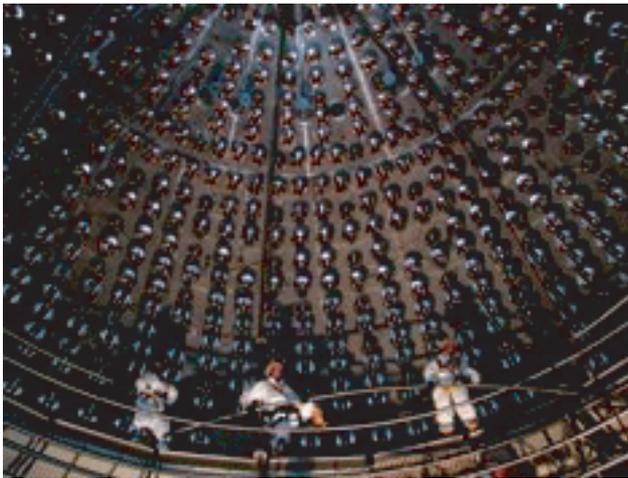


AURELIO GRILLO

ESPLORANDO L'ENERGIA DEL COSMO: I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO

Quando si pensa a grandi Laboratori di fisica nucleare si immaginano dei Laboratori in cui si produce energia, come una centrale nucleare, o si studiano modi efficienti di generarla. O ancora un grande acceleratore di particelle in cui le particelle elementari, come i protoni, vengono portati a energie elevatissime (pari a quelle disponibili pochi microsecondi dopo la nascita dell'Universo) e velocità praticamente identica a quella della luce.

Ebbene, i Laboratori del Gran Sasso non sono nulla di tutto questo. Nei Laboratori si consuma certo energia per far funzionare le apparecchiature elettroniche degli esperimenti, ma non se ne produce né se ne trasforma, con una piccola eccezione di cui parleremo in seguito.



Interno della sfera dell'esperimento BOREXINO

Foto: PAOLO LOMBARDI INFN-MV LNGS

Prima di parlare delle attività dei Laboratori, è necessaria una breve descrizione di quanto pensiamo di conoscere dell'Universo in cui viviamo.

Da un punto di vista totalmente antropico, l'Universo può essere pensato come una gigantesca (in effetti la più grande possibile) macchina per produrre energia o meglio per trasformare l'energia gravitazionale in radiazione di tutti i tipi e, in ultima analisi, luce e calore. Qui bisogna essere chiari: non c'è, in questa descrizione, nessun concetto di finalità che lasciamo volentieri ad altri, ma solo una descrizione, dal punto di vista umano di quello che la parte visibile dell'Universo appare fornire. Dobbiamo solo aggiungere che, se l'Universo fosse anche poco dissimile da quello che vediamo, esseri umani antropomorfi come me che scrivo e voi che leggete ben difficilmente potrebbero esistere.

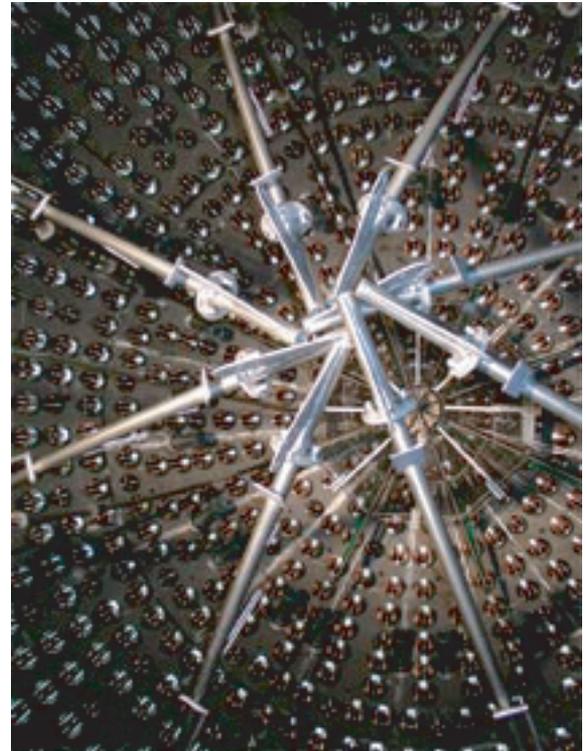
Consideriamo che ciò accadeva nell'Universo quando questo era 'vecchio' soltanto qualche centinaio di milioni di anni (per confronto l'età dell'Universo attuale è di 14 miliardi di anni). A quel tempo, l'Universo conteneva solo materia (atomi di

idrogeno ed elio con pochi altri elementi più pesanti) e probabilmente materia 'esotica' che oggi viene chiamata materia oscura. In questa fase della vita del cosmo c'era ben poca luce: le stelle ancora non si erano formate e rimaneva solo la luce (in realtà radiazione invisibile) eco del Big Bang da cui l'Universo si era formato. La materia costituiva un tenuissimo gas distribuito nel cosmo quasi uniformemente.

Quel 'quasi' è importantissimo: se il gas primordiale nell'Universo fosse stato completamente uniforme, non si sarebbe potuto formare nulla di ciò che vediamo. Essendo invece la distribuzione del gas non completamente uniforme, dove la materia era più densa, la forza gravitazionale (che dalla materia è prodotta) era più grande, attirando altra materia che rendeva la forza gravitazionale ancora più grande..... e così via fino a che si sono formate quelle che gli astronomi chiamano 'strutture': le Galassie e nelle Galassie le stelle. La materia non era più distribuita uniformemente, ma addensata in queste strutture, più o meno come nell'Universo attuale.

Andiamo a vedere cosa succede in un addensamento di materia che diventerà una stella. All'inizio è solo l'energia gravitazionale ad agire: la materia nella zona più densa attira altra materia e diventa ancora più densa e così via. Ma, all'aumentare della densità del gas, gli atomi che lo costituiscono cominciano ad urtarsi e il gas si scalda. Inizia qui il processo che porta alla trasformazione dell'energia gravitazionale in energia utilizzabile. In effetti ancora all'inizio del ventesimo secolo si pensava che questo fosse il meccanismo con cui l'energia viene prodotta nel nostro Sole. Un gas che si riscalda emette radiazione, cioè luce. Però, a conti fatti, questa emissione di energia durerebbe molto meno della vita del nostro Sole (circa 5 miliardi di anni) e quindi deve esserci un altro processo energetico che fa splendere il Sole.

Bisogna dunque cercare un'altra fonte di energia e questa è data dalla fusione termonucleare. Quando l'attrazione gravitazionale è tale che gli urti fra gli atomi sono frequentissimi, prima gli atomi perdono gli elettroni, poi i nuclei stessi si fondono: per esempio 4 protoni (nuclei di idrogeno) si possono fondere e formare un nucleo di elio, costituito da due protoni e due neutroni. I due neutroni provengono dalla trasformazione di due protoni



Interno della sfera dell'esperimento BOREXINO

Foto> PAOLO LOMBARDI INFN-MI/ LNGS

(con emissione di anti-elettrone e neutrino) e sono più 'leggeri' (hanno massa più piccola) dei protoni: la differenza di massa viene convertita in energia, che è l'energia che fa brillare il nostro Sole e tutte le stelle.

In realtà le cose non sono così semplici: nel passare da nuclei di idrogeno a nuclei di elio sono necessari molti passaggi intermedi, ma il risultato finale è essenzialmente lo stesso, solo che alla fine ci ritroviamo con nuclei di elio, radiazione ed una copiosa produzione di neutrini.

Ed è qui che entrano in gioco i Laboratori del Gran Sasso: i neutrini emessi dal nostro Sole sono il modo più diretto per studiare i processi di emissione di energia e allo stesso tempo per studiare le proprietà dei neutrini stessi. Basti pensare che la radiazione emessa nella fusione nucleare, che ha un'alta probabilità di interagire col gas che costituisce il Sole, impiega milioni di anni per arrivare nelle regioni superficiali del Sole e diventare la luce e il calore che vediamo. I neutrini invece hanno una bassissima probabilità di interazione e passano sostanzialmente indisturbati all'interno del Sole raggiungendo la Terra. Ovviamente la bassissima probabilità di urto dei neutrini si riflette in un'enorme difficoltà nel rivelarli. Occorrono grandissimi rivelatori e soprattutto è necessario schermare questi rivelatori da tutti i tipi di radiazione che arrivano sulla Terra. Grandi rivelatori devono essere quindi costruiti in laboratori sotterranei come, ad esempio, quelli del Gran Sasso, dove l'esperimento GALLEX (poi diventato GNO) è stato il primo a rivelare i neutrini provenienti dal ciclo principale di reazioni termonucleari che producono energia nel Sole.

I risultati di ormai quaranta anni di ricerche in tutto il mondo ci mostrano che il funzionamento del Sole è ben compreso dagli astrofisici e ben descritto dalla teoria, ma i neutrini hanno un comportamento 'anomalo', ovvero, nel cammino dal Sole alla Terra si cambiano di 'cappello', cioè cambiano tipo con una apparente diminuzione del loro numero. E per studiare meglio questo comportamento sono in costruzione presso i Laboratori l'esperimento BOREXINO, che studierà ancora i neutrini provenienti dal Sole, e gli esperimenti OPERA e ICARUS che studieranno le proprietà dei neutrini prodotti artificialmente dall'acceleratore SPS del CERN di Ginevra e inviati verso il Gran Sasso dove arrivano dopo un percorso di 700 km sotto la superficie terrestre.

Ai Laboratori esiste una (piccola) eccezione rispetto al fatto che gli esperimenti presenti non producono né trasformano energia. In effetti esiste un piccolo acceleratore, dal nome suggestivo di LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics). LUNA studia alcune delle reazioni che avvengono all'interno delle stelle, nel complicato processo di produzione di energia di cui si parlava sopra. Alcune di queste reazioni hanno una probabilità di avvenire così bassa che sono irrimediabilmente perse nella radiazione naturale della Terra e di nuovo il posto migliore per studiarle sono dei laboratori sotterranei.

È interessante notare che lo studio di una di queste reazioni ha comportato una modifica del limite inferiore dell'età delle stelle presenti negli ammassi globulari. Le reazioni di fusione termonucleare studiate sono risultate essere più lente rispetto alle misure precedenti, quindi le stelle all'interno delle quali le reazioni avvengono sono più vecchie. E siccome l'Universo non può essere più giovane delle stelle che contiene, è possibile datare più precisamente l'età dell'Universo.

Anche durante la morte di alcuni tipi di stelle (SuperNova), l'energia gioca un ruolo fondamentale. In questa esplosione, una stella diventa, per un periodo in genere di giorni o settimane, tanto luminosa quanto la Galassia che la contiene. Ma la maggior parte della sua energia viene emessa in neutrini e ciò è stato verificato nel 1987 quando una stella è esplosa nella Grande Nube di Magellano, in una Galassia satellite della nostra. Purtroppo a quel tempo i Laboratori erano in costruzione e nessun esperimento era ancora operativo. Ma due esperimenti, negli Stati Uniti e in Giappone, hanno rivelato il segnale sotto forma di neutrini. Attualmente nei Laboratori è attivo l'esperimento LVD (Large Volume Detector) che ha questo come tema di ricerca... ma le esplosioni di Supernove sono fenomeni rari.

Nella descrizione del processo che porta dal gas primordiale alla formazione di galassie e poi stelle, abbiamo accennato a un tipo di materia esotica, chiamata 'materia oscura'. In effetti ci sono molti indizi che suggeriscono che oltre alla materia che è coinvolta direttamente nel processo di produzione di energia ne esista altra che produce energia gravitazionale, ma non può produrre altri tipi di energia: di qui l'aggettivo 'oscura'. Una delle indicazioni più importanti è proprio il fatto che per produrre quelle che diventeranno galassie in tempo sufficientemente breve e in modo che possano evolvere fino a come sono ora, è necessaria molta più attrazione gravitazionale e quindi più materia di quanta se ne veda oggi nell'Universo. Sulla natura di questa materia per il momento ci sono solo ipotesi, ma quello che è sicuro è che se esiste è ancora più evanescente dei neutrini, nel senso che la probabilità di reagire con la materia normale è ancora più piccola. Nel mondo sono attivi diversi esperimenti dedicati alla rivelazione di questi debolissimi segnali, e diversi sono in funzione e in preparazione al Gran Sasso. Un esperimento in particolare con un nome affascinante, DAMA (DARk MATter), ha presentato dei risultati la cui interpretazione più naturale è che siano il prodotto dell'interazione di particelle che costituiscono la materia oscura. Questo risultato, se confermato, sarebbe ovviamente di importanza fondamentale per la comprensione del nostro Universo.

Ma le sorprese del Cosmo non si fermano qui: da alcuni anni esiste il sospetto, suffragato dai risultati di molti esperimenti, che oltre alla materia normale e quella oscura esista un'altra componente ancora più esotica dell'Universo. Questa consisterebbe in una forma di energia associata per così dire al tessuto stesso dello spazio-tempo. Possiamo immaginarci l'Universo, anche in assenza di materia normale e oscura, come una specie di accumulatore che immagazzina energia nella sua stessa struttura. Ovviamente questa energia è stata chiamata (con poca fantasia) 'energia oscura' oppure 'quintessenza'. Non si sa nulla della sua origine ma Einstein stesso ne aveva ipotizzato l'esistenza salvo poi chiamarla 'il più grande errore della mia vita'. In particolari circostanze questa energia oscura può essere tramutata in energia 'normale' ovvero radiazione, più o meno come la scintilla che vediamo se mettiamo in corto circuito i capi di un accumulatore. Si pensa che questa 'scintilla' nei primissimi istanti di vita dell'Universo, abbia originato quello che oggi chiamiamo 'Big Bang'. Ma quali saranno gli effetti dell'energia che forse misuriamo adesso non si sa; al momento sembra produrre un'accelerazione dell'espansione dell'Universo.

Ma, di nuovo, questa è un'altra storia che fra qualche anno o decennio magari meriterà un altro articolo.