

Studio dei Raggi Cosmici e delle Loro Componenti: Un'Analisi Approfondita tramite l'Osservatorio Pierre Auger

Del Giudice Raffaele¹, Esposito Francesco¹, Narcisi Francesco¹

¹4As Liceo Scientifico Linguistico Statale "V. Cuoco-T. Campanella"

ABSTRACT

I raggi cosmici sono particelle ad alta energia provenienti dallo spazio esterno che interagiscono con l'atmosfera terrestre, dando origine a sciame di particelle secondarie. Questo studio esamina le principali componenti degli sciame cosmici, la loro energia, il loro comportamento nell'atmosfera e il loro studio tramite l'osservatorio Pierre Auger, il più grande osservatorio al mondo dedicato a questo campo. Vengono discussi i vari tipi di raggi cosmici, le loro origini, le energie coinvolte e i fenomeni che si verificano durante l'interazione con l'atmosfera terrestre. La descrizione delle componenti degli sciame cosmici, incluse le frazioni elettromagnetiche, muoniche e adroniche, costituisce una parte fondamentale per comprendere la distribuzione dell'energia e le modalità di rivelazione.

INTRODUZIONE

I raggi cosmici sono particelle ad altissima energia che provengono dallo spazio esterno e che, quando interagiscono con l'atmosfera terrestre, creano una cascata di particelle secondarie chiamata sciame atmosferico esteso (EAS). Lo studio dei raggi cosmici è cruciale per comprendere fenomeni astrofisici estremi e per indagare le leggi fondamentali della fisica delle particelle. L'Osservatorio Pierre Auger, situato in Argentina, è il più grande osservatorio al mondo per lo studio dei raggi cosmici di altissima energie ed è dotato di una rete di stazioni di superficie e di stazioni di fluorescenza che consentono di monitorare e analizzare gli sciame atmosferici estesi per ricavare informazioni sul raggio cosmico primario che li ha generati.

L'Osservatorio Pierre Auger

L'Osservatorio Pierre Auger è un'infrastruttura unica in Pampa Amerilla in Argentina, composta da 1660 rivelatori Cherenkov ad acqua che costituiscono il rivelatore di superficie e 4 rivelatori di fluorescenza disposti lungo il perimetro del rivelatore di superficie. Ogni stazione dista 1,5km dall'altra e tutte sono distribuite su un'area di oltre 3000 km² (Fig.1).

Questo osservatorio ha l'obiettivo di studiare gli sciame atmosferici estesi, ovvero il gruppo di particelle prodotte dall'urto dei raggi cosmici primari con l'atmosfera terrestre. Le stazioni di rivelazione permettono di tracciare la distribuzione temporale e spaziale delle particelle, consentendo la ricostruzione dell'asse dello sciame, dell'energia rilasciata e di ricavare informazioni sulle particelle primarie.

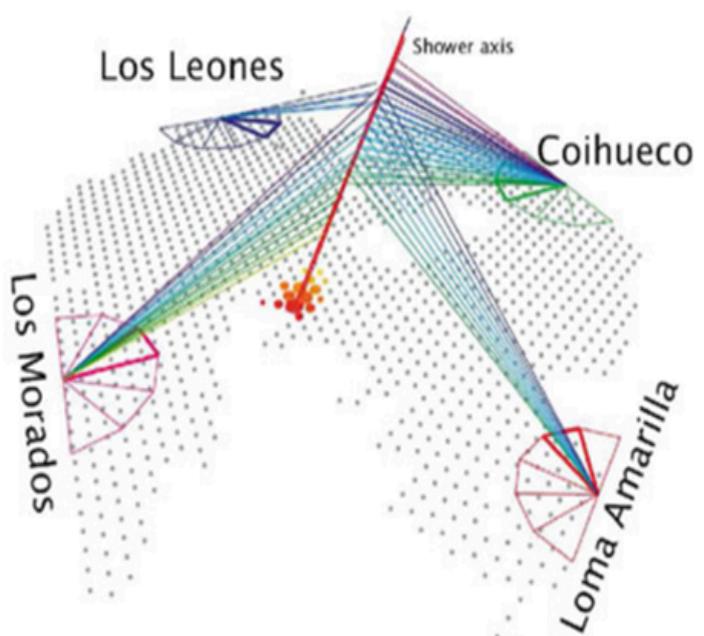
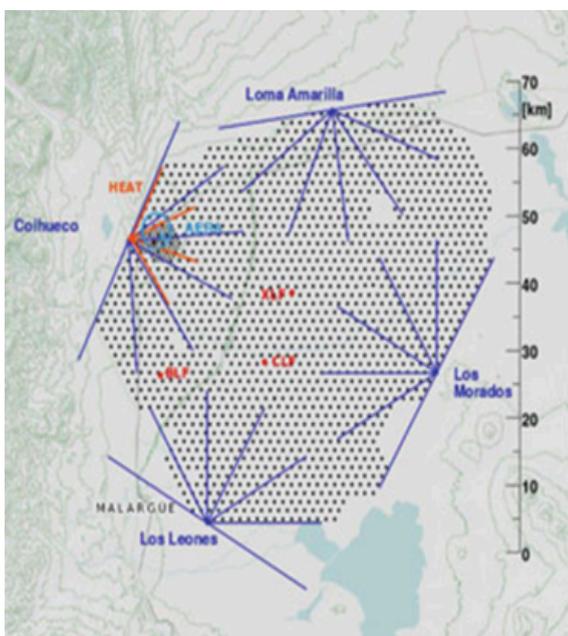


Fig.1 Mappa dell'Osservatorio Pierre Auger a sinistra e schematizzazione del segnale rilasciato da un EAS nei rivelatori dell'Osservatorio a destra.

Meccanismo di Formazione degli Sciame Atmosferici Estesi

Quando una particella primaria ad alta energia (un protone, un nucleo di elio o un altro nucleo atomico) entra nell'atmosfera terrestre, essa interagisce con le molecole di gas presenti nell'atmosfera, dando origine a una serie di reazioni a catena. Questo processo porta alla produzione di particelle secondarie, come elettroni, fotoni, muoni e adroni (*Fig.2*).

Le particelle secondarie si distribuiscono in un ampio sciame che si espande con l'aumento della distanza dal punto di prima interazione che viene poi studiato al suolo attraverso diversi tipi di rivelatori.



Fig.2: Sciame atmosferico esteso

Il **Core** di uno sciame è il punto geometrico che rappresenta il punto di intersezione tra l'asse dello sciame e il suolo, vicino al core abbiamo sempre un segnale maggiore.

Solo le stazioni colpite direttamente dallo sciame vengono attivate, e grazie alla misurazione dei tempi di arrivo delle particelle alle diverse stazioni, è possibile ricostruire l'orientamento dello sciame primario.

Composizione dei Raggi Cosmici

I raggi cosmici primari possono essere costituiti principalmente da protoni, nuclei di elio o altri nuclei atomici; il più pesante è il ferro perché è l'ultimo elemento sintetizzato nelle stelle. Le loro origini sono varie e comprendono fenomeni astrofisici estremi come supernove, buchi neri e quasar. I raggi cosmici si suddividono in base alla loro energia, che può variare in modo significativo.

- **Raggi Cosmici a Bassa Energia:** Con energie dell'ordine dei MeV (Mega-elettronvolt), corrispondenti a circa 10^9 eV. Questi raggi cosmici, che provengono tipicamente da supernove, sono generalmente costituiti da protoni e nuclei di elio, ma possono essere prodotti anche dal sole.
- **Raggi Cosmici di Media Energia:** Con energie comprese tra 10^{12} e 10^{17} eV, provenienti da altre galassie o dai resti di supernove.
- **Raggi Cosmici ad Alta Energia:** Con energie variabili tra 10^{17} e 10^{20} eV, questi raggi provengono principalmente da buchi neri al centro delle galassie.
- **Raggi Cosmici di Ultra Alta Energia:** Con energie comprese tra 10^{18} e 10^{23} eV. Questi raggi, estremamente rari, sono associati a buchi neri supermassivi e a eventi cataclismici galattici.
- **Raggi Cosmici di Energia Super Elevata:** Con energie superiori a 10^{23} eV, questi raggi sono ancora poco compresi e molto rari.

In generale, al crescere dell'energia dei raggi cosmici, la loro intensità diminuisce (*Fig.3*).

La misurazione dei raggi cosmici dipende però dalla loro energia, e questo determina se possono essere misurati direttamente (*con strumenti in prossimità dell'atmosfera o nello spazio*) oppure solo indirettamente (*attraverso gli sciami di particelle secondarie che producono quando colpiscono l'atmosfera terrestre*).

I raggi cosmici con un'energia fino a 10^{14} eV vengono misurati direttamente, tramite satelliti o palloni atmosferici. Questo è possibile perché a queste energie il flusso di particelle è ancora abbastanza alto da permettere la raccolta di un numero sufficiente di eventi.

I raggi cosmici con energia superiore a 10^{14} eV, invece vengono misurati indirettamente, cioè tramite l'osservazione degli sciami atmosferici estesi, per poi ricostruire il raggio cosmico primario.

È Indispensabile una misurazione indiretta, perché l'energia è troppo alta per poter fermare o misurare direttamente le particelle con piccoli rivelatori, inoltre il flusso diventa estremamente basso, (ci sono solo pochi eventi per km² per anno), quindi servono grandi superfici di rivelazione, per questo, tali sciami atmosferici estesi vengono rilevati da osservatori come quello di Pierre Auger.

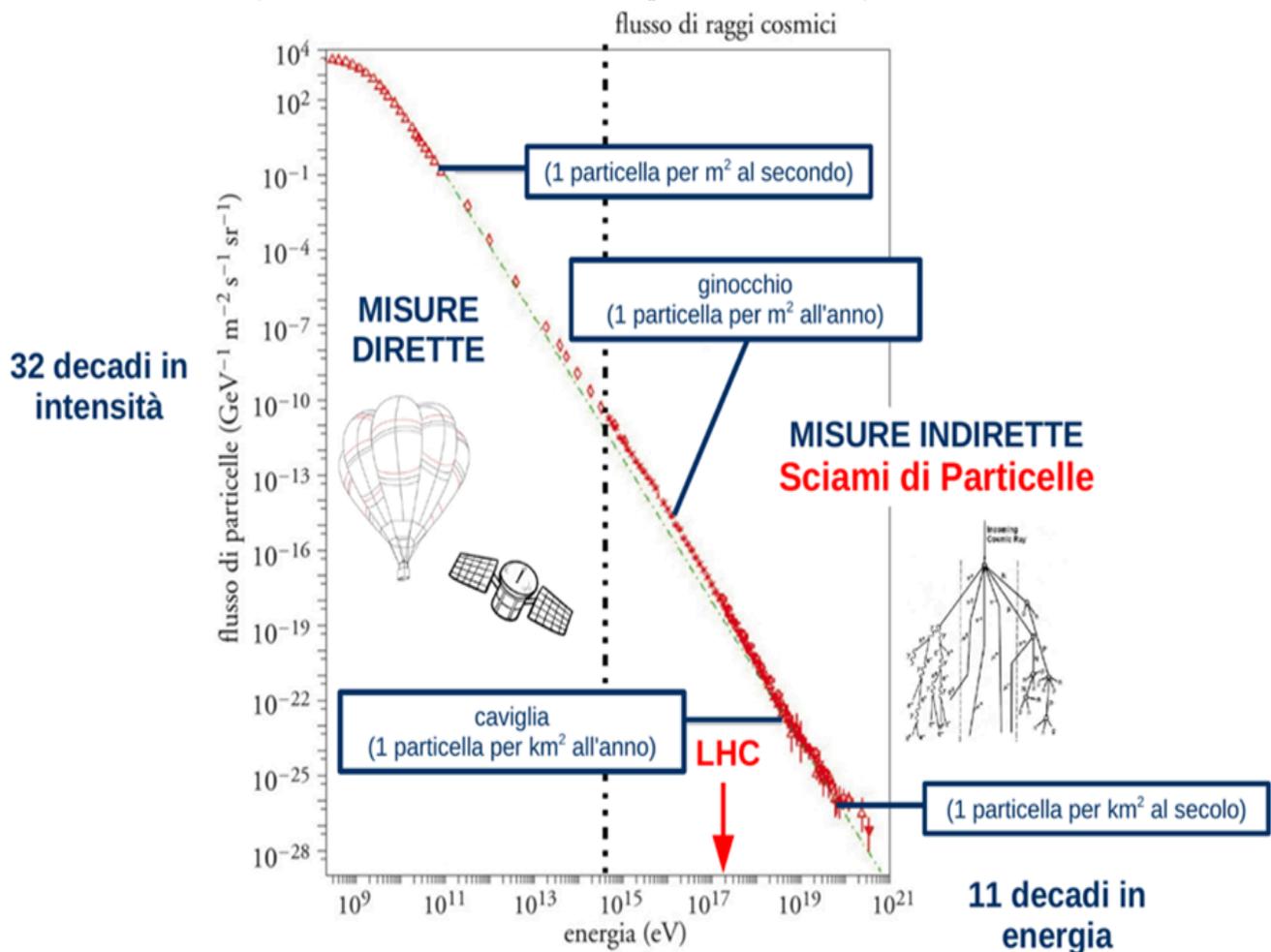


Fig.3 grafico dell'intensità del flusso di particelle cosmiche primarie in funzione della loro energia

Composizione degli Sciami Cosmici

Uno sciame cosmico è costituito da tre principali componenti:

- **Componente Elettromagnetica:** Rappresenta circa il 90% delle particelle di uno sciame. È formata principalmente da elettroni, positroni e fotoni. Questa componente interagisce fortemente con l'atmosfera, attenuando la sua intensità man mano che lo sciame si sviluppa.
- **Componente Muonica:** Rappresenta circa il 10% delle particelle di uno sciame. I muoni sono particelle più stabili e più capaci di penetrare l'atmosfera, e quindi possono essere rilevati anche a distanze più elevate dal Core dello sciame.

- **Componente Adronica:** È la componente minore dello sciame, composta principalmente da adroni. Questa componente è cruciale per la produzione di particelle secondarie come mesoni e muoni, che sono fondamentali per il processo di cascata e la distribuzione dell'energia all'interno dello sciame. Questa componente però si esaurisce nei primi strati atmosferici, quindi ad arrivare al suolo sono le altre due componenti.

In particolare abbiamo analizzato l'evento 040504450100 e siamo arrivati a delle conclusioni.

La componente elettromagnetica, arriva un po' più lentamente e in gruppi più ampi, perché le particelle subiscono molte interazioni, ed è dominante vicino al core (cioè nelle stazioni più vicine), come nel grafico della stazione ID 244 (433 m). *fig.4.*

La componente muonica, invece, è più rapida e penetrante, e genera picchi stretti e distinti nel tempo.

Questa componente è più abbondante lontano dal core, dove la componente elettromagnetica è assorbita.

Nei grafici di stazioni lontane, tipo ID 260 (1600 m) vediamo picchi netti e separati, senza una grande "coda",

indicativo di muoni.

fig.5.

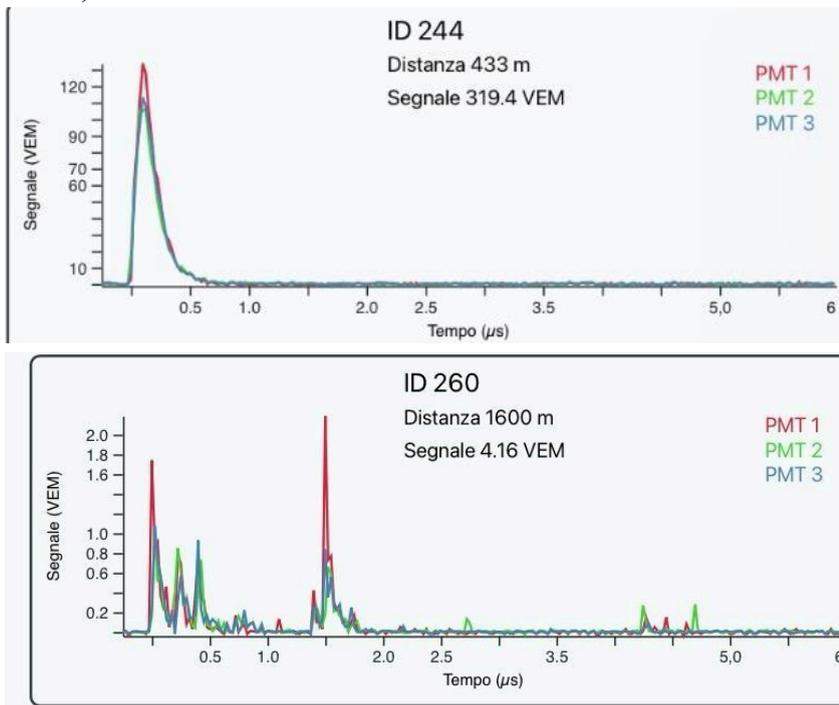


Fig.4:stazione 244; fig 5:stazione 260.

Conclusioni

Lo studio dei raggi cosmici e degli sciami atmosferici estesi è fondamentale per comprendere i fenomeni astrofisici ad alta energia e per l'indagine delle leggi fisiche che governano l'universo. L'osservatorio Pierre Auger gioca un ruolo cruciale in questo ambito, permettendo di raccogliere dati su una vasta gamma di energie e di studiare le proprietà delle particelle cosmiche. Le informazioni raccolte sono essenziali per migliorare la nostra comprensione dei processi fisici che si verificano in ambienti estremi come i buchi neri e le supernove, e per rispondere a domande fondamentali riguardanti l'origine e la natura dell'universo.

BIBLIOGRAFIA

- [https://web.infn.it/OCRA/cosa sono i raggi cosmici](https://web.infn.it/OCRA/cosa_sono_i_raggi_cosmici)