

Esperimenti ed infrastrutture per lo studio dei raggi cosmici

Marco Guarise Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università di Ferrara e INFN Ferrara

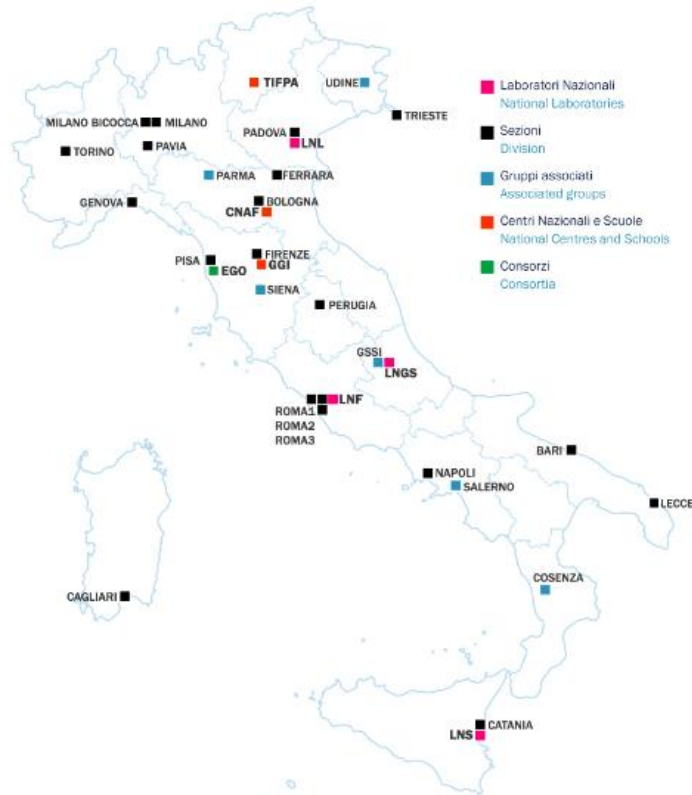
Overview



Cosmic Shower

- L'INFN e le sue infrastrutture
- Come si rivelano i raggi cosmici
- Dove studiamo i raggi cosmici
- I grandi esperimenti per lo studio dei raggi cosmici

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



L'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) è l'istituto di ricerca italiano che promuove, coordina ed effettua la ricerca scientifica nel campo della fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare e delle interazioni fondamentali, nonché lo sviluppo tecnologico necessario alle attività in tali settori.

L'INFN partecipa in molte attività di collaborazione internazionale e in stretta collaborazione con il mondo universitario;

Circa 5000 scienziati collaborano con l'INFN nei vari laboratori europei e in numerosi centri di ricerca mondiali;

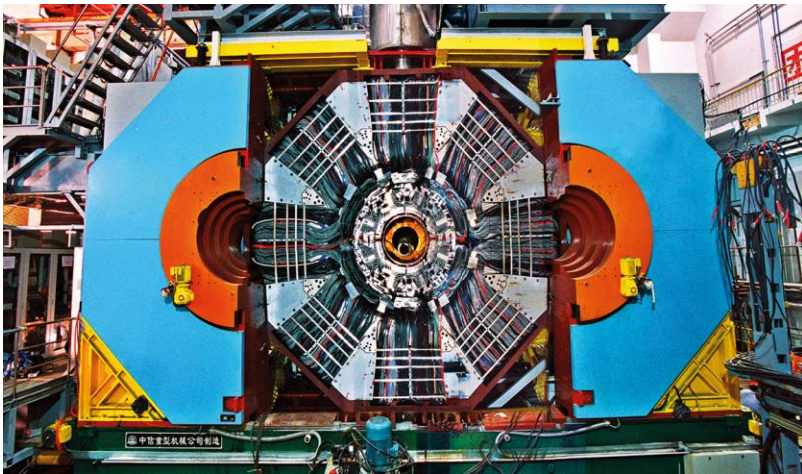
L'INFN si occupa anche di divulgare e far conoscere al pubblico ciò di cui si occupa.

Dal 1951 l'INFN è organizzato sul territorio italiano in 20 sezioni, 6 gruppi collegati, 4 laboratori e 3 centri Nazionali. Ferrara è una sezione INFN dal 1989.

N.B. L'INFN non si occupa solo di fisica particellare! (adroterapia, supercalcolo, applicazioni tecnologiche, beni culturali, ambiente)

La sezione di Ferrara

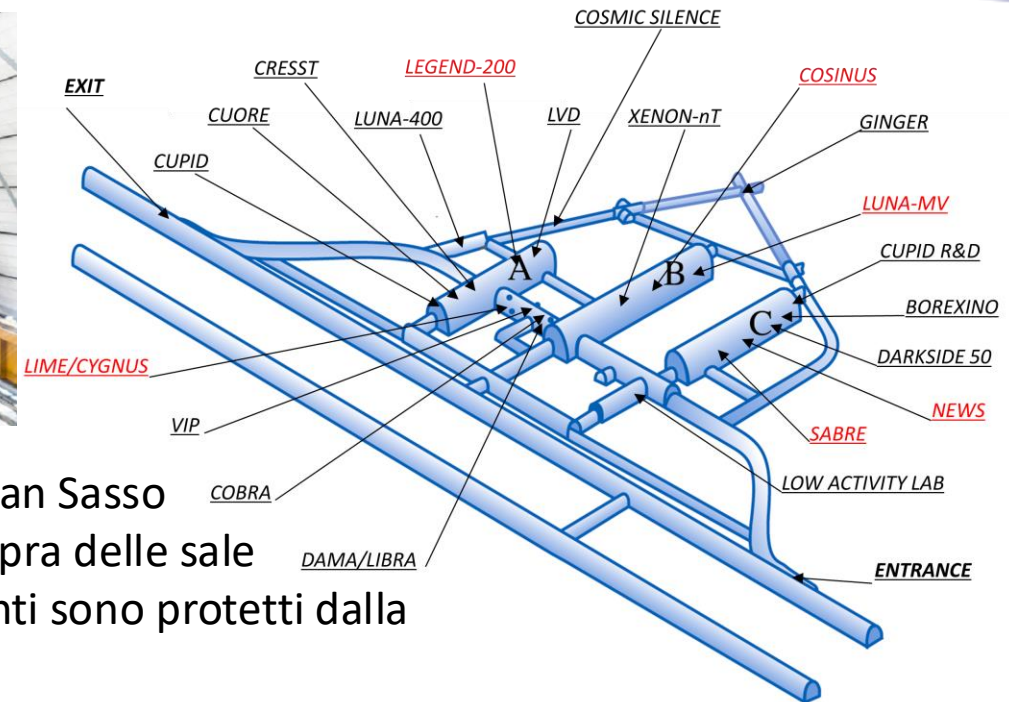
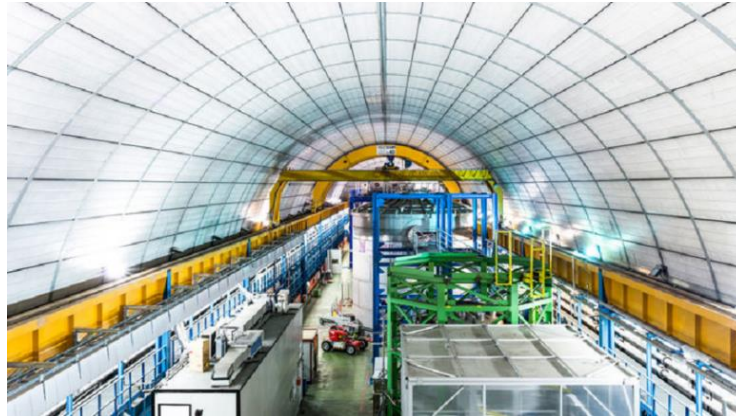
Anche a Ferrara (dal 1989!) è presente una sezione dell'INFN che lavora in stretta sinergia con il dipartimento di Fisica e Scienze della Terra di UniFe.



A Ferrara sono presenti gruppi di ricerca che svolgono attività in ambito subnucleare, astroparticellare e del neutrino, nucleare, teorica e ricerca tecnologica. Ciascun gruppo partecipa a collaborazioni nazionali e internazionali che lavorano su esperimenti basati sui più grandi laboratori al mondo (CERN, IHEP, FERMILAB, SLAC, JLAB,...)

Laboratori Nazionali del Gran Sasso

LNGS è il più grande laboratorio sotterraneo al mondo, composto da due strutture: un laboratorio di superficie e uno sotterraneo (sale sperimentali).



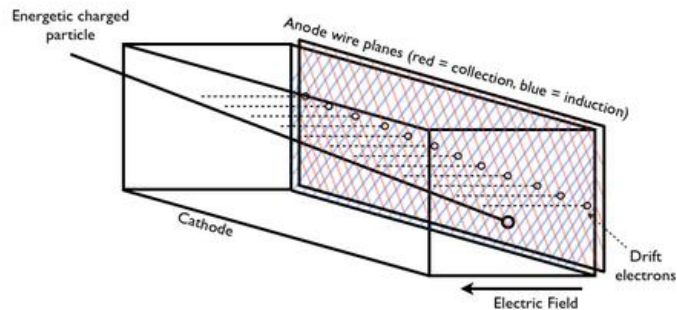
Le sale sperimentali dei LNGS sono situate all'interno del massiccio del Gran Sasso D'Italia a circa 1400 m sotto il livello della cresta più alta. La roccia al di sopra delle sale sperimentali garantisce le condizioni di "silenzio cosmico" cioè, gli ambienti sono protetti dalla penetrazione dei raggi cosmici. Queste condizioni sono ideali per lo studio della materia oscura, dei neutrini e di fenomeni rari.

Come osserviamo i raggi cosmici?

Conoscendo i processi che riguardano le interazione tra radiazione e materia possiamo studiare le particelle che compongono i raggi cosmici.

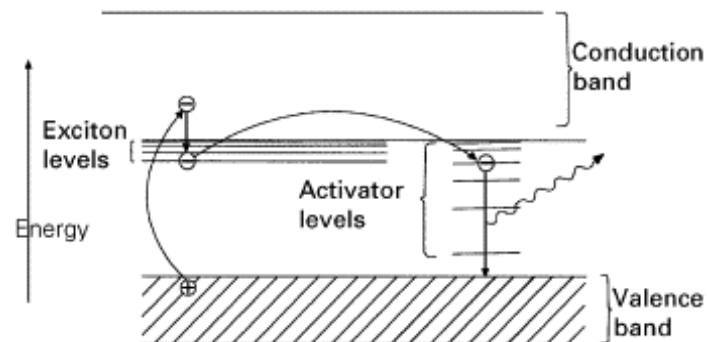
Ionizzazione

Gli atomi della materia che ha interagito coi raggi cosmici possono venire ionizzati. Vengono quindi prodotte delle cariche (elettrone-lacuna) che, se usiamo dei campi elettrici in modo opportuno, possiamo "indirizzare" e misurare con degli strumenti per misurare correnti.



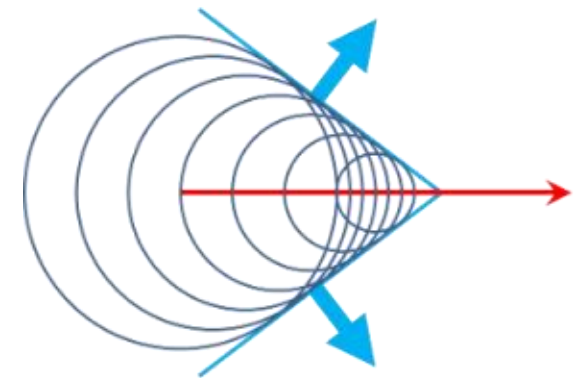
Scintillazione

Gli atomi della materia che ha interagito coi raggi cosmici possono eccitarsi. In alcuni materiali, la diseccitazione può avvenire tramite l'emissione di radiazione luminosa che può essere così misurata con degli strumenti per misurare la luce ("macchine fotografiche ultra sensibili").



Effetto Cherenkov

Gli atomi della materiale vengono polarizzati e, se la velocità della particella nel mezzo è maggiore alla velocità che la luce avrebbe nel mezzo, la radiazione viene emessa formando un cono ($\alpha=1/n\beta$)



Dove si studiano i raggi cosmici?

Dipende da cosa vogliamo studiare: primari, secondari? Alta energia? Bassa Energia?...

Nello spazio

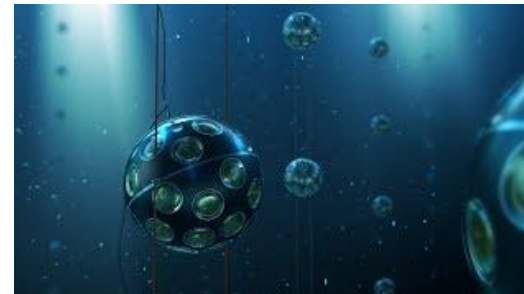
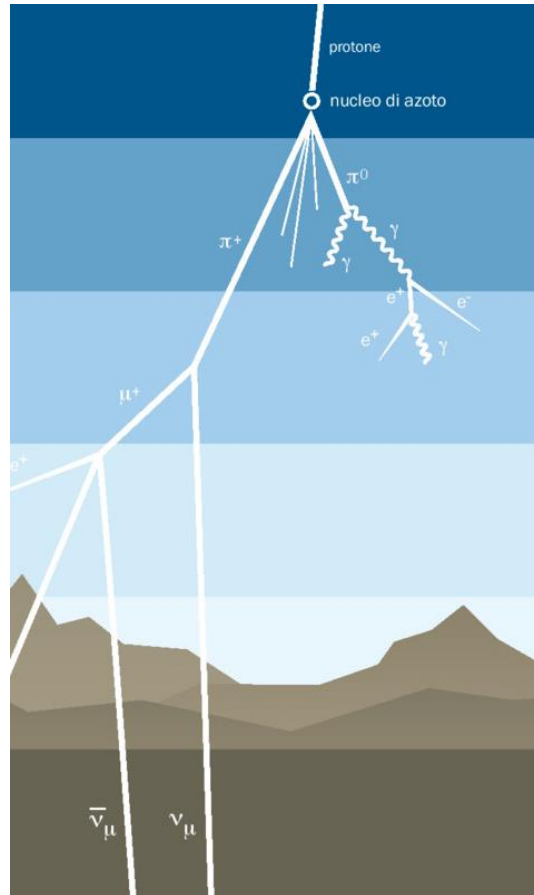
Dove i rivelatori hanno accesso diretto ai raggi cosmici primari

Sulla superficie terrestre

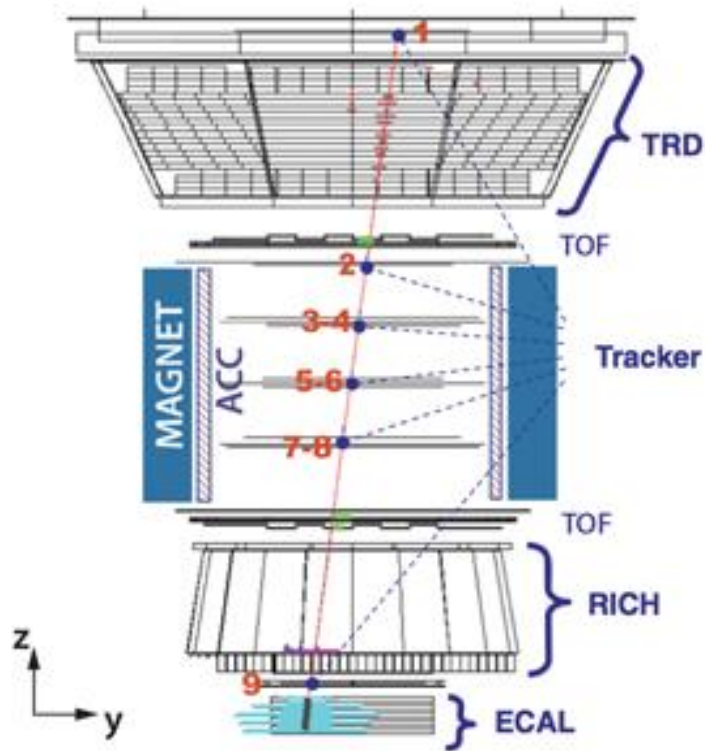
Dove è possibile costruire grandi esperimenti

Nel sottosuolo

Per sfruttare le condizioni di "silenzio cosmico"



Esperimenti nello spazio: AMS



L'Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) è un esperimento di fisica delle alte energie nello spazio (operante come modulo esterno della Stazione Spaziale Internazionale), progettato per la misura dei raggi cosmici.



3 metri di lato per un peso complessivo di 7,5 tonnellate!
Aggiornato 2019-2020 EVA

Gli obiettivi principali dell'esperimento sono la misura indiretta di materia oscura dai suoi prodotti di annichilazione, la ricerca di anti-materia primordiale (quella esistente nei raggi cosmici primari), e la misura precisa di tutte le specie di particelle che compongono i raggi cosmici, e della loro variazione in tempo, che permette anche la stima della dose di radiazione subita dagli astronauti utile per l'avanzamento dell'esplorazione spaziale.

Esperimenti nello spazio: JEM-EUSO

Il programma JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory nel Japan Experiment Module), intende studiare i raggi cosmici alle energie estreme ($E > 5 \times 10^{19}$ eV). JEM-EUSO sarà un esperimento installato sulla ISS all'altezza di circa 400 km.



Attualmente è in corso la fase preliminare attraverso l'utilizzo di palloni stratosferici e prototipi sulla ISS:

- missione EUSO-SPB2 (Extreme Universe Space Observatory - Super Pressure Balloon): lanciato con successo il 13 maggio 2023 pallone stratosferico a circa 33km quota;
- MINI-EUSO lanciato con successo il 22 agosto 2022 e attualmente sulla ISS



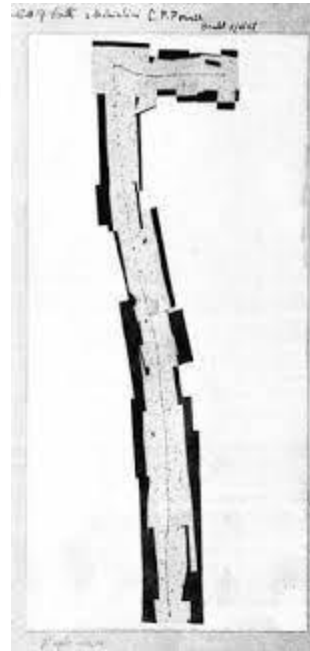
Esperimenti sulla superficie terrestre: Chacaltaya

Chacaltaya è un laboratorio nelle ande boliviane definito come il laboratorio "più alto del mondo" a 5200m.

Un po' di storia....

Nel 1947 a Chacaltaya è stato scoperto il primo mesone: il pione carico (in seguito si scoprirà formato da un quark up e un antiquark down). Per le tecnologie di allora era impensabile poter utilizzare acceleratori di particelle (come LHC) per "vedere" le particelle subnucleari.

La scoperta avvenne tramite lastre fotografiche all'argento posizionate per lunghi periodi nel laboratorio ad alta quota. Queste lastre venivano osservate al microscopio da un team di donne e la prima ad osservare la traccia lasciata da un pione che decade in muone fu Marietta Kurz.



NB Premio Nobel 1950 C. Powell (... C. Lattes, G. Occhialini)

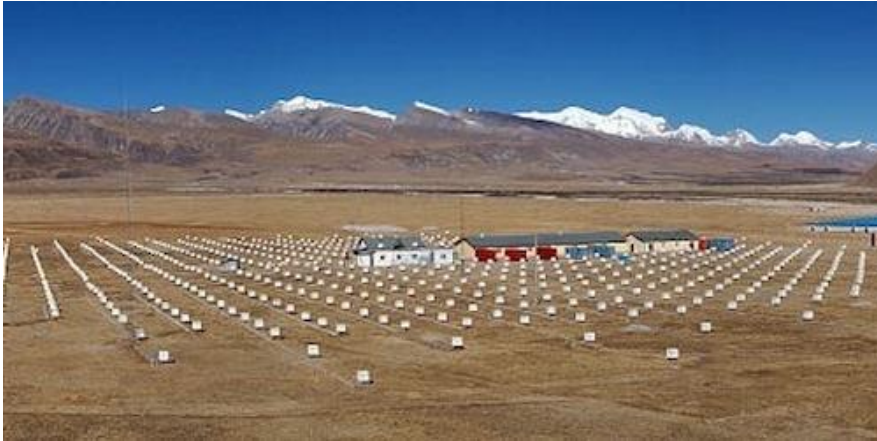
Esperimenti sulla superficie terrestre: EAS-TOP

EAS-TOP (Extensive Air Showers –TOP), posto a Campo Imperatore a circa 2000 m di quota, ha operato in coincidenza con rivelatori installati nei laboratori sotterranei, quali MACRO e LVD, con l'obiettivo di ampliare lo studio degli sciami atmosferici estesi prodotti dai raggi cosmici. Tra i risultati dell'esperimento, attivo fino ai primi anni 2000, emergono gli studi dello spettro e della composizione primaria dei raggi cosmici ad alte energie e le anisotropie della radiazione cosmica.



Esperimenti sulla superficie terrestre:

ARGO-YBJ



ARGO-YBJ (Astrophysical Radiation with Ground-based Observatory at YangBaJing) è un rivelatore di sciame estesi situato nel Laboratorio di Fisica Cosmica di Yangbajing, in Tibet, a 4300m, circa 90 Km a nord di Lhasa.

E' composto da un "tappeto" di RPC di 6500 m², in grado di fornire una dettagliata immagine spazio-temporale del fronte dello sciame. Grazie alla copertura totale e alla quota molto elevata, ARGO-YBJ può lavorare con sciame che arrivano al suolo con un numero di particelle molto piccolo e studiare primari con un'energia di soglia molto più bassa dei comuni rivelatori di sciame.

ARGO-YBJ è volto allo studio delle sorgenti gamma astrofisiche e dei raggi cosmici:

- Astronomia gamma a energie $E > 300$ GeV: studio di sorgenti galattiche ed extragalattiche;
- Gamma Ray Bursts di energia > 1 GeV;
- Spettro primario dei raggi cosmici di energia $E > 1$ TeV;
- Studio del rapporto protoni-antiprotoni nei raggi cosmici usando l'ombra della Luna;
- Fisica del Sole e dell'eliosfera.



Esperimenti sulla superficie terrestre: MAGIC



MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescopes) è posto nell'Osservatorio del Roque de los Muchachos a La Palma nelle Isole Canarie (emisfero boreale). Con due grandi parabolidi di 17 metri di diametro è in grado di rivelare raggi gamma di origine extraterrestre per studiare l'origine dei raggi cosmici e fenomeni di fisica fondamentale e di astrofisica.

Magic è composto da 2 strumenti, ciascuno di:

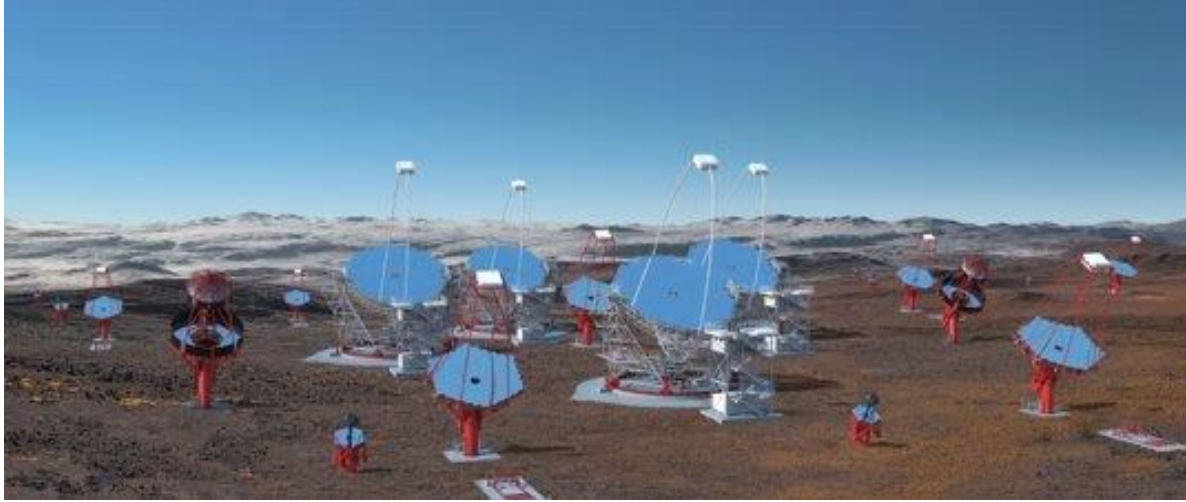
- 17 metri di diametro;
- 240 metri quadrati di superficie riflettente;
- Ri-posizionamento inferiore ai 30secondi.

MAGIC studia i fotoni di altissima energia in provenienza da:

- Accrescimento di buchi neri in nuclei galattici;
- Resti di supernova;
- Lampi di raggi gamma;
- Annichilazione di materia oscura.



Esperimenti sulla superficie terrestre: CTA



CTA-O (Cherenkov telescope array observatory) prevede la realizzazione di due grandi osservatori astronomici, uno nell'emisfero nord (isola di La Palma) dedicato alle sorgenti extragalattiche ed uno nell'emisfero sud (Paranal, Chile), dedicato soprattutto alla Via Lattea, che studieranno l'Universo attraverso i raggi gamma di altissima energia. Per migliorare la risoluzione angolare occorre ricorrere alla tecnica stereoscopica osservando lo stesso evento da angolazioni diverse facendo uso di più telescopi posti a distanza ottimale gli uni dagli altri.

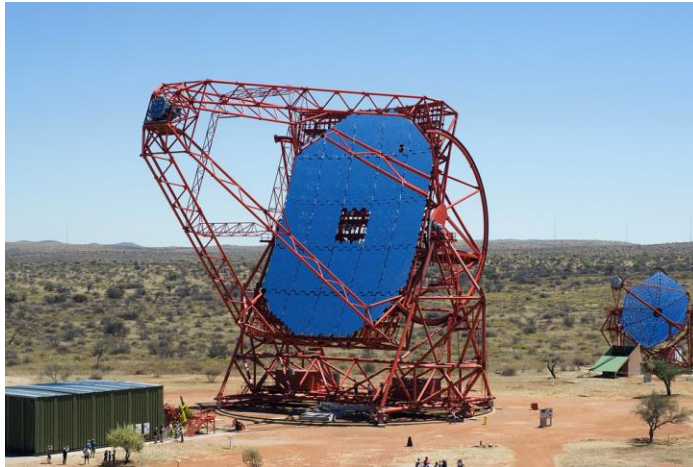
Per essere efficace su un largo intervallo di energie (20 GeV - 300 TeV), è necessario servirsi di un insieme di telescopi di diverse dimensioni: grandi (LST), con diametro dello specchio di circa 23m; medi (MST), il cui diametro è dell'ordine dei 12m; piccoli (SST) con diametro dello specchio parabolico fino a 4m.

Headquarters a Bologna!



Esperimenti sulla superficie terrestre:

HESS



HESS è costituito da 4 telescopi con diametro di 12m posti nei vertici di un quadrato di lato 120m e uno al centro con un diametro dello specchio primario di 28m

HESS (High Energy Stereoscopic System) è un sistema di 4 telescopi a effetto Čerenkov per lo studio dei raggi gamma tra 100 GeV e 100 TeV. L'acronimo è stato scelto in onore di Victor Hess, scopritore dei raggi cosmici!

HESS è situato in Namibia (emisfero australe), nelle vicinanze di Gamsberg, e osserva la luce Čerenkov prodotta dall'interazione tra i fotoni gamma della sorgente e l'atmosfera terrestre; la combinazione di 4 telescopi permette di risalire all'energia e alla direzione d'arrivo del singolo fotone.

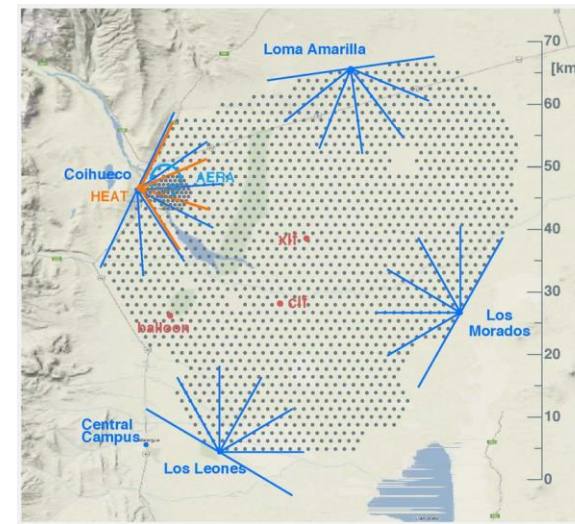


Esperimenti sulla superficie terrestre: Pierre Augere

L'osservatorio Pierre Auger si trova nella pampa Argentina, ad una altitudine media di 1400m. L'obiettivo di questo osservatorio è studiare i raggi cosmici ad altissima energia (maggiore di 10^{18} eV!) che però hanno un flusso bassissimo (1 evento per km^2 al secolo!). Per questo motivo la superficie sensibile è di 3000km^2 , circa la stessa grandezza della valle d'Aosta.

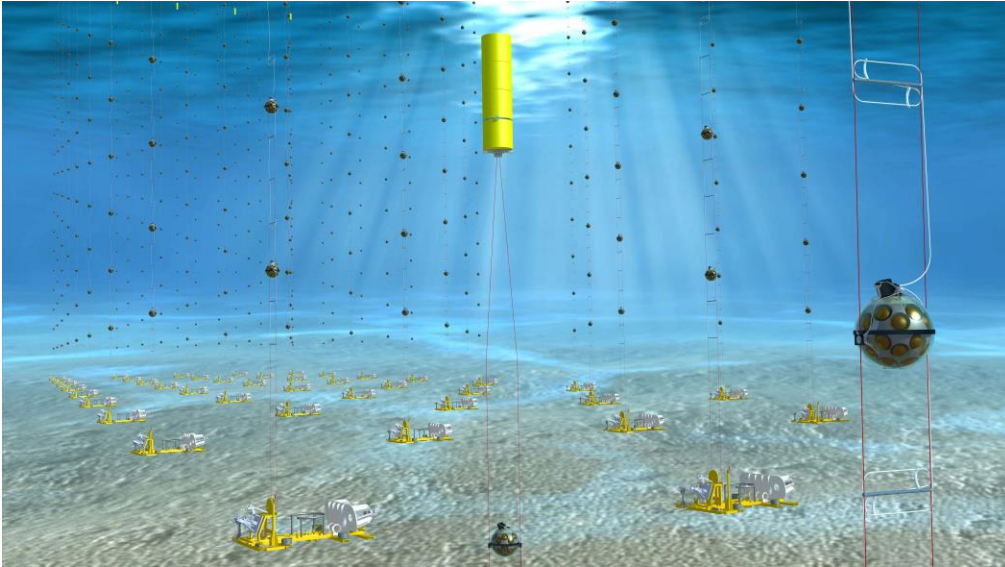


E' costituito da 1600 serbatoi contenenti acqua che sfruttano l'Cherenkov e in aggiunta 24 rivelatori che sfruttano la fluorescenza atmosferica nell'UV.



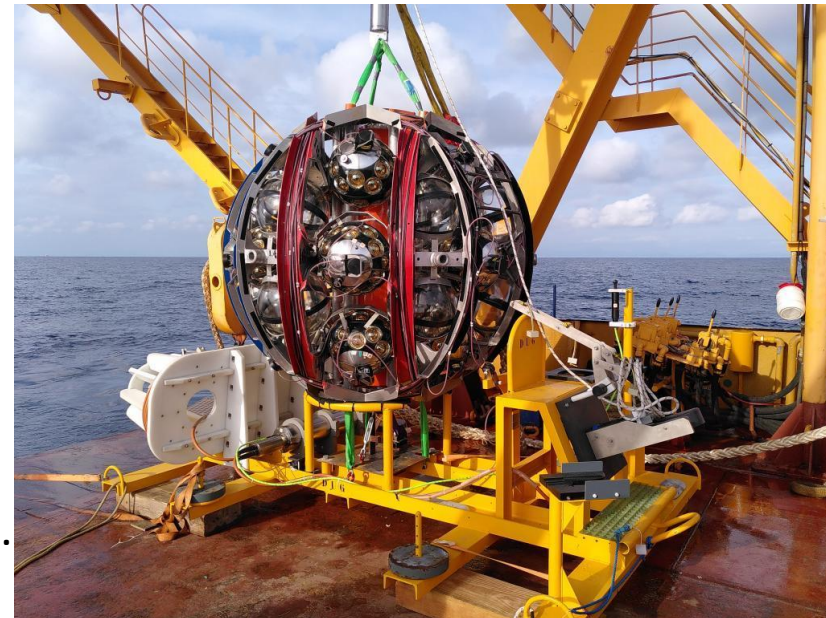
Dal 2019 è in corso un upgrade tramite l'installazione di radio antenne, il miglioramento delle prestazioni dei rivelatori a scintillazione e l'installazione di rivelatori sotterranei per i muoni.

Esperimenti nel sottosuolo: KM3NET



Conterrà circa 12000 sfere di vetro resistenti alla pressione attaccate a circa 600 corde. Ciascuna delle corde tiene 18 sensori sferici, ancorati al fondale marino e sostenuti da galleggianti. Ciascuna delle sfere, chiamata "modulo ottico digitale" (DOM, dall'inglese digital optical module), ha un diametro di circa 43 cm, contiene i PMT e l'elettronica ed è connessa alla costa da una rete di fibra ottica a banda larga.

KM3NeT (Chilometro cubo neutrino telescope) è una grande infrastruttura di ricerca, in fase di costruzione nel Mar Mediterraneo, distribuita su due siti: uno in Italia, 80 km a Sud Est di Capo Passero ad una profondità di 3500m, e il secondo in Francia, 40 km a Sud di Tolone ad una profondità di 2500m.

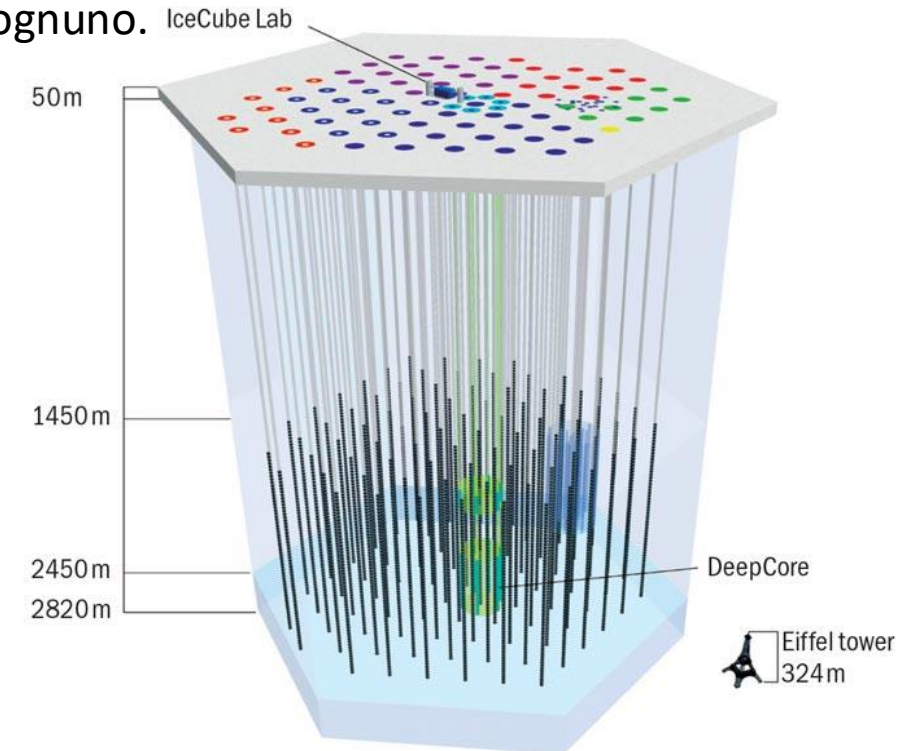


Esperimenti nel sottosuolo: IceCube



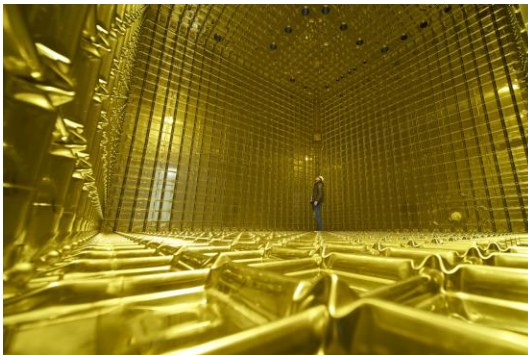
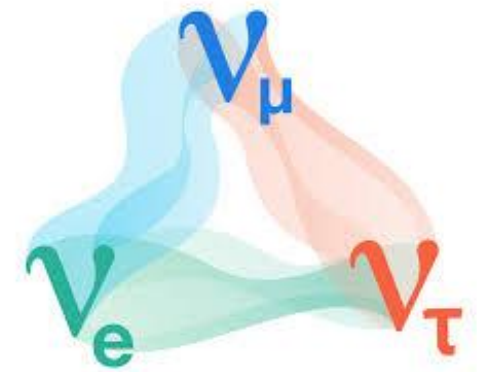
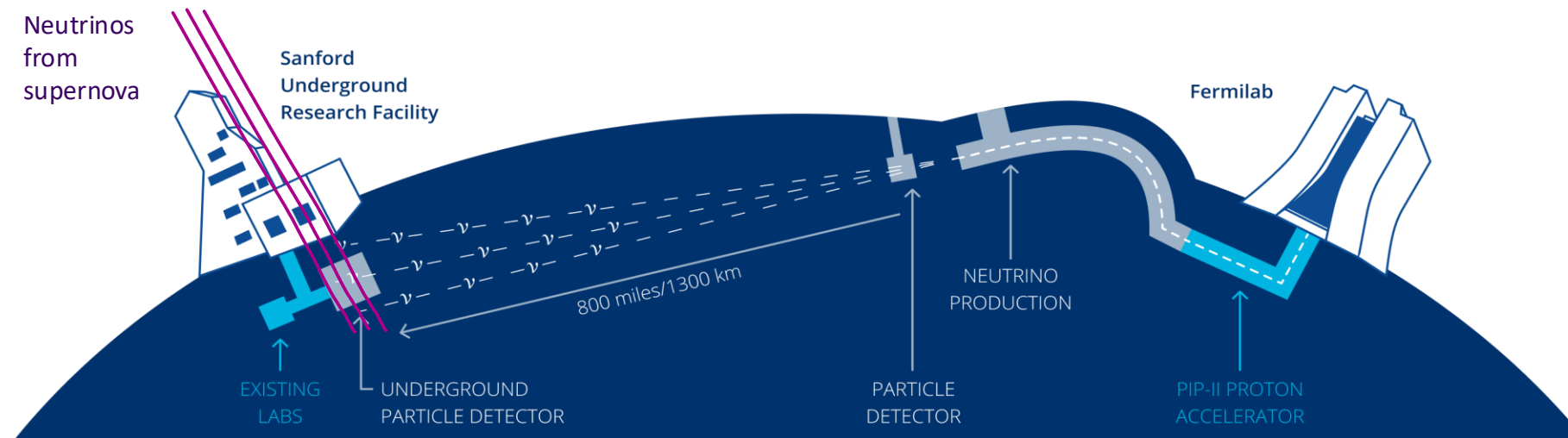
Lo scopo principale di IceCube è la rivelazione di neutrini di alta energia nel range 10^7 - 10^{21} eV le cui fonti potrebbero essere buchi neri, gamma bursts, o resti di supernovae.

IceCube è un rivelatore posto in Antartide, nei pressi del Polo Sud. E' costruito immergendo nel ghiaccio, ad una profondità che varia tra 1,45km e 2,45km, dei rivelatori a geometria sferica nei quali sono alloggiati dei PMT. Tali sensori sono disposti in pozzi verticali di sessanta moduli ognuno.



DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment)

Marginalmente coinvolto nella fisica dei raggi cosmici, DUNE è un esperimento finalizzato principalmente studio della fisica dei neutrini da fascio tra FNAL (Chicago) e SURF (South Dakota)



PS: Gruppo di cui faccio parte:)

Grazie per l'attenzione!

