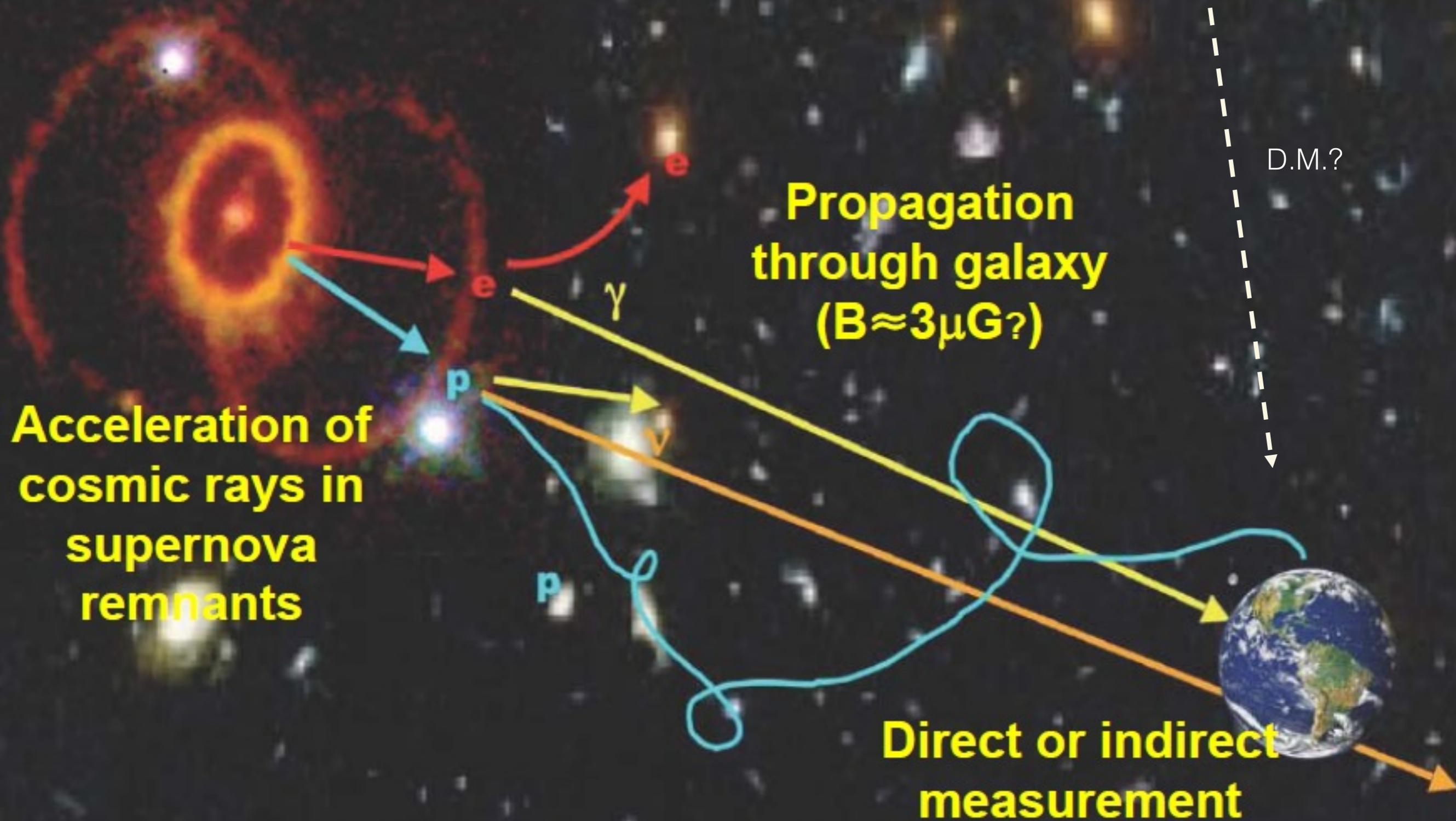




Verso l'astronomia con i raggi cosmici

**M. Bertaina – Università' & INFN Torino
19 Maggio 2021
INAF - OATo**

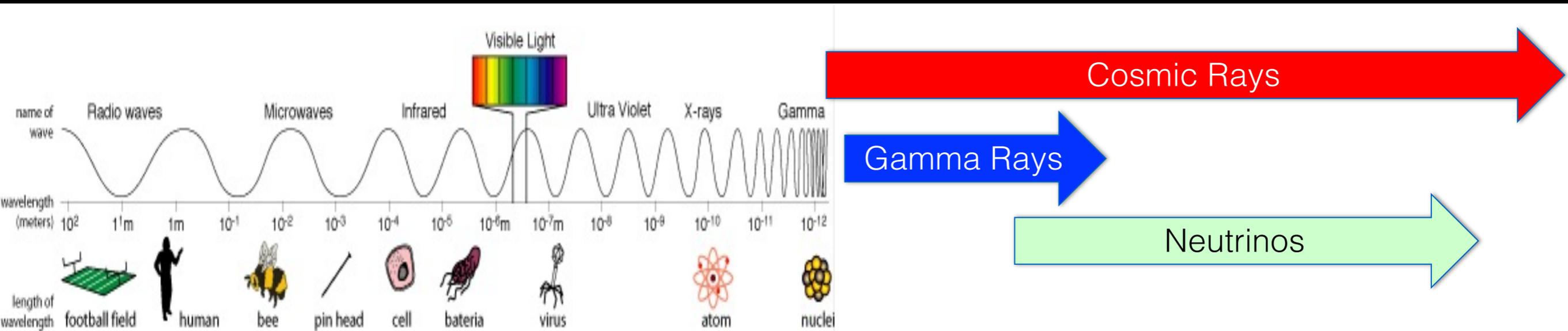
RADIAZIONE COSMICA



Cosmic Particles

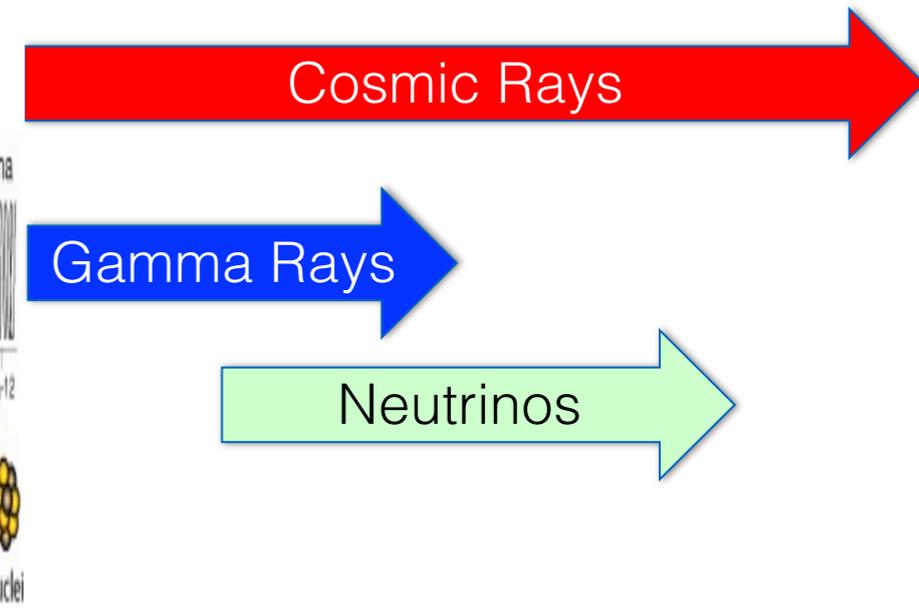
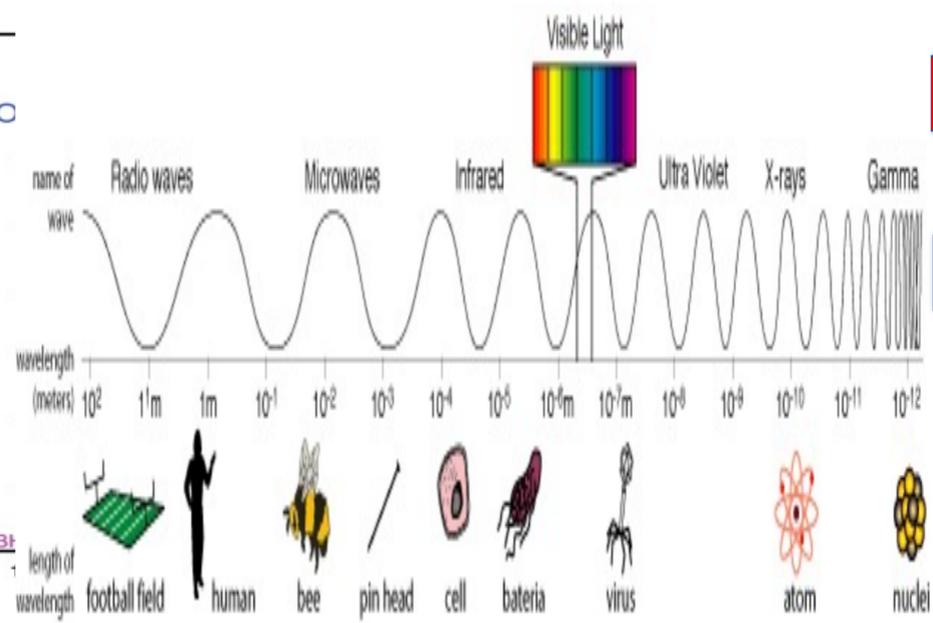
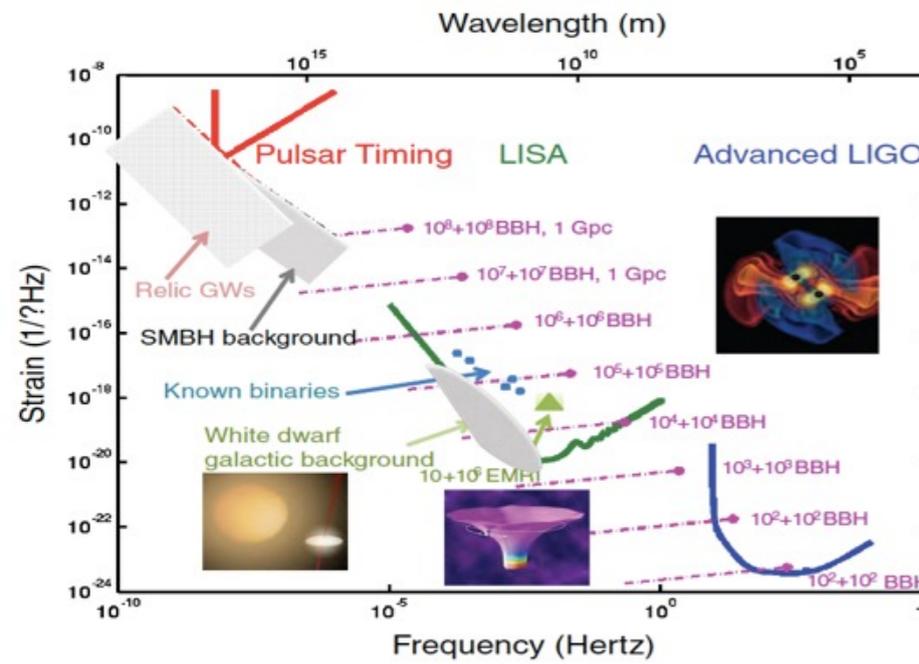
COSMIC RAYS = RELATIVISTIC ATOMIC NUCLEI: HYDROGEN (PROTONS), HE, HEAVIER ELEMENTS

~ DOUBLE THE ENERGY RANGE FOR ASTROPHYSICS



MULTI-MESSENGERS

~ TRIPLE THE ENERGY RANGE FOR ASTROPHYSICS : 40 ORDERS OF MAGNITUDE

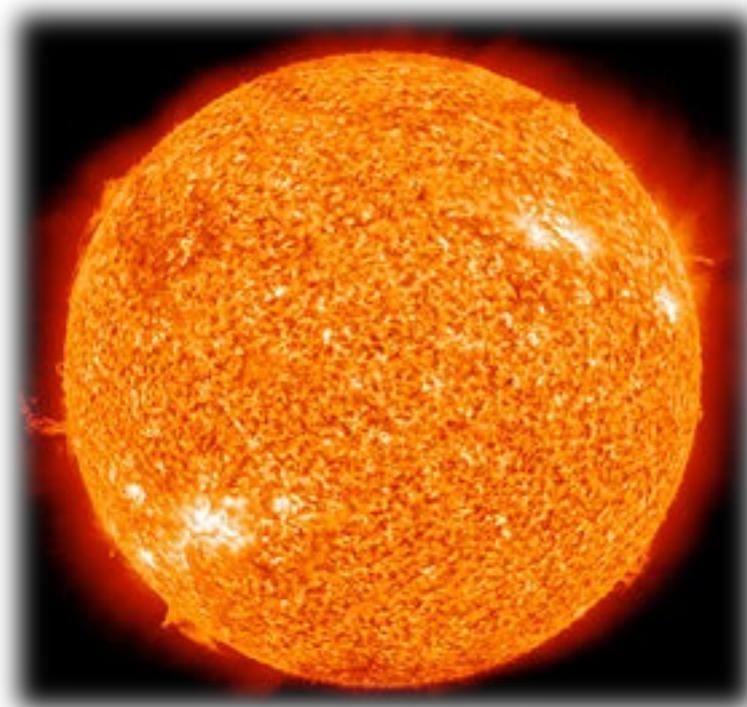


Che cosa sono i raggi cosmici?

Sono particelle cariche (protoni e nuclei, ecc.) e neutre (fotoni e neutrini) che provengono dallo spazio

SORGENTI

(dove le particelle sono generate e accelerate)



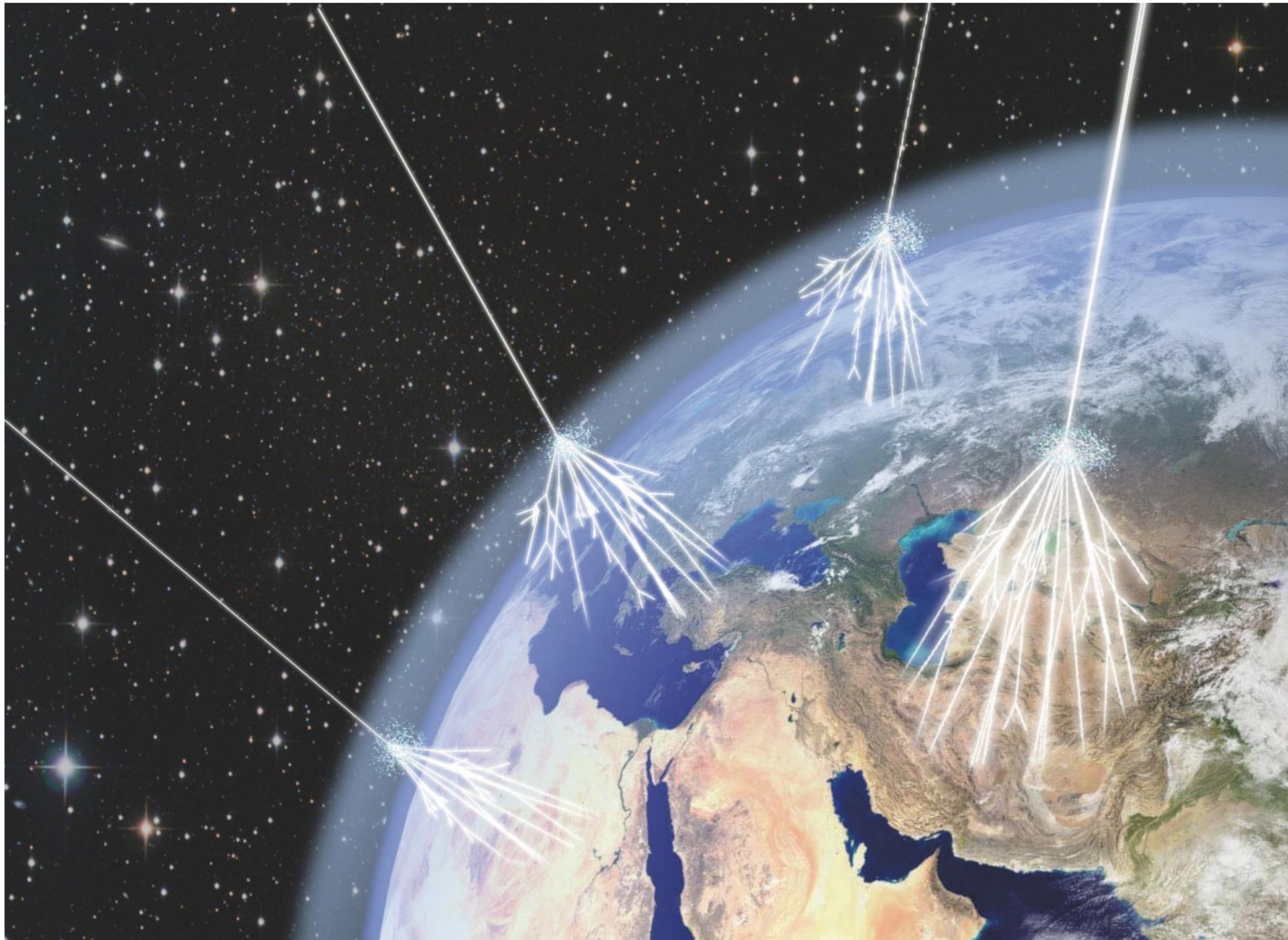
Sole

Resti di Supernova



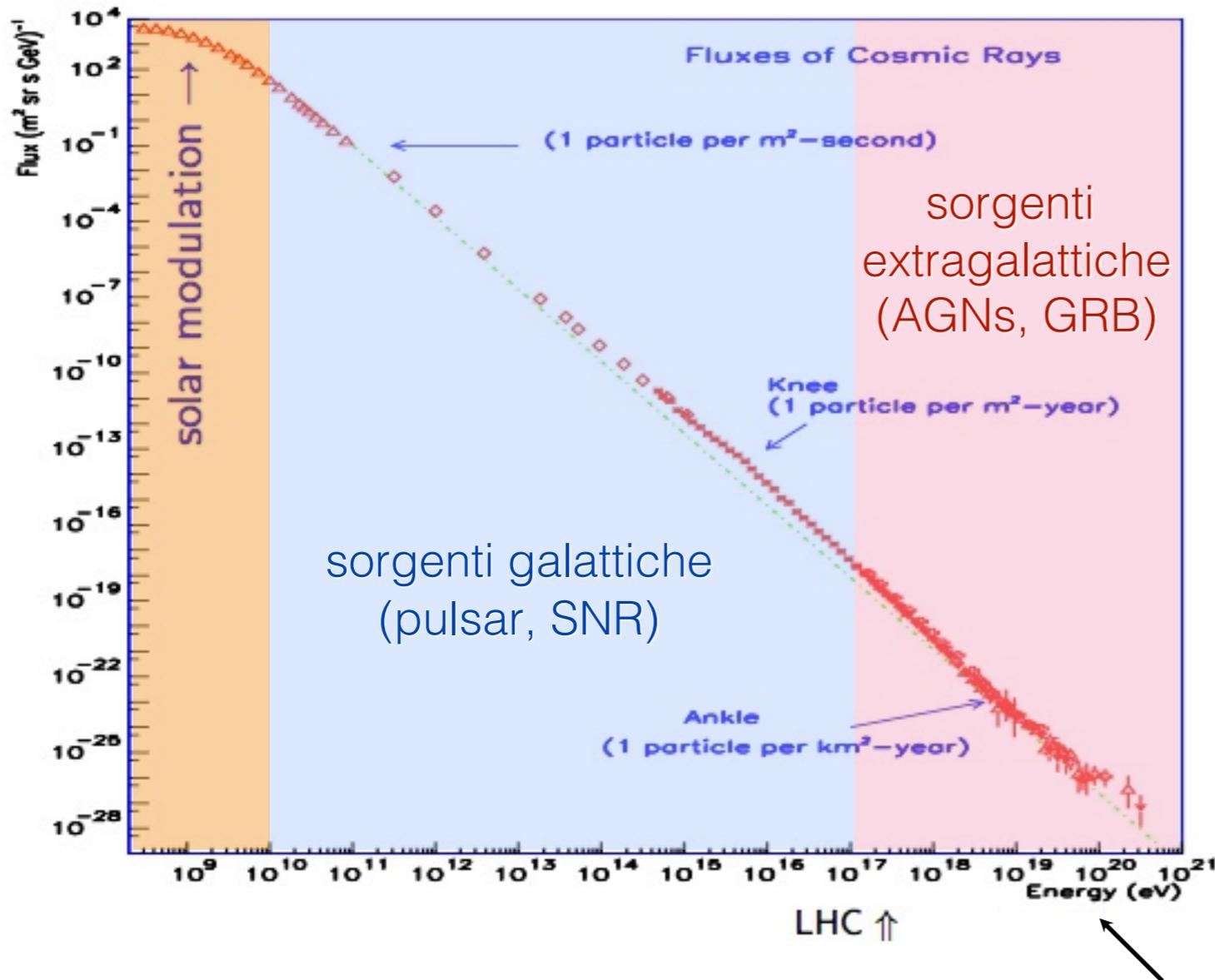
Galassie

i raggi cosmici arrivano sulla terra da tutte le direzioni, costantemente, viaggiando a velocità prossime a quella della luce



La nostra atmosfera ci fa da “scudo”, e queste particelle non arrivano direttamente a terra, ma producono altre particelle in atmosfera

cosa sappiamo a 100 anni dalla loro scoperta?



- **Il numero di raggi cosmici che arriva sulla terra decresce esponenzialmente con l'energia**
- **i raggi cosmici di più alta energia provengono da sorgenti esterne alla nostra galassia**

$E = 10^{20}$ eV corrisponde all'energia cinetica di una pallina da tennis lanciata a 100 km/h

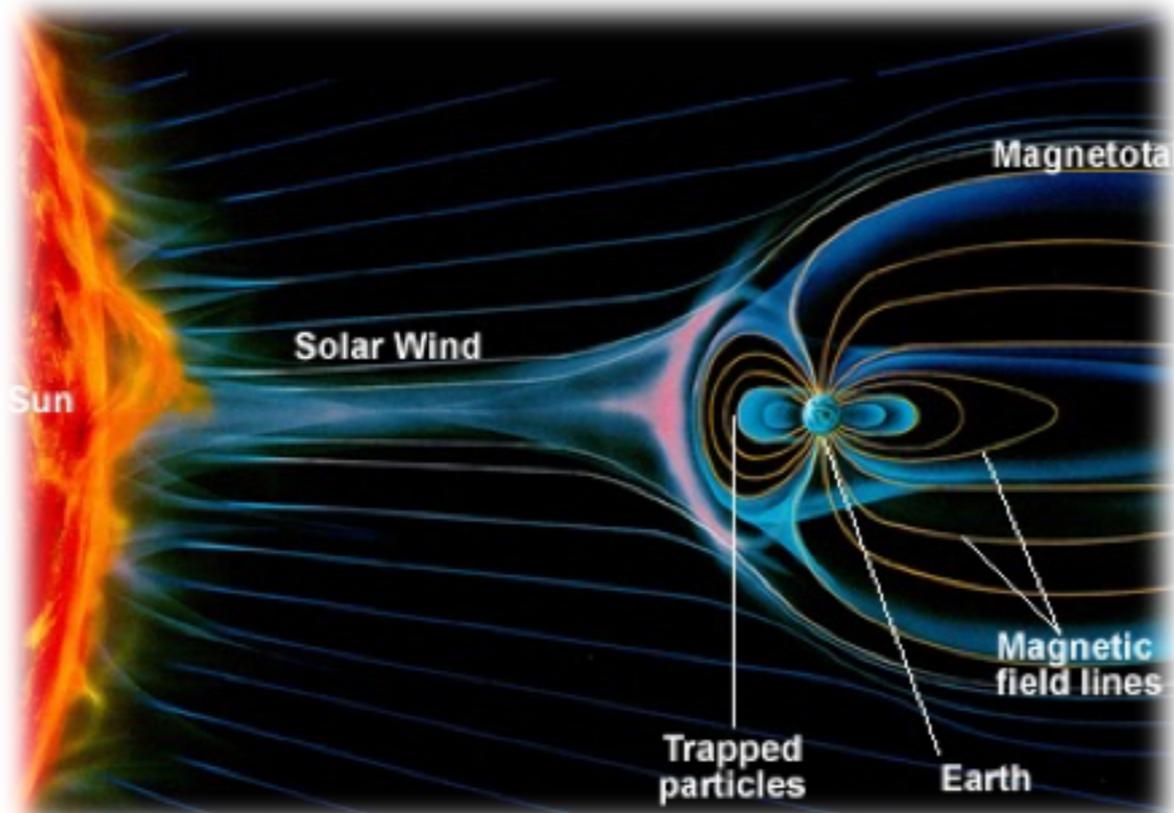
molto difficile studiarne le proprietà alle alte energie, poiché il loro flusso è molto basso (< 1 particella per km² per anno)

I raggi cosmici solari

Sono i raggi cosmici di più bassa energia provenienti dal sole
(principalmente protoni ed elettroni)

Hanno energie fino a 10^{10} eV e sono emessi dal sole soprattutto durante i brillamenti solari e le espulsioni di masse coronali

flusso = 10^4 particelle $m^{-2} s^{-1}$



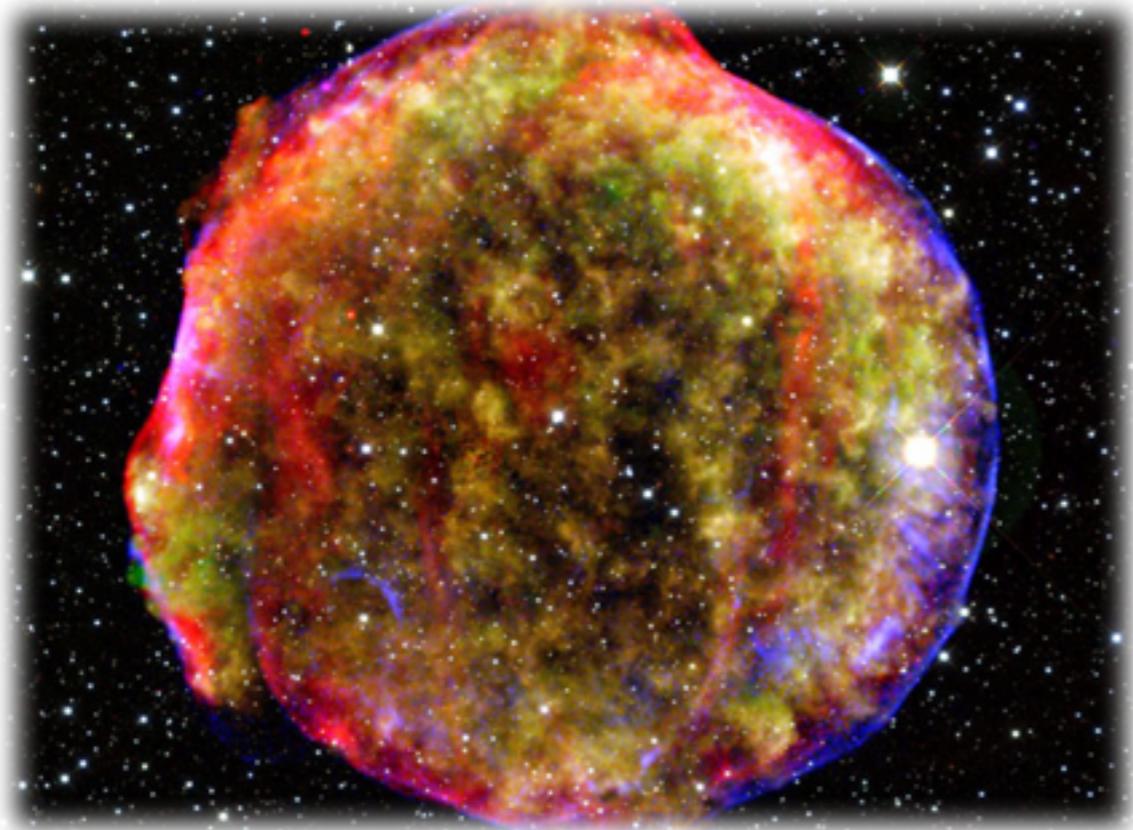
I raggi cosmici galattici

sono i raggi cosmici di energia intermedia,
accelerati da resti di Supernova e stelle di neutroni (pulsar)
(principalmente protoni e nuclei leggeri)

Hanno energie fino a 10^{18} eV e sono accelerati da onde d'urto
che hanno luogo durante le esplosioni stellari

flusso che va da **1 particella $m^{-2} s^{-1}$** a **100 particelle $km^{-2} anno^{-1}$**

Il resto di Supernova Tycho



La Nebulosa del Granchio
al cui centro è visibile la Pulsar



I raggi cosmici extra-galattici

sono i raggi cosmici di ultra alta energia accelerati dai nuclei di galassie attive o dai lampi gamma

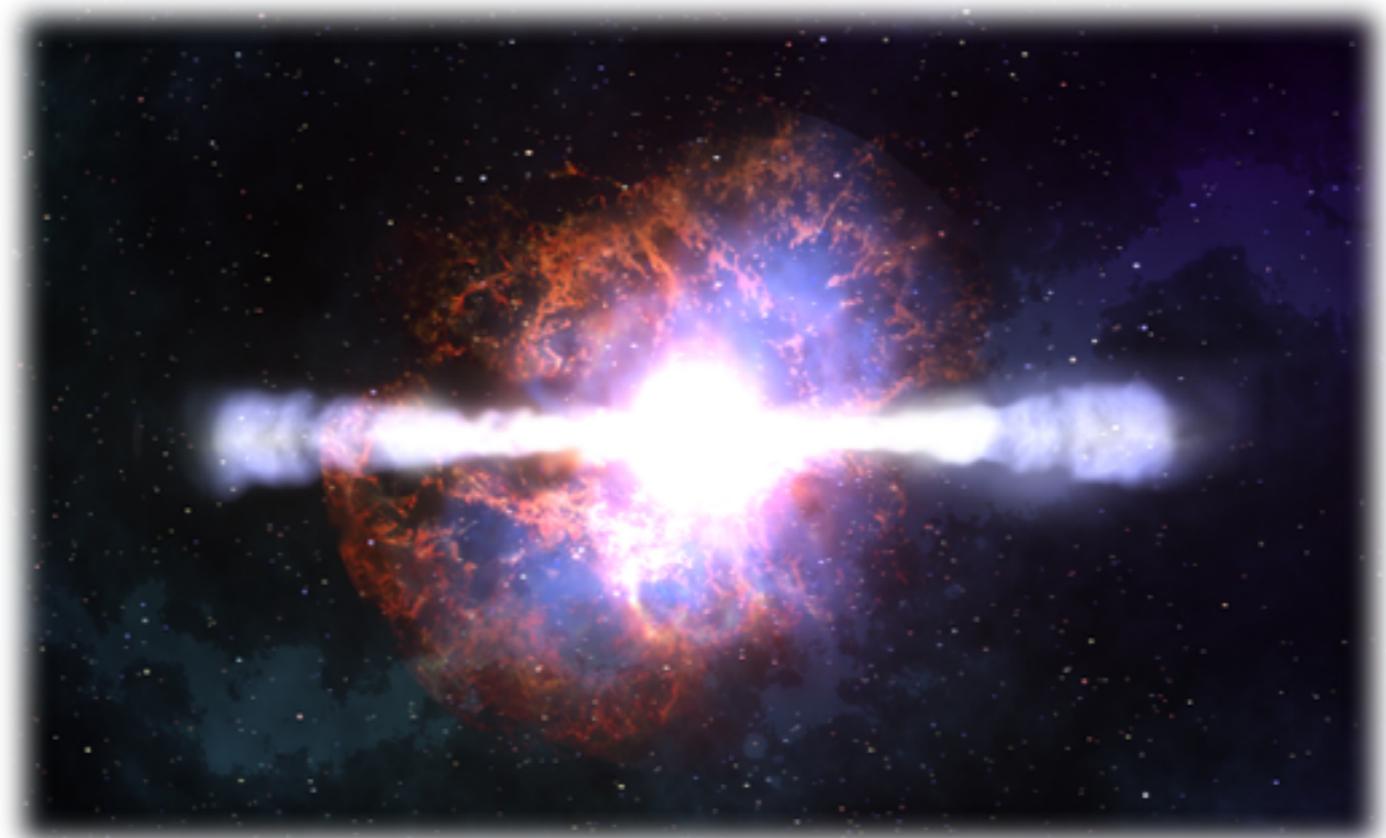
Hanno energie fino a 3×10^{20} eV
(6-7 ordini di grandezze maggiore delle energie delle particelle accelerate al CERN!)
e provengono dai luoghi più estremi dell'universo!

flusso che va da 100 particelle $\text{km}^{-2} \text{yr}^{-1}$ a 1 particella $\text{km}^{-2} \text{secolo}^{-1}$

Galassia Attiva (AGN)

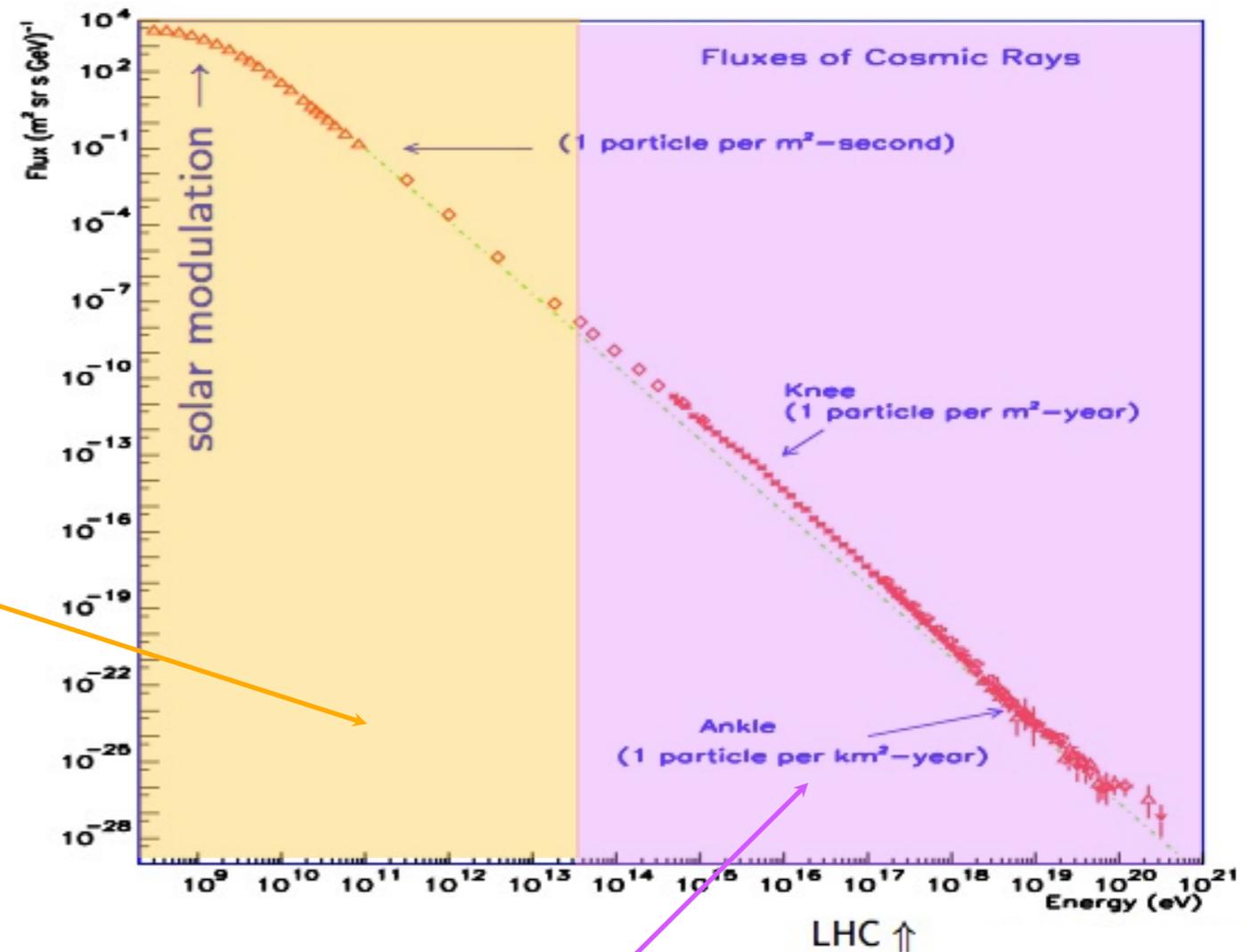


Lampi Gamma (GRB)



Come si studiano i raggi cosmici?

**A bassa energia, misura diretta:
palloni aerostatici, satelliti nello
spazio o rivelatori sulla ISS
(Area $\sim 1 \text{ m}^2$)**



**Alle alte energie, misura indiretta:
studio delle cascate di particelle in atmosfera**

→ Esperimenti molto estesi sulla superficie terrestre (Area $> 1 \text{ km}^2$)

misura diretta dei raggi cosmici: esperimenti

i raggi cosmici entrano nello strumento e generano un segnale che viene poi elaborato

CREAM [ATIC, BESS-Polar]



Esperimenti a cui partecipano ricercatori da tutto il mondo! Collaborazioni di 500 persone o più!

AMS, AMS-02



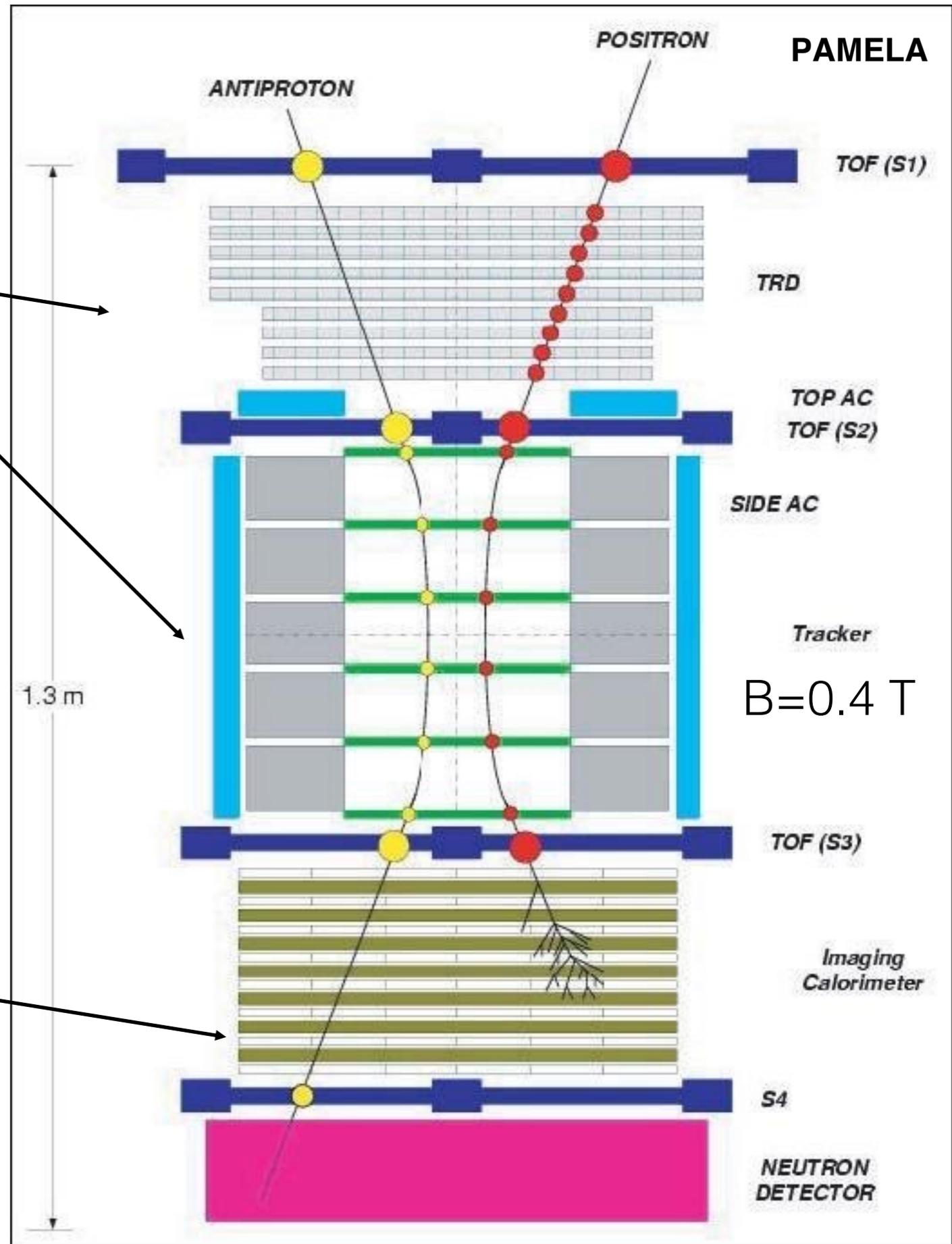
PAMELA

e molti altri in sviluppo nei prossimi anni

misura diretta dei raggi cosmici: metodi sperimentali

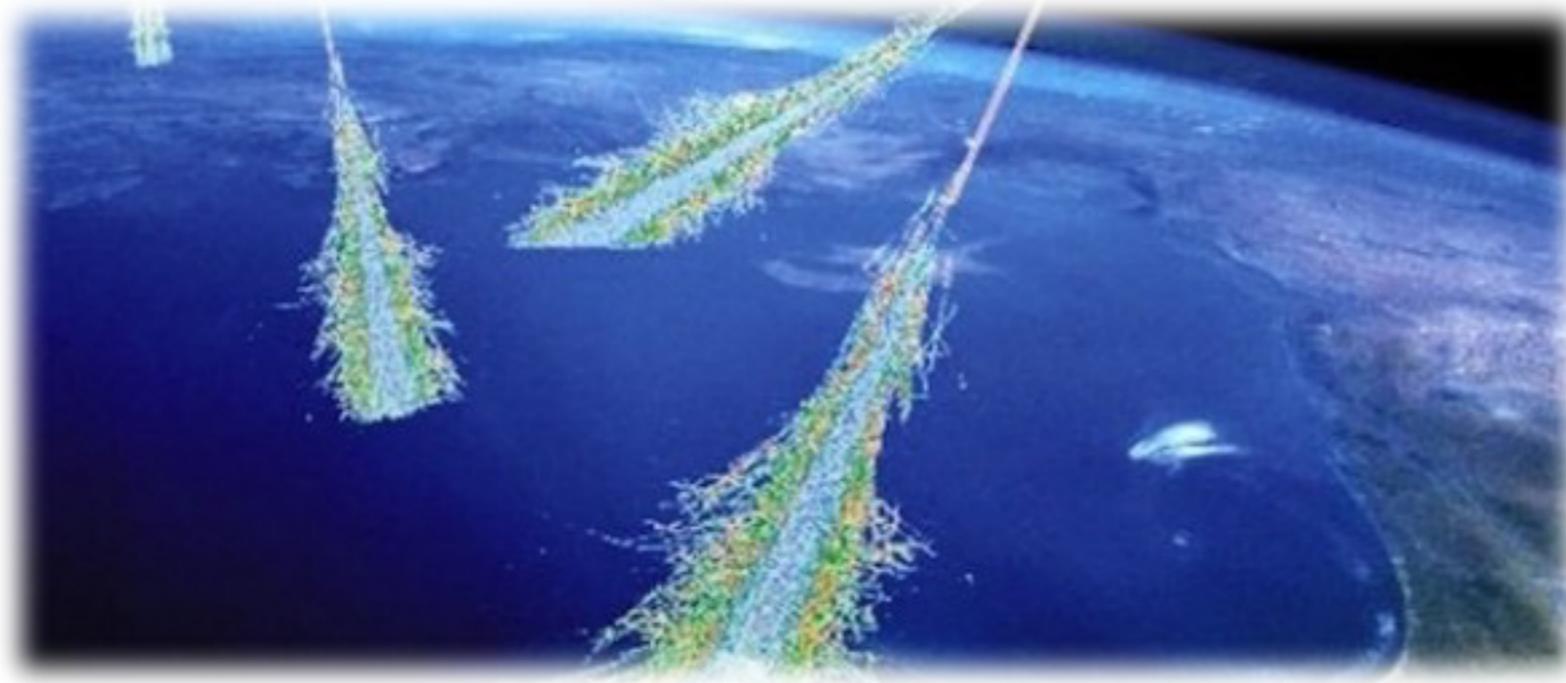
identificazione
della particella

misura dell'energia



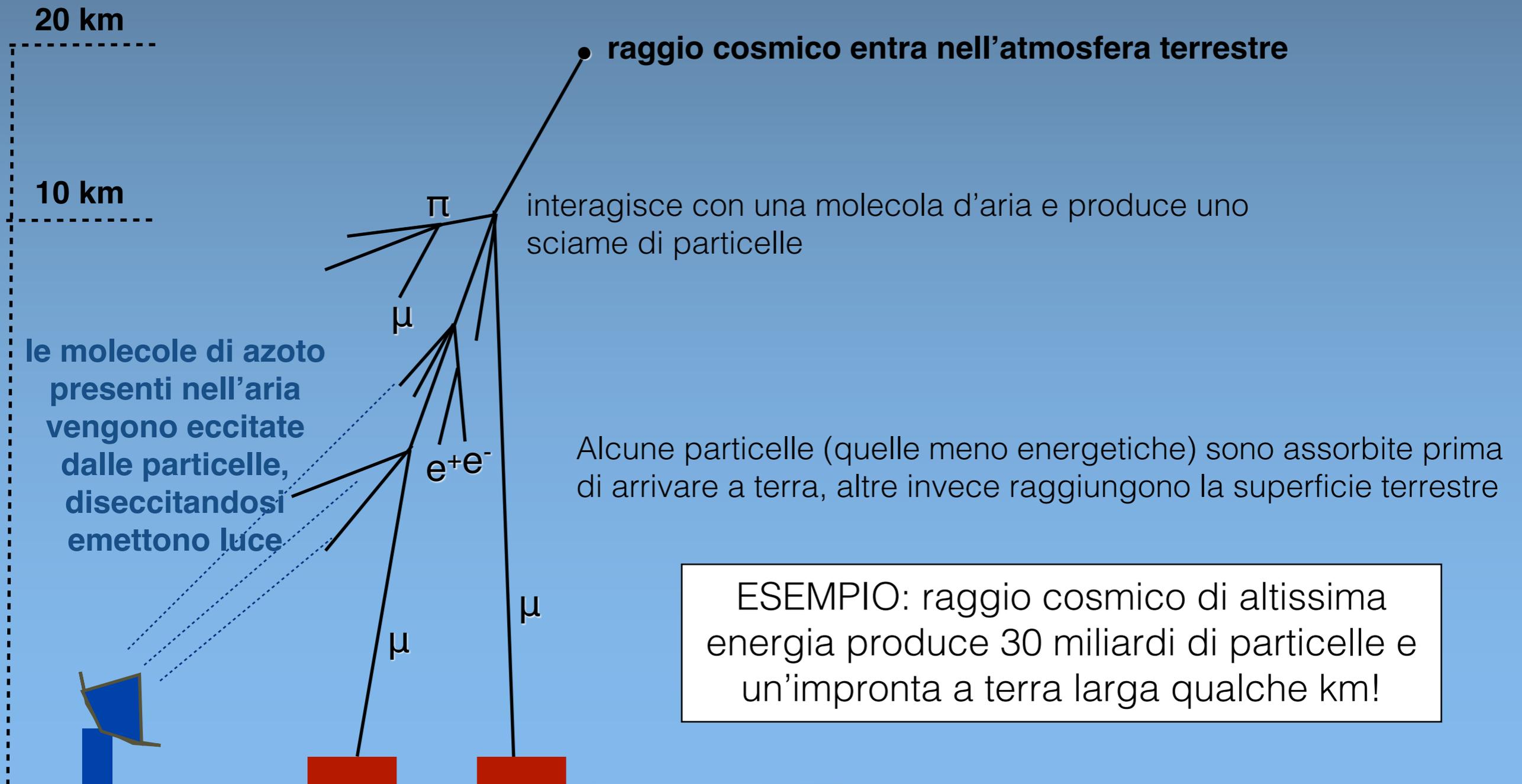
I raggi cosmici di alta energia hanno un flusso troppo basso per essere misurati in modo diretto

flusso < 100 particelle $\text{km}^{-2} \text{yr}^{-1}$



—> studio delle cascate di particelle in atmosfera con esperimenti molto estesi sulla superficie terrestre

Misura indiretta: studio delle cascate di particelle in atmosfera



Misura del numero di particelle a terra

Misura della luce di fluorescenza o luce Cherenkov emessa dalle particelle

}

massa ed energia
del raggio cosmico

Esperimenti che studiano i raggi cosmici di alta energia



KASCADE-Grande
(Germania)
0.5 km²



Yakutsk Array (Siberia, Russia)
10 km²



Auger (Argentina), 3000 km²

Ice-Top+IceCube
(Antartica)
1 km²

