

IL RIVELATORE

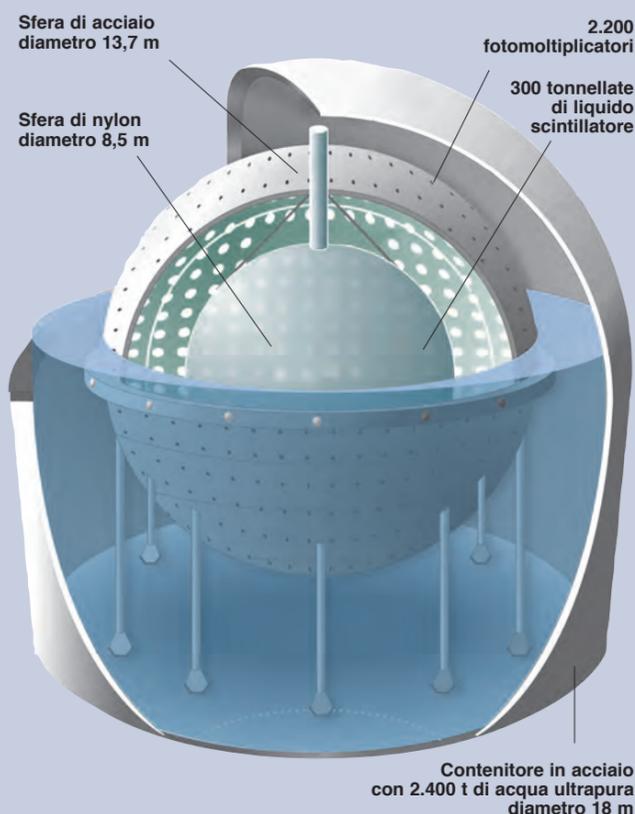
L'esperimento utilizza come massa bersaglio 300 tonnellate di pseudocumene, un idrocarburo prodotto dal petrolio. Il liquido scintillatore è contenuto in un "pallone" di nylon che è a sua volta immerso in altre 900 tonnellate dello stesso liquido. Il tutto è poi contenuto all'interno di una sfera in acciaio di 13,7 metri di diametro. La sfera è posta all'interno di un serbatoio, anch'esso in acciaio, riempito di acqua ultrapura in modo da ridurre l'interferenza dovuta alle particelle della radioattività naturale proveniente dalla roccia della montagna.

Un neutrino solare, interagendo all'interno della massa bersaglio con una molecola di pseudocumene ($\nu_e + e^- \rightarrow e^- + \nu_e$), induce l'emissione di luce che viene rivelata da 2.200 sensori (fotomoltiplicatori) posti sulla superficie interna della sfera in acciaio. Questi sensori producono un impulso di corrente che sarà registrato e analizzato mediante potenti calcolatori.

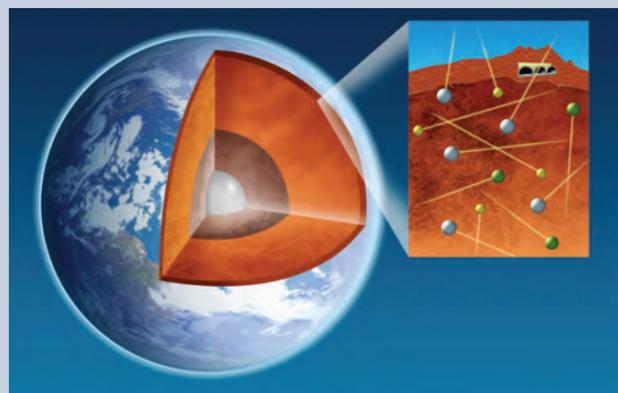
Borexino è in grado di distinguere gli eventi indotti da neutrini di differenti energie e dunque di determinare quelli caratteristici delle basse energie.

Affinchè il segnale dei neutrini solari (circa 40 interazioni al giorno nella massa bersaglio) non venga mascherato dal fondo dovuto ai decadimenti radioattivi naturali, è estremamente importante che il grado di purezza dello scintillatore, come ogni parte che costituisce l'intero rivelatore, sia enorme. Con raffinate tecniche di purificazione è stato infatti possibile ottenere la presenza di meno di un nucleo radioattivo su 100.000 di miliardi di nuclei di scintillatore (nella roccia la presenza di atomi di Uranio e Torio è di 1 atomo per ogni 1.000.000). Tale grado di purezza su una così grande massa di scintillatore era impensabile sino a qualche anno fa.

Questo livello di purezza consente lo studio, finora irrealizzabile, della componente di più bassa energia (fino a poche centinaia di keV) del flusso di neutrini emessi dal Sole, che però rappresenta la parte più numerosa. Basti pensare che in precedenza, potevano essere rivelati solo neutrini con energie maggiori di 5.0 MeV, che però



rappresentano solo una minima parte, meno dello 0,01 %, di quelli prodotti dal Sole. In questo modo Borexino è in grado di tentare la misura di tutti i flussi di neutrini prodotti da varie reazioni nel Sole. La capacità tecnica e la minuziosa e costante attenzione ne hanno permesso la sua realizzazione.



Il rivelatore è capace di registrare, oltre che i neutrini provenienti dal Sole, i neutrini emessi nell'esplosione di una supernova (che rappresenta l'ultimo stadio di vita di una stella massiva) e i neutrini emessi dalla Terra. Il nostro pianeta emette infatti una enorme quantità di neutrini dovuti alla radioattività presente nella crosta terrestre, dove le reazioni nucleari sono una delle principali cause dell'alta temperatura presente negli strati interni del pianeta. Tali reazioni possono essere studiate rivelando i neutrini che vengono emessi. La zona dove si trova il Gran Sasso è particolarmente adatta a questa osservazione perché molto

lontana da centrali nucleari: i geoneutrini, infatti, si confonderebbero con quelli, altrettanto innocui, provenienti dalle reazioni nucleari di una centrale.

Lo studio di tutti questi processi permetterà agli studiosi di comprendere meglio il funzionamento dell'Universo in cui viviamo, come si stia evolvendo e quale sarà il suo destino.

Borexino è realizzato principalmente da una collaborazione internazionale tra Italia, USA, Germania, Francia e Russia.

BOREXINO e i neutrini solari

Tutta la materia che ci circonda e di cui siamo fatti è costituita da tre sole particelle: il protone e il neutrone, che formano il nucleo atomico, e l'elettrone che forma la corteccia atomica. L'Universo ci rivela però la presenza di un gran numero d'altre particelle, presenti soprattutto all'atto della sua formazione, pochi istanti dopo il Big Bang.

Tra tutte le particelle ancora oggi presenti vi sono i neutrini, che senza dubbio sono le più bizzarre ed elusive.

I neutrini, indicati con la lettera greca ν , sono particelle neutre con massa piccolissima, che permeano l'Universo e sono costantemente prodotte nei processi che coinvolgono molti decadimenti radioattivi e di fusione termoneucleare nelle stelle. La sorgente di neutrini più potente nei pressi della Terra è il Sole, distante 150 milioni di km, in grado di produrne un'enorme quantità: in ogni secondo ne arrivano sulla Terra circa 60 miliardi per ogni centimetro quadrato!

I neutrini interagiscono pochissimo con la materia e attraversano quindi indisturbati enormi spessori di essa, portando con sé l'informazione iniziale della loro origine e permettendo lo studio diretto dei fenomeni che li hanno generati.

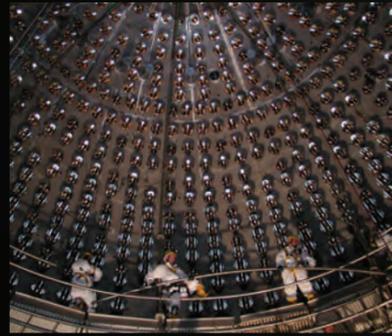
Ma come vengono prodotti i neutrini nel Sole? Nel nucleo del Sole, dove la temperatura raggiunge i 15 milioni di gradi, una serie di reazioni nucleari producono neutrini. Il processo principale, quello cioè

che produce oltre il 98% dell'energia solare, consiste nella fusione di quattro protoni in un nucleo di elio, con l'emissione di una grande quantità di energia sotto forma di raggi gamma, calore e neutrini. Mentre i fotoni prodotti impiegano fino a centinaia di migliaia di anni per attraversare i 700.000 km del raggio solare, ai

neutrini bastano poco più di 2 secondi. In altri 8 minuti raggiungono poi la Terra fornendoci preziose informazioni sui processi di produzione di energia nel Sole e in generale nelle stelle.



IL PROBLEMA DEI NEUTRINI SOLARI

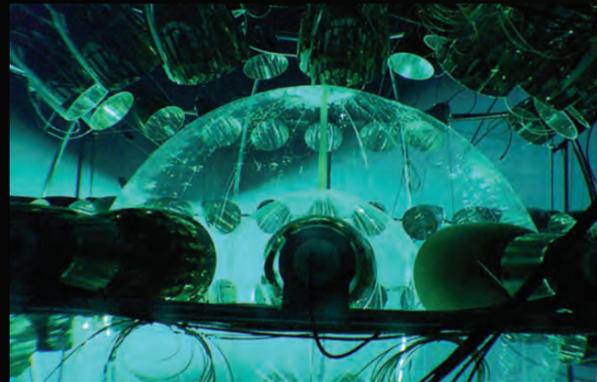


L'osservazione sperimentale dei neutrini è estremamente difficoltosa a causa della bassissima probabilità di interazione di queste particelle con la materia. Per questo motivo è necessario

costruire apparati sperimentali di grandi dimensioni e ubicati in sotterraneo per evitare il rumore di fondo generato dai raggi cosmici.

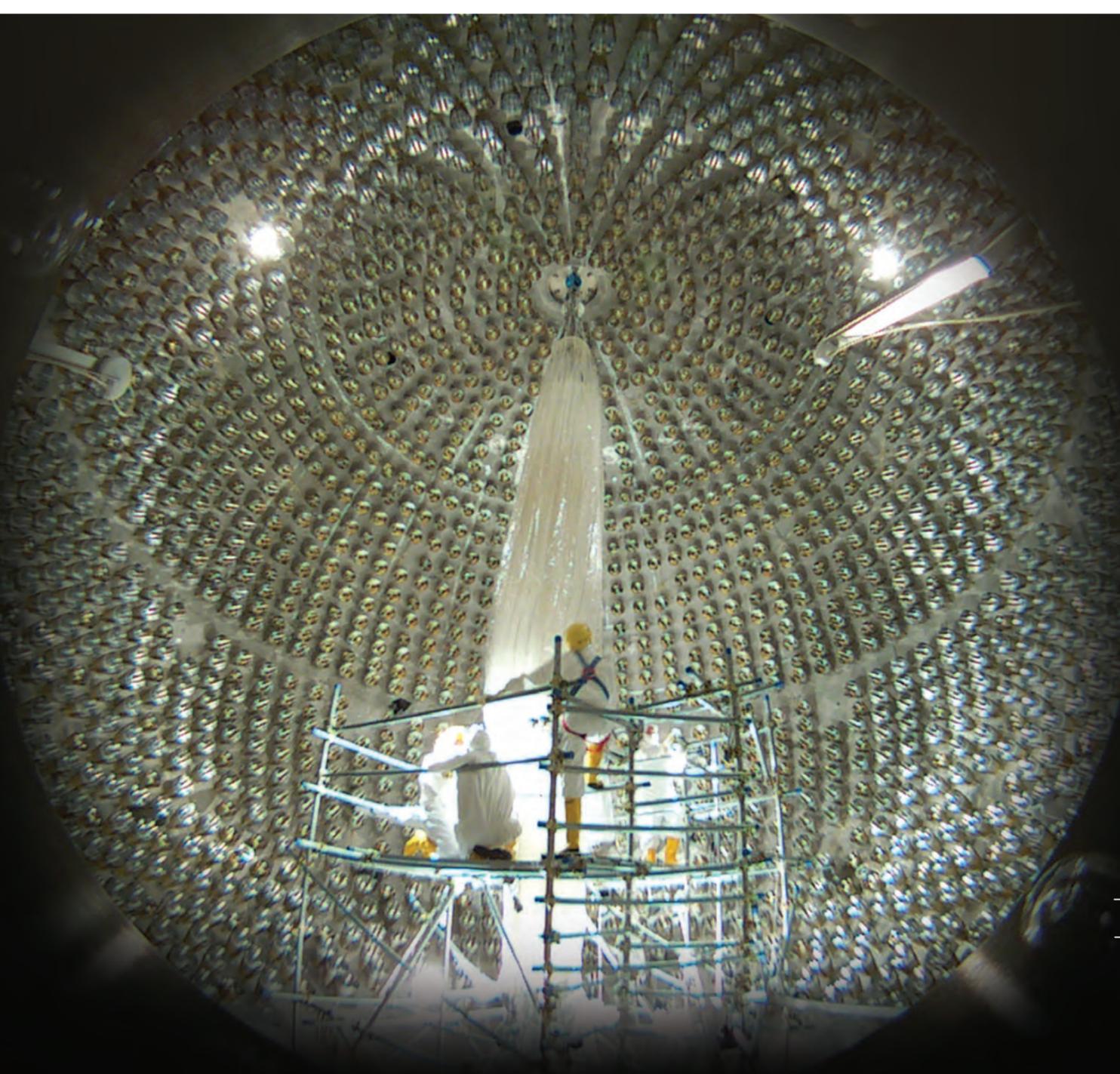
La prima proposta di osservare i neutrini solari per studiare il Sole è di R. Davis e J. Bahcall e risale al 1964; i primi risultati sperimentali arrivarono nel 1968.

Sorprendentemente il numero di neutrini osservati dagli esperimenti condotti per diversi anni a seguire è sempre stato minore di quello previsto dalla teoria. A seguito di questa anomalia, che ha preso il nome di "problema dei neutrini solari", sono nate diverse nuove proposte di esperimenti per lo studio dei neutrini solari e tra queste GALLEX/GNO e BOREXINO presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso.



Il Sole, come già ricordato, produce energia mediante alcune reazioni di fusione nucleare. Tra quelle che producono neutrini vi è anche la reazione del berillio ($e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$).

BOREXINO è un rivelatore progettato principalmente per lo studio dei neutrini solari prodotti da questa reazione, che ad oggi nessun altro rivelatore ha mai misurato in tempo reale sulla Terra. In realtà, grazie a Borexino sarà possibile studiare reazioni fino ad oggi ipotizzate e finora mai rivelate, ad esempio quelle del cosiddetto ciclo CNO (carbonio, azoto, ossigeno), che pur non ricoprendo un ruolo predominante nel funzionamento del Sole, diventano di estrema importanza per le stelle massive. La loro rivelazione potrebbe contribuire a rispondere alla domanda: in che modo le stelle bruciano?



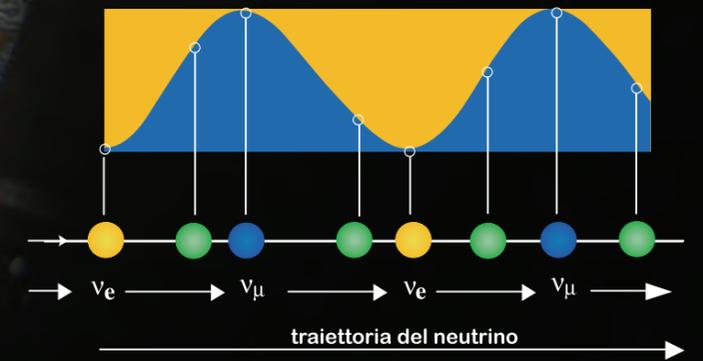
OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI

Tutti gli esperimenti finora svolti indicano che i neutrini effettivamente rivelati sono molti di meno rispetto a quelli aspettati. La soluzione del problema è il fenomeno dell'oscillazione dei neutrini. Questo fenomeno prevede che i tre tipi di neutrino (ν_e , ν_μ e ν_τ) possano, durante il loro cammino, trasformarsi da un tipo ad un altro.

Nel caso del Sole, i neutrini prodotti sono solo di tipo elettronico. Nel loro viaggio verso la Terra una parte di essi si trasformerà in neutrini di tipo muonico (ν_μ).

Poiché gli apparati sperimentali dedicati allo studio dei neutrini solari sono costruiti per "vedere" i soli ν_e , e non quelli di altro tipo, vi sarà una evidente diminuzione nel numero di ν misurati a Terra. Tale diminuzione giustifica la differenza tra il valore previsto dai modelli teorici e quello osservato sperimentalmente.

L'osservazione del fenomeno dell'oscillazione dei neutrini ha come fondamentale conseguenza che queste particelle posseggono una, seppur piccolissima, massa.



GALLEX/GNO

L'esperimento GALLEX/GNO, in funzione dal 1991 al 2002, è stato uno degli esperimenti fondamentali per la misura del flusso di ν prodotti nel Sole. Il rivelatore era costituito da un grande recipiente contenente 100 tonnellate di triclورو di gallio. Quando un neutrino interagiva con il gallio, in media una volta al giorno, produceva un atomo di germanio. Estrahendo periodicamente gli atomi di germanio, attraverso tecniche radiochimiche, era possibile determinare il numero delle interazioni dei neutrini nell'apparato.

Il flusso dei neutrini rivelati dal GALLEX/GNO è stato circa il 55% del valore previsto dai modelli teorici sul funzionamento del Sole. Questo deficit è stato spiegato con l'esistenza delle oscillazioni per cui i ν , che nascono di tipo elettronico nel Sole, durante il percorso Sole-Terra, cambiano tipo, diventando non più rivelabili dall'esperimento.

