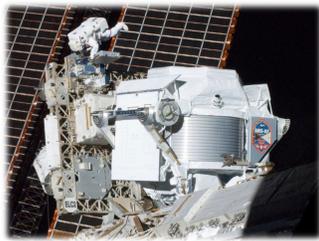


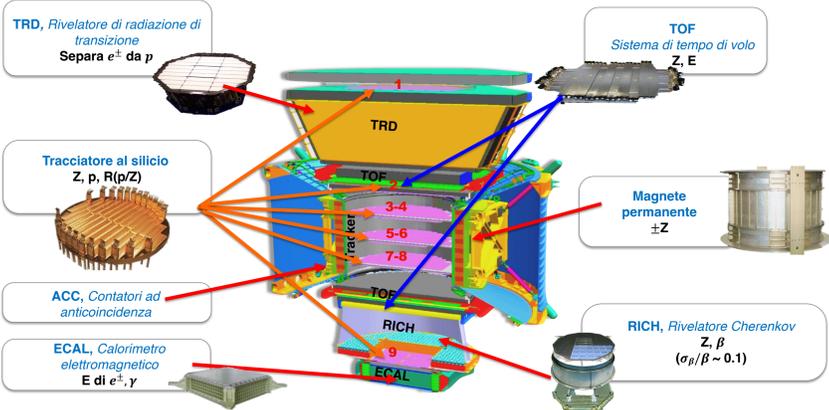
# Flusso del fosforo nei raggi cosmici: risultati preliminari dell'esperimento AMS-02

## Il rivelatore



AMS-02 è uno spettrometro magnetico dedicato allo studio dei raggi cosmici. L'esperimento è operativo sulla Stazione Spaziale Internazionale da maggio 2011.

- Ha come obiettivi scientifici:
  - la misura dello spettro e composizione dei raggi cosmici fino al TeV
  - ricerca diretta di antimateria primordiale
  - ricerca indiretta di materia oscura

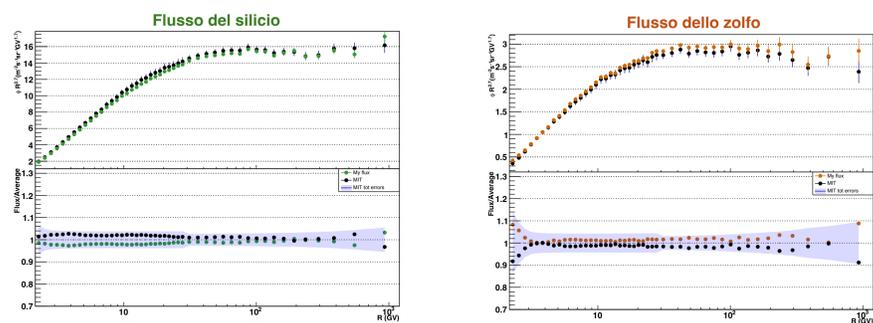


## Metodologia

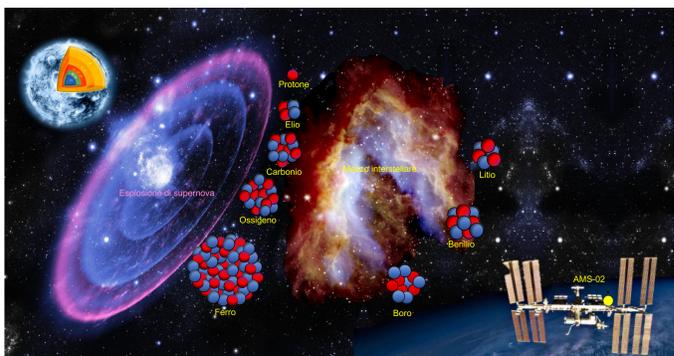
$$\phi(R_i) = \frac{N_p(R_i)}{\Delta R_i \Delta T(R_i) A(R_i)} \quad (1)$$

- $\phi(R_i)$  flusso del fosforo
- $N_p(R_i)$  nuclei di fosforo identificati, dopo aver sottratto il background e aver corretto per la migrazione bin-to-bin
  - $\Delta R_i$  larghezza del bin
  - $\Delta T(R_i)$  tempo di esposizione del rivelatore
  - $A(R_i)$  accettazione

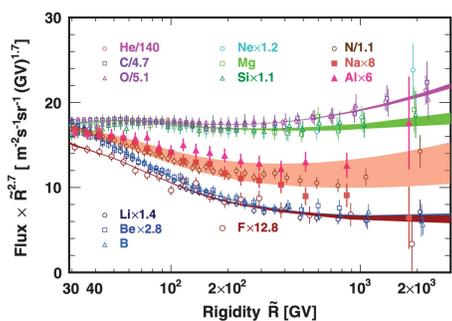
- L'accettazione è calcolata tramite metodo Monte Carlo, simulando particelle da un'area nota in cima all'esperimento
- Viene poi moltiplicata per le differenze (**correzioni**) delle efficienze tra dati e Monte Carlo dei sub-detectors utilizzati nella selezione
- Poiché la statistica per i nuclei di fosforo è molto bassa, una maniera robusta per ottenere le correzioni è **interpolare tra le correzioni di silicio e zolfo**



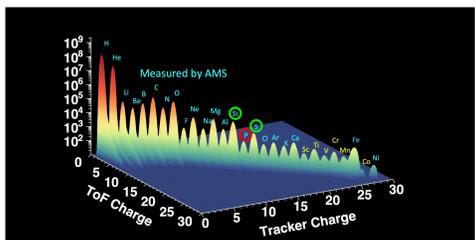
## Fisica dei raggi cosmici



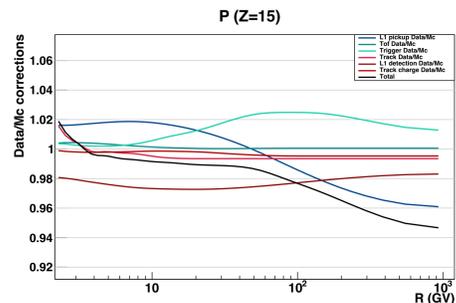
- Le esplosioni di supernova (SN) sono in grado di produrre ed accelerare nuclei carichi fino ad energie dell'ordine di  $\sim 10^{15}$  eV secondo il meccanismo di Fermi [1]
- Nuclei galattici attivi e pulsar si pensa possano accelerare i raggi cosmici ad energie superiori
- Lo spettro d'energia prodotto da questi meccanismi è una **legge di potenza con esponente negativo**, in accordo con i dati sperimentali [2]
- Queste particelle, dette **raggi cosmici primari**, possono interagire con il mezzo interstellare (ISM) e produrre **raggi cosmici secondari** tramite processi di **spallazione**



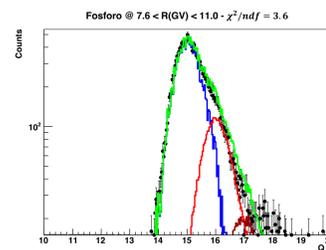
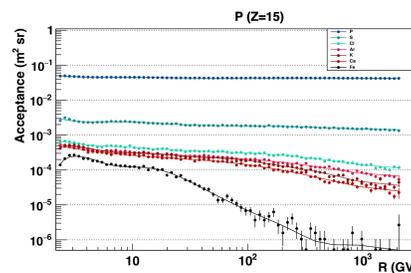
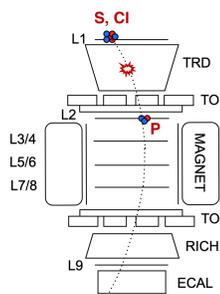
- Tutti i raggi cosmici (sia primari che secondari) mostrano un «hardening» dello spettro a circa 200 GV [3]
- A seconda della classe, si ha una **diversa dipendenza in rigidità**
- Esistono tre classi: primari, secondari ed un terzo gruppo che è un mix degli altri due



- Rispetto ai nuclei vicini, il fosforo presenta un'abbondanza relativa molto bassa ( $\sim 0.01\%$ )
- Silicio e zolfo sono abbondantemente prodotti in stelle massicce durante il **processo di combustione dell'ossigeno** [4]
- Il fosforo può essere prodotto nelle SN, ma è principalmente prodotto in processi di spallazione con l'ISM



- Il numero di nuclei  $N_p(R_i)$  in equazione (1) è affetto da due principali sorgenti di background: la frammentazione di nuclei di Z superiore, rispettivamente **sopra** e **sotto** il primo piano (L1) del tracciatore
- Sopra** il L1, i nuclei ad alto Z possono frammentare nella sottile struttura di supporto composta da fibra di carbonio e pannelli alveolari d'alluminio. L'unico modo per stimare questo contributo è tramite Monte Carlo
- Sotto** il L1, la frammentazione avviene prevalentemente nel TRD (radiator in polietilene e tubi riempiti di CO<sub>2</sub> e Xe) e nel TOF (scintillatori plastici). Si effettuano dei template fit sulla distribuzione di carica del L1 per quantificare questo background



$$N_{i \rightarrow j}(R) = \phi_i T(R) \Delta R A_{i \rightarrow j}$$

- $N_{i \rightarrow j}(R)$  è il numero di contaminanti dalla specie  $i$  al nucleo sotto studio  $j$
- $\phi_i$  è il flusso del contaminante  $i$  (GALPROP-HELMOD)
- $T(R)$  è il tempo di esposizione,  $\Delta R$  è la larghezza del bin
- $A_{i \rightarrow j}$  è l'accettazione Monte Carlo del contaminante  $i$  di soddisfare la selezione per il nucleo sotto studio  $j$

## Discussione e prospettive

- Assumendo che le efficienze non dipendano dalla carica, l'**interpolazione delle correzioni tra silicio e zolfo** è una **metodologia robusta per valutare le efficienze nei bin di rigidità in cui non è possibile farlo per la poca statistica di fosforo**
- Nel fit di purezza è necessario tenere in considerazione le differenze tra il L2 (usato per il template di segnale) e il L1, introducendo parametri aggiuntivi per migliorare la corrispondenza tra template e dati

- Il flusso del fosforo presenta la **stessa dipendenza in rigidità del fluoro, ma differente dal gruppo del Li-Be-B**
- La modulazione solare influenza il flusso a basse rigidità fino a 10-20 GV
- L'abbondanza relativa di fosforo, rispetto ad altri elementi, permette di studiare il contributo dei processi di **produzione** primaria e secondaria confrontando modelli di nucleosintesi e spallazione
- Il confronto con altri elementi puramente secondari (boro) permette di testare i **modelli di trasporto**, vincolando per esempio il coefficiente di diffusione
- Il confronto del suo indice spettrale rispetto ai primari/secondari, permette di indagare i **meccanismi di accelerazione**

[1] E. Fermi. On the Origin of the Cosmic Radiation, Physical Review 75, pp. 1169-1174, 1949

[2] S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 110, 030001 2024

[3] M. Aguilar et al. Properties of a New Group of Cosmic Nuclei: Results from the Alpha Magnetic Spectrometer on Sodium, Aluminum, and Nitrogen, Phys. Rev. Lett. 127, 021101, 2021

[4] Woosley, Heger, and Weaver. "The evolution of massive stars". Reviews of Modern Physics, Volume 74, 2002

