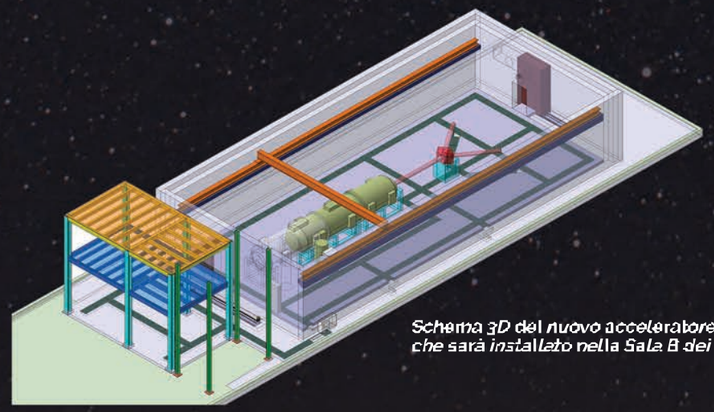
Uno sguardo al futuro: LUNA MV

Dopo i numerosi successi ottenuti in oltre 15 anni di lavoro con gli acceleratori LUNA 50 kV e LUNA 400 kV, nel 2007 la collaborazione LUNA propone l'installazione di una macchina capace di raggiungere energie più elevate rispetto agli acceleratori precedenti. Il nuovo acceleratore, LUNA MV, avendo una tensione di 3.5 MV, permetterebbe di studiare alcune reazioni che avvengono nelle stelle a temperature tra i 500 milioni e il miliardo di gradi, e quindi ad energie più elevate rispetto a quelle studiate con gli acceleratori precedenti.

Negli anni successivi il progetto LUNA MV viene definito in maniera più puntuale ed inizia un vero e proprio studio di fattibilità. Grazie al finanziamento concesso da parte del Ministero della Ricerca Italiano (MIUR), che riconosce in LUNA MV un progetto ambizioso su cui puntare per far sí che i LNGS consolidino ulteriormente la propria capacità operativa, l'acquisto dell'acceleratore e la costruzione dell'infrastruttura atta ad ospitarlo possono diventare realtà.



Schema 3D del nuovo acceleratore LUNA MV che sarà installato nella Sala B dei LNGS

L'installazione del nuovo acceleratore è prevista per la seconda metà del 2018 nella Sala B dei LNGS. L'acceleratore sarà in grado di fornire intensi fasci di protoni, particelle alfa e ioni di Carbonio a due diverse linee di fascio, una attrezzata con bersagli solidi e l'altra con bersagli di tipo gassoso. La macchina e le linee di fascio saranno ospitate all'interno di una infrastruttura di cemento di 80 cm di spessore che garantirà una completa schermatura dell'acceleratore rispetto al resto dei LNGS. In questo modo anche il piccolo flusso di neutroni prodotto dalle reazioni studiate non interferirà con le misure in corso negli altri esperimenti dei LNGS.
Il programma scientifico di LUNA MV è estremamente ambizioso e molto esteso nel tempo: studiare reazioni nucleari chiave per la combustione dell'elio e del carbonio e le cosiddette reazioni "sorgenti di neutroni" che producono il flusso di neutroni necessario per la formazione di gran parte degli elementi più pesanti del Ferro.
Gli esperimenti a LUNA MV cominceranno nel 2019.

I LUNA è una collaborazione internazionale formata da circa 40 ricercatori afferenti a diverse istituzioni Europee: l'Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf in Germania, l'MTA-ATOMKI in Ungheria, la School of Physics and Astronomy dell'Università di Edimburgo nel Regno Unito e i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), le sezioni INFN e le Università di Bari, Genova, Milano, Napoli, Padova, Roma (La Sapienza), Torino e l'Osservatorio Astronomico di Teramo dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) in Italia.

© Laboratori Nazionali del Gran Sasso - INFN - 2016
Foto: Yury Suvorov / Davide Trezzi

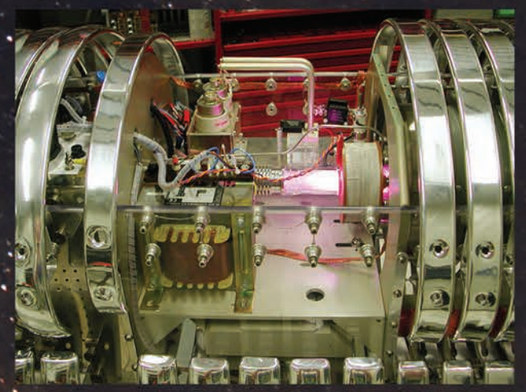
LUNA

Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics

L'esperimento LUNA, situato nel cuore del massiccio del Gran Sasso, studia le reazioni di fusione nucleare che sono essenziali per la vita delle stelle e l'evoluzione dell'intero Universo. Tali reazioni costituiscono infatti la principale sorgente dell'energia irradiata dalle stelle e hanno creato tutti gli elementi che ci circondano. La vita di una stella è scandita da una successione di fasi in cui elementi via via più pesanti vengono bruciati al suo interno attraverso reazioni di fusione nucleare, processo che porta i nuclei di due o più atomi a fondersi insieme liberando energia.

La serie di reazioni comincia con la fusione dell'idrogeno, l'elemento più abbondante nell'Universo che costituisce quasi la totalità della massa iniziale della stella, in elio. La fase successiva, per le stelle di grande massa, prevede la combustione di elio in carbonio. I cicli di fusione nucleare possono procedere fino alla produzione del ferro. Se la stella muore con un fenomeno esplosivo (come novae o supernovae), tutto il materiale sintetizzato al suo interno viene espulso nel mezzo interstellare e crea una nube dalla quale potranno formarsi nuove stelle o pianeti.

Conoscere la probabilità delle reazioni nucleari che avvengono nelle stelle è quindi fondamentale sia per capirne il funzionamento sia per comprendere le abbondanze degli elementi che ci circondano. Nel caso specifico del Sole, le reazioni nucleari che avvengono al suo interno sono fondamentali anche per quantificare il flusso di neutrini che attraversa costantemente la Terra. Tali neutrini costituiscono una sonda ideale per studiare l'interno del Sole.
La grande luminosità delle stelle può indurci a pensare che le reazioni nucleari che le alimentano siano processi molto frequenti. In realtà, nonostante la temperatura delle stelle sia dell'ordine di decine o centinaia di milioni di gradi, la probabilità che due nuclei si fondano è bassissima.



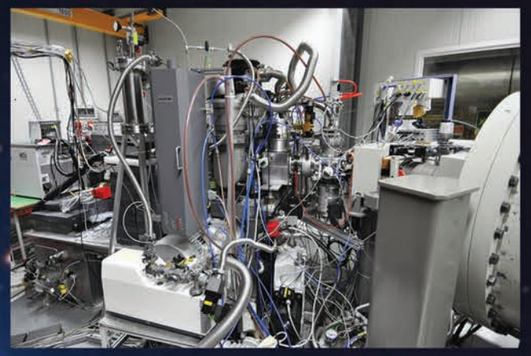
I nuclei, avendo carica elettrica positiva, tendono a respingersi e la repulsione crea una "barriera" che può essere superata solo grazie ad un debole effetto quantistico detto "Effetto Tunnel": la reazione nucleare può così avvenire. Per alimentare il Sole è necessario che 600 milioni di tonnellate di idrogeno si fondano ogni secondo.

Le densità e le temperature presenti nel nucleo delle stelle non sono ovviamente riproducibili in laboratorio, ma è possibile riprodurre le reazioni nucleari che avvengono nelle stelle alla stessa energia (alcune decine di keV). Si tratta di energie da 100 fino a 1.000 volte più piccole di quelle in genere esplorate nei laboratori di fisica nucleare. Il numero degli eventi di fusione che si hanno nell'apparato sperimentale è così piccolo da rendere impossibile il loro studio in presenza della radiazione di fondo dovuta ai raggi cosmici.

Pertanto, per studiare le reazioni nucleari di interesse astrofisico alle energie a cui avvengono nelle stelle, è necessario ridurre al minimo ogni possibile sorgente di fondo per essere in grado di osservare eventi molto rari.
Dal 1991 l'esperimento LUNA riproduce in laboratorio ciò che accade nel cuore delle stelle sfruttando il bassissimo fondo cosmico dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS).

Dall'acceleratore alla fornace nucleare

L'acceleratore LUNA 400 kV è installato nei laboratori sotterranei del Gran Sasso dall'anno 2000. Si tratta di un acceleratore di tipo Cockcroft-Walton, in grado di generare fasci molto intensi di protoni ed elio con un'ottima stabilità nel tempo e un'eccellente risoluzione energetica. Il fascio di LUNA 400 kV è costruito in modo da poter utilizzare due diverse linee, una per raggiungere un bersaglio solido e l'altra per raggiungere un bersaglio gassoso.



GLI ESORDI: LUNA 50 KV

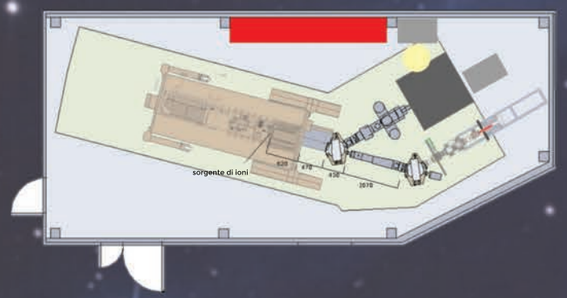
Il primo acceleratore, LUNA 50 kV, è stato installato ai LNGS nel 1991 ed è rimasto in funzione fino al 2002. L'acceleratore, fornendo fasci molto intensi di protoni e alfa, ha permesso di studiare le reazioni fondamentali del ciclo di combustione dell'idrogeno (catena di fusione protone-protone) e di analizzare il fenomeno per cui gli elettroni orbitanti attorno al nucleo aumentano la probabilità di far avvenire la reazione (screening elettronico).

Il bersaglio solido è costituito da un supporto su cui sono depositati atomi della sostanza che si vuole "fondere" con gli ioni del fascio. Generalmente viene raffreddato con acqua per dissipare il calore rilasciato dal fascio nel suo interno.
Il bersaglio è montato vicino ad un tubo di rame raffreddato con azoto liquido che rallenta l'accumulo di impurità sulla superficie del bersaglio stesso.

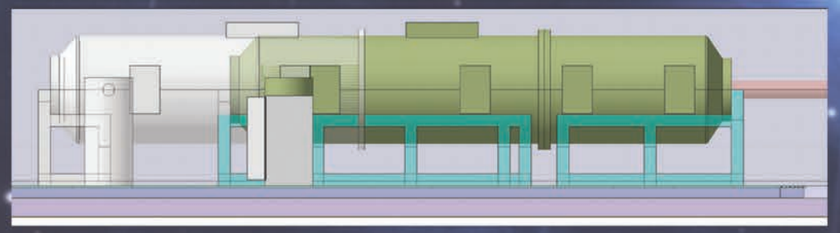
Il bersaglio gassoso è contenuto in un cilindro con un forellino (collimatore) per il passaggio del fascio. Nel bersaglio non sono presenti finestre di separazione tra le diverse aree che sarebbero necessarie a contenere il gas nel volume dell'interazione perché degraderebbero l'energia delle particelle del fascio. Per questo motivo, tra il bersaglio e l'acceleratore, l'azione di una serie di pompe e collimatori permette di raggiungere le condizioni di pressione necessarie per le misure.

Le reazioni nucleari che avvengono in seguito all'interazione del fascio con il bersaglio possono dare luogo a raggi gamma o particelle cariche. I primi vengono in generale rivelati con rivelatori al Germanio ad alta purezza (HPGe) o con scintillatori inorganici del tipo BGO; le seconde con rivelatori al silicio.

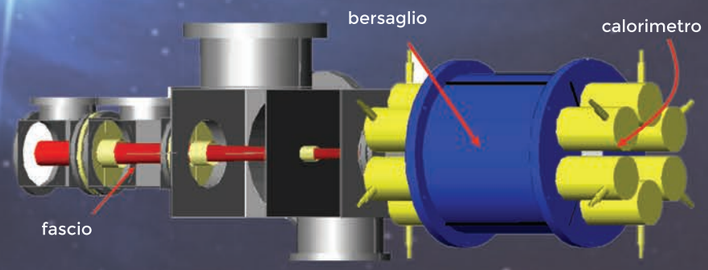
I rivelatori possono essere schermati con piombo e/o rame per diminuire la componente di fondo ambientale presente. Eventualmente la schermatura può essere ulteriormente circondata da una "radon box" che consente di sostituire, all'interno del volume racchiuso, l'aria contenente radon con azoto. La combinazione tra la riduzione del fondo cosmico offerta dai laboratori sotterranei e quella del fondo ambientale ottenuta con schermature passive, rende l'esperimento LUNA unico al mondo per la misura di sezioni d'urto di reazioni nucleari di interesse astrofisico.



Nel disegno sono visibili l'acceleratore 400 kV e le due diverse linee di fascio



Rappresentazione grafica dell'acceleratore



Ricostruzione 3D del bersaglio di tipo gassoso