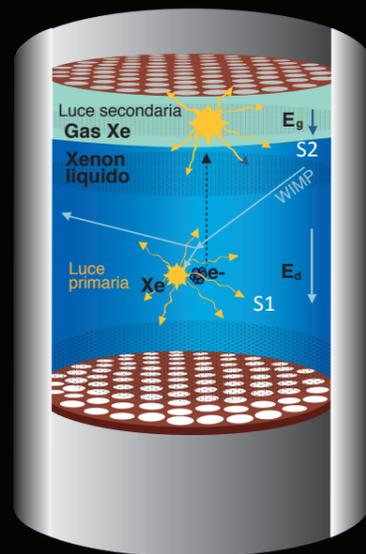


PRINCIPIO DI RIVELAZIONE

Una eventuale interazione della WIMP nel bersaglio di xenon liquido produce un segnale di scintillazione che è registrato dai 494 fotomoltiplicatori disposti in due piani: uno dei piani è situato nella parte alta della TPC, dove c'è lo xenon gassoso, l'altro nella parte sottostante, nello xenon liquido.

Il bersaglio sensibile alle interazioni di materia oscura, definito da un cilindro di diametro 1.3 m e altezza 1.5 m, è delimitato da pannelli di PTFE altamente riflettenti. Il tutto è chiuso alle estremità superiore e inferiore da due griglie utilizzate per generare un campo elettrico capace di convogliare gli elettroni di ionizzazione dal punto di interazione verso l'interfaccia liquido-gas.

Anelli di rame circondano il volume cilindrico al fine di minimizzare la disuniformità del campo elettrico. In queste condizioni, gli elettroni si muovono all'interno dello xenon liquido ad una velocità di circa 1 mm ogni microsecondo. Una volta arriva-



Rappresentazione schematica del rivelatore XENONnT

ti nella zona di separazione tra lo xenon liquido e gassoso, gli elettroni risentono di un campo elettrico ancora più intenso che li estrae nella zona gassosa e producono un secondo segnale di scintillazione, proporzionale al numero di elettroni estratti.

Questi particolari rivelatori, utilizzando le due fasi di aggregazione dello xenon (liquido e gassoso), vengono chiamati camere a proiezione temporale a doppia fase.

Il segnale di luce così prodotto viene nuovamente rivelato dai fotomoltiplicatori. La combinazione tra il segnale di luce primario e quello secondario permette di ricostruire in 3D il vertice di interazione e di selezionare solo gli eventi che hanno luogo nella parte più interna del bersaglio. In questo modo i segnali di fondo, generati dai materiali costituenti il rivelatore, una volta misurati nella parte più esterna del rivelatore possono essere esclusi, riducendo ad un livello trascurabile il rumore di fondo.

Inoltre, il rapporto dei due segnali permette di distinguere efficientemente eventi di fondo, dovuti a fotoni ed elettroni, da un possibile segnale di materia oscura che produrrebbe il "rinculo" di un nucleo di xenon.



La camera a proiezione temporale (TPC) durante la fase di montaggio.



Rappresentazione 3D della TPC.

LA COLLABORAZIONE DEL PROGETTO XENON: 28 ISTITUZIONI E PIÙ DI 170 SCIENZIATI



XENONnT

enlightening the dark

Osservazioni astrofisiche forniscono ampia evidenza dell'esistenza di una componente invisibile, anche se dominante, della massa totale dell'Universo. Tali evidenze emergono dall'osservazione sia delle galassie che delle più grandi strutture cosmologiche.

Decenni di osservazioni astrofisiche, condotte con strumentazioni sempre più sofisticate, hanno inequivocabilmente evidenziato che la maggior parte della massa contenuta nelle galassie, negli ammassi di galassie e nelle più grandi strutture osservabili del cosmo, non è luminosa (non emette o assorbe radiazione elettromagnetica), ma oscura. Anche le misurazioni eseguite sulla radiazione cosmica di fondo e sull'abbondanza di atomi leggeri nell'Universo conducono allo stesso risultato. Il modello cosmologico esistente prevede che la materia oscura contribuisca per l'85% alla massa totale presente nell'Universo. Solo il restante è costituito dalla materia ordinaria, quella di cui siamo fatti.

Scoprire la natura della materia oscura è una delle sfide più importanti della fisica moderna. La materia oscura potrebbe essere fatta di una nuova particella ancora sconosciuta, di grande

massa e debolmente interagente, chiamata WIMP (acronimo inglese di Weakly Interacting Massive Particle). Una delle strategie di ricerca delle WIMP consiste nel rivelare le loro eventuali collisioni con determinati nuclei atomici all'interno di rivelatori a bassissimo rumore di fondo, installati in siti sotterranei.

Scoprire le WIMP permetterebbe di fare chiarezza su due problemi tra i più importanti della fisica moderna: la composizione della materia del nostro Universo e l'esistenza di fenomeni nuovi non previsti dal Modello Standard delle particelle elementari. Ci si aspetta che milioni di WIMP attraversino il nostro corpo ogni secondo senza interagire mai con esso.

Le rare interazioni di queste particelle possono essere scoperte con sofisticati esperimenti sulla terra. Gli strumenti devono essere sensibili ai piccolissimi rilasci di energia delle WIMP generati dalla loro interazione con gli atomi costituenti il bersaglio del rivelatore e caratterizzati da un bassissimo numero di eventi indesiderati attesi (rumore di fondo). L'esperimento XENONnT, nei laboratori sotterranei del Gran Sasso, utilizza xenon liquido per cercare queste rare collisioni.



XENONnT

Il rivelatore dell'esperimento XENONnT è una camera a proiezione temporale (TPC) con bassissimo rumore di fondo, riempito con xenon ultra-puro che costituisce il mezzo utilizzato per rivelare le interazioni di materia oscura. Lo xenon viene impiegato sia nello stato liquido che gassoso. Questa tecnologia è utilizzata nella ricerca della materia oscura per la sua eccellente capacità di escludere gli eventi di fondo, quelli cioè dovuti a segnali di disturbo. Inoltre può essere facilmente riprodotta per lo sviluppo di rivelatori a masse molto più grandi.

Lo xenon liquido è un ottimo scintillatore, infatti i suoi atomi emettono luce a seguito dell'urto con altre particelle e possono essere facilmente ionizzati.

Sfruttando questa caratteristica si possono rivelare simultaneamente i segnali di luce di scintillazione e quelli provocati dalla carica di ionizzazione per ogni rilascio di energia dovuto all'interazione della materia oscura. Le camere a proiezione temporale che utilizzano xenon liquido hanno ottenuto grandi risultati negli ultimi anni e al momento costituiscono una tecnologia all'avanguardia per la ricerca diretta della materia oscura.

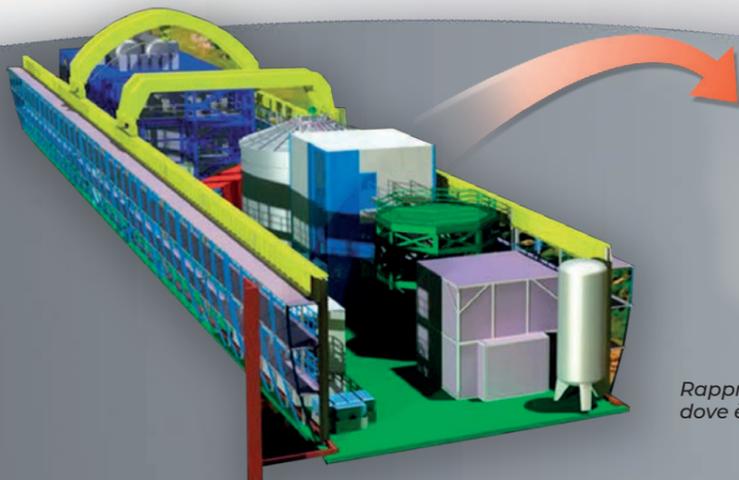
Lo xenon, oltre ad essere particolarmente radiopuro, scherma la radiazione esterna molto efficientemente grazie alla sua alta densità pari a 3 volte quella dell'acqua ed è molto sensibile ai piccoli rilasci di energia.

Il progetto XENON, iniziato alla Columbia University, si è sviluppato in più fasi, in ciascuna delle quali sono stati costruiti e messi in funzione rivelatori con masse sempre maggiori, da pochi chili a varie tonnellate.

Nella versione attuale, l'esperimento XENONnT utilizza 8.5 t di xenon ultra-puro, di cui 5.9 t sono osservate da 494 fotomoltiplicatori (rivelatori di luce), di nuova generazione, sensibili alla luce di scintillazione dello xenon.

In questa configurazione la parte più interna del rivelatore è circondata dalla rimanente parte che funziona da schermo e da isolante elettrico. L'esigenza di avere un rivelatore con un bassissimo rumore di fondo implica che tutti i materiali e i componenti del rivelatore siano selezionati in base alla loro radiopurezza.

Lo xenon è un elemento nobile che, a temperatura e pressione ambiente, si presenta in forma gassosa e liquefa a temperature prossime a -108°C . Lo xenon è presente nell'atmosfera terrestre in piccolissime concentrazioni, pari a 0.000087% del volume.



Rappresentazione schematica della Sala B dei LNGS, dove è situato l'esperimento XENONnT.



PARTE INTERNA DEL SERBATOIO DI ACQUA CHE FA DA SCHERMO A XENONnT

RIVELATORE DI NEUTRONI INSTALLATO ATTORNO AL CRIOSTATO

LO XENON LIQUIDO È CONTENUTO IN UN CRIOSTATO COSTITUITO DA DUE CONTENITORI CILINDRICI CONCENTRICI REALIZZATI CON MATERIALI SCELTI TRA QUELLI A PIÙ BASSA EMISSIONE RADIOATTIVA POSSIBILE. LO SPAZIO VUOTO TRA I DUE CONTENITORI CONCENTRICI SERVE A ISOLARE TERMICAMENTE IL CONTENITORE INTERNO DALL'AMBIENTE ESTERNO. IL CRIOSTATO OSPITA L'APPARATO SENSIBILE, LA CAMERA A PROIEZIONE TEMPORALE, I CUI SEGNALI SONO REGISTRATI DA DUE GRUPPI DI FOTOMOLTIPLICATORI DISPOSTI SOPRA E SOTTO LA REGIONE DEL BERSAGLIO SENSIBILE.

Le misure di radiopurezza dei materiali sono state realizzate con particolari apparati in funzione ai LNGS ed in altre istituzioni coinvolte nell'esperimento che sono tra i più sensibili al mondo.

Al fine di migliorare la protezione naturale contro la radiazione cosmica, ottenuta dai 1400 m di roccia del massiccio del Gran Sasso che sovrasta i laboratori, il criostato è installato all'interno di un contenitore cilindrico di 9.6 m di diametro e 10 m di altezza, all'interno del quale sono installati 84 fotomoltiplicatori.

Il cilindro contiene 700 m³ di acqua pura che costituisce una protezione ulteriore anche alla radiazione ambientale. Una particella carica che attraversa il volume d'acqua può emettere un lampo di luce (radiazione Cherenkov) che è rivelato dai fotomoltiplicatori.

Al centro del contenitore cilindrico è installato un rivelatore di neutroni che costituiscono uno dei principali segnali di disturbo. Quest'ultimi, infatti, interagendo con lo xenon, producono un segnale molto simile a quello delle WIMP.

Struttura dell'esperimento XENONnT all'interno della Sala B.

Il rivelatore di neutroni consiste in una struttura attorno al criostato delimitata da pannelli riflettenti e 120 fotomoltiplicatori, che permettono di rivelare la luce emessa dall'interazione dei neutroni e di escludere gli eventi dall'analisi dati. Questa ulteriore strumentazione permette di aumentare la sensibilità dell'intero esperimento alle WIMP.

Su un lato dell'esperimento XENONnT è posizionata una struttura di tre piani che ospita tutti gli apparati secondari necessari per il funzionamento dell'esperimento. Il sistema criogenico, che liquefa lo xenon, è posizionato all'ultimo piano, così come il sistema di purificazione che ricircola continuamente lo xenon attraverso speciali filtri in grado di rimuovere le impurezze (fino ad una parte ogni dieci miliardi di atomi) dallo xenon liquido.

Nel piano centrale della struttura sono posizionati il centro calcolo e l'elettronica di supporto al funzionamento del rivelatore.

Il sistema di stoccaggio dello xenon è invece posizionato nel piano terra. Questo sistema può contenere l'intera quantità di xenon (8,5 t) in ognuno degli stati di aggregazione (gassoso, liquido o solido) ed è progettato per permettere il recupero dello xenon dal criostato in poche ore in caso di necessità. Nello stesso piano è posizionata una colonna di distillazione alta 5 m che rimuove dallo xenon le impercettibili quantità di kripton (un atomo ogni diecimila miliardi di atomi di xenon) che potrebbero generare alcuni eventi indesiderati. Una colonna analoga è posizionata al piano superiore, ed è dedicata alla rimozione degli atomi di Radon, un altro gas nobile che costituisce un possibile segnale di disturbo.

