



Università di Pisa
Dipartimento di Fisica "Enrico Fermi"
Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale - Sezione Aerospaziale

MIRACLE
cosMIC RAYs spaCeLab Experiment



V. Floris, D. Passaro, D. Riccardi, M. Riggirello, A. Venturini

22 Novembre 2022 - International Cosmic Day



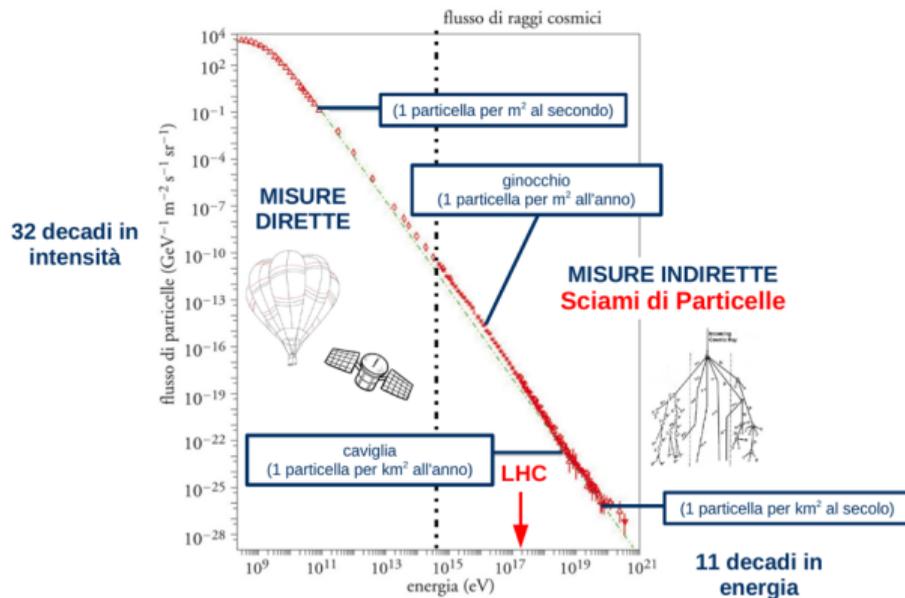
In collaborazione con:

- ▶ Ricercatori INFN: Dott. F. Morsani e Dott. F. Pilo
- ▶ Prof. G. Lamanna (UniPi)
- ▶ Ingegneri di UniPi a capo del progetto SpaceLab: Dott. M. Gemignani e Prof. S. Marcuccio

Cosa sono i raggi cosmici



- ▶ I raggi cosmici nello spazio sono particelle elettricamente cariche costituite principalmente da **protoni** ($\sim 90\%$), **nuclei di elio** (circa $\sim 9\%$) e il rimanente $\sim 1\%$ da tutti gli altri nuclei atomici della tavola periodica, elettroni e le rispettive anti-particelle
- ▶ La figura mostra il cosiddetto “**spettro dei raggi cosmici**”, cioè il numero di particelle che colpisce l’atmosfera terrestre in funzione della loro energia





- ▶ Queste particelle sono prodotte nell'Universo da fenomeni estremi e tutt'oggi misteriosi (reazioni nucleari nelle stelle, supernovae, esplosioni di raggi γ dal centro delle galassie ecc...)
- ▶ Esse si propagano nello spazio attraversando galassie e sistemi solari prima di raggiungere la Terra. Nel loro viaggio interagiscono con: altre particelle, campi elettrici e magnetici
- ▶ I raggi cosmici (scoperti nel 1912 da V. Hess) sono stati per anni l'unico oggetto di studio della Fisica delle Particelle, culminato in scoperte fondamentali per la Fisica Moderna (per esempio la scoperta del *muone* μ o del *pione* π)
- ▶ Tutt'oggi, lo studio di raggi cosmici porta una **grandissima quantità di informazioni** sull'Universo, fondamentale per conoscere quanto sta accadendo al di là del sottile strato di atmosfera che ci circonda!

Misurare il flusso di raggi cosmici



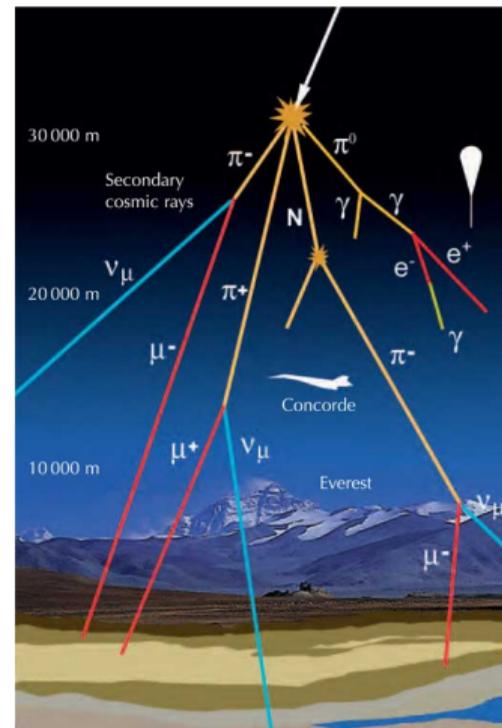
Il numero di raggi cosmici, N , è dato dalla relazione

$$N = J \times A \times \Delta T$$

dove J è il flusso di particelle che giungono a ridosso dell'atmosfera terrestre, A è l'area del rivelatore e ΔT è il tempo di misura. I raggi cosmici si dividono in:

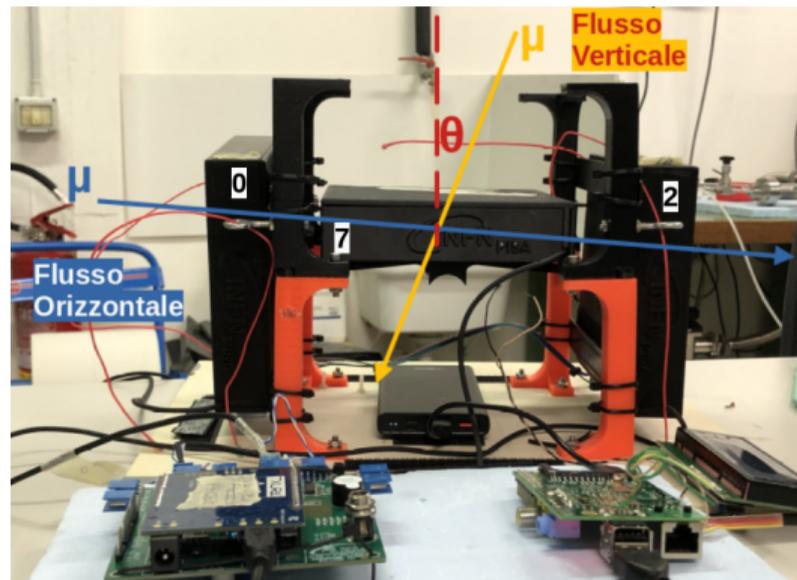
- ▶ **primari**: soprattutto protoni e altri nuclei. Essi vengono rivelati in maniera diretta mandando i rivelatori fuori dall'atmosfera terrestre, così da intercettarli prima che essi interagiscano con quest'ultima
- ▶ **secondari** ovvero i prodotti dell'interazione della particella primaria con i nuclei dell'atmosfera (sciame di particelle), rivelabili con misure a terra.

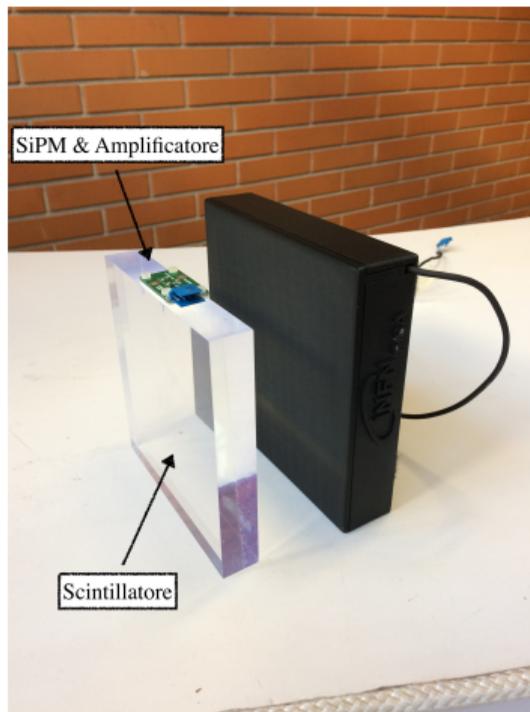
MIRACLE proverà ad osservarli entrambi viaggiando oltre la troposfera!



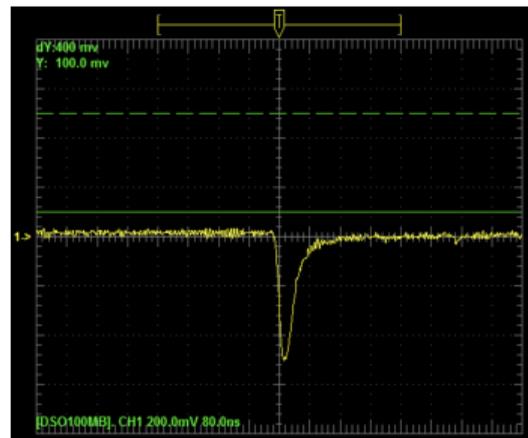
L'esperimento MIRACLE misurerà:

- ▶ Flusso verticale dei raggi cosmici in funzione dell'altitudine
- ▶ Flusso orizzontale dei raggi cosmici in funzione dell'altitudine
- ▶ Ricostruzione della distribuzione angolare delle particelle che interagiscono con il nostro apparato



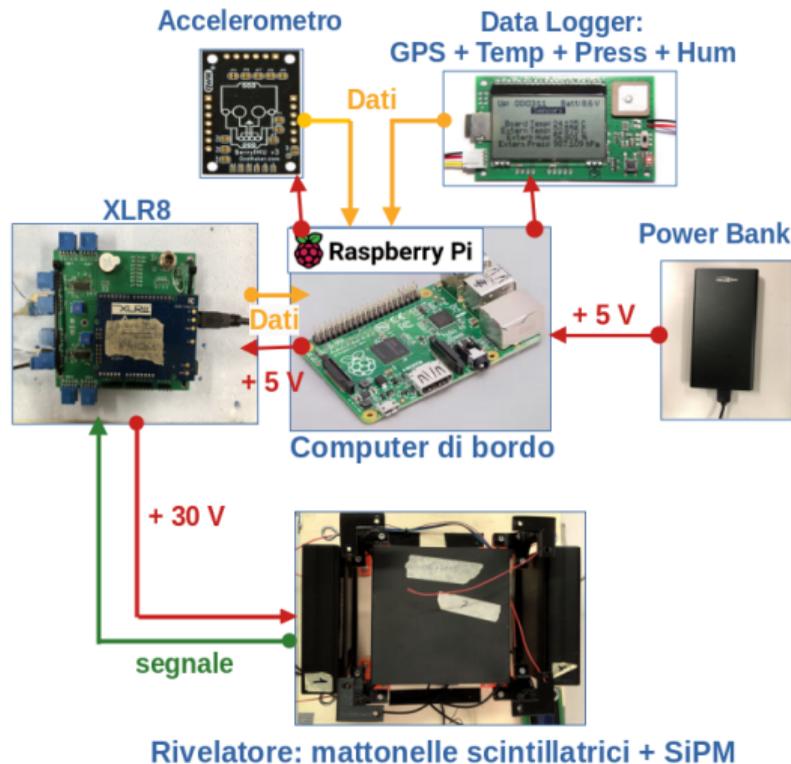


- ▶ Lo **scintillatore plastico** è un materiale che emette fotoni (γ) quando attraversato da una particella carica
- ▶ I γ prodotti vengono rivelati da un **fotomoltiplicatore al silicio (SiPM)** che li converte in un segnale elettrico

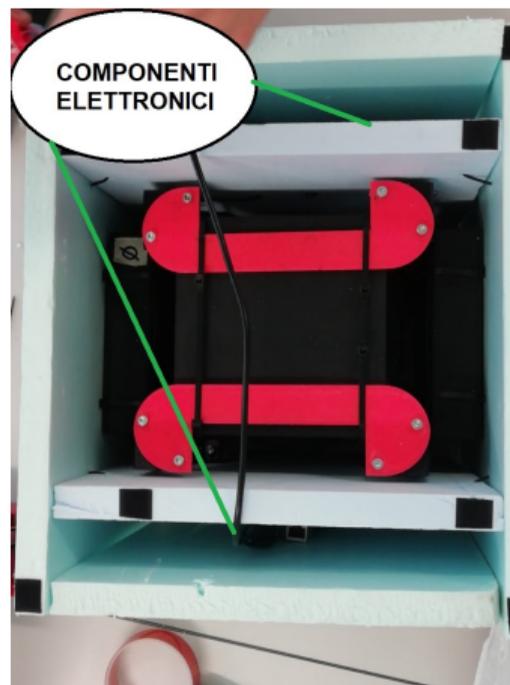


I segnali dai fotomoltiplicatori devono essere elaborati in tempo reale e in modo automatizzato:

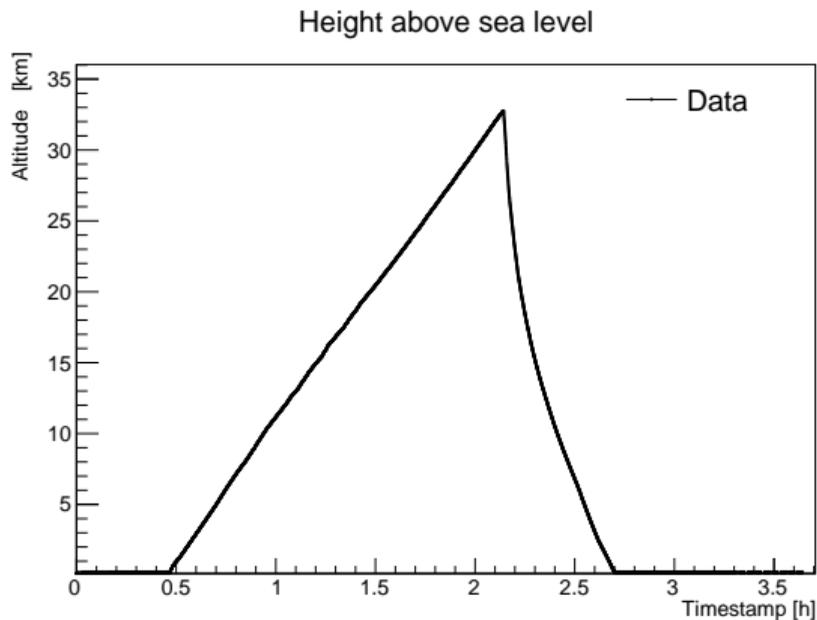
- ▶ i segnali analogici vanno **discriminati**: viene generato un segnale digitale (0, 1) se il picco del segnale è minore o maggiore di un certo valore
- ▶ i segnali digitali vengono gestiti da una scheda elettronica (XLR8)
- ▶ un computer di bordo (RaspberryPi) gestisce in modo parallelo la lettura di tutti i rivelatori. È programmato in modo da riavviare automaticamente la lettura dei sensori in caso di malfunzionamenti



- ▶ È importante isolare i rivelatori sia dall'esterno che dall'elettronica per evitare sbalzi di temperatura:
 - ▶ I SiPM sono sensibili alla temperatura a cui operano, la quale cambia molto in funzione della quota
 - ▶ Anche sul *payload* i componenti elettronici generano calore (raggiungono $T \sim 100^{\circ}\text{C}$)
- ▶ L'esperimento deve essere protetto anche contro l'umidità (le nuvole) e contro eccessivi danni dall'impatto col suolo (per non distruggere tutto); inoltre, la struttura di protezione deve essere abbastanza leggera (~ 3 kg) per poter volare:
 - ▶ base in **compensato**
 - ▶ pareti esterne e interne in **polistirolo rigido**
 - ▶ struttura portante (progettata dall' Ing. Niccolò Turriti) in PETG con stampa 3D

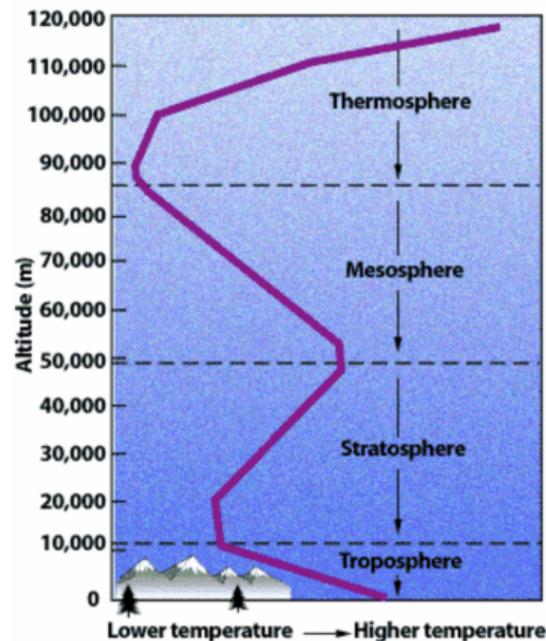
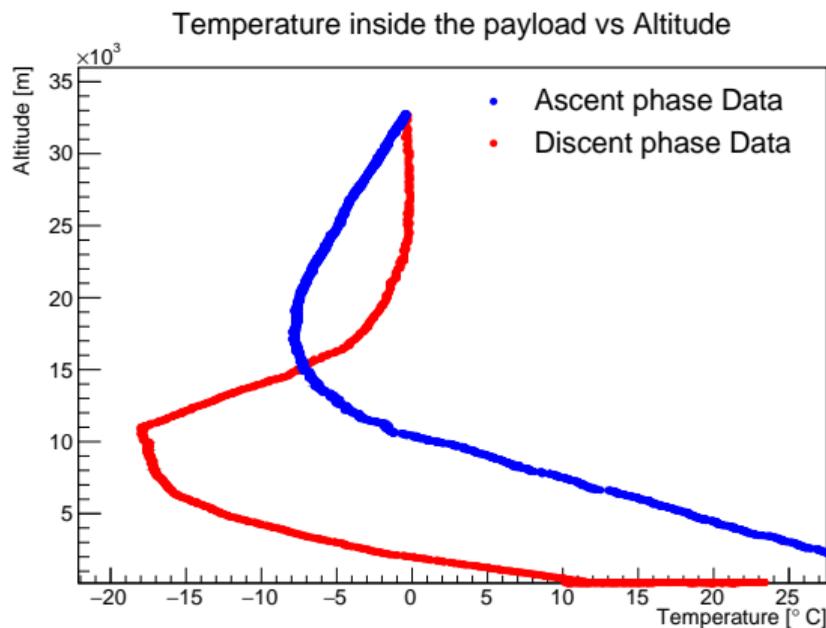






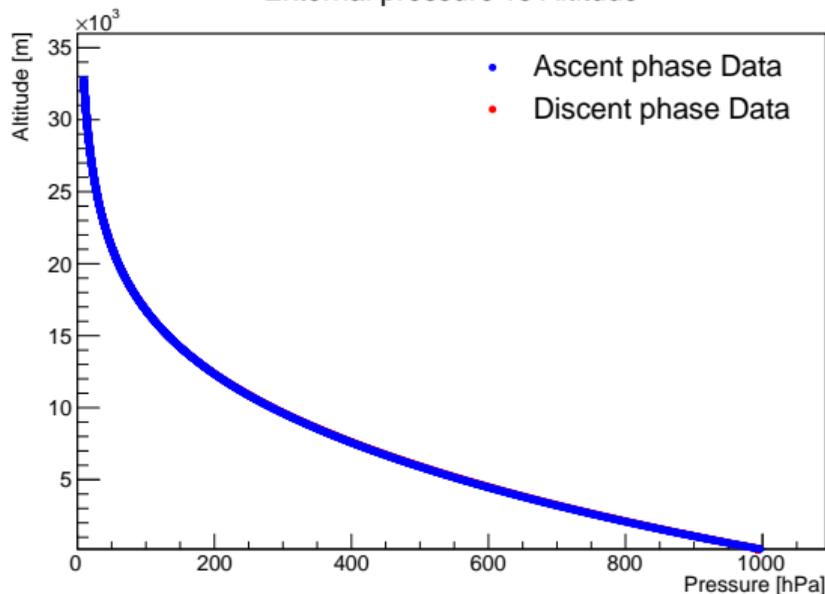
Il volo

Tempo totale di volo: ~ 2.20 h; Altitudine massima raggiunta: ~ 32.7 km

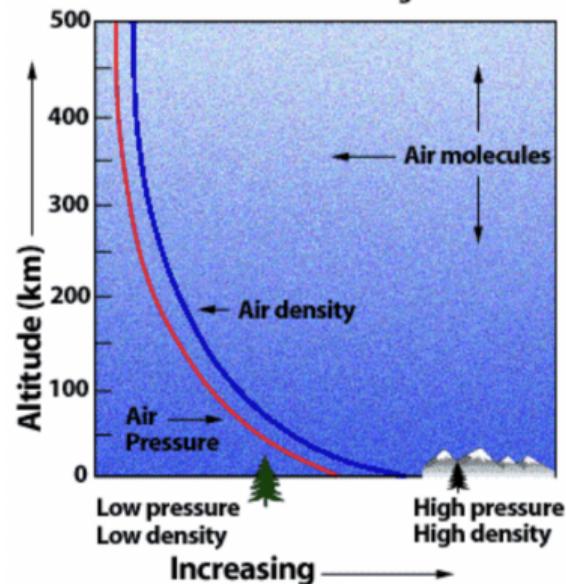


► Temperatura minima registrata di $\sim -17^{\circ}$ C a circa 11000m

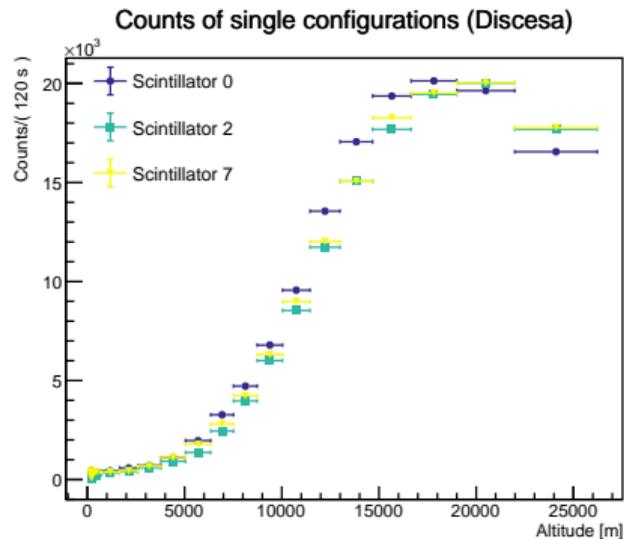
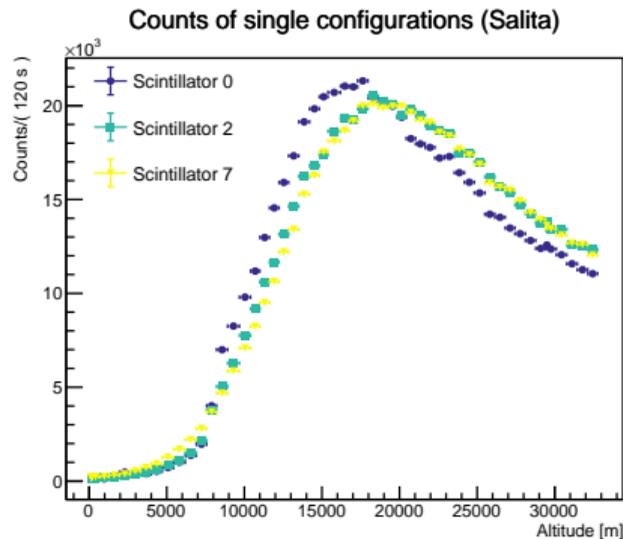
External pressure vs Altitude



Both air pressure and air density decrease with increasing altitude.

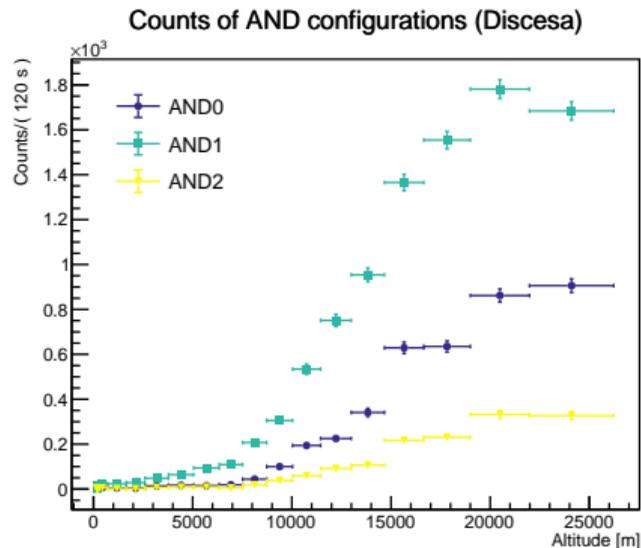
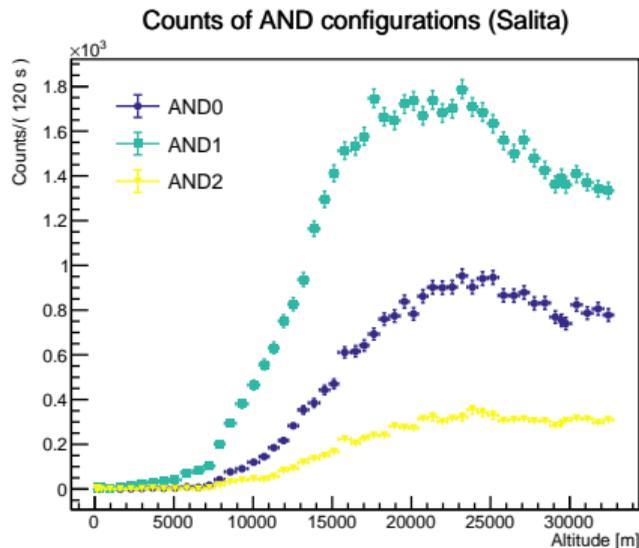


► Le due curve, descriventi la salita e la discesa, sono coincidenti! Sapete dirci il perchè?



- I conteggi da un solo scintillatore sono sensibili a rumori elettronici e altro: **fondi**. Come selezionare solo segnali puri (raggi cosmici e non altro) ? e come ottenere un'informazione sulla direzione?

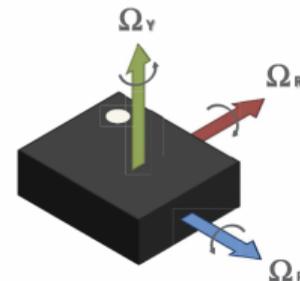
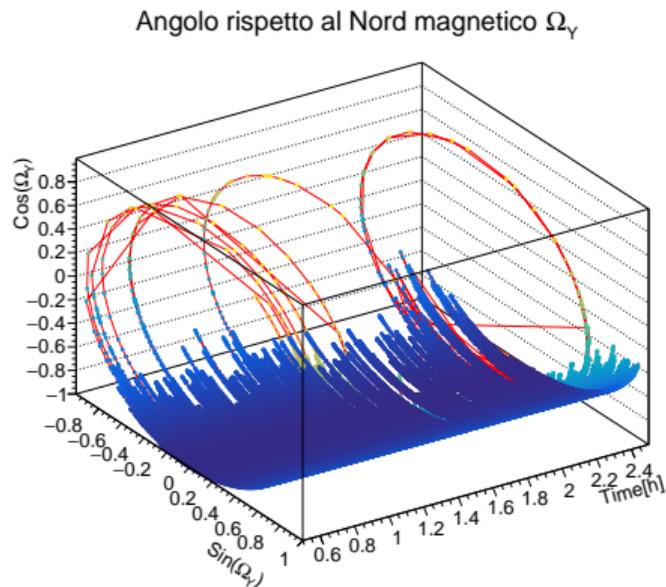




- ▶ AND0 = coincidenza tra matt. 0 e matt. 2
- ▶ AND1 = coincidenza tra matt. 0 e matt. 7
- ▶ AND2 = coincidenza tra matt. 0, 7 e 2

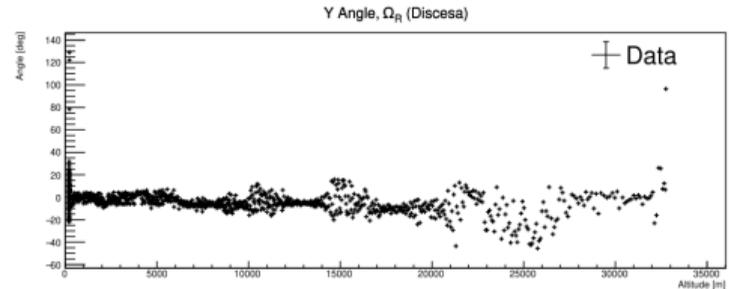
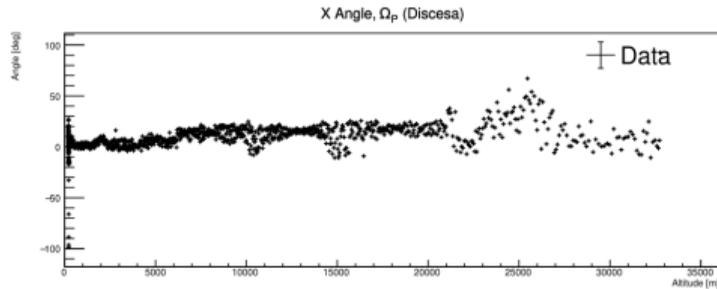
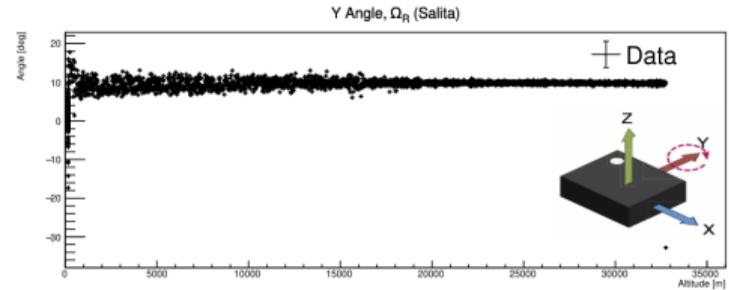
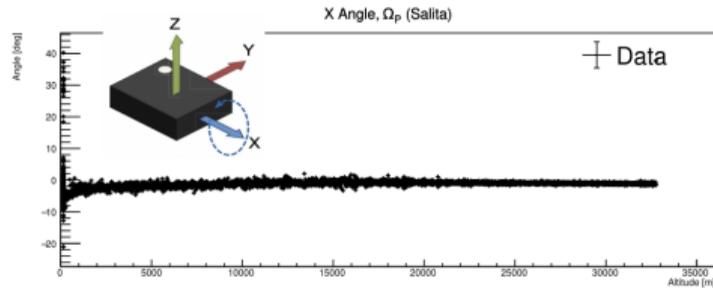


- Per misurare il flusso orizzontale e verticale è fondamentale conoscere l'inclinazione dei rivelatori durante il volo: con dati provenienti dall'accelerometro possiamo ricostruirla!

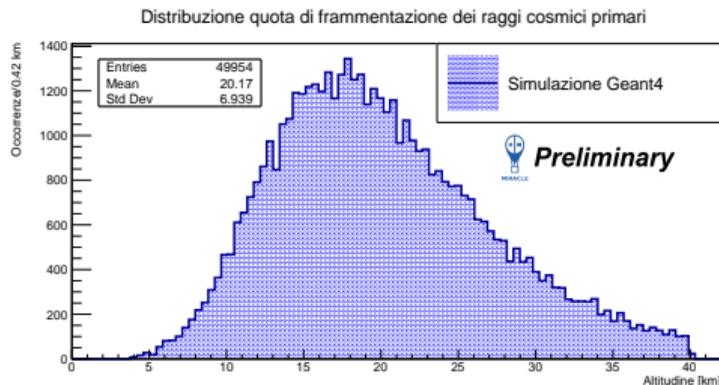
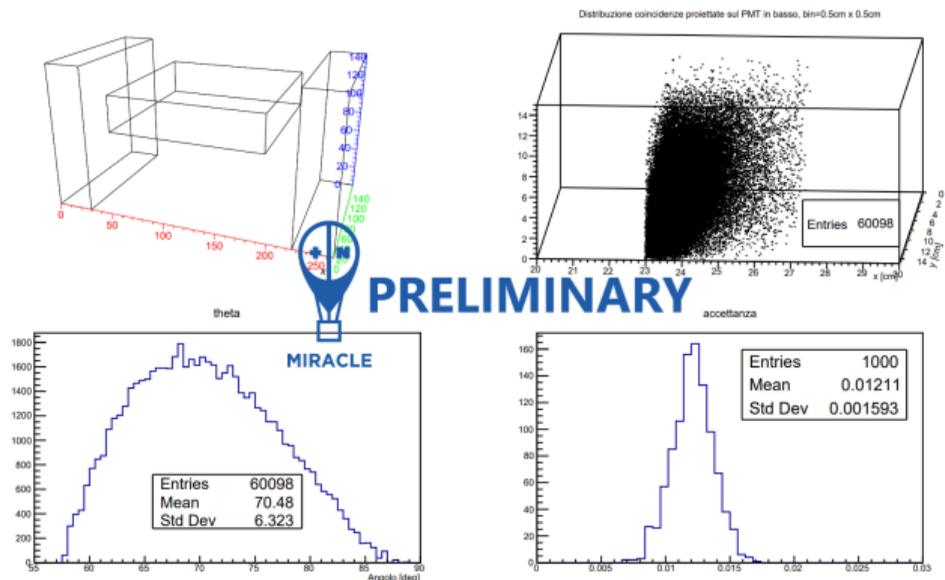


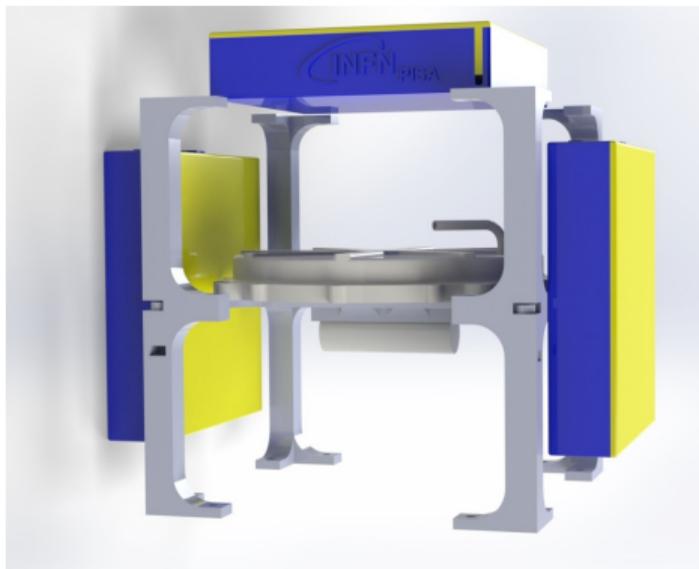
Direction of detectable angular rate (top view)

Studio sull'inclinazione del *payload*



- Una fase importante della progettazione e dell'analisi per ogni esperimento consiste nella simulazione: dalla fisica alla risposta del rivelatore:





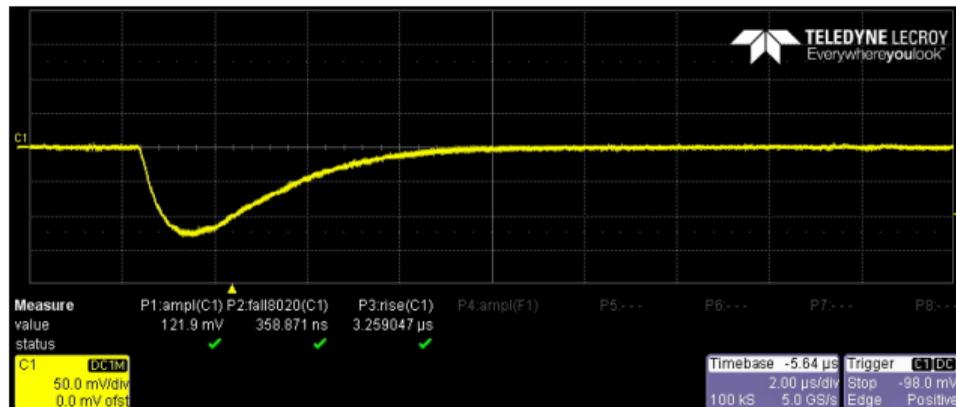
Il progetto iniziale era molto più ambizioso:

- ▶ Misure di flusso
- ▶ Misura della componente di neutroni termici in funzione dell'altitudine
- ▶ Caratterizzazione di un nuovo rivelatore sviluppato dall'INFN Pisa & CERN (una *MicroMeGas*)

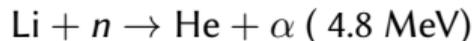
“La vita è una Valle di Lacrime... Ma mi piace tanto piangerci!”

Per millanta motivi il progetto si è ridimensionato.

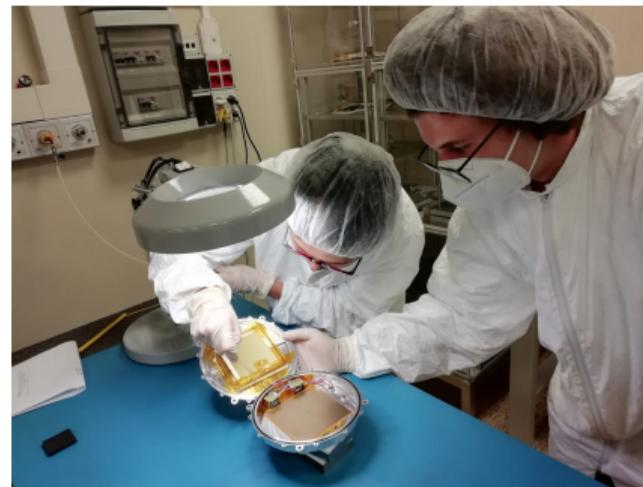
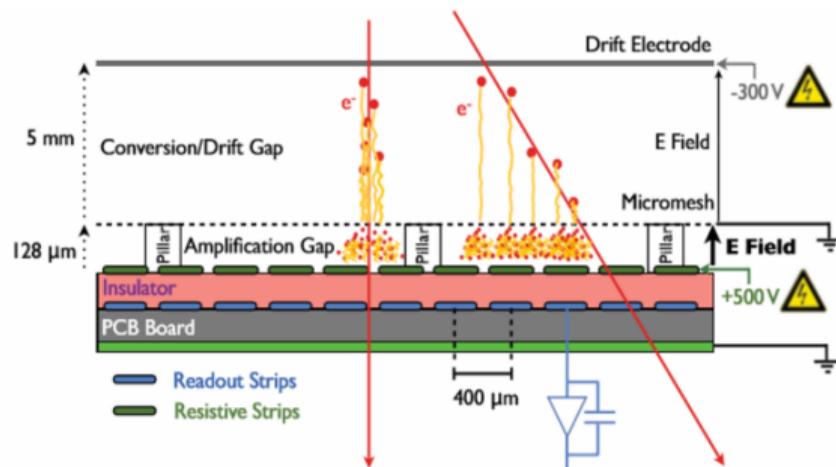
Dagli errori si impara: con lanci futuri (già previsti) recupereremo!



Il rivelatore è composto da un cristallo di $\text{LiI}(\text{Eu})$ (\varnothing 2.2 cm).



La particella α perde nel cristallo tutta la propria energia, che produce luce di scintillazione nel visibile. Il segnale luminoso è raccolto da un SiPM e letto dalla XLR8.



- ▶ Rivelatore a gas con ottima risoluzione spaziale ($\sim 100 \mu\text{m}$)
- ▶ Opera con $\Delta V \sim 500 \text{ V}$ per amplificare il segnale delle cariche ionizzate
- ▶ Una scheda apposita alimenta la MicroMeGas e ne legge il segnale
- ▶ Ideata dal Dott. Pilo per essere montata su satelliti \rightarrow Leggera! ($\sim 700 \text{ g}$)



L'esperimento **MIRACLE**

- ▶ Il volo è stato effettuato con successo \Rightarrow è in corso l'analisi dei dati raccolti
- ▶ Le misure di flusso non sono banali: i dati vanno corretti per fattori di accettazione geometrica, efficienza di rivelazione, inclinazione del payload durante il volo, ...
- ▶ Effettueremo ulteriori lanci con altri rivelatori e tecnologie all'avanguardia

L'esperimento **MIRACLE**

- ▶ Il volo è stato effettuato con successo \Rightarrow è in corso l'analisi dei dati raccolti
- ▶ Le misure di flusso non sono banali: i dati vanno corretti per fattori di accettazione geometrica, efficienza di rivelazione, inclinazione del payload durante il volo, . . .
- ▶ Effettueremo ulteriori lanci con altri rivelatori e tecnologie all'avanguardia

Venite a fare Fisica!

- ▶ Ambiente stimolante e divertente
- ▶ Possibilità di progettare esperimenti in piccola scala ma con grande potenziale scientifico

L'esperimento **MIRACLE**

- ▶ Il volo è stato effettuato con successo \Rightarrow è in corso l'analisi dei dati raccolti
- ▶ Le misure di flusso non sono banali: i dati vanno corretti per fattori di accettazione geometrica, efficienza di rivelazione, inclinazione del payload durante il volo, . . .
- ▶ Effettueremo ulteriori lanci con altri rivelatori e tecnologie all'avanguardia

Venite a fare Fisica!

- ▶ Ambiente stimolante e divertente
- ▶ Possibilità di progettare esperimenti in piccola scala ma con grande potenziale scientifico
- ▶ Ci sono i biscotti 🍪 😊



Grazie a tutti per l'attenzione!