RAGGI COSMICI DA SATELLITE E PROSPETTIVE FUTURE

Roberta Sparvoli
Università di Roma Tor Vergata
& INFN

OBIETTIVI SCIENTIFICI DELL'ATTIVITÀ DI WIZARD

Realizzare **osservatori astronomici a bordo di satelliti**, per la rivelazione di raggi cosmici da misure dirette, in un ampio intervallo di energia:

1 MeV < E < 1 TeV

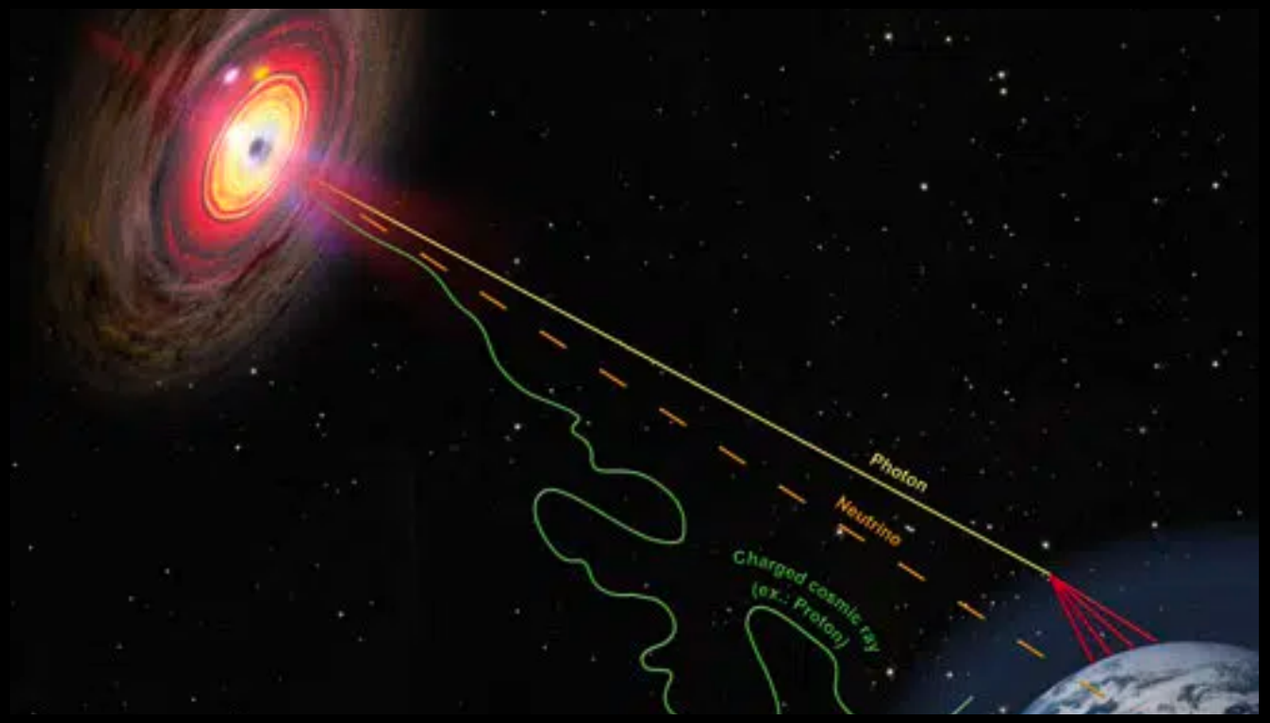
- Radiazione **carica** (nuclei, isotopi, antimateria)
- Radiazione **neutra** (fotoni) - Talk **Morselli**

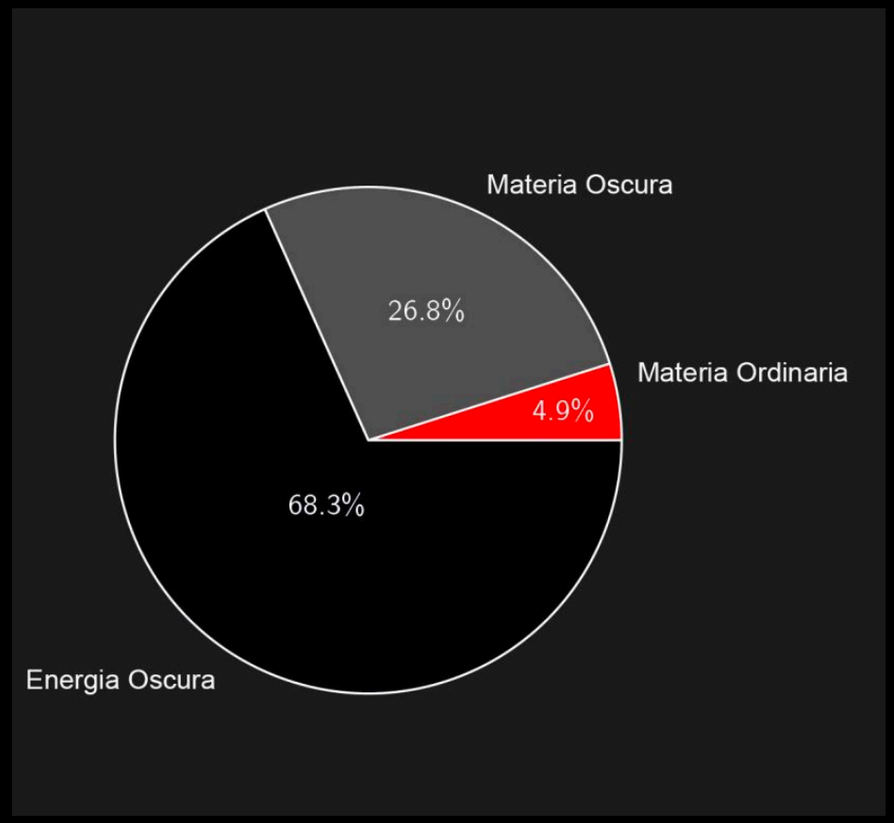
- In parallelo, **attività sulle Stazioni Spaziali** - Talk **Casolino**

QUALE FISICA ?

Origine e propagazione

dei raggi cosmici





Materia oscura e antimateria nell'universo

Eventi solari e magnetosfera

LE MISSIONI NINA (1998 – 2002)

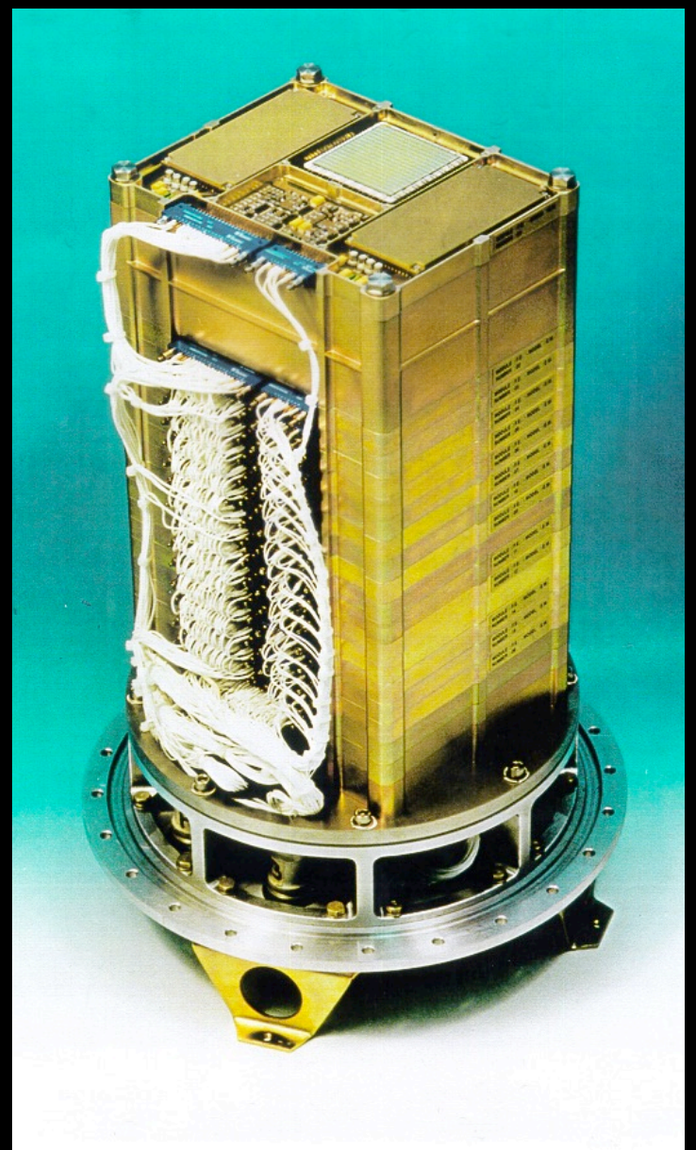
Collaborazione WiZard-NINA: Italia (INFN) - Russia (MEPhI)
Obiettivo scientifico:

Studio della **componente nucleare e isotopica dei raggi cosmici**

H - Fe --> 10--200 MeV/n

- Il rivelatore: **tecnologia INFN dei rivelatori al silicio**

Wafer di silicio 6x6 cm2 ,
spessore 380 micron con 16 strips,
3.6 mm in X -Y.
32 wafers per 16 plani
AC laterali e al fondo



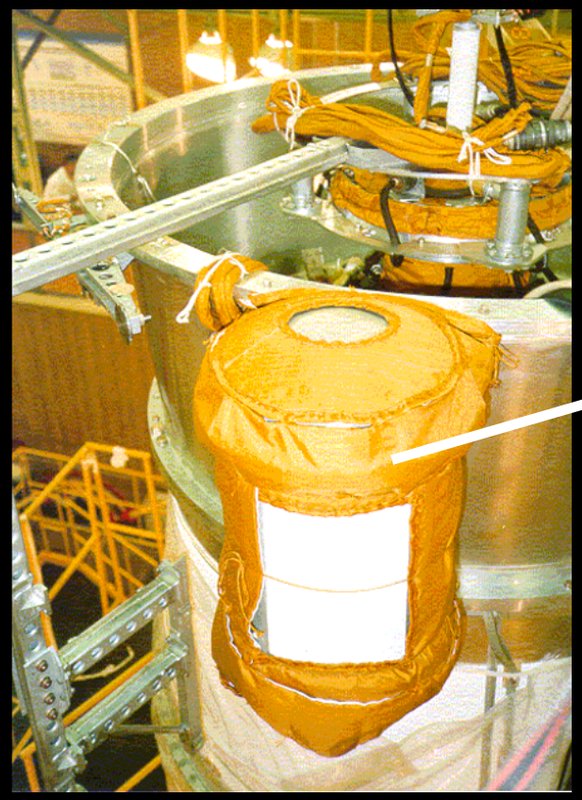
LA MISSIONE NINA-1

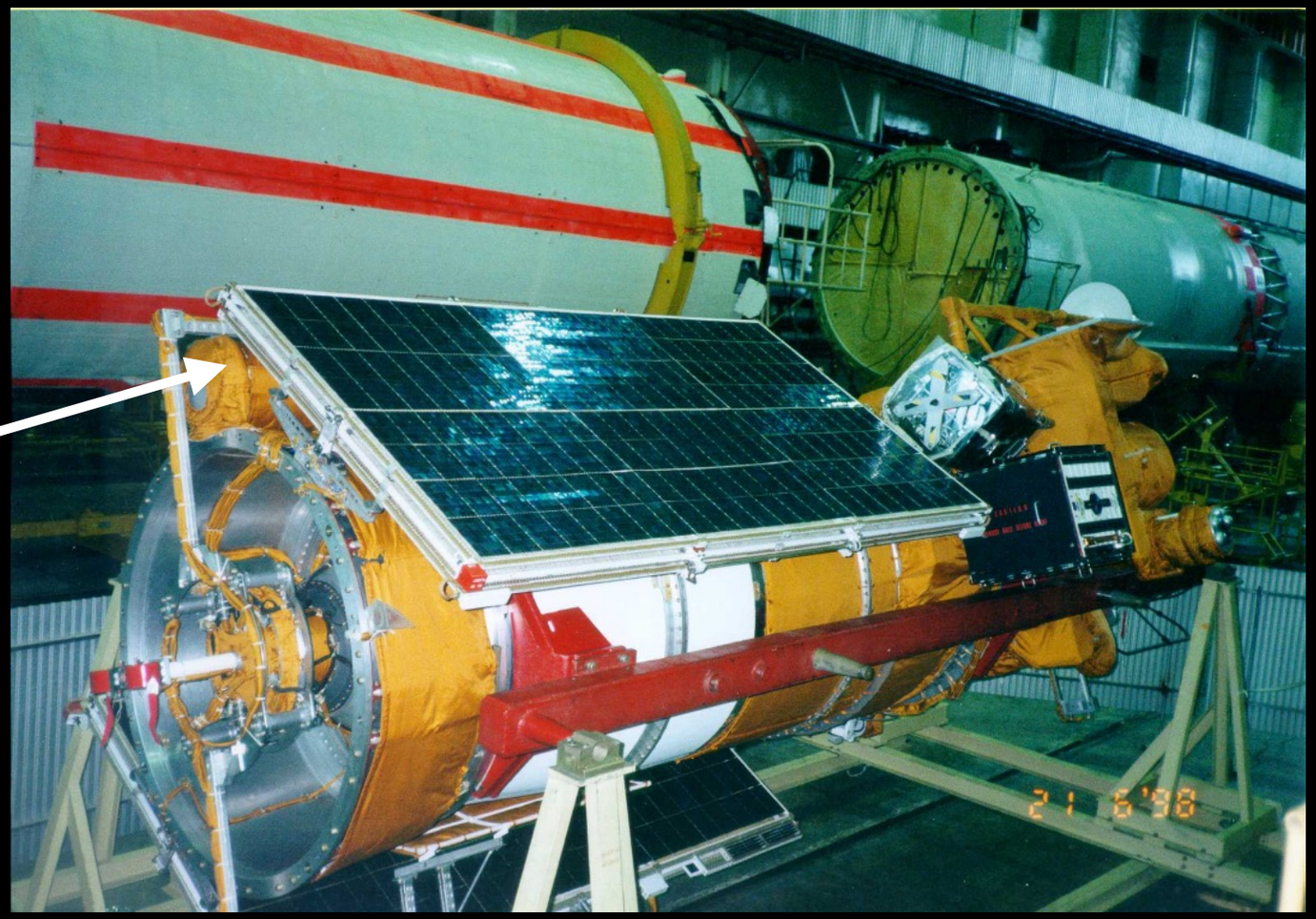
Satellite ***RESURS-01 n.4:***

PERIOD	~ 100 min.
ALTITUDE	~ 840 km
INCLINATION	98.7 deg.
MASS	2500 kg

Lancio **10 Luglio 1998 con vettore Zenit dal cosmodromo di Baikonur** (Kazakhstan)

Fine missione: **13 Aprile 1999**





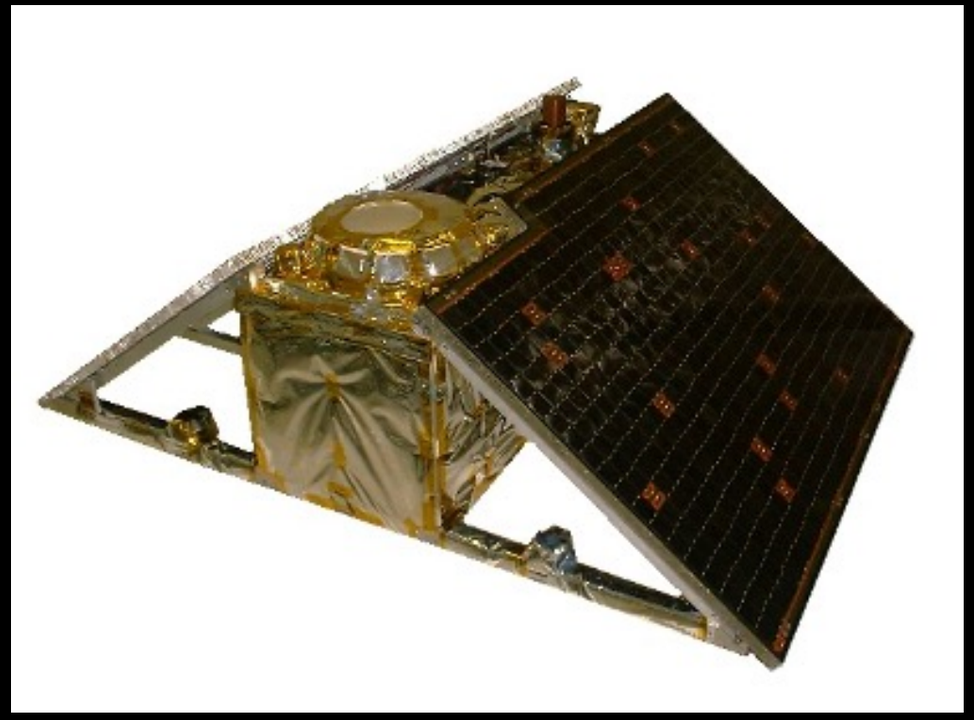
LA MISSIONE NINA-2

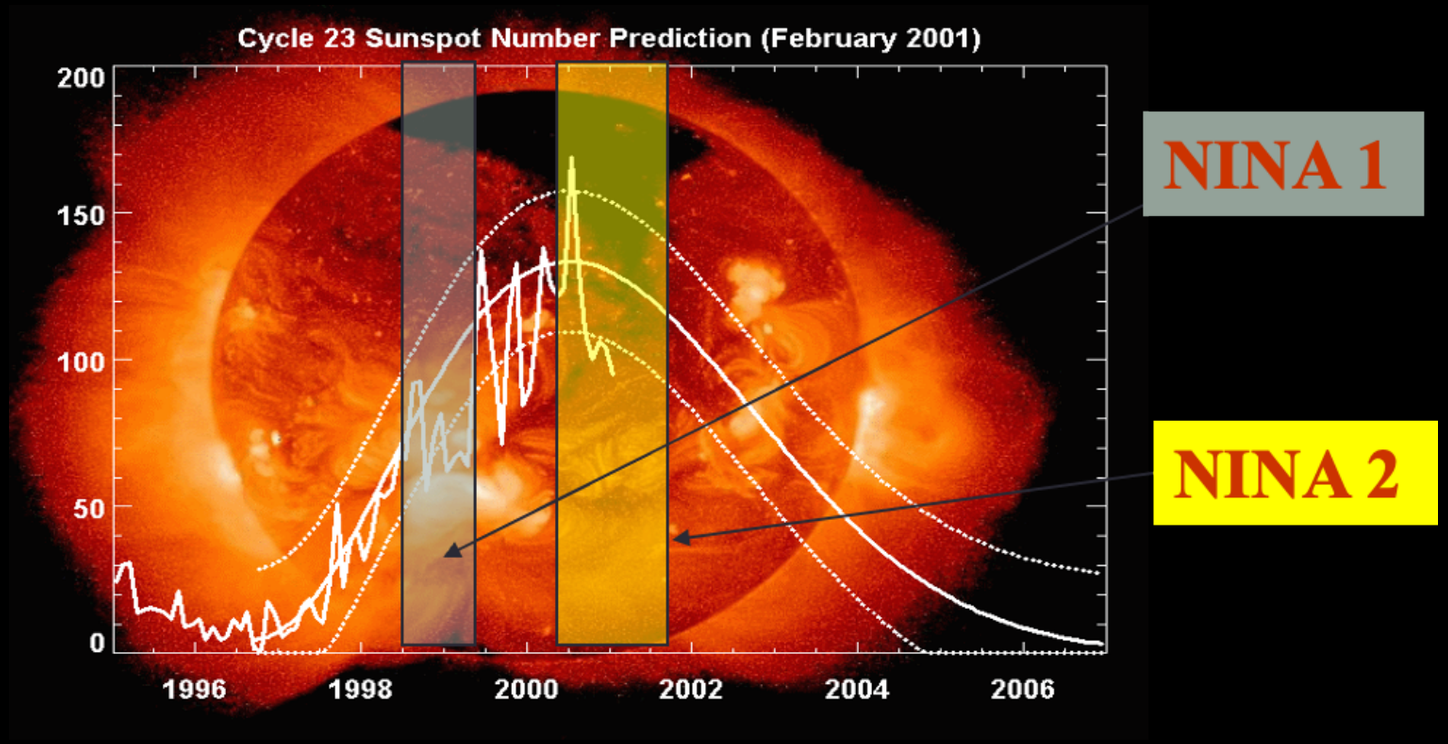
Satellite ***MITA:***

PERIOD	~ 100 min.
ALTITUDE	~ 400 km
INCLINATION	98.7 deg.
MASS	2500 kg

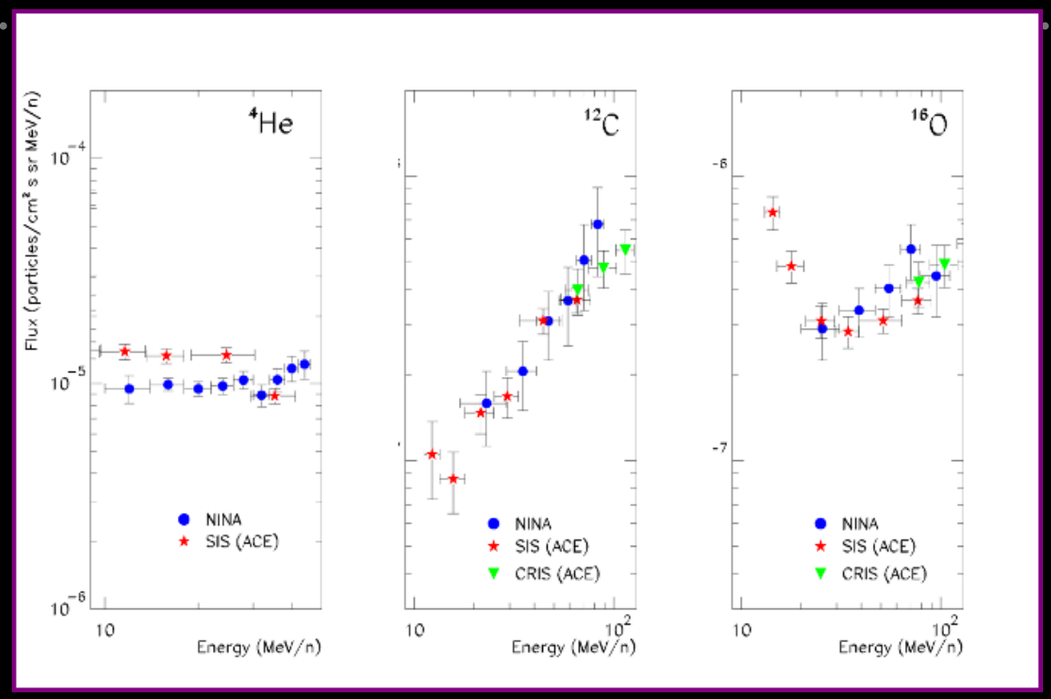
Lancio **14 Luglio 2000 con vettore Cosmos cosmodromo di** Plesetsk (Russia)

Fine missione: **Novembre 2001**

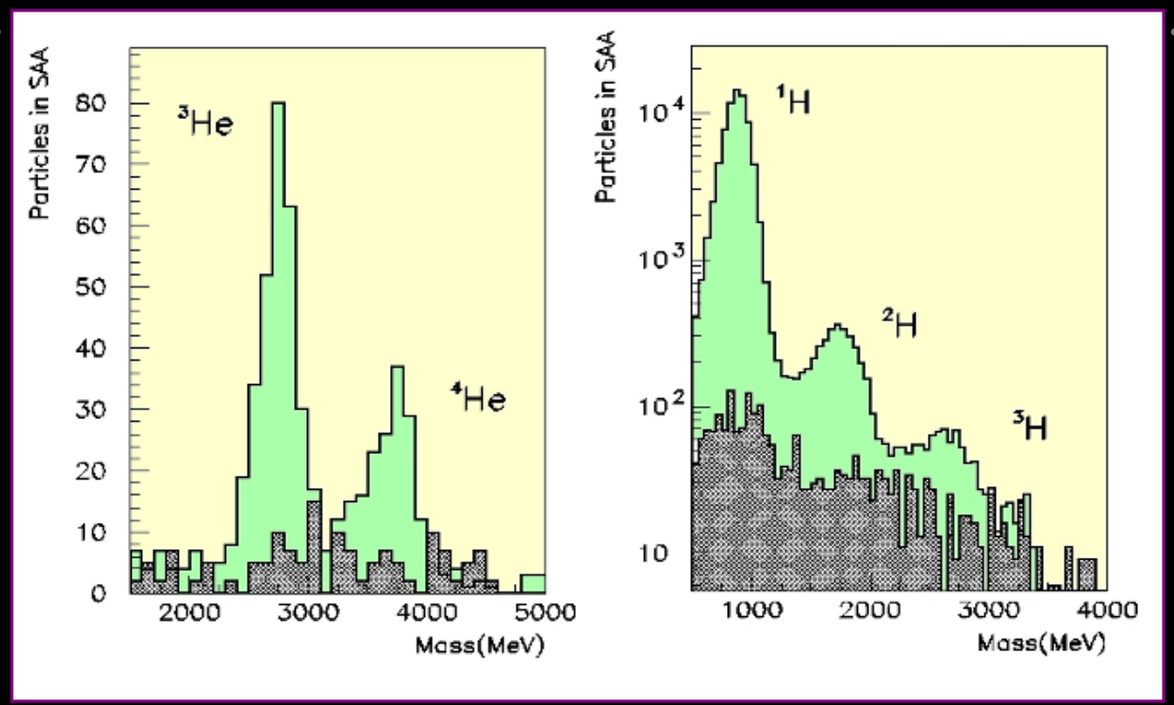




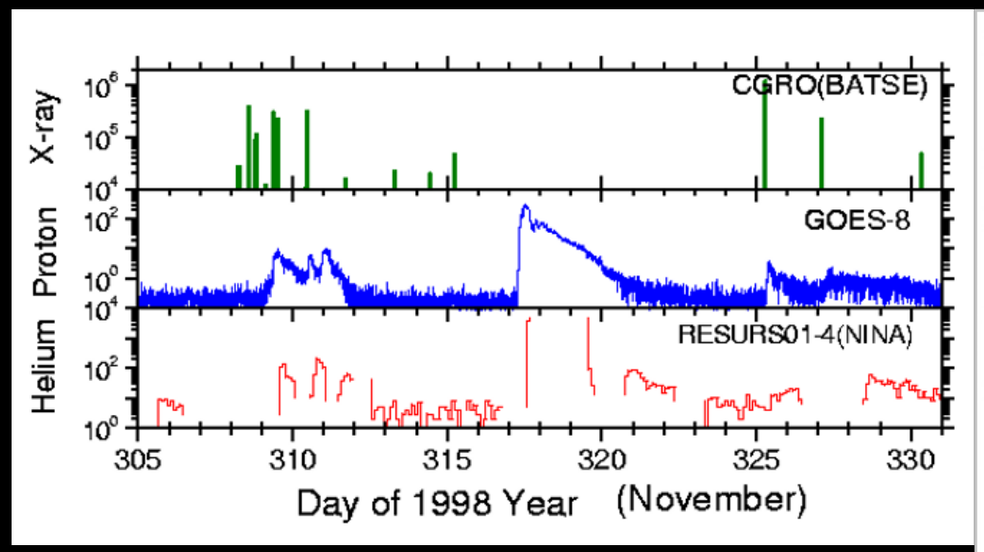
ALCUNI RISULTATI DELLE MISSIONI NINA



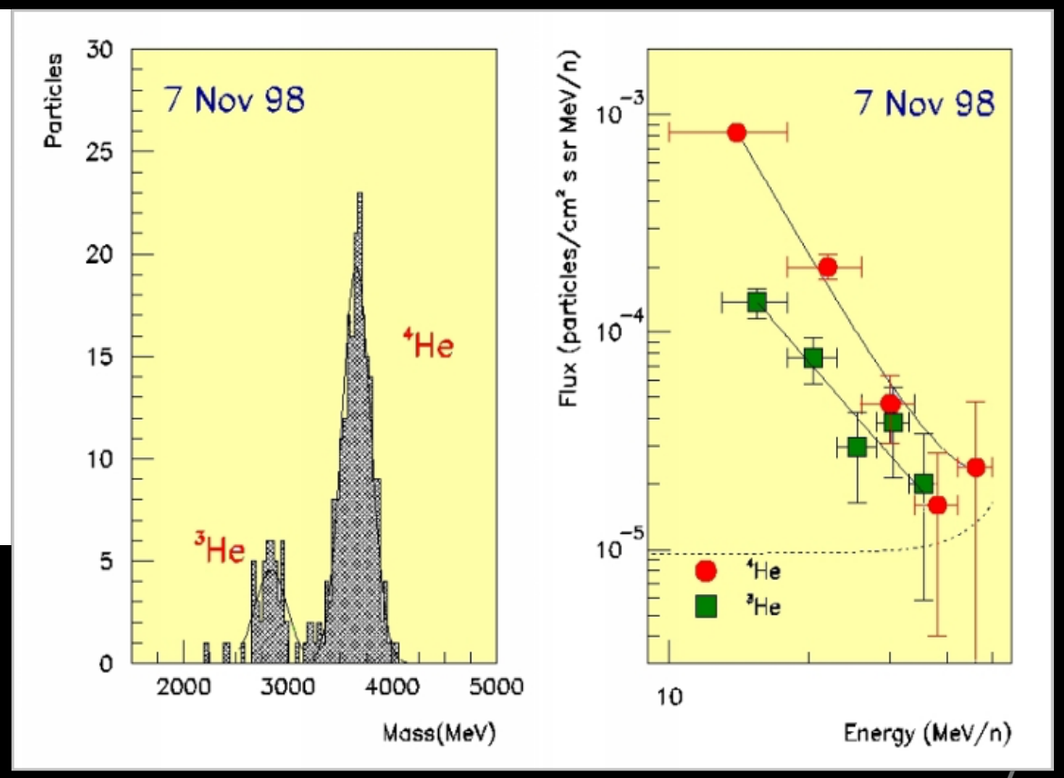
Raggi cosmici galattici (He, C, O)



Abbondanze isotopiche in SAA



Abbondanze He3/He4 in eventi solari



In totale 12 articoli su rivista

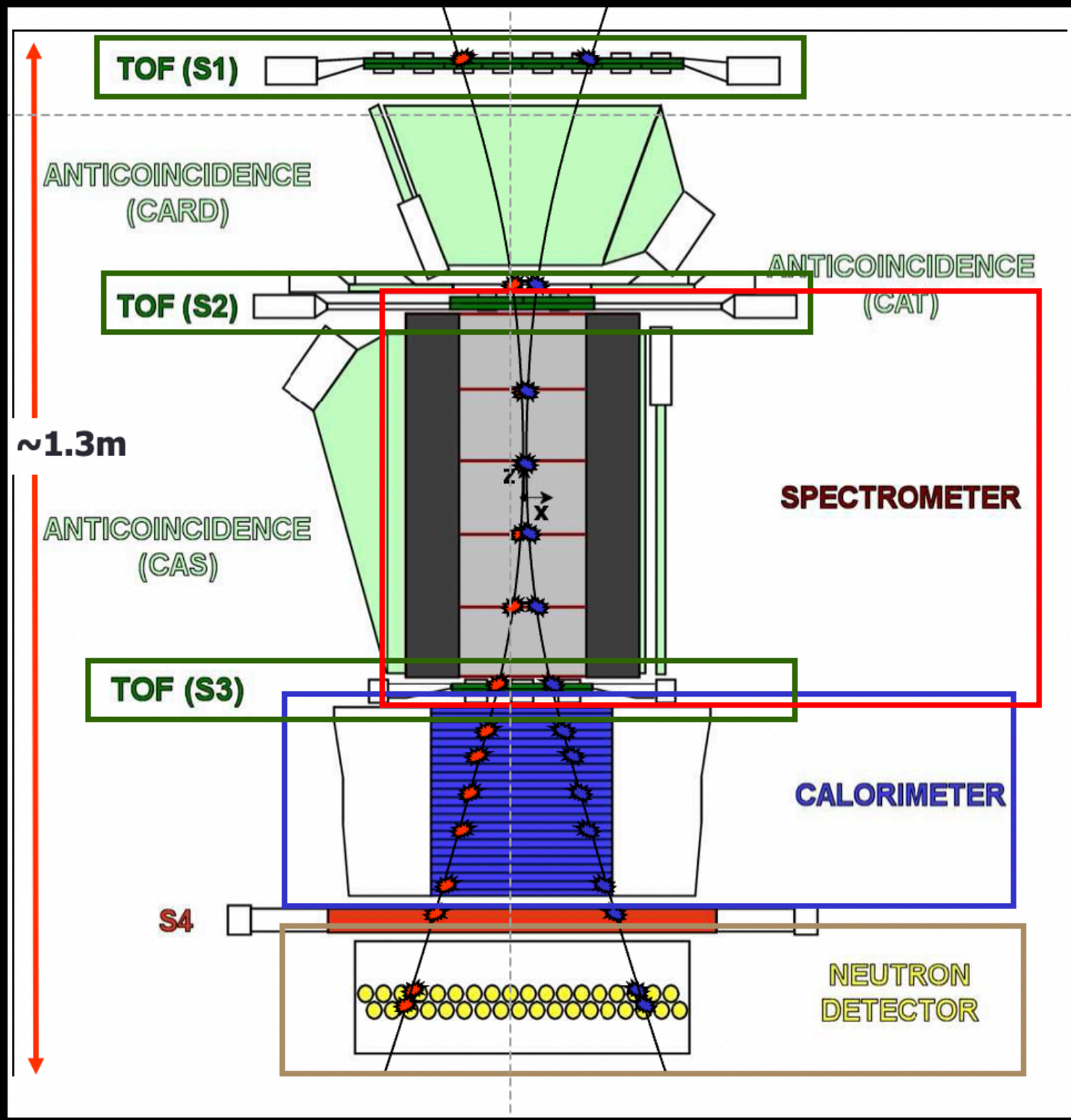
LA MISSIONE PAMELA: LE AMBIZIONI SCIENTIFICHE

- Ambizione di costruire un **grande osservatorio di raggi cosmici con un impressionante programma scientifico:**

Antiprotoni	**80 MeV ÷190 GeV**
Positroni	**50 MeV ÷ 300 GeV**
Elettroni	**fino a 600 GeV**
Protoni	**fino a 1 TeV**
Elio	**fino a 400 GeV/n**
Elettroni+positroni	**fino a 2 TeV**
Nuclei leggeri	**fino a 200 GeV/n**
Ricerca Anti-Nuclei	**sensitività $3x10^{-8}$ per anti-He/He**

Impressionante salto nella statistica rispetto ai dati presenti al momento: 1 volo di pallone corrispondente a circa 15 giorni di presa dati di PAMELA !

LO STRUMENTO PAMELA



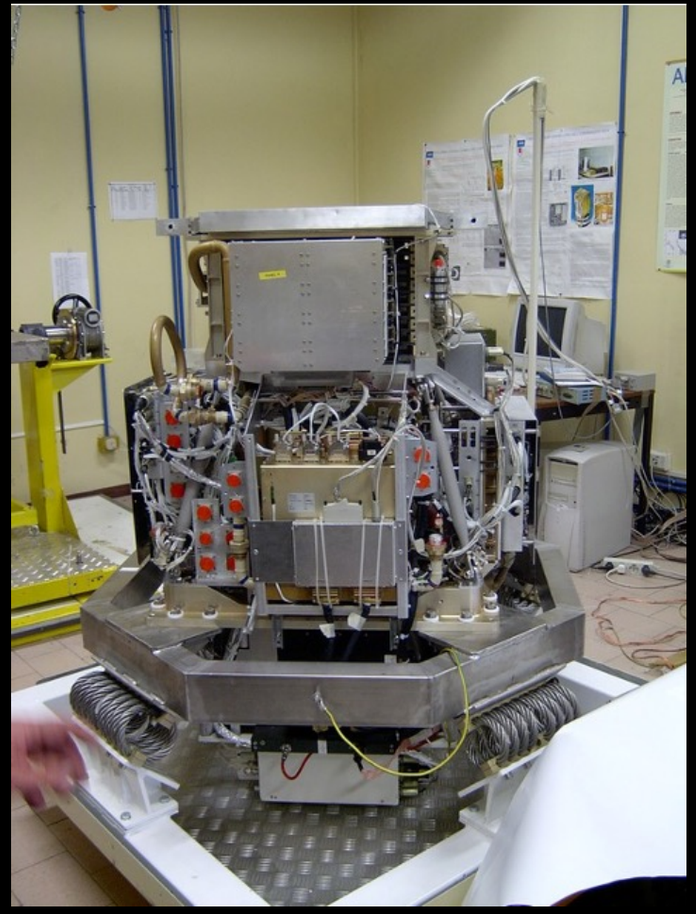
- Strumenti ridondanti:
- Spettrometro, fatto da un magnete permanente e un sistema di tracciamento al silicio (4 μm risoluzione)
- TOF (trigger, beta and carica)
- Calorimetro EM (W-Si,
- 16.3 l.r., 0.7 l.i.; reiezione adrone/leptone > 10^4)
- Rivelatore di neutroni (a contatori di ^{3}He)→ aiuta la discriminazione di sciami electromagnetici da adronici.

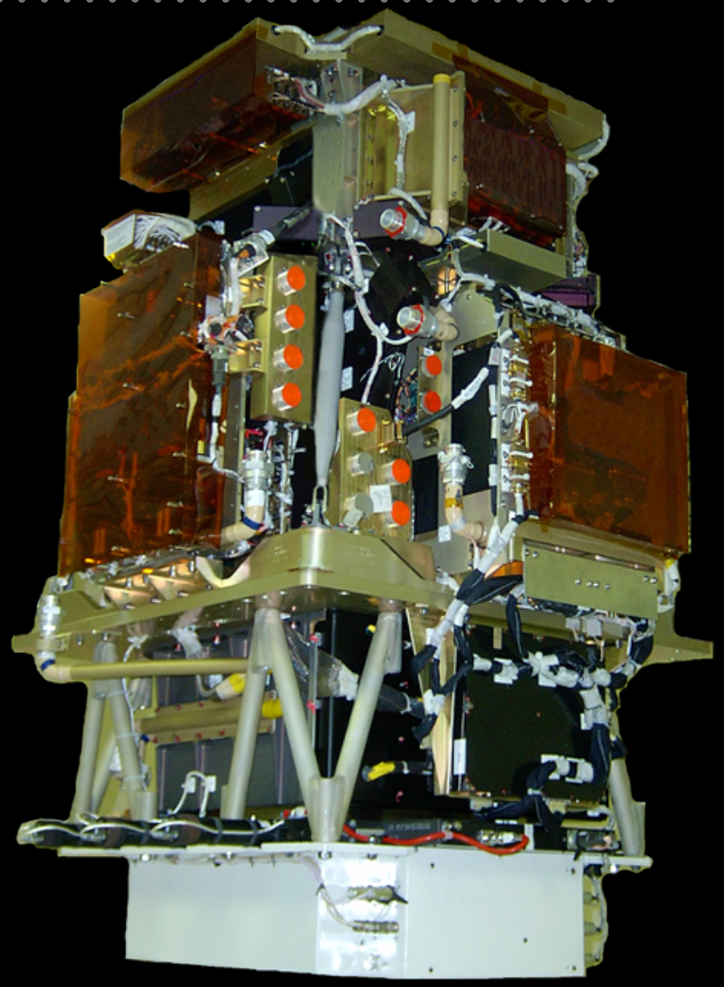
G.F.: 21.5 cm^2 sr
Massa: 470 kg
Dim. : 130x70x70 cm^3
Potenza: 360 W

I TRE MODELLI

MASS Thermal Model

Technological Model



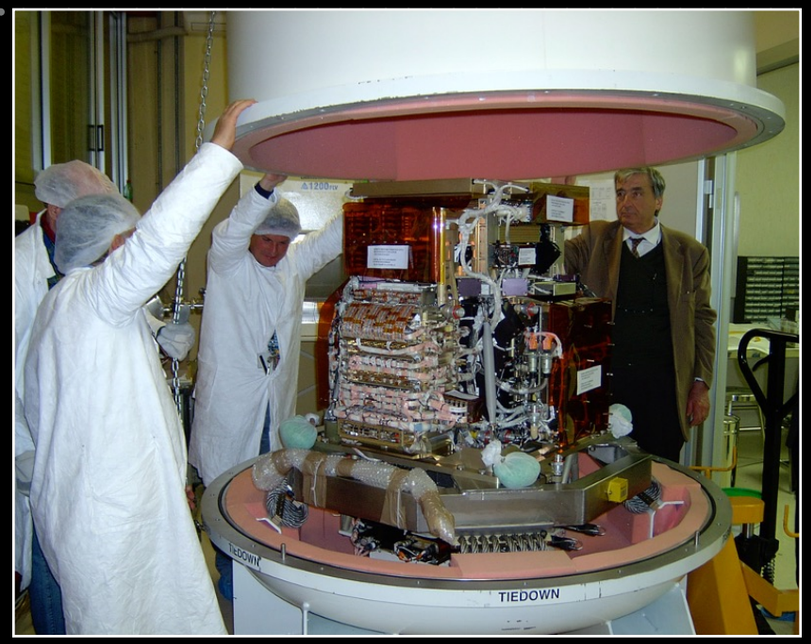


Flight Model

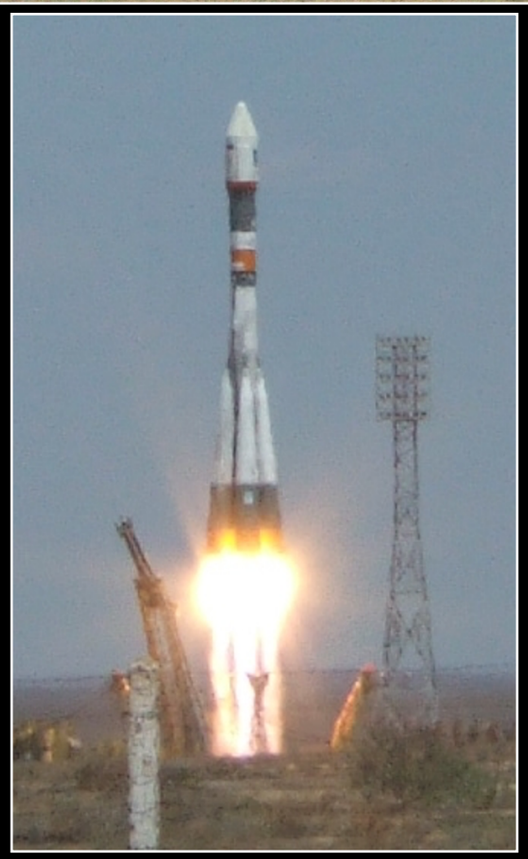
INTEGRAZIONE NELLE CAMERE PULITE DI TOR VERGATA

IL NOSTRO "SPECIALE" RICORDO DI ROBERTO PETRONZIO

IMPACCHETTAMENTO E ULTIMI SALUTI VIAGGIO VERSO LA RUSSIA



LANCIO: 15 GIUGNO 2006



ALCUNI RISULTATI DI PAMELA

Vol 458|2 April 2009|doi:10.1038/nature07942
nature
LETTERS

An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5–100 GeV

O. Adriani[1,2], G. C. Barbarino[3,4], G. A. Bazilevskaya[5], R. Bellotti[6,7], M. Boezio[8], E. A. Bogomolov[9], L. Bonechi[1,2], M. Bongi[2], V. Bonvicini[8], S. Bottai[2], A. Bruno[6,7], F. Cafagna[7], D. Campana[4], P. Carlson[10], M. Casolino[11], G. Castellini[12], M. P. De Pascale[11,13], G. De Rosa[4], P. Hofverberg[10], S. V. Koldashov[14], W. Menn[15], V. V. Mikhailov[14], E. ... Pearce[16], P. Picozza[11,13], M. Ricci[17], S. B. Ricciarini[2], M. Sim... A. Vacchi[8], E. Vannuccini[2], G. Vasilyev[9], S. A. Voronov[14], Y. ...

Nature 458, 2009
2536 citazioni!

PAMELA Measurements of Cosmic-Ray Proton and Helium Spectra

O. Adriani,[1,2] G. C. Barbarino,[3,4] G. A. Bazilevskaya,[5] R. Bellotti,[6,7] M. Boezio,[8] E. A. Bogomolov,[9] L. Bonechi,[1,2] M. Bongi,[2] V. Bonvicini,[8] S. Borisov,[10,11,12] S. Bottai,[2] A. Bruno,[6,7] F. Cafagna,[7] D. Campana,[4] R. Carbone,[4,11] P. Carlson,[13] M. ... G. Castellini,[14] L. Consiglio,[4] M. P. De Pascale,[10,11] C. De ... V. Di Felice,[10] A. M. Galper,[12] W. Gillard,[13] ... S. V. Koldashov,[12] S. Y. Krutkov,[9] ... L. Marcelli,[10] A. G. Mayorov,[12] ... N. Mori,[1,2] N. Nikonov,[9,10,11] ... P. Picozza,[10,11*] C. Pizzolotto,[10,11] ... M. Simon,[16] R. Sparvoli,[10,11] ... G. Vasilyev,[9] S. A. Voronov,[12] ... G. Zampa,[8] N. Zampa,[8] V. G. Zverev[12]

Science 332, 6025 , 2011
981 citazioni!

Selected for a Viewpoint in *Physics*
PRL 102, 051101 (2009) PHYSICAL REVIEW LETTERS week ending 6 FEBRUARY 2009

New Measurement of the Antiproton-to-Proton Flux Ratio up to 100 GeV in the Cosmic Radiation

O. Adriani,[1,2] G. C. Barbarino,[3,4] G. A. Bazilevskaya,[5] R. Bellotti,[6,7] M. Boezio,[8] E. A. Bogomolov,[9] L. Bonechi,[1,2] M. Bongi,[2] V. Bonvicini,[8] S. Bottai,[2] A. Bruno,[6,7] F. Cafagna,[7] D. Campana,[4] P. Carlson,[10] M. Casolino,[11] G. Castellini,[12] M. P. De Pascale,[11,13] G. De Rosa,[4] D. Fedele,[1,2] A. M. Galper,[14] L. Grishantseva,[14] P. Hofverberg,[10] A. Leonov,[14] S. V. Koldashov,[14] S. Y. Krutkov,[9] A. N. Kvashnin,[5] V. Malvezzi,[11] L. Marcelli,[11] W. Menn,[15] V. V. Mikhailov,[14] M. Minori,[11] E. Mocchiutti,[8] M. Nagni,[11] S. Orsi,[10] G. Osteria,[4] P. Papini,[2] M. ... S. B. Ricciarini,[2] M. Simon,[15] R. Sparvoli,[11,13] P. Spillantini,[1,2] Y. I. Stozhkov,[5] ... G. Vasilyev,[9] S. A. Voronov,[14] Y. T. Yurkin,[14] G. Zampa,[8] N. Za...

(PAMELA Collaboration)

Phys. Rev. Lett. 102, 2009
714 citazioni !

ELSEVIER
Contents lists available at ScienceDirect
Physics Reports
journal homepage: www.elsevier.com/locate/physrep

The PAMELA Mission: Heralding a new era in precision cosmic ray physics

O. Adriani [a,b], G.C. Barbarino [c,d], G.A. Bazilevskaya [e], R. Bellotti [f,g], M. Boezio [h], E.A. Bogomolov [i], M. Bongi [a,b], V. Bonvicini [h], S. Bottai [b], A. Bruno [f,g], F. Cafagna [g], D. Campana [d], R. Carbone [d,h], P. Carlson [j,k], M. Casolino [l], G. Castellini [m], M.P. De Pascale [l,n,1], C. De Santis [l,n], N. De Simone [l], V. Di Felice [l], V. Formato [h,o], A.M. Galper [p], U. Giaccari [d], A.V. Karelin [p], M.D. Khevmit... [p], S.V. Koldashov [p], S. Koldobskiy [p], S.Yu. Krut'kov [i], A.N. Kvash... [p], V. Malakhov [p], L. Marcelli [n], M. Martucci [n,q], ... V. Mikhailov [p], E. Mocchiut... [h], ... Nikonov [i,l,n], G. ... lotto [h,s,t], M. Ricci [q], S.B. ... R. Sparvoli [l,n], P. S... ..., Y.I. Yurkin [p], G. Zampa [h], N. Zampa [h], V.G. Z... ... E. Vannuccini [b], G.I. Vasilyev [i], S.A. ...

Physics Reports 544, 2014
8 anni di dati! 211 citazioni

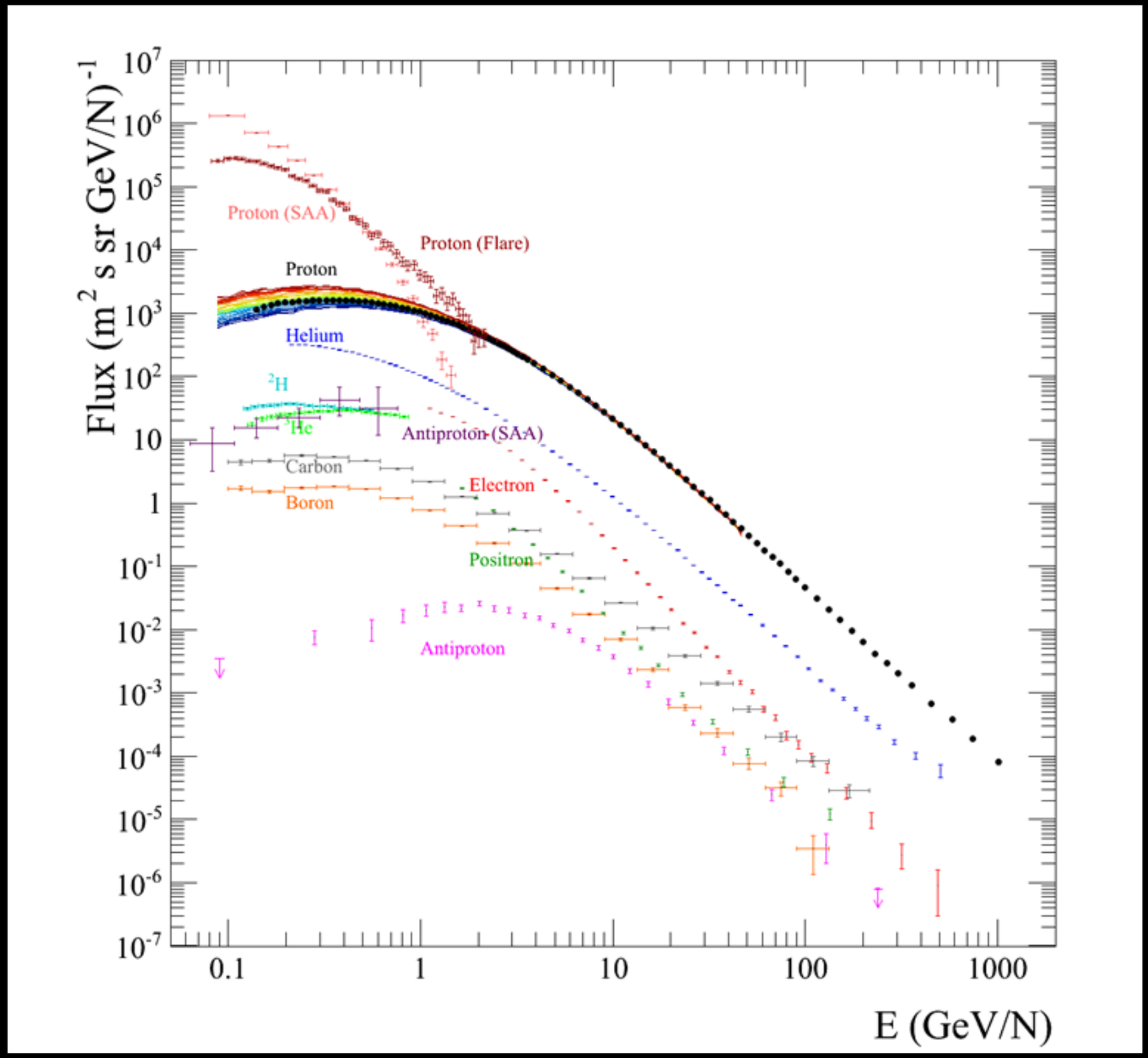
RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO Vol. 40, N. 10 2017
DOI 10.1393/ncr/i2017-10140-x

Ten years of PAMELA in space

PAMELA Collaboration
O. Adriani(1)(2), G. C. Barbarino(3)(4), G. A. Bazilevskaya(5), R. Bellotti(6)(7), M. Boezio(8), ... V. Bonvicini(8), S. Bottai(2), ... P. Carlson(10), M. Casolino(11... V. Di Felice(11)(14), A. M. Gal... S. Koldobskiy(15), S. Y. Krutk... V. Malakhov(15), L. Marcelli... W. Menn(17), M. Mergè(11)(16), V. V. Mikhailov(15), E. Mocchiutti(8), ...

Nuovo Cimento 10, 2017
10 anni di dati! 100 citazioni

PAMELA SPETTRO "ALL-PARTICLES"



IL POST-PAMELA

- **Raggi cosmici di altissima energia:** attività su Palloni Stratosferici e Stazione Spaziale Internazionale (Mini-EUSO, SPB..)

- **Antimateria nei raggi cosmici**: attività su Palloni Stratosferici (GAPS)

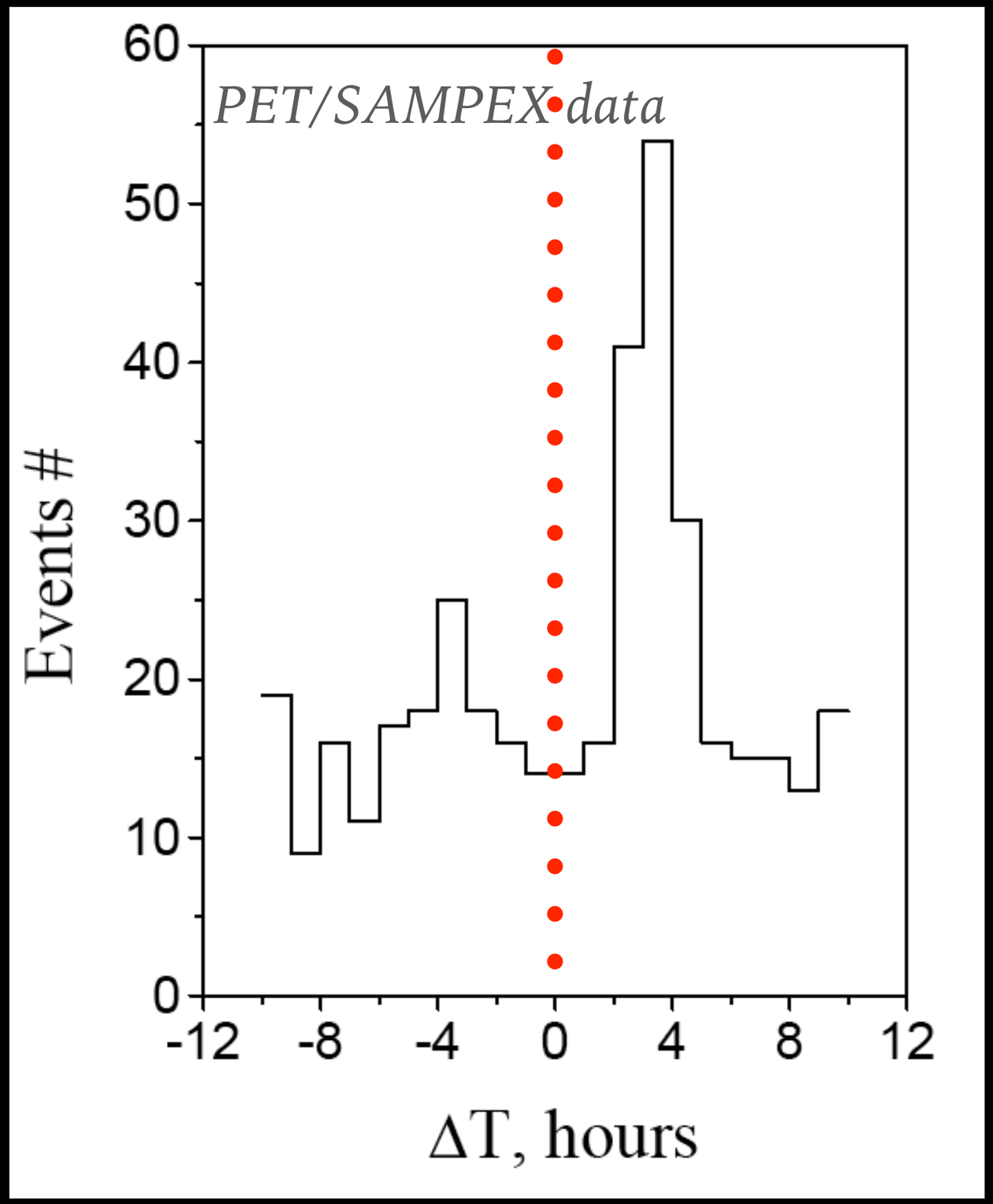
- **Raggi cosmici di bassa energia, Space Weather, monitoraggio della magnetosfera**: attività su satellite (CSES/LIMADOU)

BURSTS DI PARTICELLE COME PRECURSORI SISMICI

Correlazioni tra **variazioni a breve termine(bursts) di flussi di particelle di alta energia** nello spazio attorno alla Terra ed **attività sismica** furono osservate sulla base di risultati preliminari ottenuti da molte misure satellitare negli anni 80-90s:

- **MARIA and MARIA-2** (Salyut 7 and MIR orbital stations) –> **electrons 20 - 200 MeV**
- **ELECTRON** (Intercosmos and Meteor 3 satellite) –> **electrons < 30 MeV**
- **GAMMA-1** (on GAMMA satellite) –> **electrons >50 MeV**
- **PET** (SAMPEX satellite) –> **electrons 4 - 15 MeV**

ANALISI PRELIMINARI

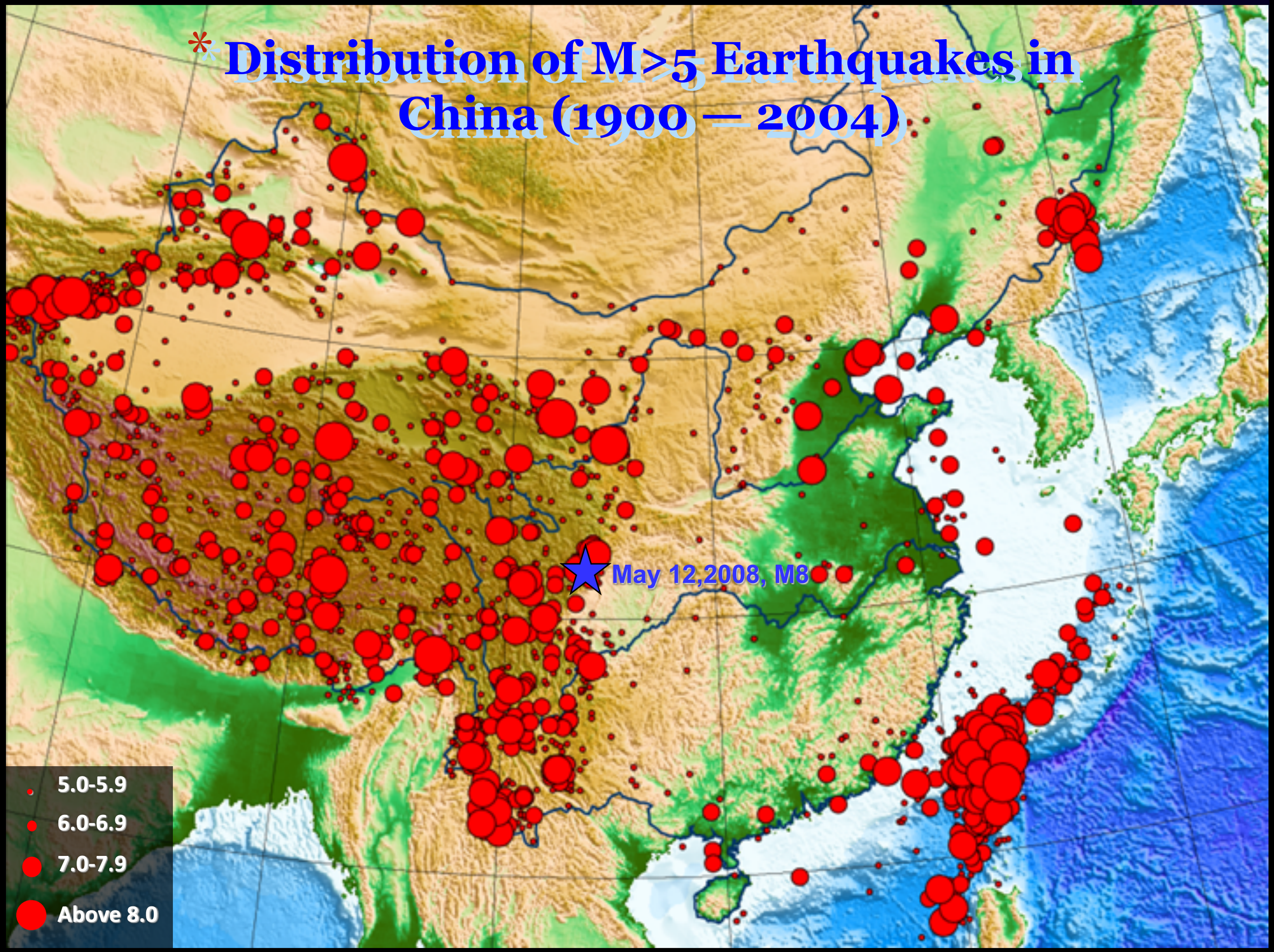


Per tutti questi strumenti (MIR, METEOR, GAMMA-1, PET) i risultati sembravano simili.

Il **valore positivo** di tutti i picchi(2-5 ore) significa che il "particle burst" **potrebbe essere un precursore di terremoti**

Molte collaborazioni/ istituzioni iniziarono esperimenti per verificare i primi risultati.

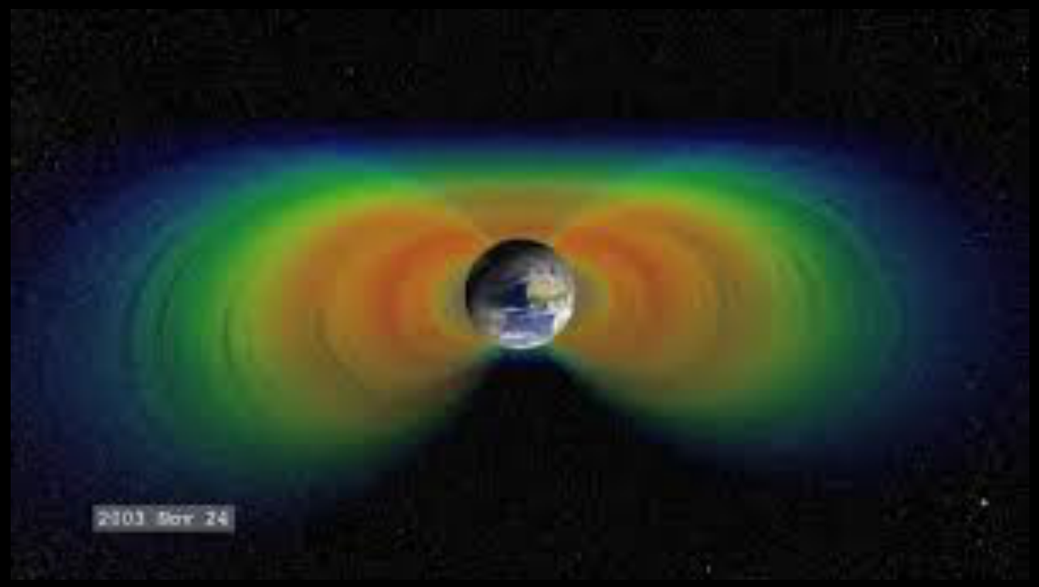
*Distribution of M>5 Earthquakes in China (1900 – 2004)



OBIETTIVI DI CSES (CHINA SEISMO-ELECTROMAGNETIC SATELLITE)

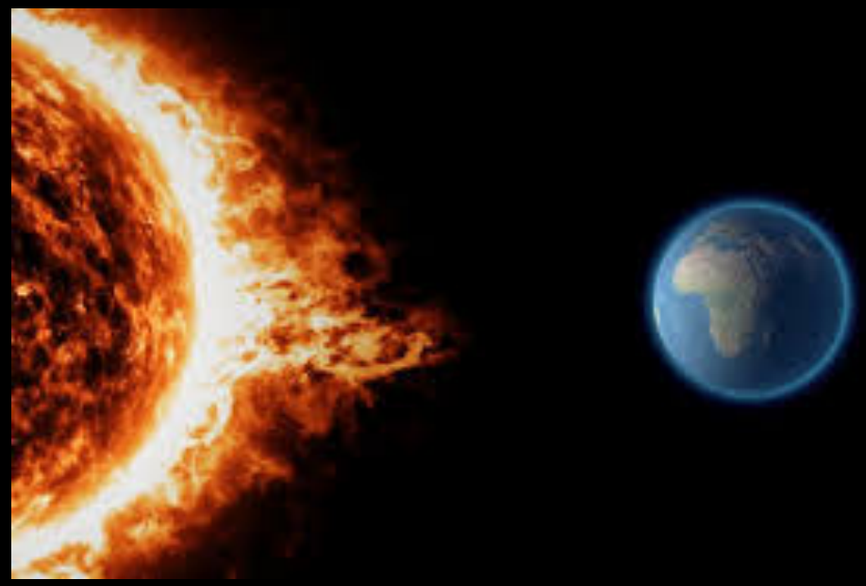
Monitor di attività sismica

studio dell'accoppiamento litosfera-atmosfera-ionosfera



Monitor di SpaceWeather

studio dell'ambiente di radiazione nella magnetosfera



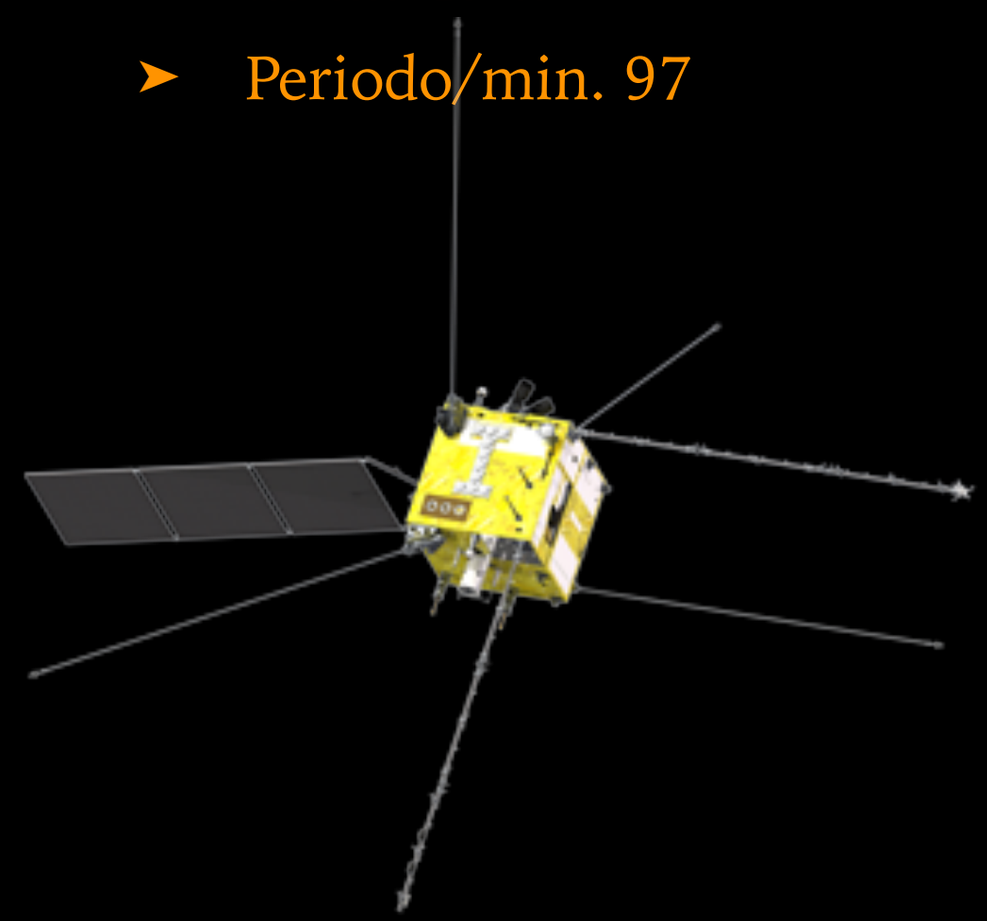
COLLABORAZIONE CSES

- Italia
  - Agenzia Spaziale Italiana ASI
  - INFN
  - INAF
  - INGV
  - Altre università

- Cina
  - China National Space Administration (CNSA)
  - China Earthquake Administration (CEA)
  - China Aerospace Science and Technology Corporation (CASC)
  - China Academy of Space Technology (CAST)
  - DFH Satellite Co., Ltd
  - Chinese scientific Institutes (Lanzhou LIP, NSSC, CAS, ..)

PIATTAFORMA CAST-2000

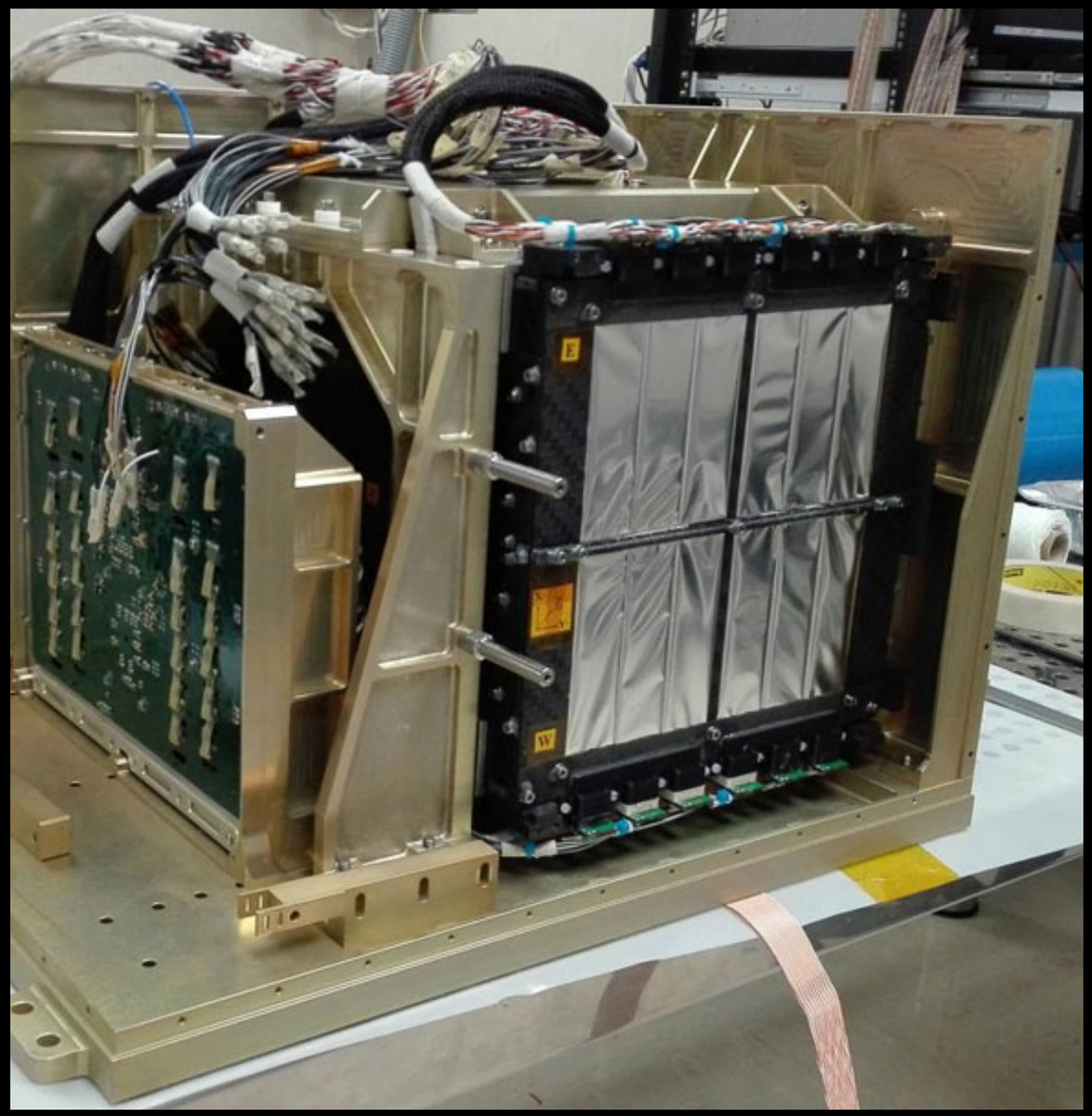
- Massa: 730 kg
- Dimensioni: 1.4 m^3
- Altitudine: 506.9 km
- Inclinazione: 97.4 °
- Periodo/min. 97



CSES satellite on the CAST platform

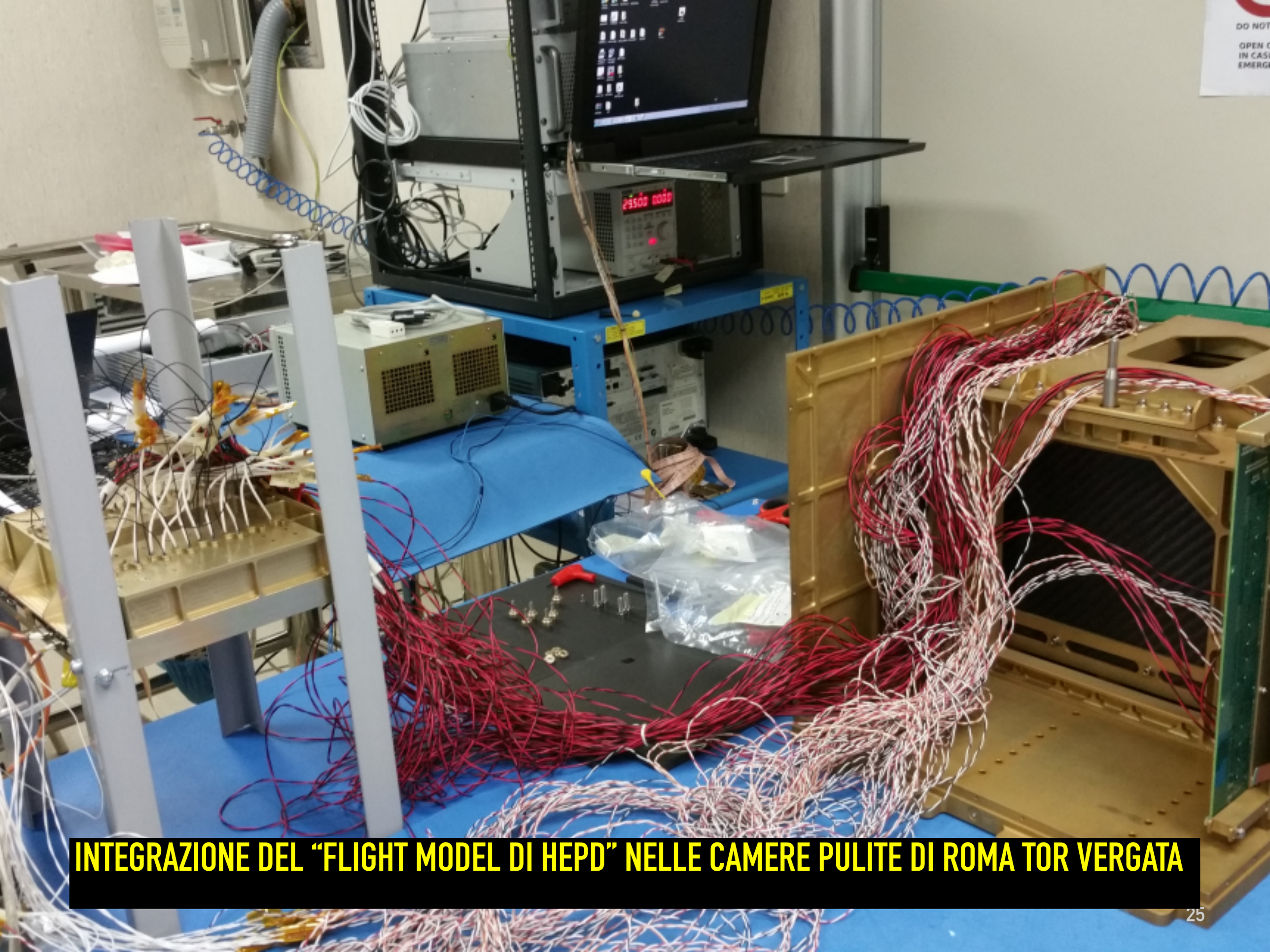
9 STRUMENTI A BORDO

CONTRIBUTO ITALIANO: HIGH ENERGY PARTICLE DETECTOR (HEPD)



HEPD nelle camere pulite di Tor Vergata

- Due piani di rivelatori a **microstrip di silicio doppia faccia,** per la direzione;
- Due piani di **scintillatori plastici per il trigger**;
- Calorimetro fatto di:
  - **15 strati di scintillatori plastici** ($15 \times 15 \times 1$ cm^3) letti da PMTs;
  - una **matrice 3×3 di scintillatore inorganico LYSO** ($15 \times 15 \times 4$ cm^3) letta da PMTs;
- **Scintillatori di veto**



INTEGRAZIONE DEL “FLIGHT MODEL DI HEPD” NELLE CAMERE PULITE DI ROMA TOR VERGATA

FLIGHT MODEL DI HEPD PRONTO PER IL TRASPORTO IN CINA

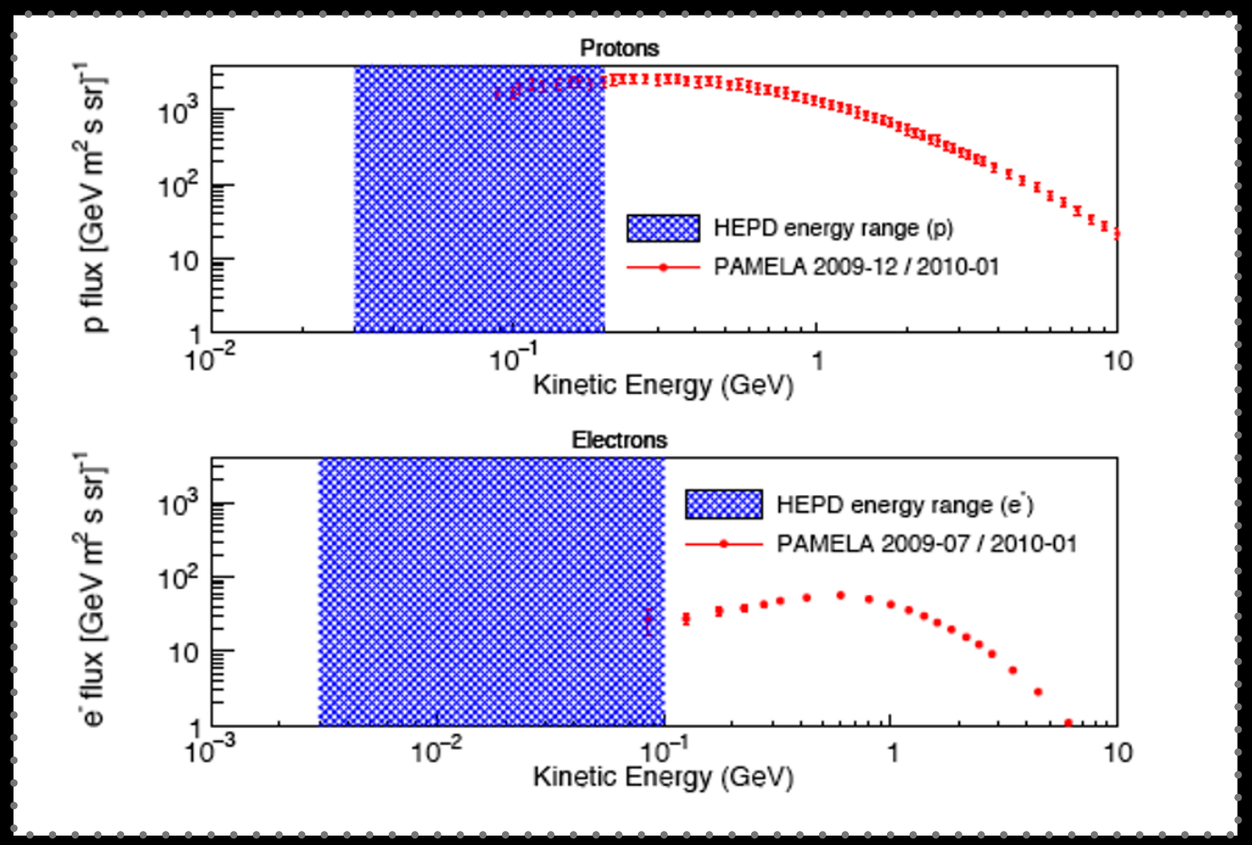
LANCIO DI CSES-01

2 Febbraio 2018

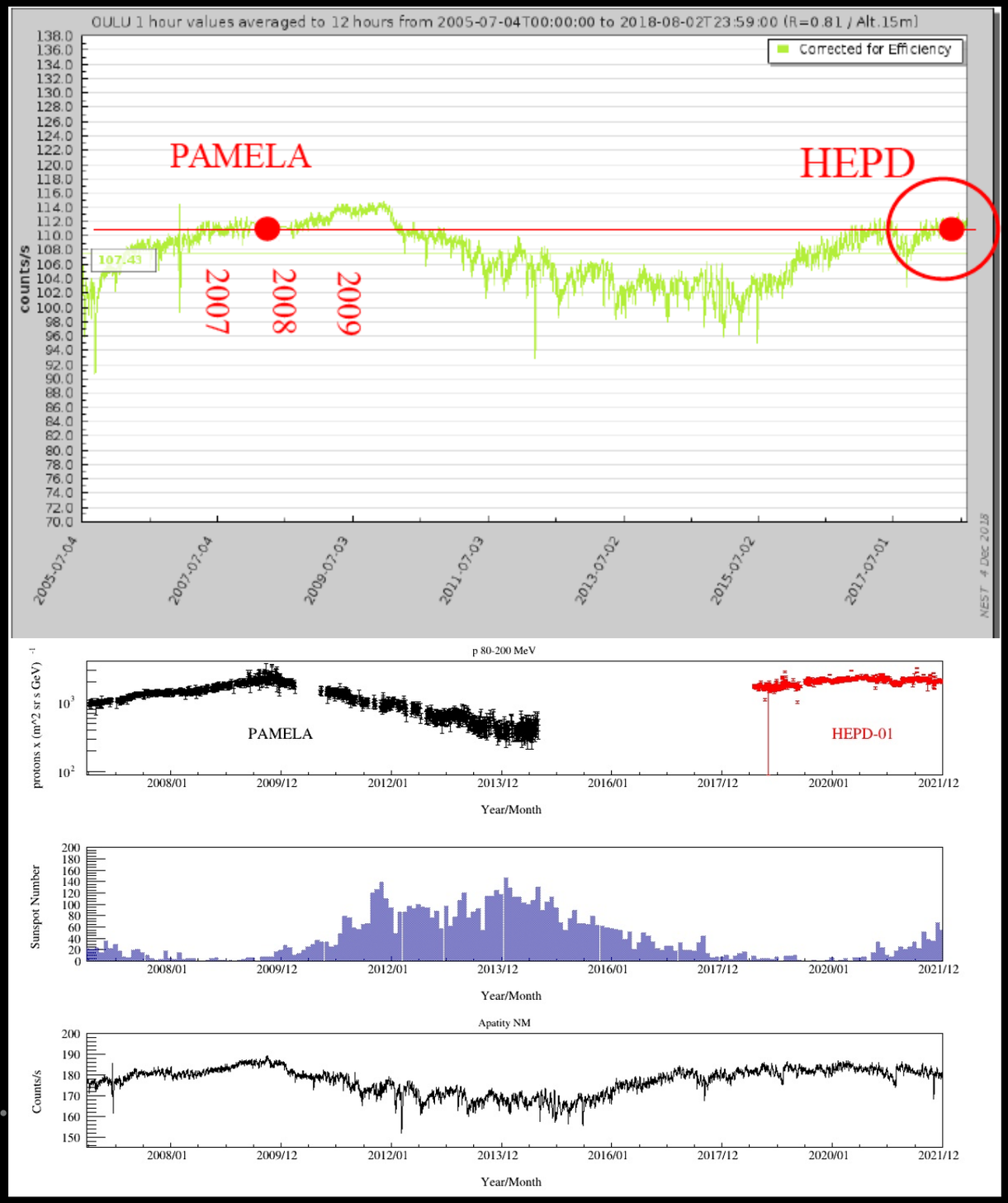
Jiuquan Satellite Launch Center

Delegazioni italiana e cinese festeggiano dopo il lancio

HEPD E PAMELA



Range energetico di HEPD sovrapposto a quello di PAMELA per protoni ed elettroni galattici.



PAMELA e HEPD volano nella stessa fase solare quindi si possono fare confronti di modulazione

RISULTATI DI HEPD SU CSES-01

PHYSICAL REVIEW D
covering particles, fields, gravitation, and cosmology

Highlights Recent Accepted Collections Authors Referees Search Press About Staff

New results on protons inside the South Atlantic Anomaly, at energies between 40 and 250 MeV in the period 2018–2020, from the CSES-01 satellite mission

Matteo Martucci *et al.* (CSES/Limadou Collaboration)
Phys. Rev. D **105**, 062001 – Published 18 March 2022

The Astrophysical Journal, 901:8 (7pp), 2020 September 20
https://doi.org/10.3847/1538-4357/abad3e
© 2020. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.
OPEN ACCESS

Galactic Cosmic-Ray Hydrogen Spectra in the 40–250 MeV Range Measured by the High-energy Particle Detector (HEPD) on board the CSES-01 Satellite between 2018 and 2020

S. Bartocci[1], R. Battiston[2,3], W. J. Burger[2], D. Campana[4], L. Carfora[1,5], G. Castellini[6], L. Conti[1,7], A. Contin[8,9], C. De Donato[1], F. De Persio[1], C. De Santis[1], P. Diego[10], F. M. Follega[2,3], R. Iuppa[2,3], I. Lazzizzera[2,3], N. Marcelli[1,5], M. Martucci[1,5], G. Masciantonio[1], M. Mergé[1,14], G. Osteria[4], F. Palma[1,14], F. Palmonari[8,9], A. Parmentier[1], P. Picozza[1,5], M. Piersanti[1], M. Pozzato[9], I. Rashevskaya[3], E. Ricci[2,3], M. Ricci[11], S. Ricciarini[6], A. Sotgiu[1], R. Sparvoli[1,5], P. Ubertini[10], V. Vitale[1], S. Zoffoli[13], and P. Zuccon[2,3]
[1] Istituto di Rome "Tor Vergata," I-00133 Rome, Italy; matteo.martucci@roma2.infn.it
[2] INFN—TIFPA, V. Sommarive 14, I-38123 Povo (Trento), Italy

applied sciences
Article
MDPI

Trapped Proton Fluxes Estimation Inside the South Atlantic Anomaly Using the NASA AE9/AP9/SPM Radiation Models along the China Seismo-Electromagnetic Satellite Orbit

Matteo Martucci [1,2,*], Roberta Sparvoli [1,2], Simona Bartocci [1], Roberto Battiston [3,4], William Jerome Burger [4,5], Donatella Campana [6], Luca Carfora [1,2], Guido Castellini [7], Livio Conti [1,8], Andrea Contin [9,10], Cinzia De Donato [1], Cristian De Santis [1], Francesco Maria Follega [3,4], Roberto Iuppa [3,4], Ignazio Lazzizzera [3,4], Nadir Marcelli [1,2], Giuseppe Masciantonio [1], Matteo Mergé [1,†], Alberto Oliva [10], Alexandra Parmentier [1], Giuseppe Osteria [6], Francesco Perfetto [6], Piergiorgio Picozza [1,2], Federico Palmonari [9,10], Beatrice Panico [6], Alexandra Parmentier [1], Francesco Perfetto [6], Piergiorgio Picozza [1,2], Mirko Piersanti [11], Michele Pozzato [10], Ester Ricci [3,4], Marco Ricci [12], Sergio Bruno Ricciarini [7], Zouleikha Sahnoun [10], Valentina Scotti [6,13], Alessandro Sotgiu [1], Vincenzo Vitale [1], Simona Zoffoli [14] and Paolo Zuccon [3,4]

PHYSICAL REVIEW D **105,** 022004 (2022)

Deep learning based event reconstruction for the Limadou High-Energy Particle Detector

S. Bartocci,[1] R. Battiston,[2,3] F. Benotto,[4] S. Beolè,[4,5] W. J. Burger,[3,6] D. Campana,[7] G. Castellini,[8] P. Cipollone,[1] S. Coli,[4] L. Conti,[1,9] A. Contin,[10,11] M. Cristoforetti,[12] L. de Cilladi,[4,5] C. De Donato,[1] C. De Santis,[1] F. M. Follega,[2,3,*] G. Gebbia,[2,3] R. Iuppa,[2,3,†] M. Lolli,[11] N. Marcelli,[1,13] M. Martucci,[1,13] G. Masciantonio,[1] M. Mergè,[1,13] M. Mese,[7,14] C. Neubüser,[3] F. Nozzoli,[3] A. Oliva,[11] G. Osteria,[7] L. Pacini,[15] F. Palma,[1,13] F. Palmonari,[10,11] A. Parmentier,[16] F. Perfetto,[7] P. Picozza,[1,13] M. Piersanti,[16] M. Pozzato,[11] E. Ricci,[2,3] M. Ricci,[17] S. B. Ricciarini,[8] Z. Sahnoun,[11] V. Scotti,[7,14] A. Sotgiu,[1,13] R. Sparvoli,[1,13] V. Vitale,[1] S. Zoffoli,[18] and P. Zuccon[2,3]

(Limadou HEPD collaboration)

The Astrophysical Journal Supplement Series, 243:16 (17pp), 2019 July
https://doi.org/10.3847/1538-4365/ab276c
© 2019. The American Astronomical Society. All rights reserved.

Scientific Goals and In-orbit Performance of the High-energy Particle Detector on Board the *CSES*

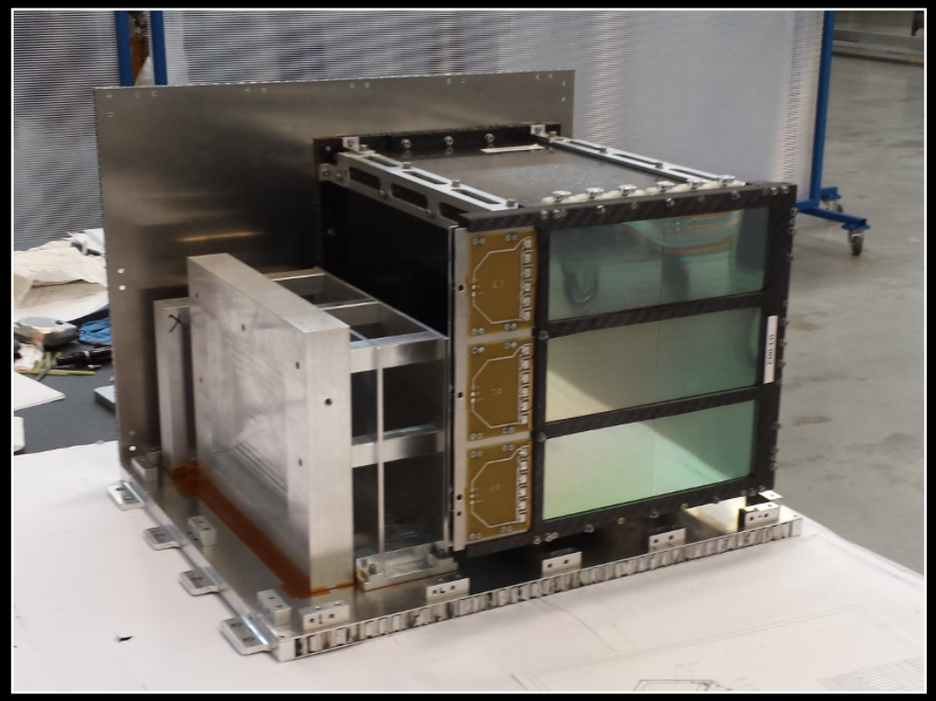
P. Picozza[1], R. Battiston[2], G. Ambrosi[3], S. Bartocci[1], L. Basara[4], W. J. Burger[5], D. Campana[6], L. Carfora[1], M. Casolino[7], G. Castellini[8], P. Cipollone[7], L. Conti[9], A. Contin[10], C. De Donato[7], C. De Santis[7], F. M. Follega[11], C. Guandalini[12], M. Ionica[3], R. Iuppa[11], G. Laurenti[12], I. Lazzizzera[11], M. Lolli[12], C. Manea[4], L. Marcelli[7], M. Martucci[7], G. Masciantonio[7], M. Mergé[7], G. Osteria[6], L. Pacini[8], F. Palma[1], F. Palmonari[10], B. Panico[6], A. Parmentier[7], L. Patrizii[12], F. Perfetto[6], M. Piersanti[7], M. Pozzato[12], M. Puel[4], I. Rashevskaya[4], E. Ricci[11], M. Ricci[13], S. Ricciarini[8], V. Scotti[14], A. Sotgiu[7], R. Sparvoli[1,16], B. Spataro[13], V. Vitale[7], P. Zuccon[11], and S. Zoffoli[15]

applied sciences
MDPI
Article

The August 2018 Geomagnetic Storm Observed by the High-Energy Particle Detector on Board the CSES-01 Satellite

Francesco Palma [1,*,†], Alessandro Sotgiu [1,2], Alexandra Parmentier [1], Matteo Martucci [1,2], Mirko Piersanti [3], Simona Bartocci [1], Roberto Battiston [4,5], William Jerome Burger [5,6], Donatella Campana [7], Luca Carfora [1,2], Guido Castellini [8], Livio Conti [1,9], Andrea Contin [10,11], Giulia D'Angelo [3], Cinzia De Donato [1], Cristian De Santis [1], Francesco Maria Follega [4,5], Roberto Iuppa [4,5], Ignazio Lazzizzera [4,5], Nadir Marcelli [1,2], Giuseppe Masciantonio [1], Matteo Mergé [1,†], Alberto Oliva [11], Giuseppe Osteria [7], Federico Palmonari [10,11], Beatrice Panico [7], Francesco Perfetto [7], Piergiorgio Picozza [1,2], Michele Pozzato [11], Ester Ricci [4,5], Marco Ricci [12], Sergio Bruno Ricciarini [8], Zouleikha Sahnoun [11], Valentina Scotti [7,13], Roberta Sparvoli [1,2], Vincenzo Vitale [1], Simona Zoffoli [14] and Paolo Zuccon [4,5]

PROGRAMMA CSES-2: LANCIO NEL 2023

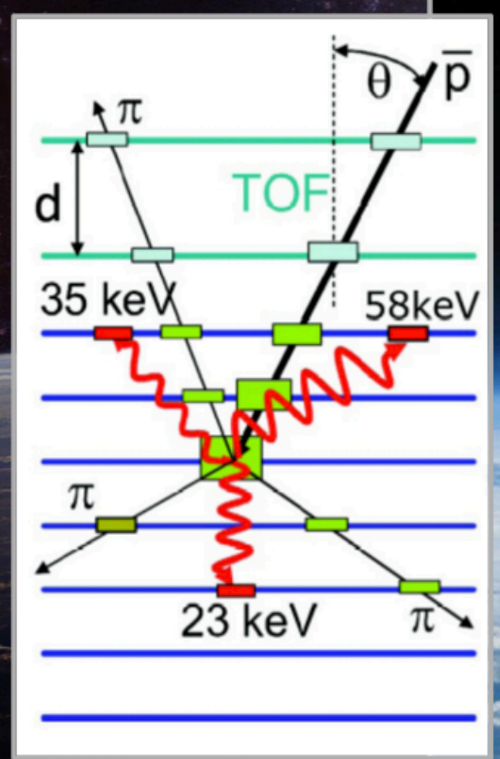


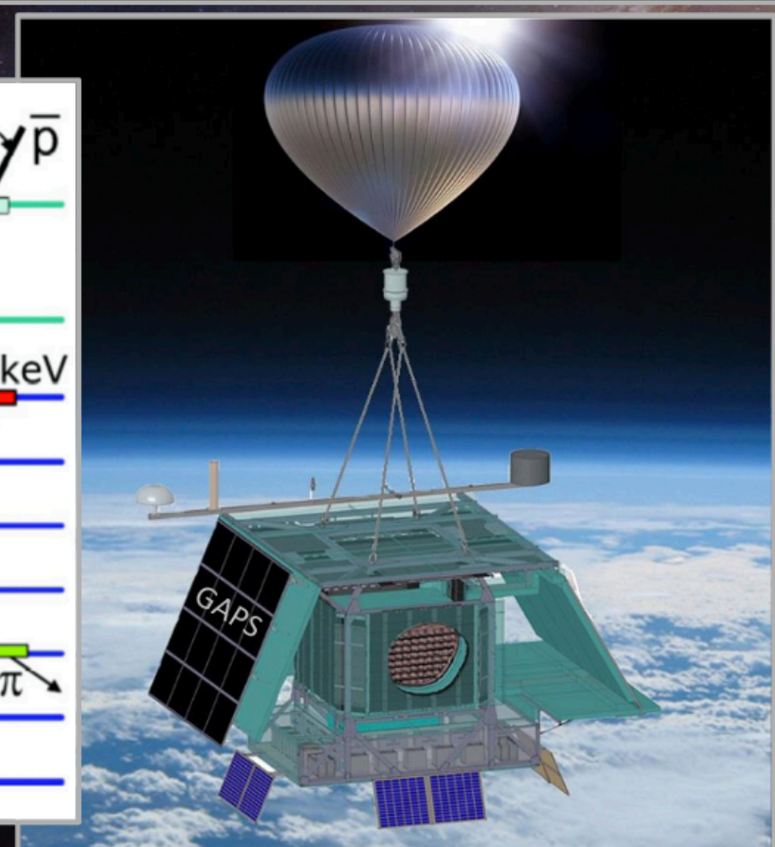
- Stessa piattaforma CAST-2000
- Full time operational
- Stessa orbita ma 180° di differenza di fase phase difference
- L'Italia ha costruito due strumenti:
  - HEPD
  - EFD

I modelli di volo di HEPD-02 e EFD-02 saranno consegnati a Settembre 2022

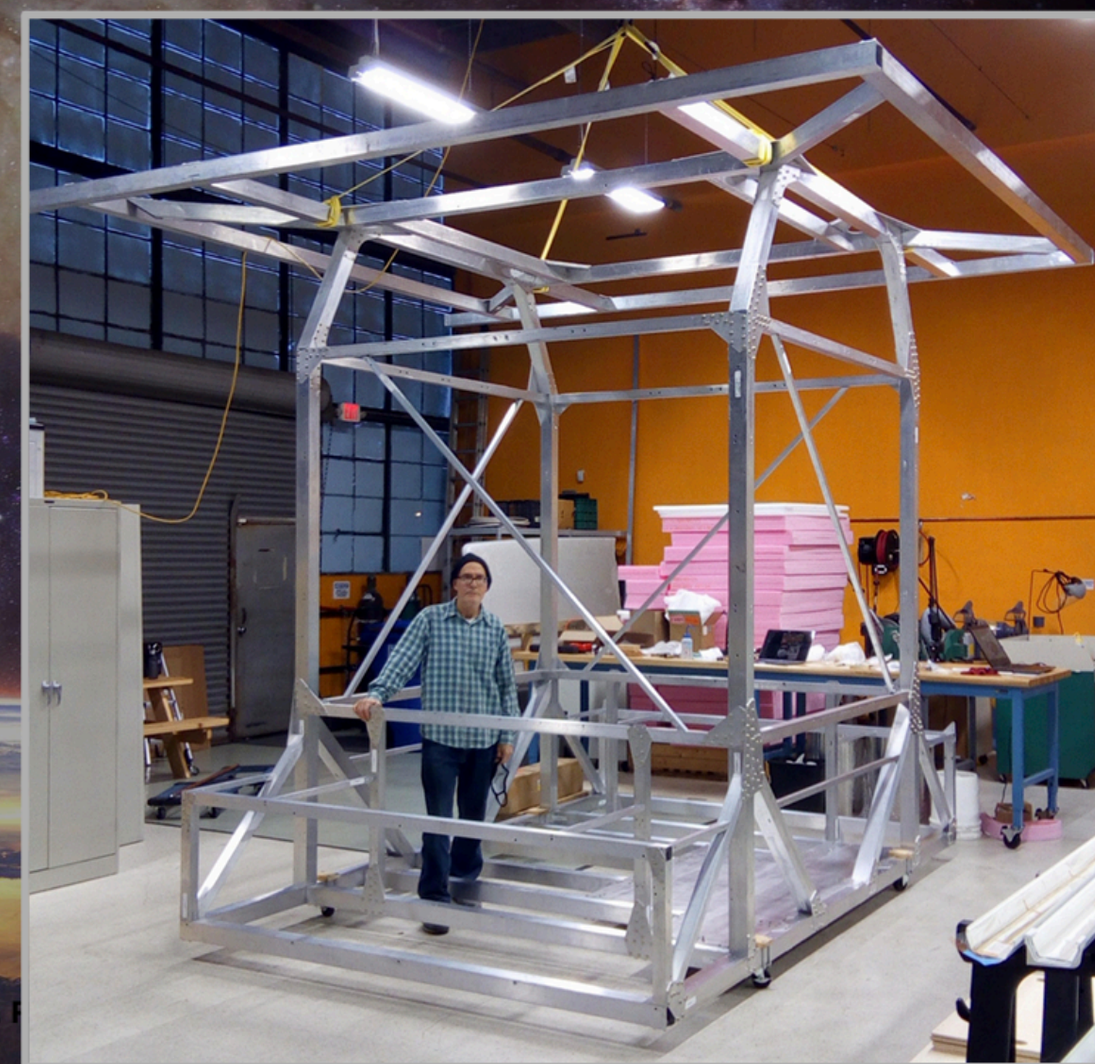
GAPS (GENERAL ANTI-PARTICLE SPECTROMETER)

Esperimento GAPS volera` a fine 2023, pallone dal polo sud. Tecnica di rivelazione basata sulla formazione e annichilazione di un atomo esotico, complementare rispetto agli spettrometri magnetici. Misura antideuterio sarebbe segno di nuova fisica.

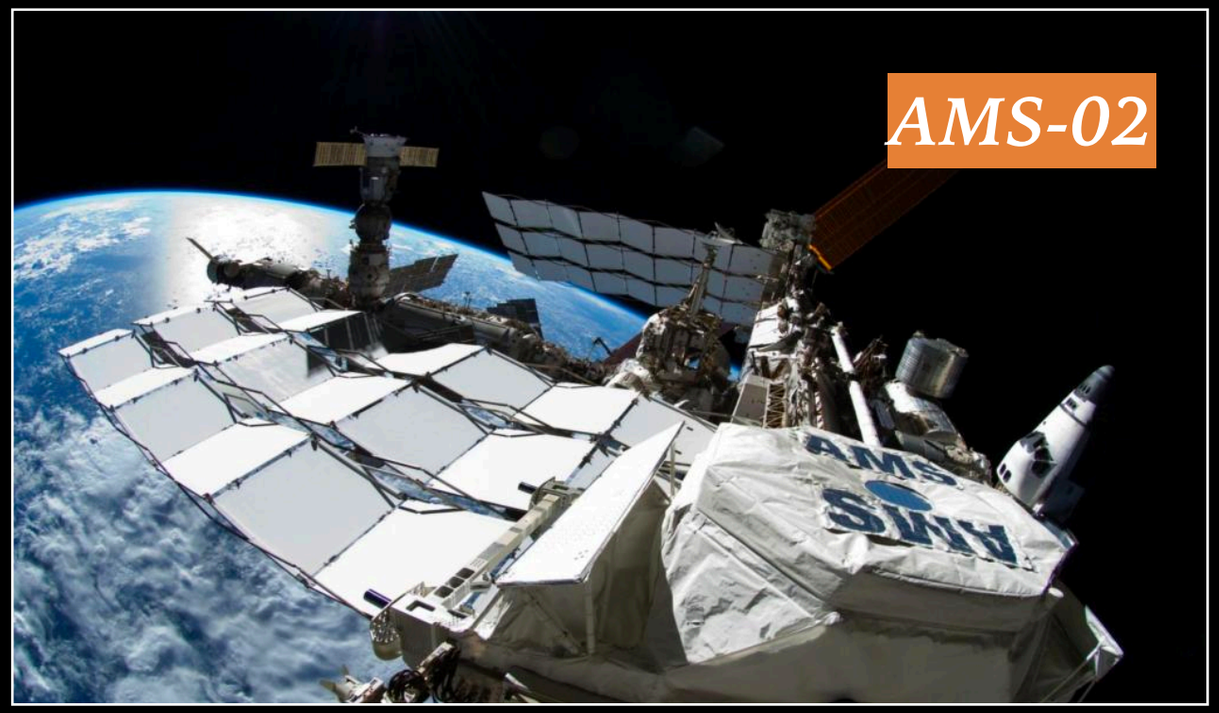


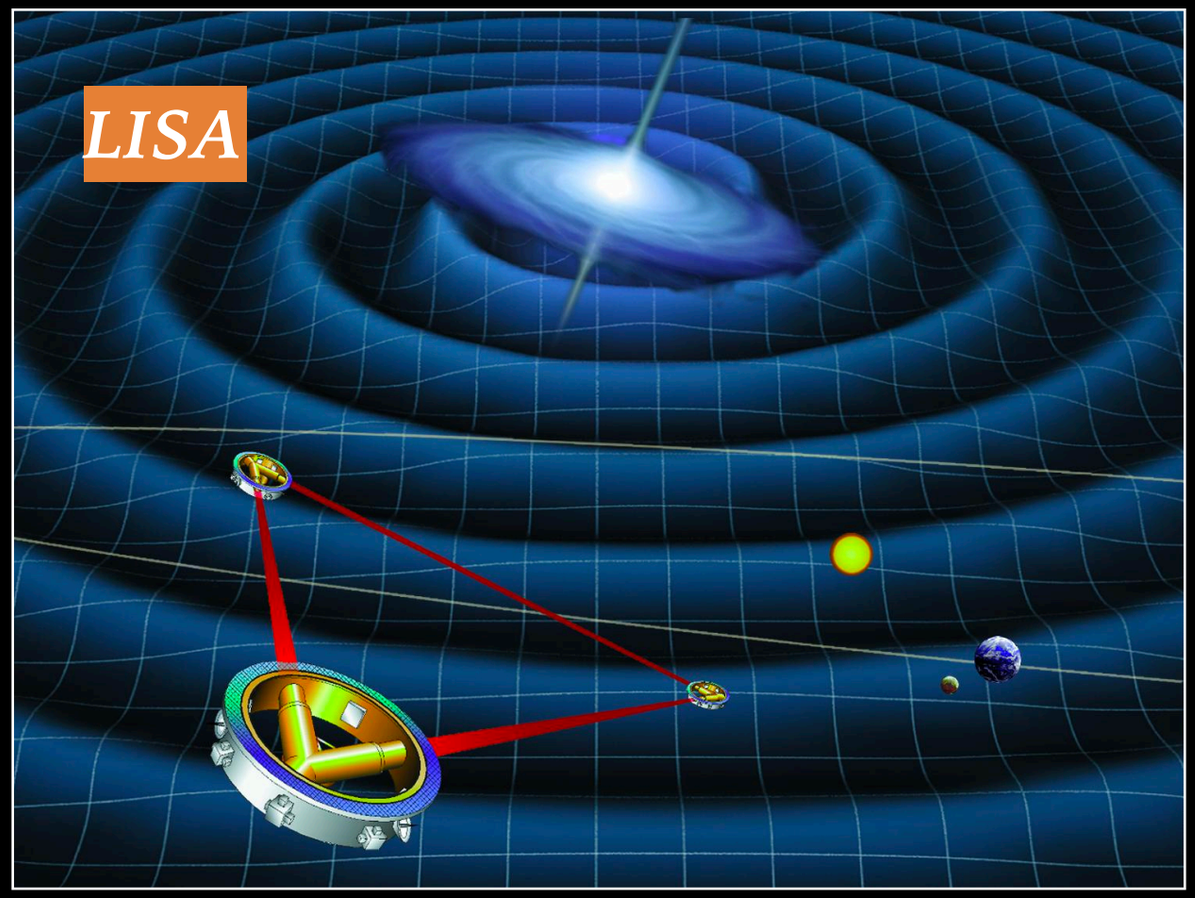


Phys. R



TANTO "SPAZIO" A TOR VERGATA !





CMB (LSPE, CUBIC, LITEBIRD)