



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI BARI
ALDO MORO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI
SCUOLA DI DOTTORATO IN FISICA
- XXXI CICLO -

Relazione sull'attività svolta durante il primo anno

Dottoranda: Intonti Rosaria Annalisa

Tutori: Prof. V. Berardi, Dott. E. Radicioni

Sommario

L'attività di ricerca svolta durante il primo anno di dottorato ha riguardato lo studio delle interazioni di neutrino ed antineutrino nell'esperimento T2K: in particolare, nell'ambito di questo esperimento, questo progetto di ricerca ci si riproponeva, inizialmente, di studiare la risposta delle TPC per la misura dei vertici nel gas delle attuali camere e, in seguito, di seguire il progetto di sviluppo e realizzazione delle nuove TPC previste per l'upgrade di T2K. Questo primo anno è servito a focalizzare la problematica e definire l'argomento centrale della tesi di dottorato. In particolare, in considerazione dei tempi necessari per la realizzazione delle nuove TPC si è deciso di modificare l'idea iniziale e concentrarsi sulla realizzazione e caratterizzazione del nuovo monitor del LINAC per Super-Kamiokande (sempre di responsabilità del gruppo INFN), fondamentale per ottenere una calibrazione ottimale della risposta degli elettroni nel rivelatore.

La scelta è dovuta, soprattutto, a una questione di tempistica. Infatti, questo progetto (considerato di grande interesse nella collaborazione) si sposa meglio con i tempi previsti per la scrittura della tesi, permettendo di includere, non solo la simulazione, ma anche la costruzione e l'analisi dei dati raccolti col monitor realizzato.

1. Introduzione

T2K (Tokai to Kamioka) è un esperimento di oscillazione di neutrino di tipo "Long Baseline". In tali esperimenti i neutrini prodotti in un determinato luogo, vengono misurati anche a diverse centinaia di chilometri di distanza, per osservare la trasmutazione di una parte di neutrini di un definito genere in un altro (oscillazione).

T2K (Tokai-to-Kamioka) è il primo esperimento di oscillazione di neutrini “long-baseline” che sfrutta un intensissimo fascio off-axis di neutrini muonici [1]. Il fascio di ν_μ (con energia di picco di 600 MeV) è prodotto nel complesso di acceleratori per la ricerca, denominato J-PARC (villaggio di Tokai sulla costa est del Giappone) e viene prima adeguatamente monitorato da un insieme di rivelatori posti nel cosiddetto *Near Detector* (ND280), poi inviato ed intercettato a 295 km di distanza dal gigantesco rivelatore Super-Kamiokande, collocato all’interno delle miniere di Kamioka (costa ovest del Giappone). Tale rivelatore, composto da 50kton d’acqua, permette di misurare, tramite effetto Cherenkov, muoni, elettroni e pioni, prodotti dalle interazioni deboli dei neutrini con l’acqua.

La presenza di diversi rivelatori “vicini” alla zona di produzione dei neutrini (J-PARC), oltre al rivelatore “lontano” in Kamioka, permette all’esperimento eccellente conoscenza del fascio e grande accuratezza nella misura dei parametri fondamentali di oscillazione dei neutrini.

Il fascio di neutrini utilizzato dall’esperimento, è prodotto dal protosincrotrone a Tokai in Giappone: si tratta di protoni di 30GeV su un bersaglio di carbonio: si cerca l’ “apparizione” di ν_e in un fascio quasi puro di ν_μ .

2. Il rivelatore vicino ND280

Il complesso dei rivelatori vicini (denominati “ND280”) è installato (come suggerisce il nome) a 280 metri dal punto di produzione dei neutrini e permette di misurarli prima che avvengano fenomeni di oscillazione. I neutrini di T2K sono molto più energetici di quelli solari, e, sebbene la probabilità che interagiscano con la materia sia piccola, è, comunque, molto più elevata del caso dei “solari”. In particolare, una piccola frazione interagisce con lo scintillatore o con l’acqua nel rivelatore “ND280” e molte di queste interazioni producono particelle cariche che possono essere rivelate poichè ionizzano il gas contenuto nelle grandi camere a deriva (“TPC”).

Le tre TPC presenti in ND280 sono di particolare rilevanza scientifica in quanto sono le prime di grandi dimensioni basate su rivelatori a micro-pattern.

Tre “Time Projection Chamber” (TPC) permettono la ricostruzione dei parametri della traccia (p , ϑ) e di identificare le particelle (PID) sfruttando la dE/dx . I piani di lettura sono costituiti da MicroMegs (rivelatori a gas a microstruttura). Per tutte e tre le TPC sono state utilizzate 72 MicroMegs [2].

Inoltre tutti i rivelatori dello ND280 sono inclusi in un grande magnete superconduttore che permette di discriminare la carica osservando la curvatura (concava o convessa) delle traiettorie. Le misure effettuate nel rivelatore “ND280” sono usate per predire il numero dei neutrini muonici ed elettronici che ci si aspetta di vedere nel rivelatore lontano “Super-Kamiokande”, nel caso non ci siano oscillazioni.

3. Super-Kamiokande

La maggioranza dei neutrini attraversa il rivelatore “ND280” senza interagire e prosegue il suo viaggio a una velocità di poco inferiore alla velocità della luce, fino a raggiungere il gigantesco rivelatore denominato “Super-Kamiokande”. Esso è installato a 1000 metri sottoterra nella miniera di Kamioka, nel Giappone occidentale a 295Km da Tokai. Super-Kamiokande (fig.1) è un enorme cilindro (circa 39m di diametro, 42m di altezza) riempito di acqua ultra pura. A causa della differenza di copertura angolare, solo una piccola frazione dei neutrini che attraversano l’ND280 raggiungono il rivelatore posto a 295Km [3]. Per compensare la riduzione di flusso, i rivelatori “lontani” dal punto di partenza devono essere molto grandi. Qui, di nuovo la maggioranza dei neutrini continua il suo viaggio senza poter essere osservato ma (fortunatamente per noi)

una piccola frazione interagisce con l'acqua. Alle energie di T2K, il tipo di interazione dominante è quella denominata "Quasi Elastic Charged Current" (CCQE). In questo tipo di interazioni quasi tutta l'energia del neutrino è trasferita al leptone corrispondente. Quindi, studiando eventi costituiti da un solo elettrone (per ν_e) e un solo muone (per ν_μ) è possibile misurare l'apparizione e la sparizione dei neutrini alla fine del viaggio da Tokai a Kamioka. E' possibile distinguere (con una precisione >99%) elettroni da muoni grazie alle caratteristiche del cerchio Cherenkov, mentre l'energia dell'elettrone e del muone è proporzionale alle dimensioni del cerchio stesso. In questo tipo di detector la calibrazione in energia degli elettroni è, quindi, un elemento fondamentale, sia per le misure di oscillazione che per le misure relative ai neutrini solari. In Super-Kamiokande tale calibrazione è effettuata periodicamente grazie ad un LINAC, la cui parte terminale viene inserita in differenti posizioni all'interno dell'enorme detector. In tali condizioni vengono poi iniettati elettroni di varie energie. Il monitor della posizione, intensità ed energia degli elettroni prodotti dal LINAC è, perciò, un elemento particolarmente importante.

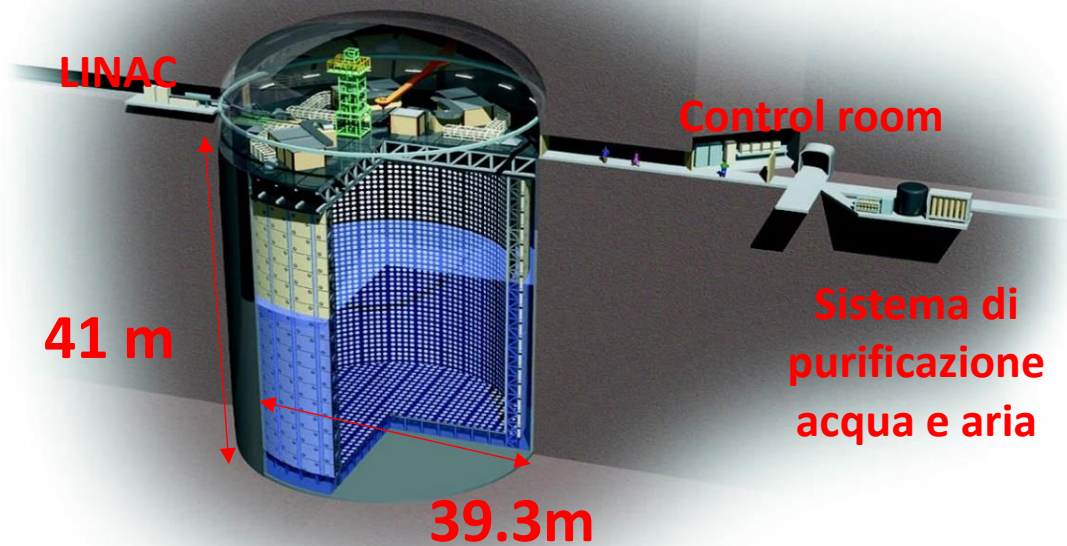


Fig. 1

4. Risultati dell'anno 2016

Durante il primo anno di dottorato ho preso parte, insieme ad altri colleghi, agli studi volti a superare i limiti dell'attuale detector vicino (ND280) in vista dell'upgrade dell'esperimento (T2K-II) che dovrebbe cominciare a prendere dati nel 2020-2021. A questo scopo è stato creato un gruppo di lavoro (a cui ho partecipato) che sta studiando un nuovo setup per l'apparato.

Il nuovo set-up deve permettere di superare alcuni limiti del precedente e, in particolare, deve prevedere:

- 1) Accettanza angolare a 4π (come in SK) e non "solo in avanti".
- 2) Misura della sezione d'urto in acqua (come in SK) e non solo in carbonio.

Il vecchio e il nuovo setup sono mostrati in fig 2.

Per aumentare l'accettanza angolare nel nuovo setup, sono state aggiunte ulteriori 4 TPCs orizzontali e, per misurare le interazioni in acqua, un bersaglio di acqua al centro.

La finalizzazione del progetto è prevista nel 2017-2018, mentre la costruzione dovrebbe avvenire nel 2019-2020. Test e assemblaggio dei nuovi rivelatori sono previsti al CERN, nell'ambito della Neutrino Platform, fra la fine del 2018 e il 2020. Per familiarizzare con l'uso delle camere a deriva (TPC), ho trascorso dei periodi presso il laboratorio di JPARC, qualificandomi come esperta di questo rivelatore. Ho inoltre preso parte alla presa dati dell'esperimento.

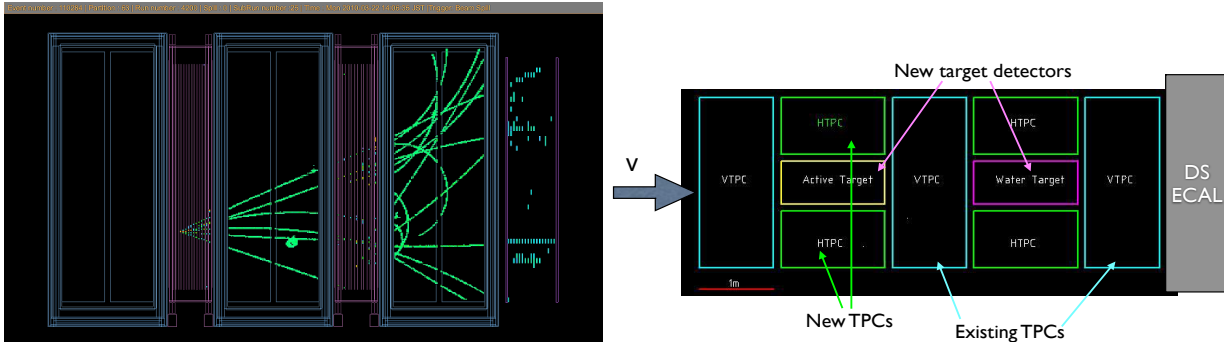


Fig.2

Infine, insieme ai miei *tutors*, abbiamo discusso quale potesse essere il mio personale contributo e, considerando i tempi di realizzazione del progetto, abbiamo convenuto di puntare su un argomento nell'ambito dello stesso esperimento, che riguardasse comunque un problema di calibrazione e che mi permettesse di seguire non solo la parte di *Design* (simulazione) ma anche quella di realizzazione, test e installazione di un nuovo detector, in modo che fosse inclusa una parte prettamente sperimentale. Per questo motivo, anche se conto di continuare a seguire il progetto "nuove TPCs", mi concentrerò, per quanto riguarda la tesi, sulla realizzazione del nuovo monitor per il LINAC di Super-Kamiokande che ne costituirà la parte.

5. Prospettive per gli anni 2017-2018

Nel corso del 2016 è stata proposta e approvata la realizzazione di un nuovo Position Sensitive Monitor (PSM) del LINAC utilizzato da Super-Kamiokande per la calibrazione degli elettroni.

Il progetto sarà realizzato dal gruppo INFN di Bari e Roma fra il 2017 e il 2018 e consiste in un set di 3 monitors basati sul concetto di "gamma camera" (dischi di scintillatori di 2cm di diametro con lettura a SiPM). Saranno provati dischi di diverso spessore, diametro e caratteristiche di raccolta luce, al fine di ottimizzare le performances volute. Uno sketch preliminare del detector proposto è illustrato in fig 3.

L'insieme dei detectors deve poter essere inserito nella beam pipe attuale e montato in modo da poter essere spostato e/o rimosso in modo remoto. Un PCB ospiterà l'elettronica di front-end, l'interfaccia con il readout system e l'ASICs per la serializzazione del readout verso la fibra. Un set of silicon photo-multipliers (SiPM) verrà utilizzato per leggere la luce raccolta dagli scintillatori. La posizione della traccia verrà determinata grazie al baricentro della luce raccolta da ogni SiPM.

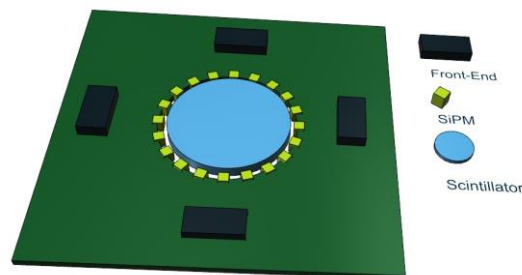


fig. 3

Una possibile scala temporale per la realizzazione del progetto è la seguente:

2017: R&D e finalizzazione del *design*- Test del primo prototipo con sorgenti radioattive e fasci elettroni di bassa energia (LNF)

2018: Costruzione e installazione dei rimanenti beam monitor - Installazione nel LINAC di SK prima della ripartenza del data taking.

Durante l'R&D e il periodo di costruzione, è previsto anche lo sviluppo del readout e del sistema di monitor che sarà, eventualmente, installato a Super-Kamiokande per essere usato durante le calibrazioni con il LINAC.

6. Corsi seguiti ed esami sostenuti

| ESAME | DOCENTE | PROVA FINALE | CFU |
|---|-----------|--------------|-----|
| Introduction and advanced C++ programming | CAFAGNA | 07-dic | 4 |
| Management and knowledge of European research model and promotion of research results | D'ORAZIO | SUPERATA | 2 |
| How to prepare a technical speech in English | WHITE | SUPERATA | 2 |
| Optical sensors | SPAGNOLO | SUPERATA | 2 |
| Nuclei astrophysics | TAGLIENTE | SUPERATA | 2 |
| Silicon detector | CREANZA | SUPERATA | 2 |
| Gas detector | PESKOV | 15-dic | 2 |

7. Pubblicazioni e lavori a stampa (2015-2016)

- 1) Measurement of the muon neutrino inclusive charged-current cross section in the energy range of 1–3 GeV with the T2K INGRID detector -T2K Collaboration (K. Abe (Tokyo U., ICRR) et al.) Published in Phys.Rev. D93 (2016) no.7, 072002
- 2) Measurement of Muon Antineutrino Oscillations with an Accelerator-Produced Off-Axis Beam- T2K Collaboration (Ko Abe (Kamioka Observ.) et al.) Published in Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.18, 181801
- 3) Measurement of double-differential muon neutrino charged-current interactions on C88H88 without pions in the final state using the T2K off-axis beam -T2K Collaboration (Ko Abe (Kamioka Observ.) et al.) Published in Phys.Rev. D93 (2016) no.11, 112012
- 4) Measurement of coherent π^+ production in low energy neutrino-Carbon scattering K. Abe (Novosibirsk State U. & Novosibirsk, IYF & Warwick U.) et al. Published in Phys.Rev.Lett. 117 (2016) no.19, 192501
- 5) Physics potential of a long-baseline neutrino oscillation experiment using a J-PARC neutrino beam and Hyper-Kamiokande By Hyper-Kamiokande Proto- Collaboration (K. Abe et al.). PTEP 2015 (2015) 053C02.

- 6) First Measurement of the Muon Neutrino Charged Current Single Pion Production Cross Section on Water with the T2K Near Detector By T2K Collaboration (K. Abe et al.) arXiv:1605.07964, accepted by PRD.
- 7) Sensitivity of the T2K accelerator-based neutrino experiment with an Extended run to 20×10^{21} POT By T2K Collaboration (Ko Abe et al.) arXiv:1607.08004[hep-ex] submitted to PTEP.
- 8) Proposal for an Extended Run of T2K to 20×10^{21} POT. (By Ko Abe et al.) arXiv:1609.04111[hep-ex].
- 9) TITUS: the Tokai Intermediate Tank for the Unoscillated Spectrum (By C. Andreopoulos et al.) (arXiv:1606.08114[physics.ins-det]).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Atsuko K. Ichikawa, the T2K long baseline neutrino oscillation experiment, 2009. 27pp. Lect. Notes Phys. 781: 17-43, 2009.
- [2] Time Projection Chambers for the T2K Near Detectors - T2K ND280 TPC Collaboration (Abgrall, N. et al.) Nucl. Instrum. Meth. A637 (2011) 25-46.
- [3] Calibration of the Super-Kamiokande detector- Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 737: 253–272, K. Abe; et al. (11 February 2014).