio delle correlazioni temporali di osservabili spaziali, come il flusso di particelle in bassa orbita terrestre, con i terremoti di alta intensità.

Il gruppo Limadou-Bologna

Andrea Contin	Professore Ordinario	Responsabile locale.
Alberto Oliva	Ricercatore III livello INFN	Analisi dei dati di HEPD-01. Analisi di correlazione particelle con eventi sismici.
Michele Pozzato	Ricercatore III livello INFN	Calibrazione dei PMT. Test di performance dei prototipi.
Zouleikha Sahnoun	Assegnista	Sviluppo del MC di HEPD-02.
Giuliano Laurenti	Dirigente Tecnologo, Ass. Senior	
Federico Palmonari	Professore Emerito	
Mauro Lolli	Collaboratore Tecnico	Sviluppo delle basette, calibrazione e montaggio dei PMT sulle basette, integrazione dei contatori.

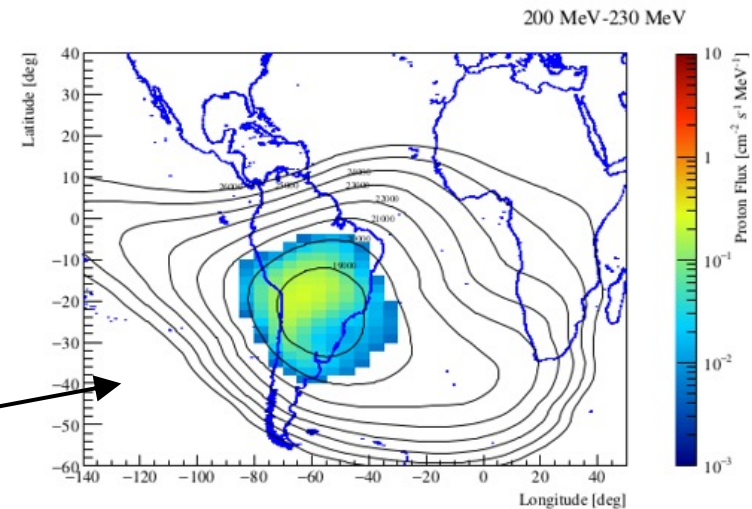
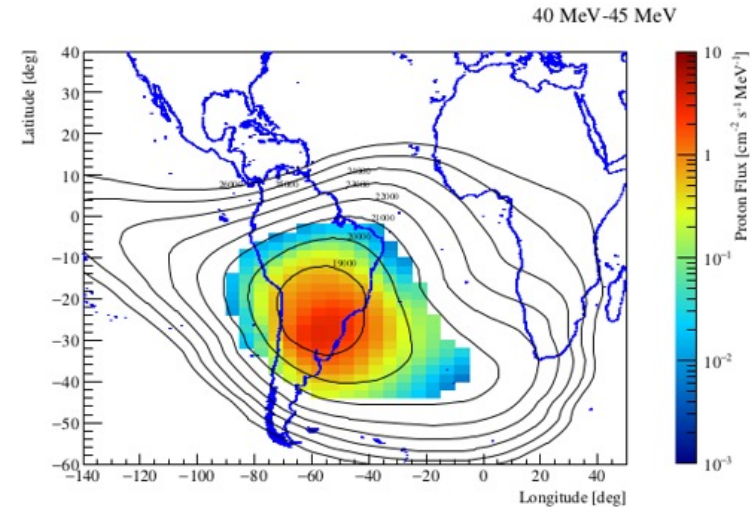
Il gruppo AMS-Limadou, che è già stato coinvolto nella realizzazione di un primo detector per la misura di particelle in magnetosfera **HEPD-01** lanciato nel 2018 ora in orbita sul satellite CSES-01, è oggi impegnato nella realizzazione di **HEPD-02** un secondo detector che sarà lanciato quest'anno.

Ultimi Risultati di HEPD-01



F. Palma *et al.*, Appl. Sci. 11 (2021) 5680.
Osservazione della tempesta geomagnetica dell'agosto 2018.

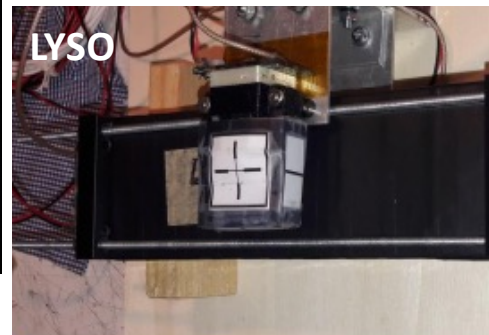
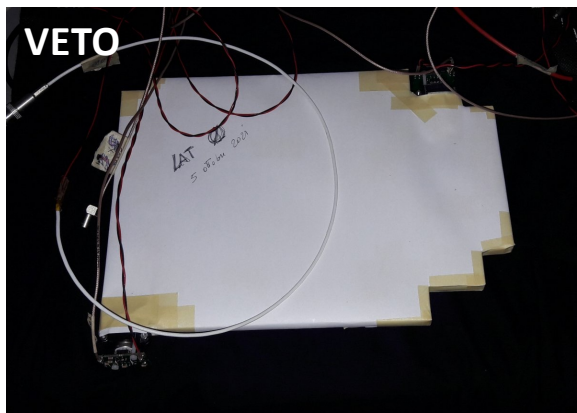
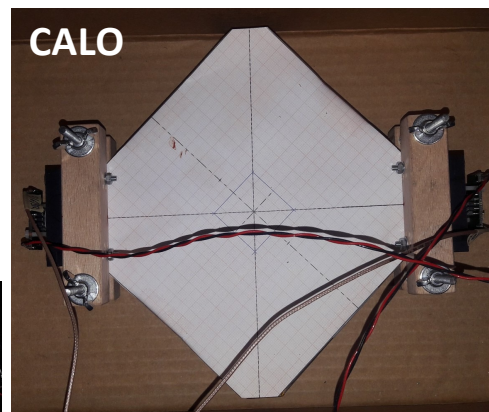
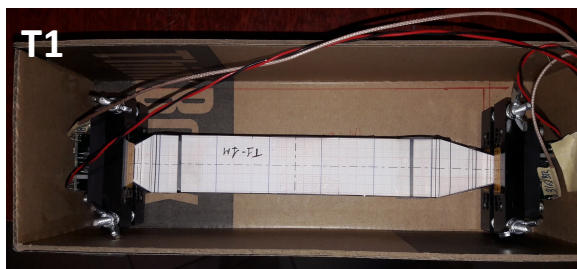
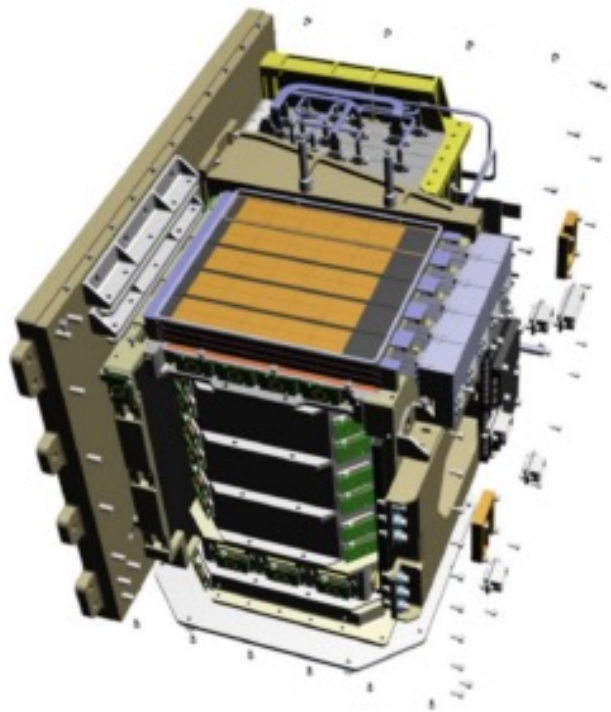
M. Martucci *et al.*, Phys. Rev. D **105** (2022) 062001.
Misura di protoni intrappolati nella SAA con HEPD-01.



Stato di HEPD-02

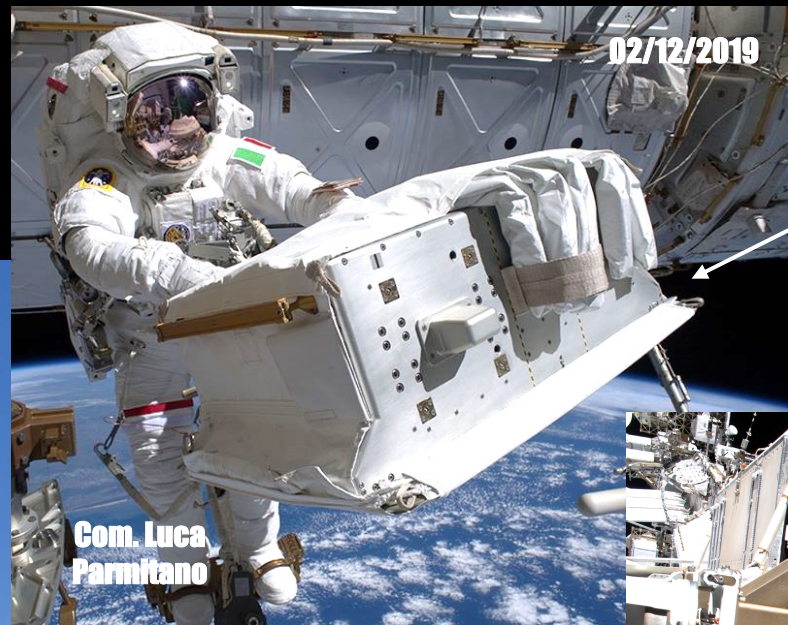
L'attività sperimentale di Limadou-Bologna si è sviluppata nell'ultimo periodo su:

- Disegno e realizzazione delle basette dei PMT;
- Caratterizzazione dei 200 PMT per la selezione per QM e FM;
- Realizzazione di prototipi di tutte le tipologie di contatori a scintillazione e loro test con il telescopio NESSIE;
- Sviluppo del codice MC per la simulazione di tutti i contatori di HEPD-02 e verifica con i test fatti con cosmici.

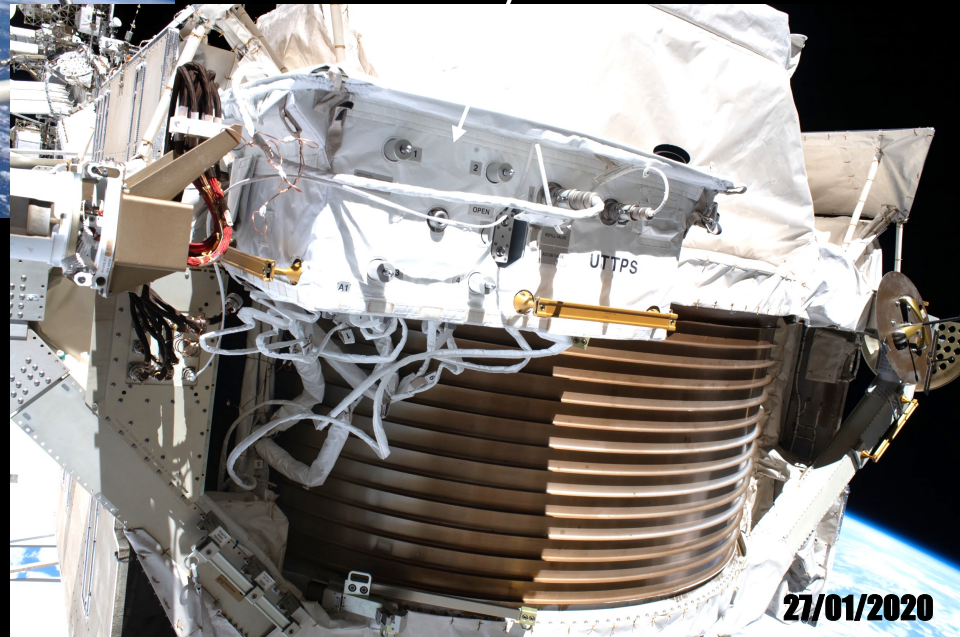


→ Davanti a noi c'è un significativo lavoro di integrazione dei contatori.

AMS-02.01: Installazione dell'UTTPS

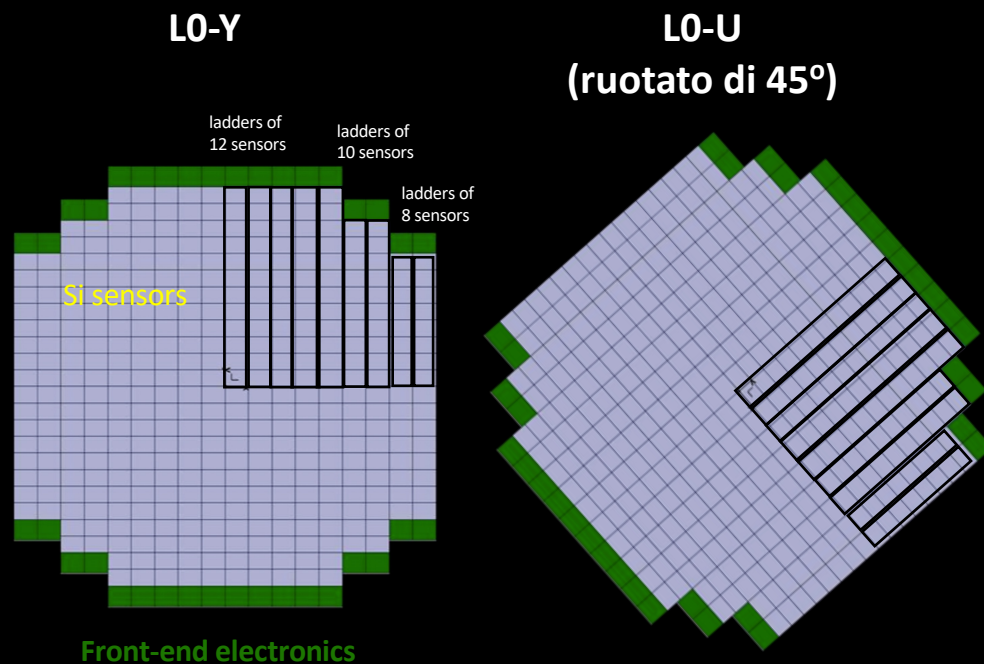
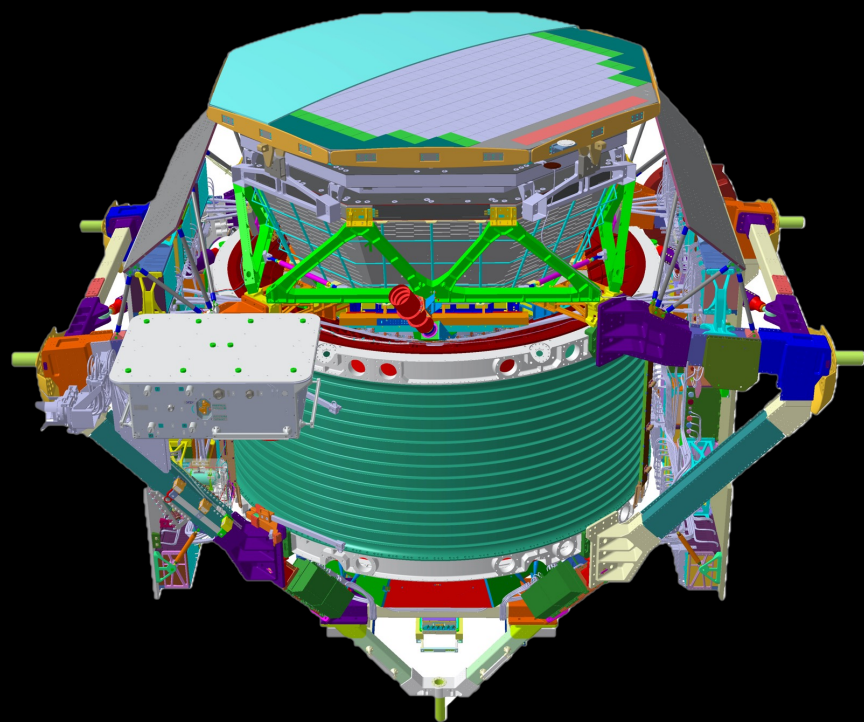


L'Upgraded Tracker Thermal Pump System (UTTPS), sviluppato sin dal 2014 per prolungare la vita di AMS, è stato installato in in 4 EVA tra la fine del 2019 e l'inizio del 2020.



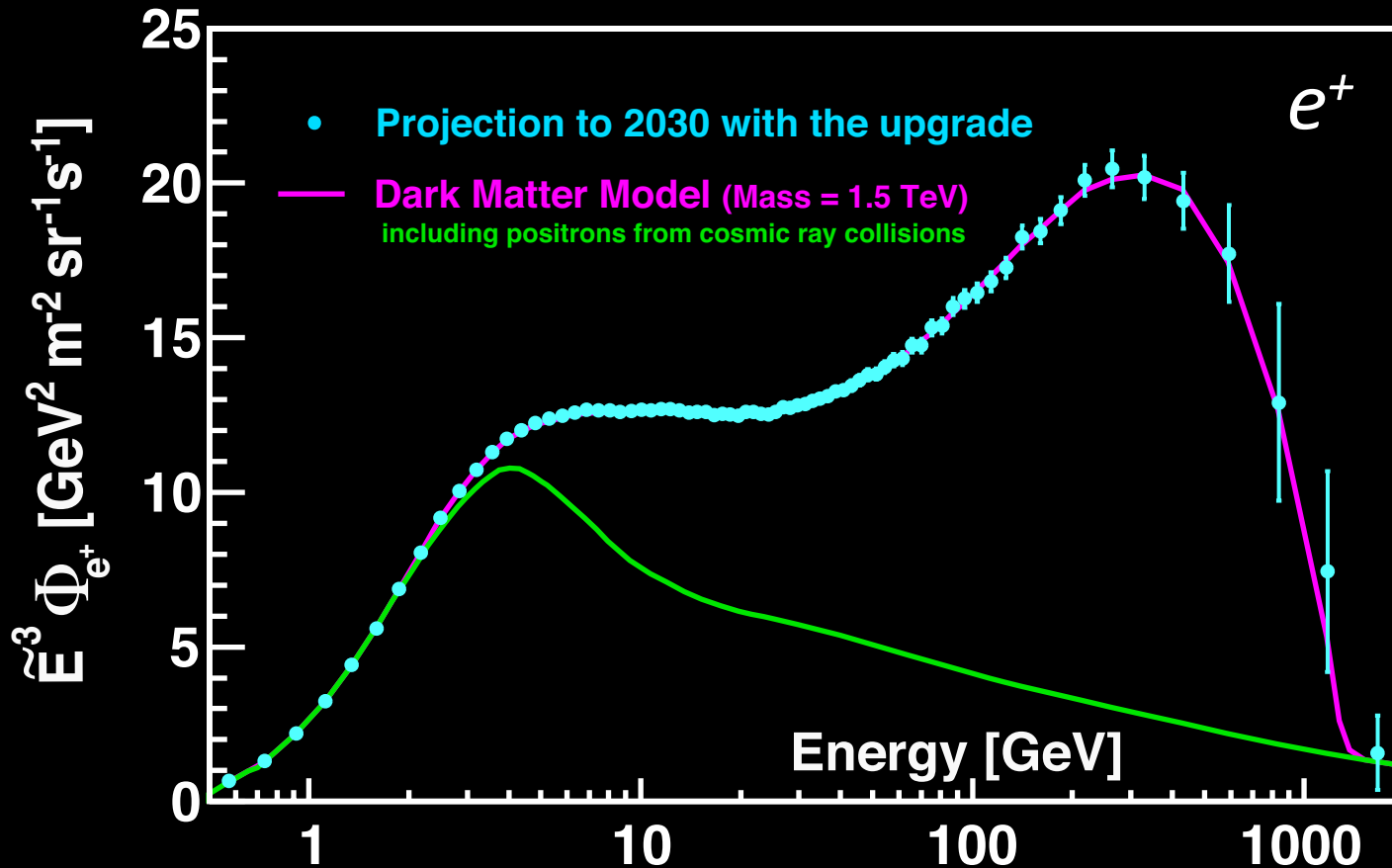
AMS-02.02: Installazione del Layer-Zero (L0)

L'installazione di un nuovo layer di silicio dall'ampia area attiva sopra ad AMS permetterebbe di aumentare la capacità di raccolta dei dati di un fattore 3. Se condotto tempestivamente, questo upgrade darebbe un significativo incremento della statistica nei prossimi anni, specialmente importante per l'anti-materia.



Un piano con due strati di sensori micro-strip con risoluzione spaziale di $7\ \mu\text{m}$, per un'area attiva totale di circa $7\ \text{m}^2$.

AMS-02.02: Quale è l'aspettativa?



L'upgrade permetterebbe di estendere la misura di positroni e elettroni a 1.4 TeV, migliorare l'accuratezza della misura di anti-protoni, misurare con accuratezza le componenti nucleari rare, ... e molto altro.

Conclusioni e Ringraziamenti

AMS-02 ha raccolto una **grande mole di dati** e sta fornendo misure di precisione che svelano nuove informazioni sulla fisica dei raggi cosmici. L'esperimento affronterà un **upgrade** a breve che ne aumenterà le capacità di raccolta dati, importante specialmente per le specie rare dei raggi cosmici.

Il **gruppo AMS-Bologna**, soprattutto grazie al **management** e ai **servizi di sezione**, è riuscito a svolgere al meglio i propri ruoli di responsabilità e di analisi dei dati anche in questi complessi tempi di pandemia.

Il **gruppo Limadou-Bologna** continua, sia nella sua parte costruttiva (HEPD-02), sia nell'analisi dati (HEPD-01). Un ringraziamento di nuovo ai servizi e le officine che ci aiutano, e in modo particolare a Mauro Lolli.