

» L'INTERVISTA

**PARTE DAGLI USA LO SFORZO
GLOBALE PER STUDIARE I
NEUTRINI CON FASCI ARTIFICIALI**

*Intervista a Sergio Bertolucci,
dal 2008 al 2015 direttore della ricerca
del CERN, oggi il coordinatore per l'INFN
dell'esperimento DUNE
(Deep Underground Neutrino Experiment)*

Dopo la chiusura degli acceleratori PEP-II a SLAC (*Stanford Linear Accelerator*) e Tevatron, al Fermilab (*Fermi National Accelerator Laboratory*) di Chicago - con la conseguente confluenza di molti fisici americani verso l'acceleratore LHC al CERN - gli Stati Uniti hanno ridefinito la strategia per la ricerca in fisica delle particelle. Il programma, definito fino al 2024, è riportato nel rapporto P5 (*Particle Physics Project Prioritization Panel*) e prevede l'assegnazione di un'alta priorità alla fisica dei neutrini e al rilancio del Fermilab di Chicago, sede del fascio artificiale di neutrini più intenso al mondo.

Con il laboratorio sotterraneo *Sanford Underground Research Facility*, in South Dakota, il Fermilab, è una delle due infrastrutture su cui poggia il progetto LNBF (*Long Baseline Neutrino Facility*)/DUNE il cui carattere globale è ben rappresentato dal numero di paesi, 27, coinvolti nella sua progettazione. Il gigantesco laboratorio sotterraneo LNBF ospiterà il più grande esperimento mondiale per lo studio delle proprietà dei neutrini, DUNE, a governance internazionale. Presentato per la prima volta nel gennaio del 2014 al Committee del Fermilab dall'allora direttore della ricerca del CERN, Sergio Bertolucci, LNBF/DUNE prevede la posa della prima pietra entro il 2017 e l'inizio dell'attività sperimentale nel 2024. Nel 2015 l'Italia, rappresentata dall'INFN, ha siglato attraverso il MIUR un accordo d'intesa tecnica con il DOE per la ricerca sui neutrini al Fermilab. Bertolucci coordina oggi i fisici italiani, parte della comunità INFN, impegnati con DUNE nella ricerca sui neutrini.

Qual è il presupposto per questo ambizioso programma americano e mondiale sui neutrini?

Il principale punto di contatto tra il rapporto statunitense P5 e la strategia mondiale per la fisica delle particelle è il riconoscimento che questo è il campo della scienza più globalizzato oggi esistente. La strategia della ricerca in questo settore poggia infatti su due considerazioni che rappresentano la realtà attuale: nessuna delle regioni geografiche del mondo può pensare di fare ricerca in fisica delle particelle senza contemplare la collaborazione con le altre ed è inoltre necessario che ciascuna

» L'INTERVISTA

punti su un *flagship project* a partecipazione internazionale.

Il CERN ha avuto e ha un ruolo fondamentale nella nascita del progetto LNBF/DUNE.

La grande novità introdotta dal programma LNBF/DUNE è che per la prima volta gli USA hanno adottato il modo di fare le cose che è proprio del CERN. Da sempre il CERN agisce da laboratorio ospite e collabora con le altre istituzioni di ricerca europee e mondiali, fornendo sostanzialmente l'infrastruttura, ma gli esperimenti sono entità indipendenti la cui *governance* non dipende dal CERN. Per la prima volta nella storia della ricerca americana, gli USA hanno accettato di mettere a disposizione l'infrastruttura per un esperimento a *governance* internazionale al quale il DOE partecipa senza detenere la *leadership*. Il CERN, dalla sua, ha deciso di collaborare e aiutare il Fermilab nella realizzazione della parte infrastrutturale, fornendo ad esempio i giganteschi criostati per il laboratorio sotterraneo, per la progettazione e costruzione dei quali detiene un brevetto europeo. Il CERN, inoltre, ha lanciato due anni fa una piattaforma di *engineering prototype*, la *neutrino platform*, che sarà punto di riferimento per la comunità europea impegnata nella ricerca sui neutrini, per tutte le attività di costruzione e test dei prototipi dei rivelatori. Il progetto ha portato alla realizzazione di una grande area sperimentale: qui sarà testata la tecnologia criogenica e i prototipi dei rivelatori (monofase e a doppia fase) che costituiranno i 4 rivelatori di DUNE.

Conviene oggi puntare sulla ricerca su neutrini? È un campo che può competere con la fisica delle alte energie?

Sui neutrini abbiamo capito ancora molto poco. Fino a non molti anni fa pensavamo, ad esempio, che non avessero massa; poi abbiamo scoperto che oscillano e, quindi, devono avere una massa. Non conosciamo ancora la loro natura: potrebbero essere neutrini di Majorana, coincidenti con la loro antiparticella, o di Dirac, distinti dalla loro controparte di antimateria. Potrebbero essere proprio i neutrini, poi, all'origine dell'asimmetria tra materia e antimateria nell'universo. Studiare i meccanismi di mescolamento tra le masse dei neutrini è inoltre fondamentale per completare le nostre conoscenze sulle particelle. Ad esempio, sappiamo con buona probabilità che non è il bosone di Higgs a dare la massa ai neutrini. Uno dei campi in cui il Modello Standard, la teoria attuale delle particelle e delle loro interazioni, è stato messo a dura prova e presenta delle criticità è proprio la fisica del neutrino, un aspetto complementare, quindi, alla fisica che studiamo con l'acceleratore LHC.

Quali gli obiettivi scientifici di LNBF/DUNE? In che modo i risultati attesi potranno aprire una via per la ricerca di nuova fisica?

Il programma prevede sostanzialmente due grandi goal: misurare la gerarchia di massa del neutrino e misurare la violazione della simmetria tra materia e antimateria (violazione CP). Per quanto riguarda la massa dei neutrini, sappiamo soltanto che il secondo stadio dei neutrini è più pesante del primo. Ma

» L'INTERVISTA

non sappiamo se il terzo sia il più leggero o il più pesante dei tre (*normal hierarchy o inverted hierarchy*). Questo ha molte implicazioni e può dare importanti indicazioni sull'ampiezza della violazione di CP, sul meccanismo di mescolamento dei neutrini. Misurare la violazione di CP, d'altra parte, serve a comprendere come si sia prodotta l'asimmetria originaria tra materia e antimateria, senza la quale l'universo non esisterebbe. Come nel caso dei quark, con la matrice CKM (Cabibbo-Kobaiashi-Mascawa), il mescolamento dei neutrini è descritto da una matrice equivalente, la matrice PNMS (Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata) che fornisce la densità di probabilità delle trasformazioni. In entrambe queste due matrici ci sono termini che indicano una violazione di CP, ma mentre nel caso dei quark la violazione è troppo piccola per giustificare l'asimmetria tra materia e antimateria, nel caso dei neutrini questa violazione, in base alla sua ampiezza, potrebbe rendere conto di questa asimmetria. Il calcolo dei parametri della matrice PNMS, inoltre, potrebbe nascondere informazioni su nuova fisica, sull'esistenza di nuove particelle, come i neutrini sterili.

Lei è dirigente di ricerca all'INFN e negli ultimi 7 anni ha ricoperto il ruolo strategico di direttore della ricerca al CERN. Quali benefici può trarre il più grande laboratorio di fisica delle particelle del mondo dalla collaborazione alla ricerca sui neutrini?

In vantaggio è innanzitutto culturale. Un errore da non commettere nella ricerca fondamentale è ritenere che la strada che si sta seguendo sia quella giusta. Non è possibile stabilire a priori quale sia la via maestra ed è sempre necessario tenere vivi percorsi diversificati.

Ci sono almeno altri due motivi di interesse. L'uno è mantenere alta, nella comunità, la capacità di studiare cose diverse. L'altra è una questione di politica della ricerca: se non aiutassimo i ricercatori americani, costringeremmo gli Stati Uniti a chiudersi sulla loro linea di ricerca e non potremmo più contare sul contributo USA a LHC. In generale, è molto pericoloso concentrare tutta la ricerca in un unico punto; solo sostenendo a nostra volta il programma americano possiamo realizzare un bilanciamento fruttuoso.

L'Italia, con l'INFN, ha una lunga storia di indagine sperimentale sui neutrini, con gli esperimenti ai Laboratori del Gran Sasso. Tra i rivelatori che hanno giocato un ruolo in questo campo c'è ICARUS, uno strumento che adesso sarà installato al Fermilab. La sua tecnologia è tutt'oggi all'avanguardia?

Quella che esportiamo con ICARUS è la tecnologia dell'argon liquido, frutto di un'idea originale del Premio Nobel Carlo Rubbia. La stessa tecnologia sarà utilizzata per DUNE, ma con rivelatori molto più grandi. DUNE, infatti, sarà ospitato in una ex-miniera d'oro con più di 550 km di gallerie fino a 2500 m di profondità. Il laboratorio sarà costruito a 1550 m di profondità e sarà costituito da 5 grandi sale, una delle quali dedicata a ospitare le infrastrutture di servizio, mentre le altre 4 ospiteranno ciascuna un rivelatore ad argon liquido da 10000 tonnellate attive, corrispondenti a 17000 tonnellate effettive. ICARUS è più piccolo. È un rivelatore da 600 tonnellate ed è ora in fase

»» L'INTERVISTA

di aggiornamento al CERN, prima di essere inviato al Fermilab. Qui, nella fase di realizzazione del laboratorio LNBF e dei rivelatori di DUNE, sarà utilizzato per un esperimento di short baseline, con fascio di neutrini prodotto dal booster ring del Fermilab: un esperimento interamente contenuto nel laboratorio per la verifica dell'anomalia osservata dall'esperimento *Liquid Scintillator Neutrino Detector*, a Los Alamos (anomalia LSND). Il fenomeno, ancora inspiegato, potrebbe essere attribuibile a un errore sperimentale o alla manifestazione dell'esistenza dei neutrini sterili. ICARUS consentirà di ripetere l'esperimento, in modo da cancellare i possibili errori sistematici. La sperimentazione con ICARUS al Fermilab sarà inoltre una palestra per giovani fisici e per lo sviluppo di software nuove tecnologie sperimentali utili per la realizzazione e la gestione di DUNE. ■