



NUOVE RICERCHE INDIRECTE DI MATERIA OSCURA CON L'ESPERIMENTO GAPS

Luigi Volpicelli per conto della collaborazione GAPS

INFN - Sezione di Roma "Tor Vergata", V. della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italia

Studente di dottorato in Astronomia, Astrofisica e Scienza dello Spazio
Università di Roma "La Sapienza" e Università di Roma "Tor Vergata"

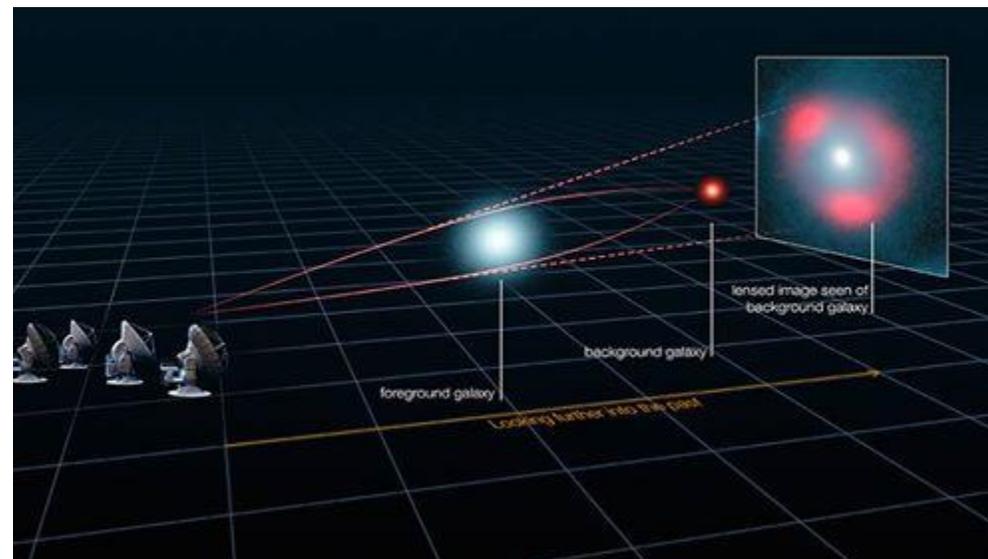
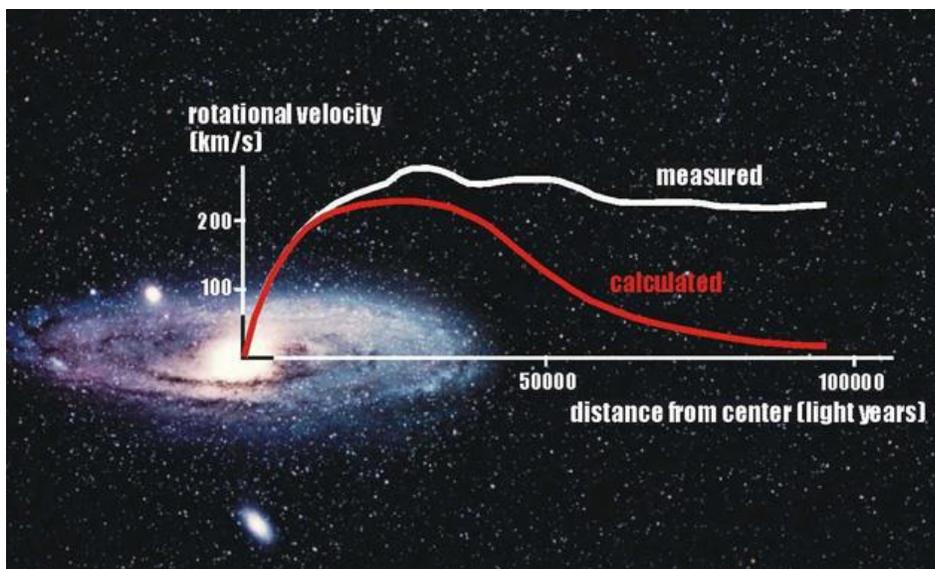
Incontri di Fisica delle Alte Energie (IFAE) 2025,
Cagliari, 10/04/2025



IL MISTERO DELLA MATERIA OSCURA

- 25% MATERIA OSCURA
- 70% ENERGIA OSCURA
- 5% MATERIA BARIONICA

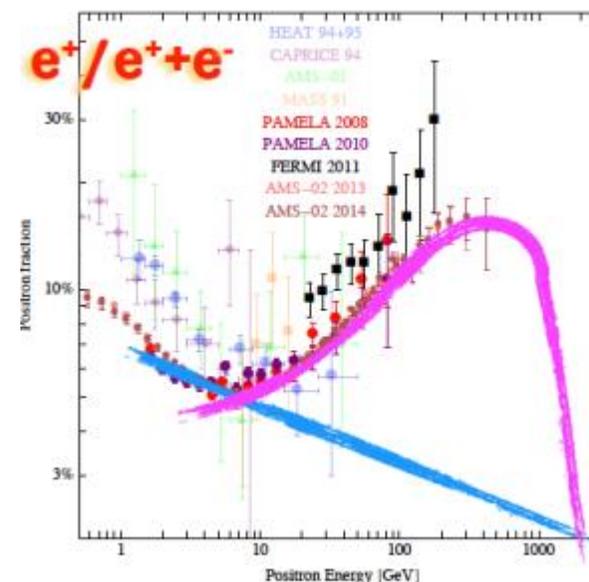
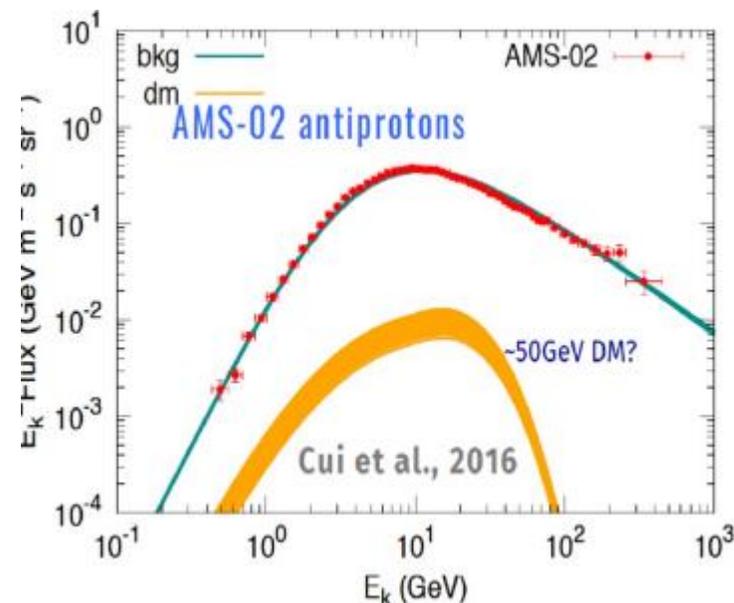
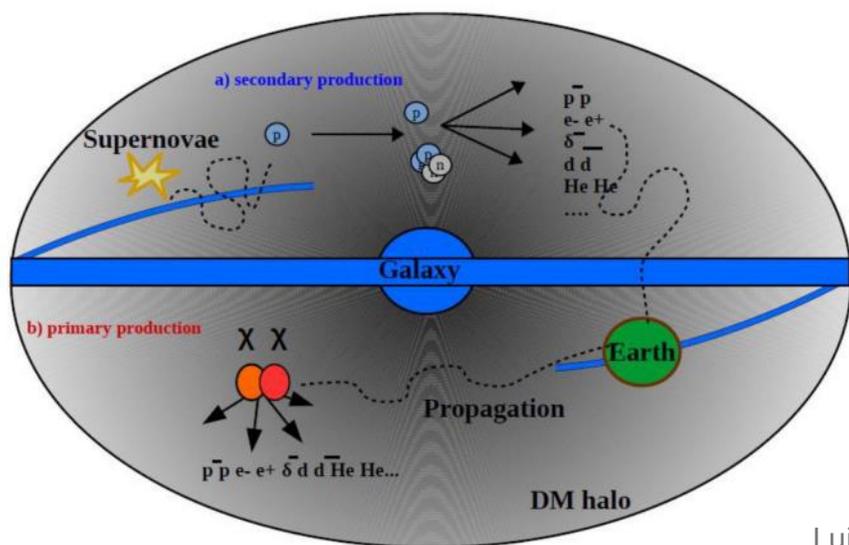
Viviamo in un Universo modellato dalla materia oscura e dalla energia oscura, che fanno sentire i loro effetti gravitazionalmente

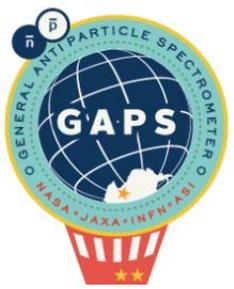




MATERIA OSCURA E RAGGI COSMICI: RICERCA INDIRECTA

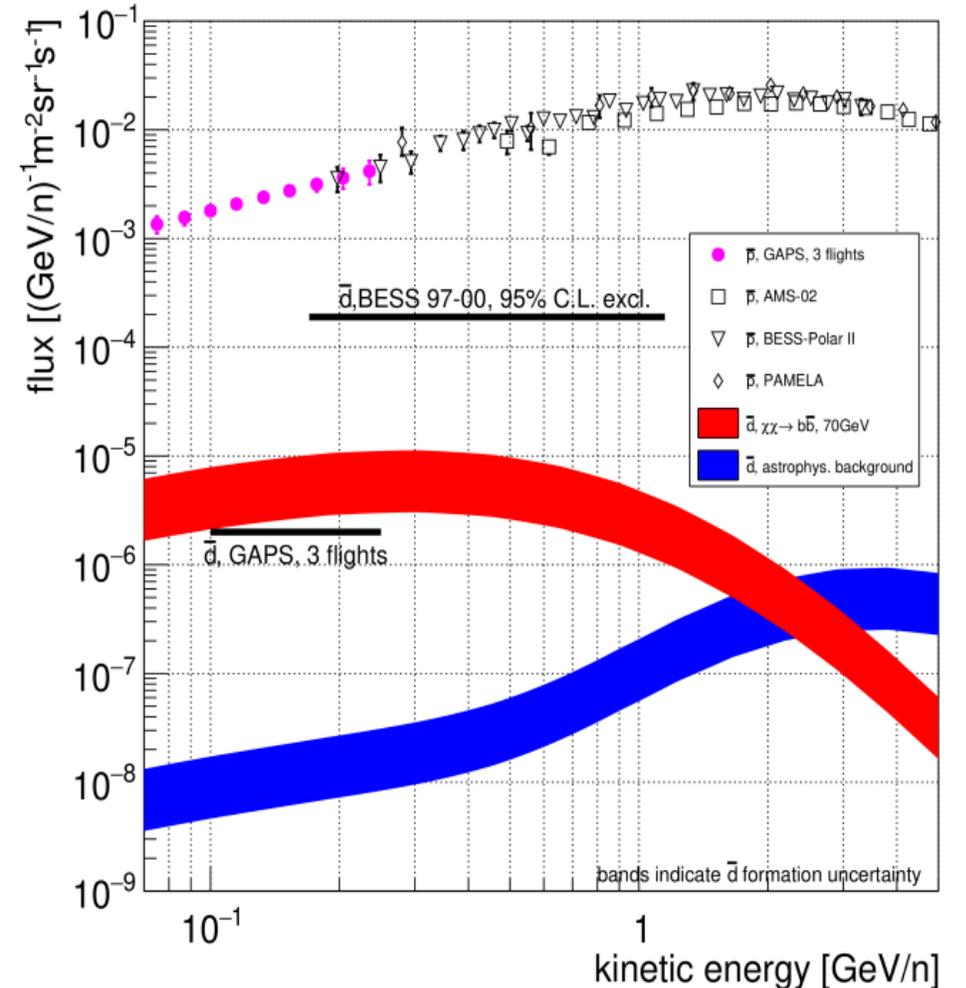
- I risultati della ricerca indiretta di materia oscura di **AMS-02** possono contenere indizi di nuova fisica
- La materia oscura nella galassia può annihilare o decadere, lasciando tracce nei raggi cosmici che raggiungono la Terra





FLUSSO DI ANTIDEUTERIO A BASSE ENERGIE: SEGNALE PULITO DI MATERIA OSCURA

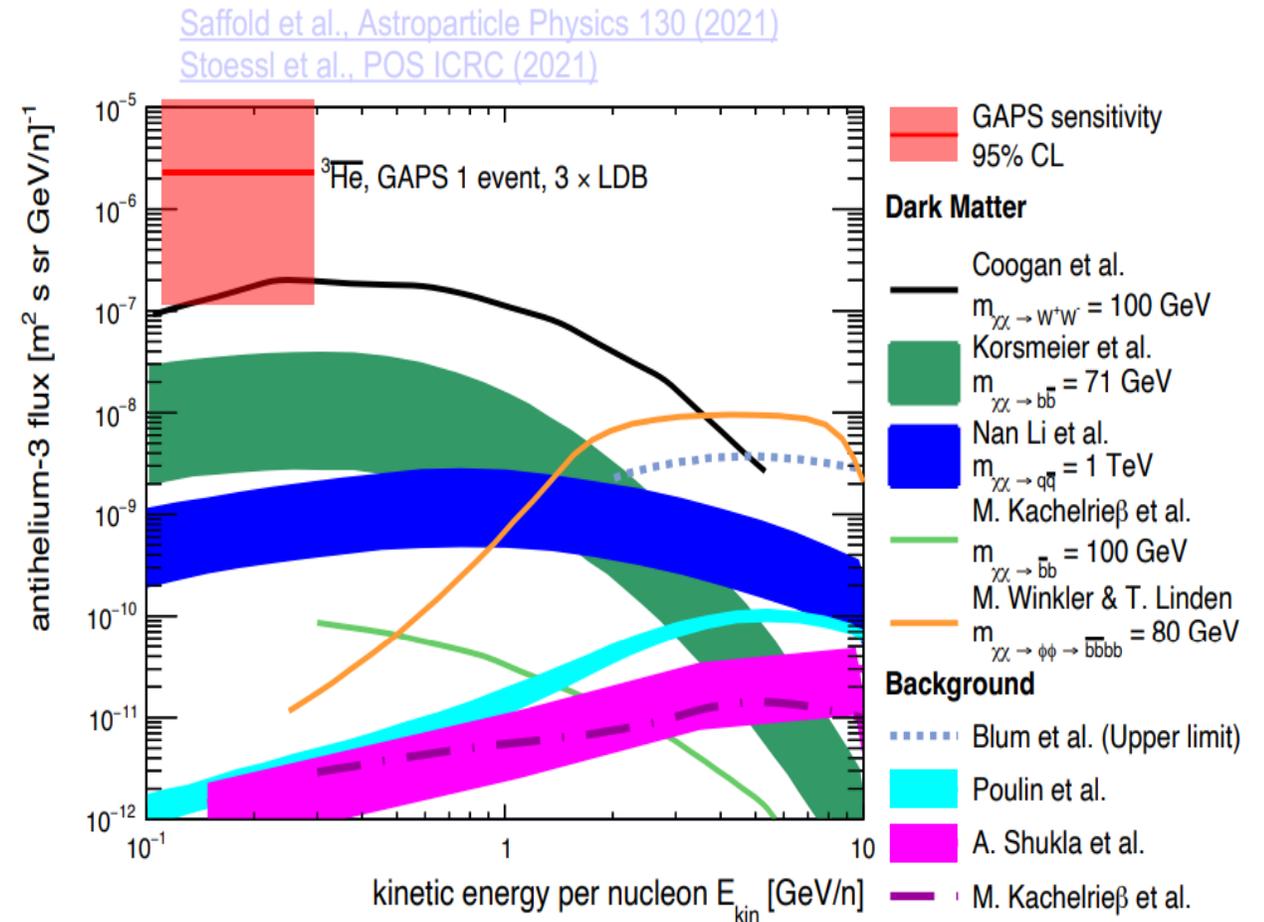
- **GAPS** (**G**eneral **A**nti**P**article **S**pectrometer) è progettato specialmente per la misura di **antideuterio a basse energie** nei raggi cosmici
- Ci si aspetta un flusso di antideuterio nell'intervallo di energie predetto da alcune teorie (**supersimmetria, Kaluza-Klein, ecc.**)
- Il fondo astrofisico di antideuterio a basse energie è cinematicamente abbastanza soppresso, al di sotto di pochi GeV/n
- GAPS misurerà anche flussi di **p, d, anti-p, He** e avrà anche la sensibilità di misurare **antiHe-3**

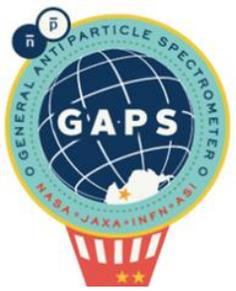




ANTIHe-3 A BASSE ENERGIE

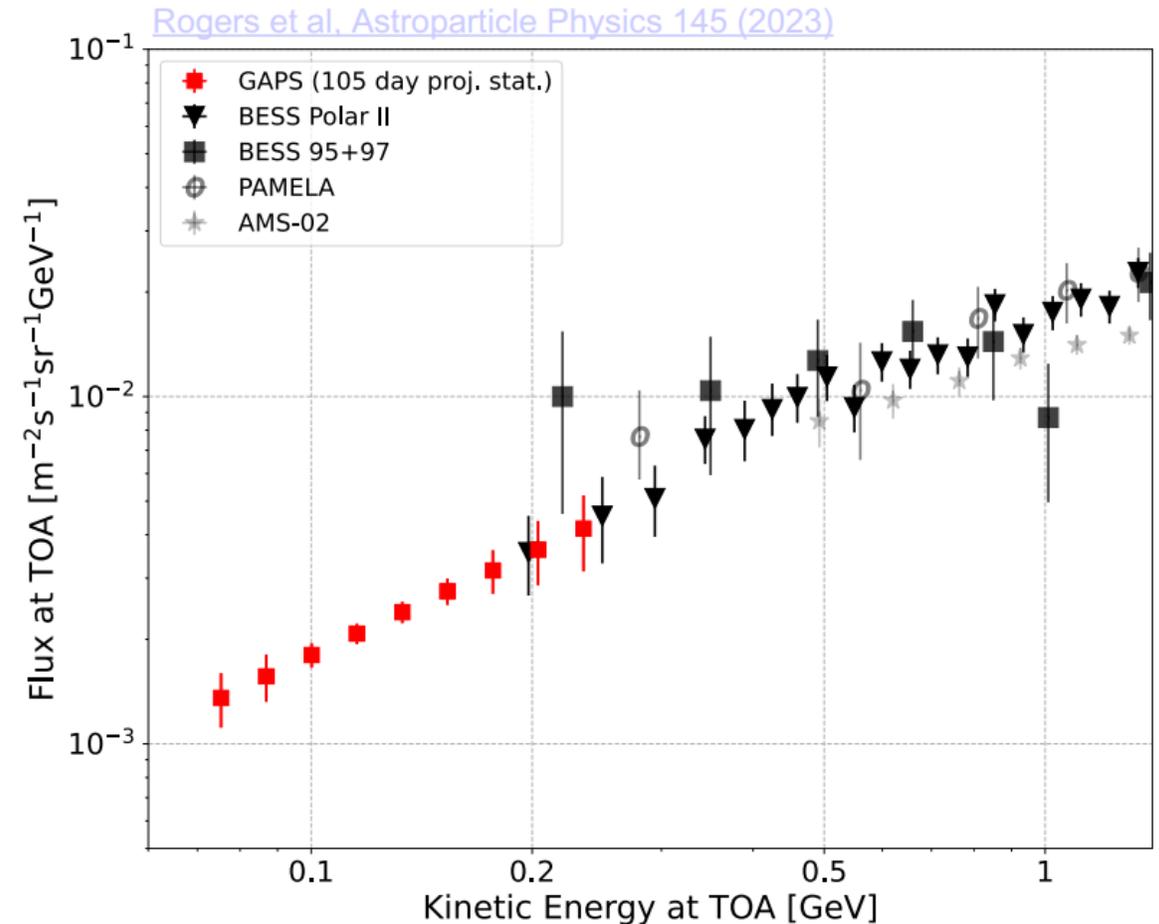
- GAPS offre sensibilità alla misura di **antiHe-3**, con strumenti complementari ad AMS-02
- La sensibilità a basse energie può aiutare a distinguere le origini dei vari candidati di antiHe-3 di AMS-02
- Trovare antiHe-3 sarebbe rivoluzionario in fisica, poiché non è mai stato osservato nemmeno nel background astrofisico

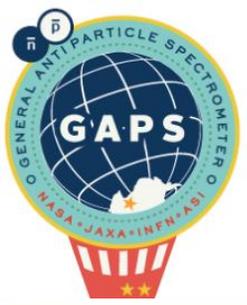




ANTIPROTONI A BASSE ENERGIE

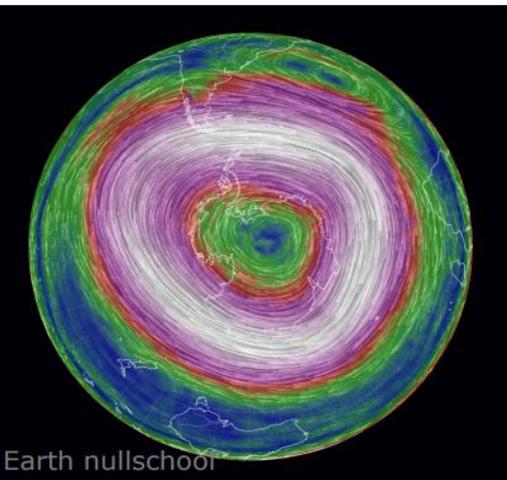
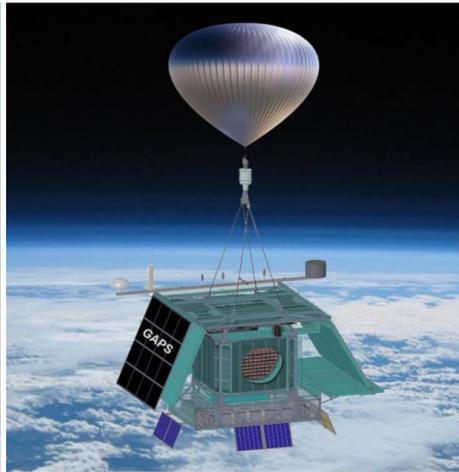
- GAPS fornirà uno spettro di antiprotoni in un intervallo di energie finora inesplorato:
~ **550 antiprotoni** per ciascun volo
- Il flusso di antiprotoni è lo scopo scientifico principale del primo volo





GAPS: PANORAMICA DELLA MISSIONE

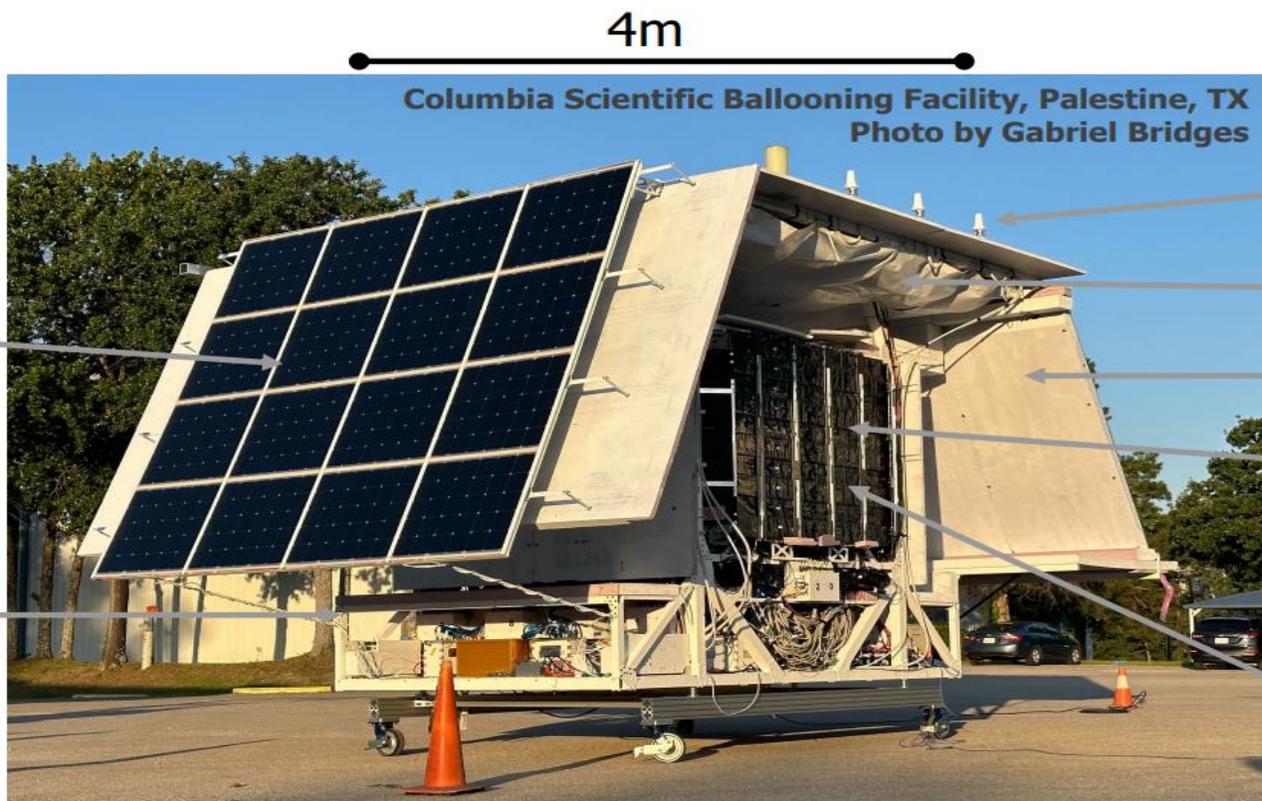
- Missione su pallone di **lunga durata dall'Antartide**
 - I voli dureranno circa **un mese** ciascuno
 - Verrà lanciato a circa **37 km di altitudine**
 - **Basso cut-off geomagnetico** permetterà la rivelazione di particelle al di sotto del GeV
 - **Tempi di volo lunghi**: confini internazionali e **venti circumpolari**, in modo che il pallone non cada in mare
- Si basa su una nuova tecnica di identificazione delle antiparticelle, per mezzo di **nuclei esotici eccitati**, che fornirà una sensibilità maggiore per la misura delle stesse:
 - Non è necessario un magnete
 - L'identificazione si basa su: **dE/dx, prodotti di annichilazione (stelle di pioni, di protoni), raggi X di diseccitazione**
 - La formazione di nuclei esotici è tipica solo delle antiparticelle, fornendo un alto *potere di rivelazione* per nuclei positivi
- Il primo volo a **dicembre 2025**
- Un tentativo di lancio è stato già effettuato lo scorso dicembre. Ma il **vortice polare**, responsabile dei venti circolari che soffiano nella stratosfera che permettono ai palloni stratosferici di percorrere una traiettoria circolare sopra al continente antartico in circa due settimane, ha presentato forti anomalie impedendo un volo di lunga durata





GAPS: PANORAMICA DELLO STRUMENTO

Mass: ~2,500kg
Power: 1.3kW



Solar Array

Electronics Bay

4m

Columbia Scientific Ballooning Facility, Palestine, TX
Photo by Gabriel Bridges

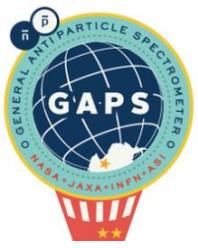
Antennas

TOF Umbrella

Radiator

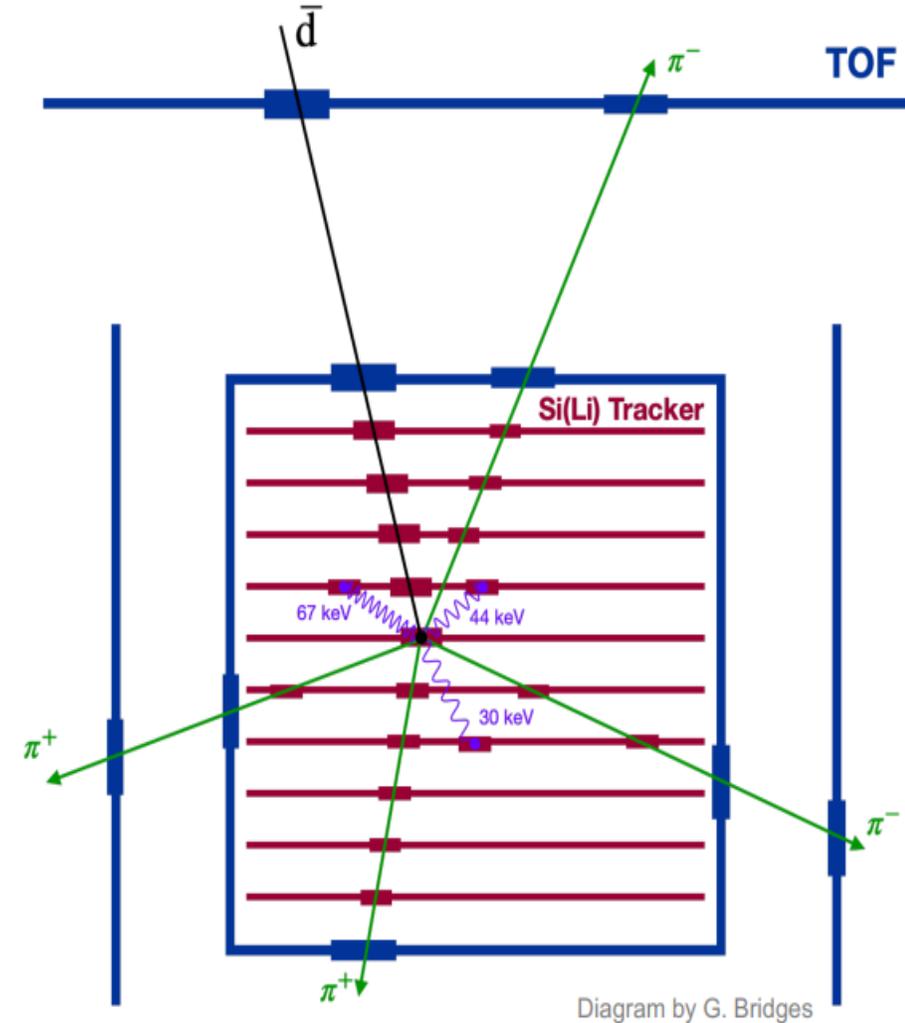
TOF Cortina

Tracker and
TOF Cube
(within Cortina)



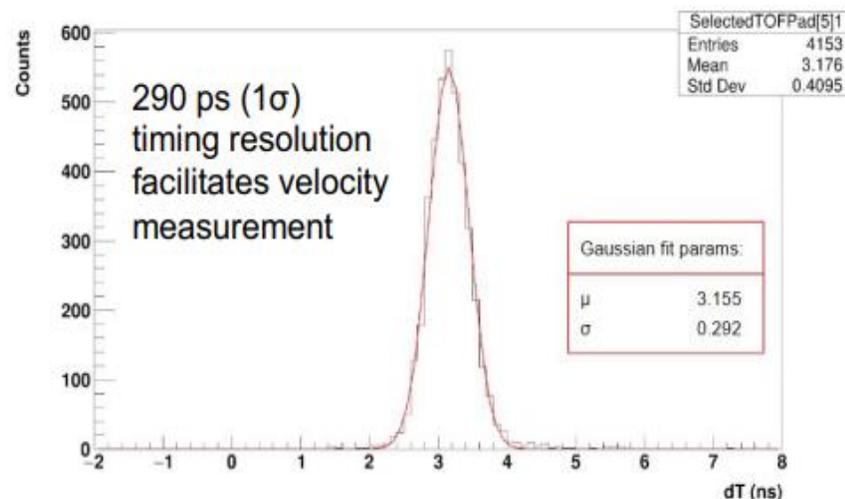
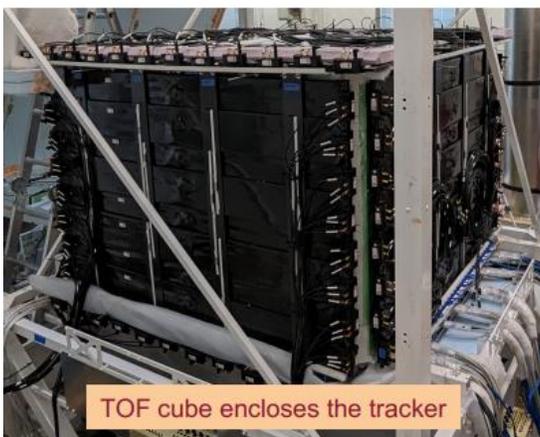
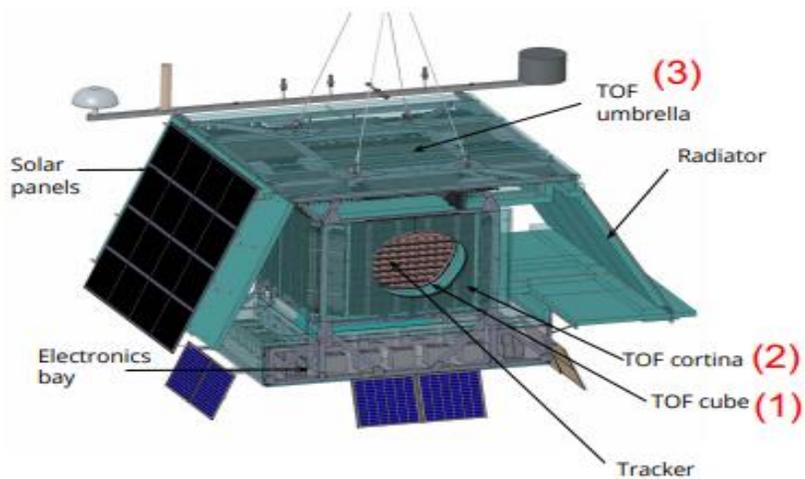
GAPS: STRUMENTO

- **Sistema di tempo di volo (Time of Flight, ToF):**
 - Quasi ermeticità del tracciatore per fornire almeno una hit su > 99% di secondari
 - Sistema di trigger basato su geometria, energia delle hit nel ToF e molteplicità (numero di paddle colpite)
- **Tracciatore:**
 - Bersaglio per contenere nuclei leggeri al di sotto di 0.25 GeV/n
 - Tracciatore per adroni primari e secondari
 - Spettrometro per la rivelazione di raggi X derivanti dalla diseccitazione
- **Entrambi:**
 - Grande area sensibile agli eventi rari
 - dE/dx per le particelle al minimo di ionizzazione (MIP) e particelle lente con $|Z|=2$





SISTEMA DI TEMPO DI VOLO (ToF): DETTAGLI



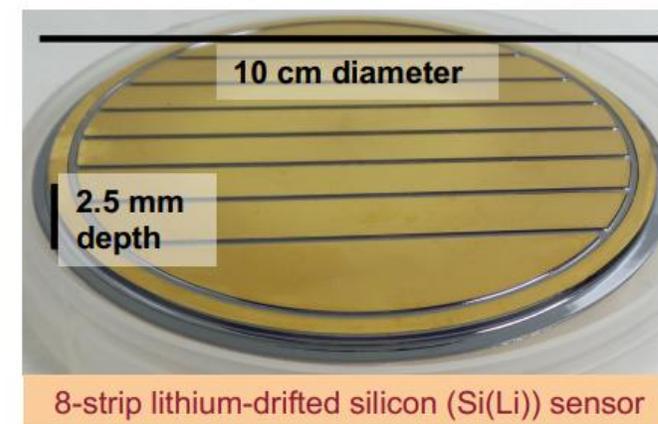
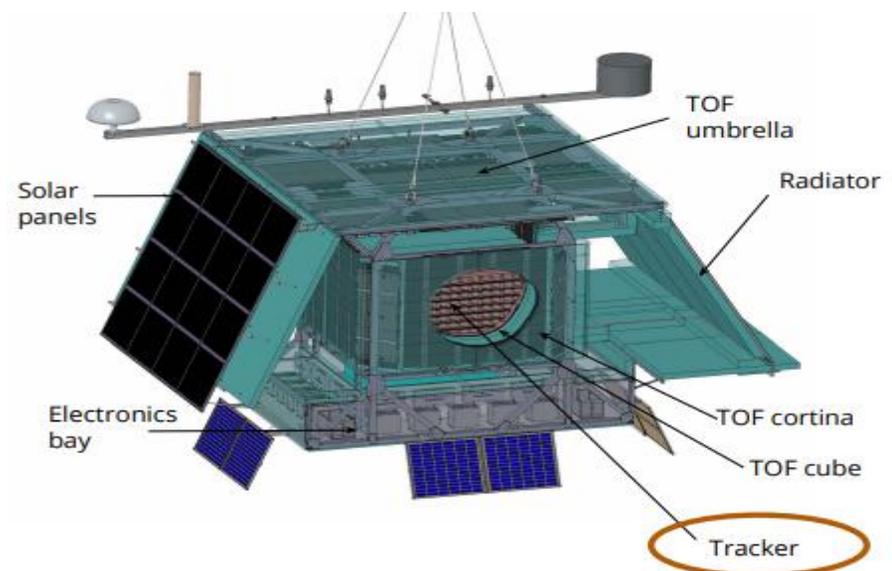
Luigi Volpicelli per conto della collaborazione GAPS

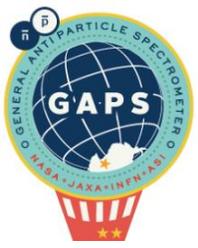
- Scintillatore da 25 m^2 in 21 pannelli:
 - Il **Cube** del ToF contiene il tracciatore
 - La **Cortina** è a 30 cm circa dai lati del Cube del ToF
 - **Umbrella** a circa 90 cm dalla parte alta del ToF



TRACCIATORE AL SILICIO

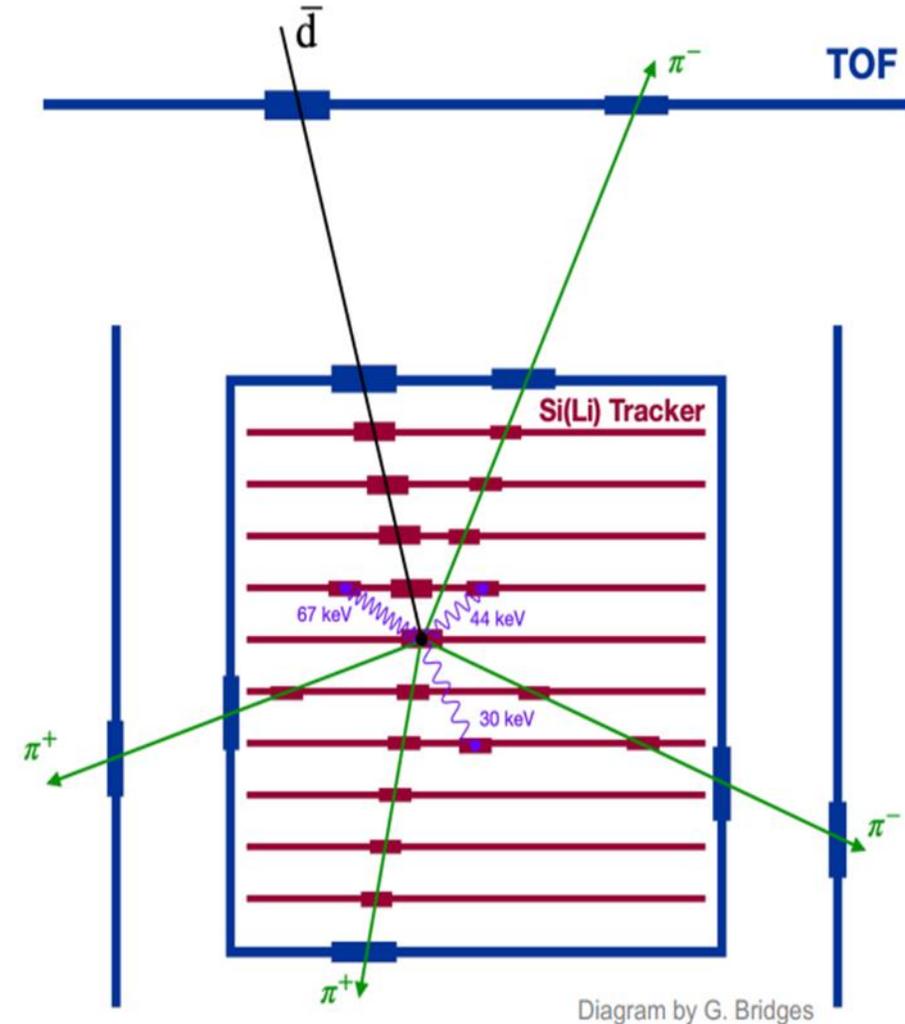
- Volume del tracciatore: 2.5 m^3
 - ~**1000 sensori** al silicio
 - **10 piani** (7 con sensori attivi)
- Moduli calibrati individualmente di **4 sensori** con elettronica di read-out:
 - Risoluzione energetica dei raggi X < **4 keV** (FWHM)
 - Risoluzione energetica < **10%** fino a 100 MeV
- Opera intorno ai **-35 °C**:
 - Raffreddamento in volo basato su un sistema **Oscillating Heat Pipe** (OHP)

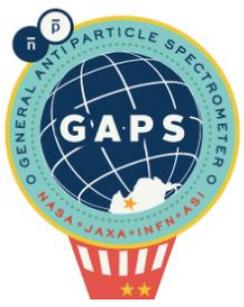




GAPS: PRINCIPIO FISICO DI RIVELAZIONE

- Quando un antinucleo interagisce con il materiale sensibile del rivelatore GAPS:
 - Attraversa il ToF, che misura il **tempo** e quindi la **velocità** e la **dE/dx**
 - Rallenta nel tracciatore fino a fermarsi, quando catturato da un nucleo di Silicio (Si), a formare un **atomo esotico eccitato**
 - Tale atomo esotico si diseccita attraverso emissione di **raggi X** (rivelati nel tracciatore)
 - Poi l'antinucleo si annichila con il nucleo di Si in **adroni secondari** (rivelati nel tracciatore e nel ToF)
- La discriminazione dell'antinucleo:
 - **Profondità di penetrazione** e perdita di energia **dE/dx** relative alla velocità della particella incidente
 - Molteplicità di adroni secondari (**pioni, protoni, kaoni**)
 - Energie di **raggi X**





CONCLUSIONI E STATO DELL'ARTE

- Primo lancio previsto **dall'Antartide a dicembre 2025**
- **GAPS** è un esperimento innovativo nel suo genere, senza magneti e che si basa su un **nuovo principio fisico per la identificazione di antinuclei** (formazione e annichilazione di nuclei atomici esotici)
- GAPS ha la sensibilità per osservare un flusso di **antideuterio ($< 0.25 \text{ GeV/n}$)** nei raggi cosmici, che potrebbero essere indice di materia oscura e di nuova fisica oltre il modello standard
- GAPS è progettato specificamente per **antinuclei a bassa energia** (antiprotoni, antideuterio, antiHe-3)
- I dati di GAPS si potranno confrontare con quelli di AMS-02 e con quelli derivanti da ricerche dirette