

Il RICH dello spettrometro CLAS12

Attività 2016-2017

July 19, 2016

1 Introduzione

La costruzione di un RICH per lo spettrometro CLAS12 per ottenere l'identificazione di kaoni nel range di impulsi tra 3 e 8 GeV/c è stata proposta dai gruppi dell'INFN di LNF, Fe e ISS, a cui si sono poi aggiunti anche i gruppi di Ba e Ge, oltre a vari istituti internazionali di Stati Uniti, Cile, Germania, Regno Unito, Corea.

La fase di *R&D* del progetto è stata in gran parte finanziata nel corso degli anni dalla CSN3. Nell'estate del 2013, è stato prodotto il Technical Design Report [1] del rivelatore e l'intero progetto è stato revisionato da due comitati di valutazione del JLab con osservatori del DOE. Il primo comitato (a giugno del 2013) ha esaminato la parte tecnica del progetto, mentre il secondo (a settembre 2013) ne ha esaminato la struttura manageriale. Dopo queste due revisioni, il progetto è entrato a far parte ufficialmente dell'upgrade di CLAS12, con un ben definito profilo di spesa da parte del JLab e con dettagliate milestones per seguirne l'evoluzione. Esso prevede la costruzione di un settore del RICH, il cui assemblaggio al JLab deve iniziare entro l'ultimo trimestre del 2016. La conclusione del progetto è prevista per l'autunno 2017, con l'installazione del RICH in tempo per l'inizio della presa dati dell'esperimento. Visto l'impegno finanziario del JLab, il progetto è stato inserito fra quelli direttamente monitorati dal DOE, con rapporti dei progressi ed incontri con rappresentanti DOE trimestrali.

Ad ottobre 2015, si è svolta la review di metà progetto di fronte a un comitato del JLab con osservatori del DOE, in cui è esaminato lo stato e sono state riviste tutte le milestones del progetto. A seguito del risultato positivo della review, il DOE ha rilassato la supervisione del progetto, rinunciando a richiedere il report trimestrale. A giugno 2016, al JLab si è svolta la *Experiment Readiness Review* che ha avuto lo scopo di verificare il grado di avanzamento delle procedure di assemblaggio, installazione e calibrazione dei vari rivelatori il cui utilizzo su fascio è previsto per l'anno prossimo. Durante la review del RICH non sono emersi rilievi di particolare importanza se non la necessità, comune a tutti i rivelatori esaminati, di predisporre specifica documentazione sulle procedure di sicurezza. Si è tuttavia ancora in attesa del report finale.

A settembre del 2013 il Ministero della Ricerca ha approvato il progetto premiale CLAS-MED con un finanziamento di 1.862 Meuro. Il progetto prevede la costruzione di un secondo settore del RICH, necessario per la presa dati con il bersaglio polarizzato trasversalmente.

Questi esperimenti, che richiedono il secondo settore, sono stati selezionati dal comitato scientifico del JLab (PAC41) come quelli a più alto impatto scientifico e quindi prioritari per la sala sperimentale B. Il piano di spesa programmatico per i due settori del RICH, inviato al Presidente di CSN3, prevede di distribuire l'investimento fino al 2019, con picco di spesa di circa 400k euro (comperti per metà da fondi premiali di Giunta) negli anni 2015-17. Il picco è motivato dall'urgenza degli investimenti per la realizzazione del primo settore in tempo per l'inizio della presa dati di CLAS12 che devono procedere in parallelo con la realizzazione del secondo settore.

2 Attività svolta nel 2016

L'attività svolta nel 2016 ha riguardato:

- il completamento della produzione della struttura meccanica in alluminio e fibra di carbonio e l'inizio del test di assemblaggio;
- il completamento della produzione dell'aerogel per il primo strato del settore ad angolo grande;
- l'avvio della produzione dell'elettronica di lettura;
- il completamento della produzione dei fotorivelatori;
- l'avvio della produzione degli specchi sferici e piani;
- lo sviluppo iniziale del software di ricostruzione, di calibrazione e di slow-control del RICH.

In collaborazione con il Jlab si sono definiti tutte le componenti dei servizi del rivelatore: alimentatori HV e LV, linee di gas, compressori per il raffreddamento, sistemi di controllo e sicurezza (slow-control e interlock) che soddisfano la regolamentazione americana. I servizi sono dimensionati in partenza per due settori del RICH e il JLab ha iniziato l'acquisizione del relativo hardware. Si sono inoltre definiti gli spazi per l'assemblaggio del rivelatore e per i servizi durante la presa dati.

È stata completata l'analisi dei dati del prototipo in grande scala del RICH nella configurazione di *proximity focusing* e pubblicati su rivista [2].

2.1 Meccanica

La struttura meccanica del RICH è costituita da un frame esterno in alluminio e fibra di carbonio. Su questa struttura sono installati gli elementi interni del RICH ed i pannelli di chiusura.

La produzione di tutti i componenti della struttura meccanica, del pannello di chiusura frontale e del pannello su cui sono assemblati i fotomoltiplicatori e l'elettronica di front-end è stata completata (Fig. 1). In particolare, per ragioni produttive, si è reso necessario dividere il pannello frontale, che è l'elemento di maggiore superficie del RICH, in due sezioni, una superiore che regge due strati di aerogel da 3 cm, ed una inferiore, che regge gli specchi piani

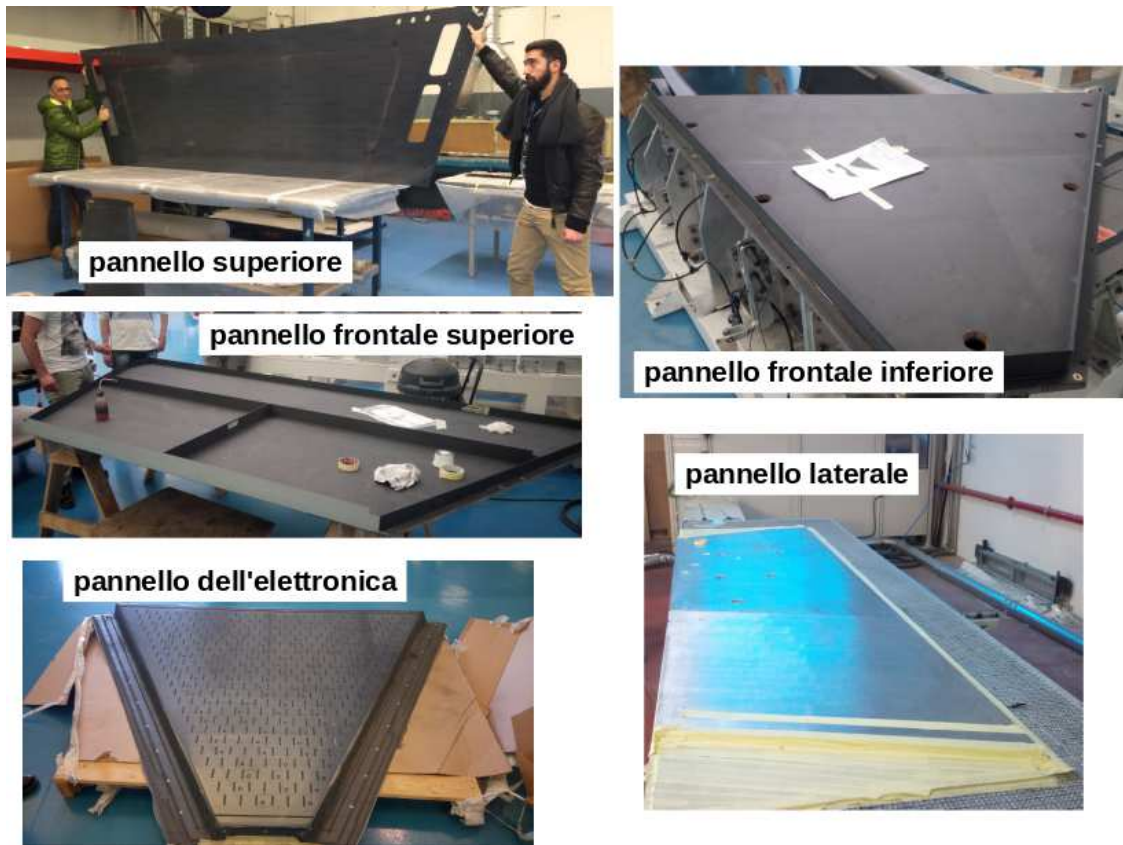


Figure 1: Foto degli elementi che costituiscono la struttura meccanica del RICH.

e l'aerogel da 2 cm. Questo ha permesso di eliminare una costola verticale di rinforzo del pannello che interferiva con l'accettazione dell'esperimento.

Nella prima metà del 2016, si è pertanto avviato il test di assemblaggio del RICH presso gli stabilimenti della ditta. Il RICH viene assemblato su una struttura in profilati metallici, dotata di un sistema di rotazione con un argano che permette la movimentazione del RICH dalla posizione orizzontale a quella verticale e viceversa. Il test verrà completato durante l'estate 2016, quindi la ditta provvederà all'imballaggio di tutto il materiale e alla spedizione al JLab. Si prevede l'avvio dell'assemblaggio del RICH per ottobre 2016 non appena si renderanno disponibili gli spazi previsti.

Durante il 2016, sono anche state riviste e discusse con gli ingegneri del JLab, che le hanno infine approvate, tutte le procedure ed i tools necessari per l'assemblaggio e l'installazione del RICH nella Sala B.

2.2 Aerogel

Durante il 2016, in collaborazione con i responsabili della produzione del Budker Institute of Nuclear Physics di Novosibirsk (Russia), sono state messe a punto una serie di misure di caratterizzazione, sia geometriche che ottiche, delle tiles di aerogel. Le misure hanno permesso di rivedere e modificare alcune delle specifiche tecniche inizialmente richieste. Queste

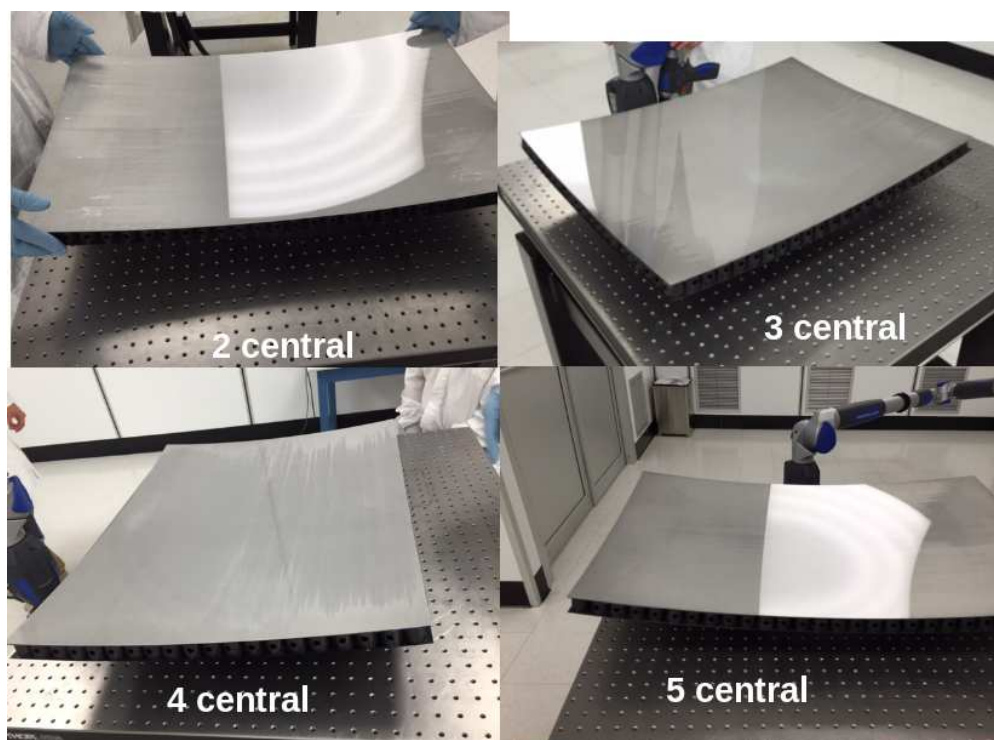


Figure 2: Foto dei primi 4 specchi sferici del RICH prodotti dalla CMA.

modifiche, discusse ed approvate durante la mid-term review con il JLab, hanno permesso di migliorare la velocità di produzione, mantenendo allo stesso tempo le prestazioni necessarie per il RICH. A giugno 2016 si è pertanto completata la produzione dell'aerogel del primo strato di 3 cm del settore a grande angolo, che era un milestone con scadenza al 31 dicembre 2015.

In parallelo, il JLab ha effettuato l'ordine per il secondo strato del settore a grande angolo, la cui produzione è iniziata a febbraio 2016.

2.3 Specchi

Il sistema focalizzante del RICH comprende una serie di specchi piani posti frontalmente davanti all'aerogel e sulle pareti laterali del RICH ed uno specchio sferico.

Lo specchio sferico, prodotto dalla ditta Composite Mirror Applications (CMA) di Tucson (USA), ha un raggio di curvatura di 2.7 m ed è segmentato in 10 sottospecchi, ciascuno con una superficie di circa 0.5 m^2 . Ciascun sottospecchio è composto da due pelli sottili di fibra di carbonio incollate su un nido d'ape di carbonio. I primi 4 sottospecchi sono stati consegnati a JLab a giugno 2016 (Fig. 2). Con una *Coordinate Measurement Machine* si sono misurate le dimensioni geometriche di questi sottospecchi, per verificare l'accordo con il modello 3D (CAD). Inoltre, sono state effettuate misure della dimensione dello spot riflesso dallo specchio quando questo è illuminato da una sorgente puntiforme: se lo specchio è perfetto, lo spot riflesso al centro di curvatura è anch'esso puntiforme. L'allargamento dello spot è collegato

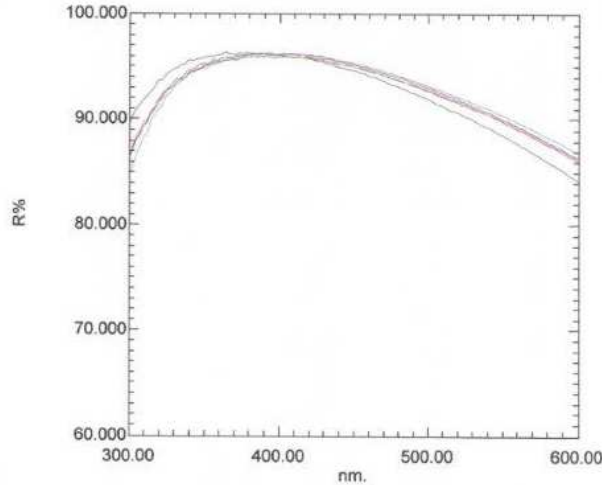


Figure 3: Misure di riflettività effettuate su uno dei pannelli laterali.

alla risoluzione angolare dei fotoni riflessi tramite la relazione

$$\sigma_{\theta} = \frac{D_0}{8R} \quad (1)$$

dove R è il raggio di curvatura dello specchio e D_0 indica il diametro dello spot che contiene il 95% della luce riflessa dallo specchio. Tutti gli specchi hanno mostrato un D_0 dell'ordine del mm, confrontabile con la dimensione della sorgente e ben al di sotto della richiesta di 2.5 mm. Pertanto, tutti i test di accettazione effettuati hanno confermato che le specifiche richieste. A luglio, sono stati consegnati altri 2 sottospecchi e il completamento della produzione è previsto entro la fine di luglio.

La nuova geometria del pannello frontale, diviso in due sezioni e senza la costola di rinforzo verticale, ha permesso di ottimizzare il disegno degli specchi frontali, che ora sono segmentati in due pannelli invece di 4. Anche gli specchi piani hanno una struttura a sandwich, con un core di nido d'ape di alluminio e due pelli di vetro, di spessore 0.7 mm per gli specchi frontali (che sono in accettazione) e di 1.6 mm per quelli laterali e quello inferiore (che sono fuori dall'accettazione di CLAS12). I primi due specchi laterali sono stati prodotti dalla ditta MediaLario di Bosisio Parini (Lecco). Dalle misure della planarità della superficie dello specchio, si ottiene un contributo dello specchio alla risoluzione angolare dei fotoni Cherenkov ben al di sotto del mrad richiesto nelle specifiche. Le misure di riflettività sui provini di coating, mostrate ad esempio in Fig. 3, hanno evidenziato un significativo miglioramento rispetto ai prototipi prodotti durante la fase di *R&D*, soprattutto nella regione di lunghezze d'onda intorno a 300 nm.

Lo specchio inferiore, di forma approssimativamente triangolare, è costituito da uno pezzo unico. Quello superiore, di forma trapezoidale, è costituito da due specchi uniti da una cornice di alluminio a formare un unico pannello. Queste modifiche hanno permesso di migliorare in maniera significativa la copertura azimutale del RICH nella configurazione di luce riflessa spostando i punti di attacco fuori accettazione ed inoltre di semplificare le

procedure di allineamento. Si prevede il completamento della produzione degli specchi piani entro la fine dell'anno.

2.4 Fotorivelatori

La produzione dei fotorivelatori, a carico del JLab, è stata completata all'inizio del 2016. Tutti i test di caratterizzazione nel regime di singolo fotoelettrone sono anche stati completati ed i risultati inseriti nel database di CLAS12.

2.5 Elettronica

L'elettronica del RICH comprende una scheda di adattamento per la connessione dei fotomoltiplicatori, una scheda che contiene il chip di lettura MAROC3 ed una scheda con la FPGA che configura il chip MAROC3 e che si connette con il sistema di acquisizione di CLAS12. Nel corso del 2016 il JLab ha completato la produzione e la verifica di tutte le schede FPGA. A febbraio 2016 è stata fatta una piccola produzione con il disegno finale delle schede e con i chip MAROC3A di nuova produzione. La verifica della funzionalità delle schede e dei chip ha dato esito positivo, a parte un disturbo indotto dall'impulsatore interno che può essere risolto con la semplice modifica di alcune piste. A maggio 2016 si è finalmente conclusa la fornitura di tutti i chip MAROC3A di nuova produzione (a lungo ritardata a causa di un problema con il package del chip) ed è quindi iniziata la produzione finale delle schede. Il primo lotto (piccolo) verrà spedito al JLab entro luglio per le verifiche finali con scheda FPGA e fotomoltiplicatori. Il montaggio delle restanti schede è previsto ad inizio settembre 2016.

L'elettronica del RICH è stata utilizzata in condizioni realistiche ad un test-beam al Fermilab, per leggere il prototipo di un RICH modulare allo studio per un futuro collisore elettrone-ione (attività finanziata dal DOE). La lettura digitale di 4 fotomoltiplicatori ha permesso di isolare il segnale Cherenkov dal fondo, vedi Fig. 4. La stessa elettronica è stata scelta dal progetto DIRC di sala-D del JLab e verrà usata da gruppi del JLab per ricerca e sviluppo in diversi campi (fra cui PET su vegetali).

In vista della costruzione del secondo settore del RICH, studi preliminari sono stati avviati per l'utilizzo di questa stessa elettronica con fotorivelatori di silicio (SiPM) [3]. Sono state realizzate diverse schede di adattamento di matrici di SiPM con l'elettronica del RICH (matrici di diverse dimensioni e di diversi produttori). A seguito di alcuni problemi riscontrati con le prime matrici BGA, si è deciso di utilizzare matrici già forniti di connettori. I test di accoppiamento e lettura sono previsti iniziare nell'estate 2016.

3 Attività prevista nel 2017 e richieste

Il prossimo anno sarà essenzialmente dedicato all'assemblaggio del primo settore del RICH al JLab e alla sua installazione in CLAS12, prevista a settembre 2017. I fondi di missione, per tecnici, tecnologie e ricercatori, e di apparati per il completamento del settore avranno quindi la massima priorità. Queste comprendono la produzione dell'aerogel, in particolare per lo strato a piccolo angolo da 2 cm di spessore, e la costruzione dei tools necessari per

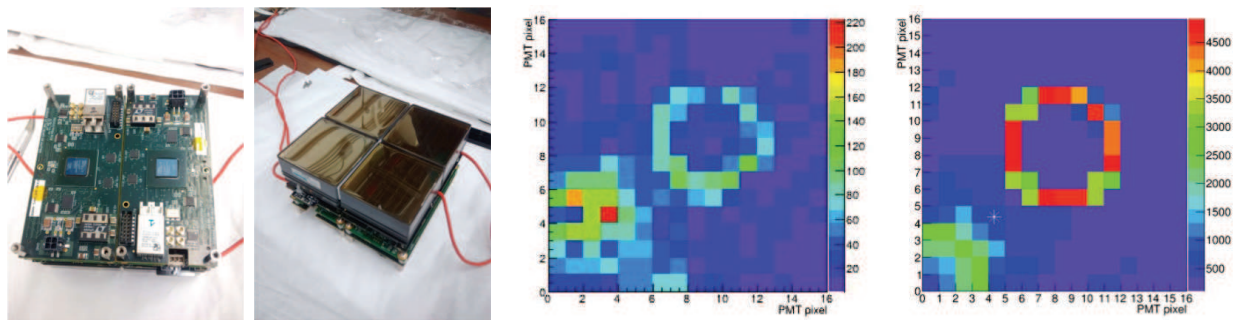


Figure 4: Assemblaggio dell'elettronica al test-beam del Fermilab (sinistra) e confronto fra il segnale Cherenkov di protoni da 120 GeV misurato e simulato (destra).

l'installazione, come il carrello per il trasporto in sala sperimentale e gli attacchi in acciaio per la movimentazione del RICH con il carroponte. Grossa parte delle richieste, compresa la parte premiale di Giunta, riguardano il secondo settore del RICH: aerogel, meccanica, fotorivelatori ed elettronica. Si sottolinea che i tools di assemblaggio e installazione sono comuni ai due settori.

Le richieste di costruzione apparati sono pertanto:

- completamento struttura meccanica e tools di installazione per il primo settore RICH: 15 keu (LNF);
- aerogel primo settore (80 keu) e secondo settore (70 keu): FE e LNF;
- struttura meccanica secondo settore: 100 keu su premiale CLASMED (LNF);
- elettronica secondo settore: 100 keu su premiale CLASMED (LNF);
- fotorivelatori al Silicio: 20 keu (RM1).

Completano le richieste di LNF, Fe e RM1 fondi su inventario, consumo e trasporti per l'attività connessa alla costruzione del RICH.

4 Milestones 2017

1. completamento della produzione degli specchi del primo modulo (30 giugno 2017);
2. completamento dell'assemblaggio del pannello dell'elettronica (31 dicembre 2017).

References

- [1] http://www.lnf.infn.it/~mirazita/RICH/RICH_TDR.pdf
- [2] S. Anefalos Pereira *et al.*, Test of the CLAS12 RICH large scale prototype in the direct proximity focusing configuration Eur. Phys. J. A52 (2016) 23.

- [3] M. Contalbrigo *et al.*, Tests of innovative photon detectors and integrated electronics for the large-area CLAS12 ring-imaging Cherenkov detector Nucl. Instrum. Meth. A787 (2015) 224-228.