

Attività di Ferrara 2019 e 2020

Il gruppo di Ferrara è attivamente coinvolto nello studio 3D del nucleone, ed in particolare delle distribuzioni partoniche dipendenti dal momento trasverso (TMDs). Basandosi sull'esperienza acquisita durante l'esperimento HERMES, il gruppo promuove questo campo di ricerca per l'upgrade a 12 GeV del JLab. In particolare, il gruppo è coinvolto nella definizione del programma di fisica, con studi di fattibilità e proposte di nuovi esperimenti, con attività di R&D e costruzione degli apparati richiesti, e con analisi dati e ruoli di coordinamento.

Membri del gruppo di Ferrara sono co-spokeperson di 3 esperimenti approvati (C2) dal PAC39 del JLab nel giugno 2012, che sono basati sull'uso di un bersaglio di HDice polarizzato trasversalmente. Inoltre membri del gruppo di Ferrara sono proponenti e co-spokepersons di diversi esperimenti approvati che richiedono l'identificazione degli adroni tramite un RICH detector. L'attività di Ferrara si concentra sui tre item principali descritti nel seguito.

Analisi dati di CLAS12.

Il gruppo è impegnato in diverse proposte sperimentali legate all'analisi dei dati di protone (run di primavera ed autunno 2018) e di deuterio (run di primavera e autunno 2019). L'esperimento ha completato il software di ricostruzione degli eventi ed è in procinto di iniziare una produzione di massa dei dati. La disponibilità di una grande statistica di dati permetterà la finalizzazione delle calibrazioni ed allineamenti fini dei rivelatori, insieme all'ulteriore sviluppo degli algoritmi di ricostruzione. Le analisi sono in corso e i risultati preliminari dovrebbero essere presentati alla Conferenza DNP della Società di Fisica Americana in autunno. M. Contalbrigo coordina diverse di queste attività essendo chair del deep-process working group di CLAS12. A. Movsisyan ha in carico la produzione degli stream di fisica del run di deuterio. Il gruppo di Ferrara è particolarmente interessato ai canali SIDIS di singolo adrone (pioni e kappa) che danno accesso agli effetti di spin-orbita di QCD (funzioni di Boer-Mulders e Sivers) ed ha iniziato gli studi propedeutici dei dati, per ottimizzare i criteri di volume fiduciale ed identificazione di particelle. Studi dettagliati saranno possibili con la disponibilità dei dati in estate.

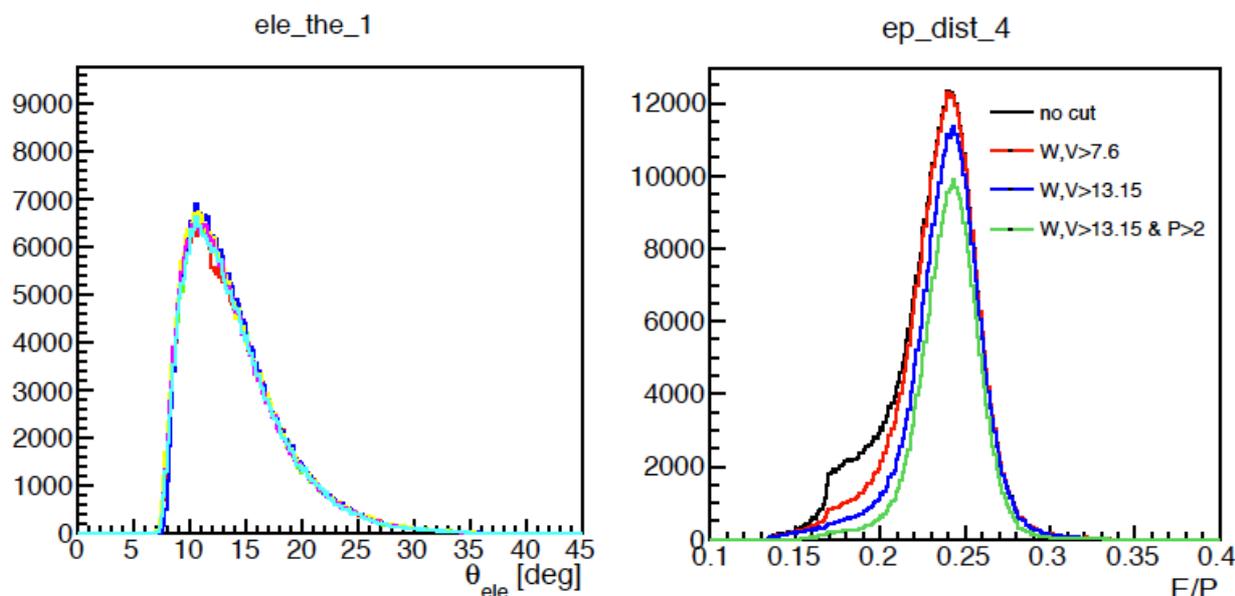


Fig.1 Esempio di studio della qualità dei nuovi dati. A sinistra il confronto fra le distribuzioni di angolo degli elettroni misurate in vari settori di CLAS12, a destra uno studio degli effetti di volume fiduciale nel rapporto E/P del calorimetro usato per l'identificazione degli elettroni.

Rivelatore RICH per CLAS12.

Il completamento della configurazione base a due settori del RICH, per aumentare la statistica e ottenere la configurazione simmetrica richiesta dagli esperimenti con polarizzazione del bersaglio, e' stato finanziato come progetto premiale CLASMED dal MIUR nel settembre 2013.

Il gruppo coordina il progetto RICH e ha in carico la caratterizzazione del radiatore ad aerogel e degli specchi, il disegno della scheda di elettronica di front-end con chip MAROC3, e dei test di rivelazione di singolo fotone dei MaPMTs. L'attività e le richieste legate al RICH sono discusse in un documento a parte. La richiesta di missioni tiene conto che nel 2020 si proseguirà l'attività di costruzione del secondo settore del RICH e la presa dati al JLab.

Il gruppo si sta occupando della ricostruzione degli eventi e delle calibrazioni in tempo e allineamenti del rivelatore per raggiungere le prestazioni da specifica. Il software del RICH e' stato completato e inserito nella ricostruzione generale dell'esperimento per la produzione di dati prevista in estate. Lo studio, eseguito sui fotoni sia diretti sia riflessi con algoritmi analitici e di ray-tracing, ha dimostrato una risoluzione in tempo di 0.6 ns, superiore alla specifica di 1 ns, e un numero di fotoni sul ring completo pari a 18, in accordo con le proiezioni del TDR. La risoluzione dell'angolo di singolo fotone di 6 mrad, vicina al valore di disegno di 4.5 mrad, e' sufficiente all'identificazione degli adroni fino a 8 GeV/c di momento in eventi con piu' di 15 fotoni. Ulteriori migliorie saranno possibili solo con una descrizione realistica delle caratteristiche ottiche delle single mattonelle di aerogel (al momento sono state usati valori nominali omogenei) e dopo le correzioni di

allineamento. Studi di questo tipo richiedono grandi statistiche e saranno possibili dopo la produzione di dati prevista in estate.

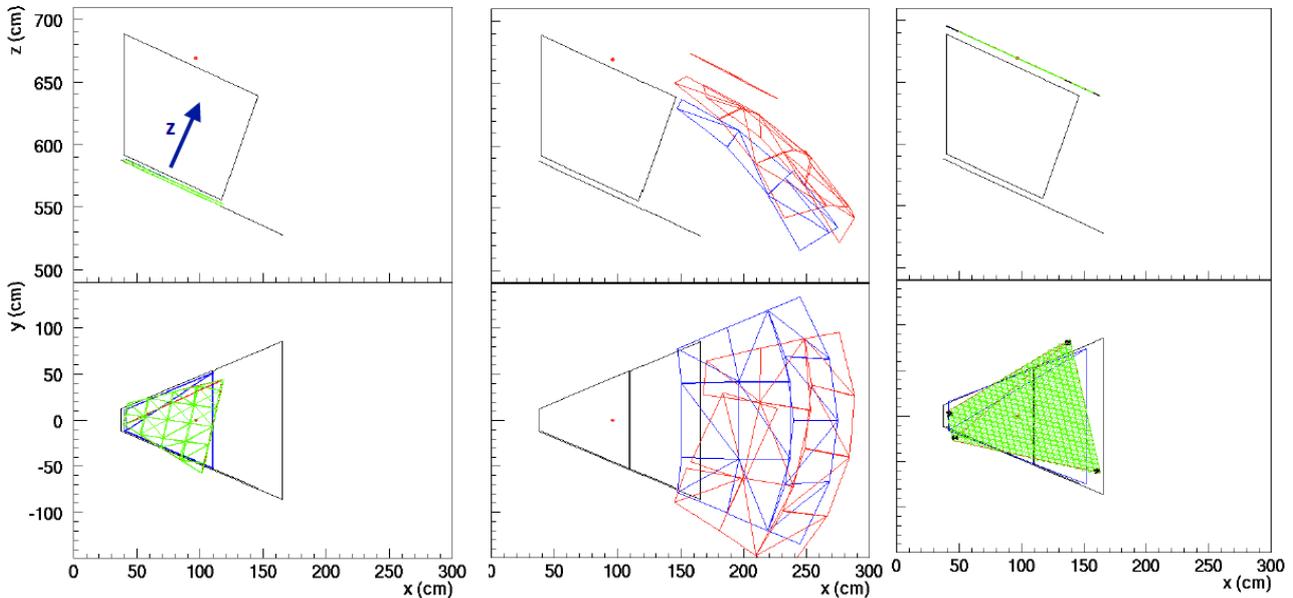


Fig.2 Esempi di disallineamento dei piani di tracciamento dei fotoni, resi possibili dal nuovo software di ricostruzione. A sinistra il primo layer di aerogel, al centro lo specchio sferico, a destra il piano dei rivelatori. Le costanti di disallineamento saranno derivate dai dati stessi.

Sistema magnetico per il bersaglio HD-ice polarizzato trasversalmente.

Gli esperimenti con bersagli HD-ice polarizzati trasversalmente sono stati selezionati fra quelli a piu' alto impatto scientifico potenziale, e quindi con massima priorita' per la sala sperimentale B dal PAC41 del JLab.

Il gruppo sta studiando le soluzioni per il sistema magnetico che mantenga la polarizzazione trasversale all'interno del solenoide di CLAS12.

Un bersaglio trasversalmente polarizzato permette misure uniche legate allo studio 3D del nucleone. Tra le funzioni partoniche accessibili, ci sono la trasversalita' (l'elemento mancante per una descrizione collineare completa), la funzione di Sivers e la funzione generalizzata E, che sono legate al moto orbitale dei partoni.

Il bersaglio HD-ice e' un nuovo tipo di bersaglio di tipo frozen-spin con una minima diluizione di materiale non polarizzabile e contaminazione da effetti nucleari: il bersaglio, costituito da un solido ghiacciato di molecole di HD, massimizza il materiale utile a differenza di quelli tradizionali (tipo NH_3 , ND_3). Non richiede campi magnetici forti compatibilmente con l'alta accettazione di CLAS12 e il programma di fisica approvato. Tre esperimenti sono stati approvati dal PAC39 con rating Massimo A, con la condizione che il bersaglio sia in grado di lavorare con intensi fasci carichi. I primi test con fasci di elettroni hanno evidenziato che il sistema di raffreddamento e di rastering del fascio non erano

adeguati. Si richiede quindi un lavoro di R&D e ulteriori test su fascio sono previsti iniziare in settembre 2019 quando una nuova facility con elettroni di bassa energia diverrà operativa al JLab.

Attività HD-ice nel 2019-2020.

Inserire un bersaglio polarizzato trasversalmente nel rivelatore centrale di CLAS12, che è immerso in un campo solenoidale, è complicato e richiede soluzioni non convenzionali.

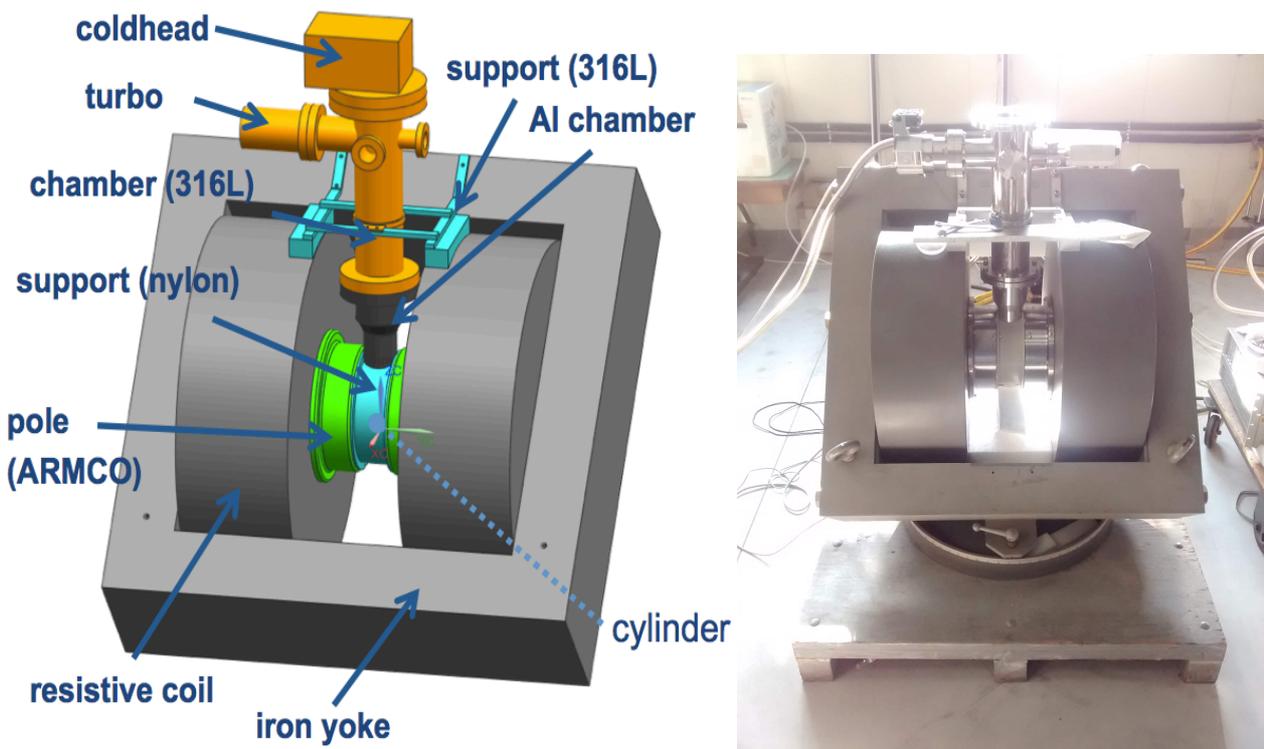


Fig.3 Progetto (a sinistra) e allestimento (a destra) del banco di prova per lo studio di fattibilità del magnete a bulk di superconduttore.

Un sistema magnetico innovativo è stato proposto dall'INFN Ferrara per compensare fino a 2 T di campo esterno longitudinale e generare al contempo un campo trasverso fino a 1 T. L'idea nuova è di usare un cilindro pieno (bulk) di superconduttore ad alta temperatura (MgB_2) invece che un filo di superconduttore. Alla transizione il cilindro "memorizza" il campo in cui è immerso e reagisce ai cambiamenti di flusso creando correnti interne che non dissipano energia. Se per esempio transisce in campo nullo, il cilindro cercherà di compensare l'accensione di campi esterni e farà da schermo. Se invece transisce immerso in campo magnetico, cercherà di mantenerlo allo spegnimento del magnete esterno. Il tutto finché si mantiene il regime di superconduttore. Il vantaggio sarebbe una forte semplificazione del sistema su fascio, evitando di portare correnti esterne e filare

avvolgimenti con complicate geometrie. Questo e' importante dati i vincoli imposti dal rivelatore centrale di CLAS12. Il nuovo magnete richiede pero' uno studio di fattibilita' in corso a Ferrara con campi trasversi (dipolo). Sono in corso contatti con il gruppo di Mainz, che studia una soluzione complementare per l'esperimento PANDA con un materiale superconduttore alternativo (YBCO) e campi longitudinali, e due gruppi Americani (Stony Brook University e Duke University) che stanno studiando tecnologie simili per schermi magnetici.

A Ferrara e' operativo un banco di prova per magneti a bulk di superconduttore ad alta temperature (vedi Fig.3) dove si sono eseguiti studi di fattibilita' con un dimostratore cilindrico di MgB_2 raffreddato con testa-fredda e immerso in un dipolo da 1 T, la configurazione piu' difficile da schermare o riprodurre per un cilindro. I primi test hanno dato risultati incoraggianti pubblicati su NIMA 882 (2018) 17.

Nel 2018 si e' potenziata la linea di raffreddamento (e isolamento da linee contigue) per migliorare la stabilita' di risposta e la riproducibilita' delle misure. Una nuova campagna di misure in funzione della temperature ha dato risultati del tutto compatibili con i test precedenti. Nel 2019 sono continuati gli studi di controllo in temperatura, necessari a caratterizzare il comportamento del sistema nelle fasi di transizione e sul lungo periodo. E' stata identificata una correzione per la dipendenza dalla temperature del sistema di misura del campo magnetico, che introduceva effetti spuri, vedi Fig.4.

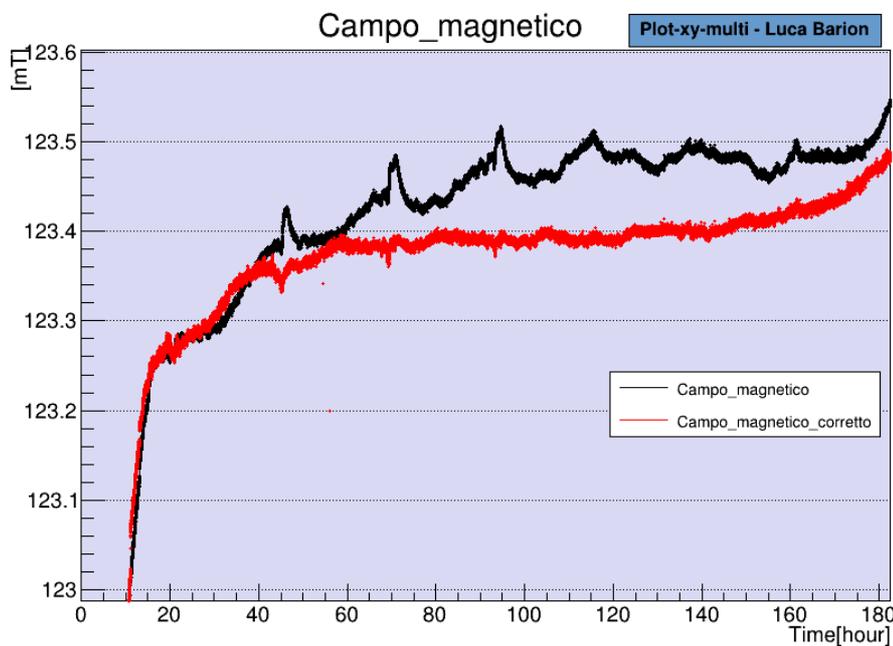


Fig.4. Correzione per la dipendenza della temperature del sistema di misura del campo magnetico. In nero la misura del campo prima della correzione, in rosso dopo aver corretto le misure tenendo conto della temperature della scheda di lettura.

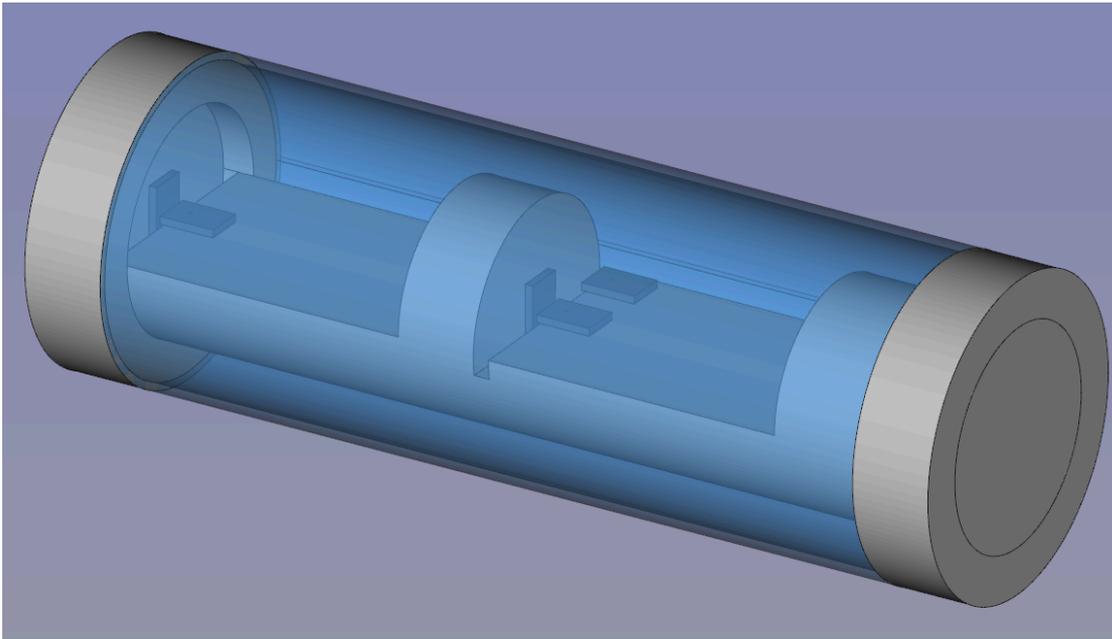


Fig.5. Disegno 3D del nuovo holder delle sonde Hall per la mappatura del campo magnetico.

E' in arrivo dalla Germania una testa fredda piu' potente di quella al momento disponibile a Ferrara. Questo dovrebbe permettere di ridurre gli spikes in temperatura osservati durante la rigenerazione della testa fredda e la temperature minima di lavoro.

E' stato completato il disegno di un nuovo holder delle sonde Hall per la misura del campo che permetta piu' punti di misura (fino a 5) e una mappatura del campo magnetico, vedi Fig. 5. Il disegno verra' verificato con le dimensioni reali del sistema (non appena verra' aperto il criostato) prima di iniziarne la realizzazione.

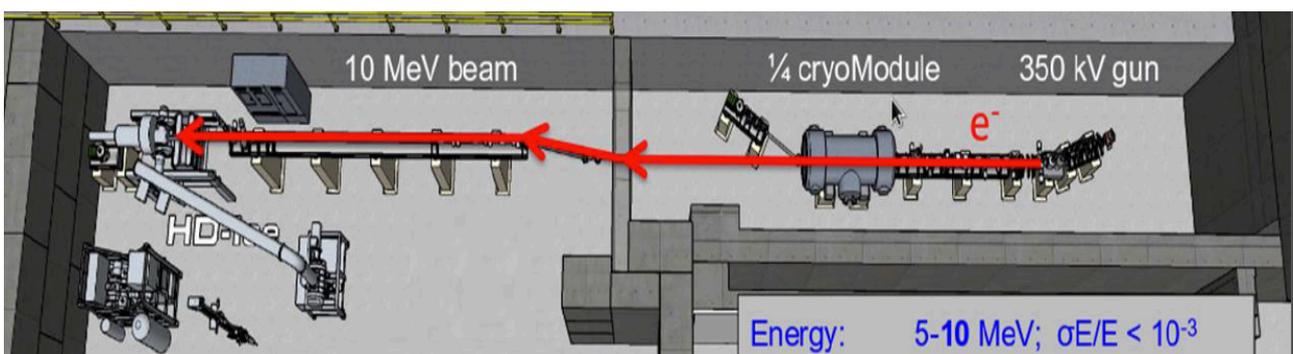


Fig.6 Layout della nuova UITF del JLab, con un fascio di elettroni di 10 MeV.

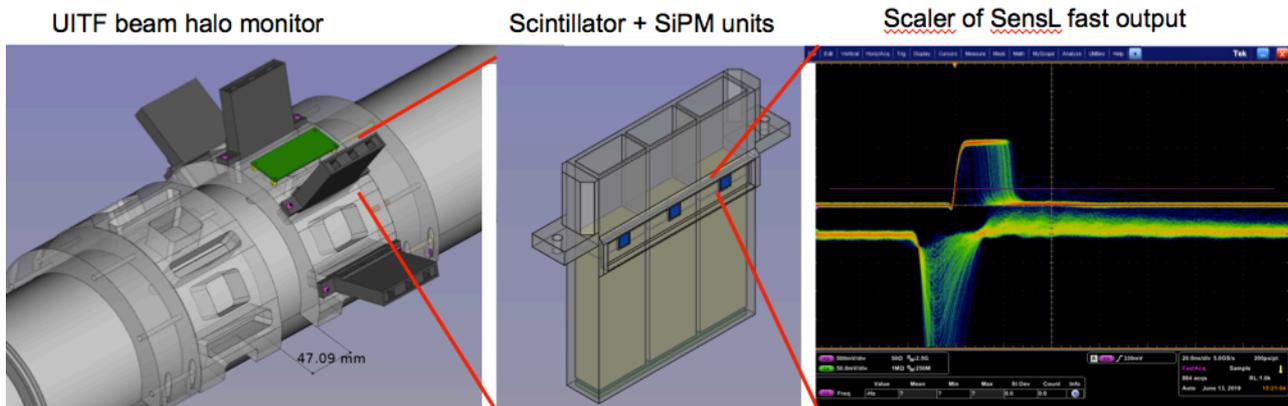


Fig.7 Disegno del beam monitor da utilizzare alla UITF per controllare la posizione del fascio e il rate di interazioni con il bersaglio. Il monitor e' costituito da single unita' distribuite attorno alla beam pipe costituite da scintillatori letti da SiPM.

Al JLab e' stata pressoché' completata la nuova Upgraded Injector Test Facility (UITF) con un fascio di elettroni di 10 MeV. La facility sara' usata principalmente per studi di component dell'acceleratore, ma anche per verificare l'uso di bersagli di HDice con fasci carichi. Le misure alla UITF saranno significative, perche' in accordo alle simulazioni un fascio di 10 MeV deposita' piu' energia nel bersaglio di uno da 10 GeV. Il completamento del sistema di test HDice nella nuova sala sperimentale e' previsto durante l'estate e l'inizio dei test in autunno 2019.

Un beam monitor e' stato disegnato ed e' in fase di realizzazione. E' composto da unita' attorno alla beam pipe. Ogni unita' e' composta da scintillatori di area $10 \times 20 \text{ mm}^2$ e due diversi spessori (5 and 38 mm) letti da SiPM. Il segnale veloce in usicta dagli scintillatori e' discriminato dall'elettronica di front-end e letto da scalers. L'elettronica permette anche di estrarre un segnale analogico che potrebbe essere campionato in future da schede flash ADC del JLab. E' stata realizzata una versione semplificata di monitor che legge semplicemente la corrente indotta nel sensore dalle particelle ionizzanti, da utilizzarsi per ottenere il profilo del fascio (harp scan).

In collaborazione con Milano e l'Universita' di Ferrara si intende perseguire un piano di caratterizzazione del materiale MgB_2 che permetta di ottenere modelli di simulazione delle prestazioni affidabili. Questo sara' importante per il disegno del magnete finale, dopo la conclusione della fase di R&D. La caratterizzazione delle proprietà di campioni di MgB_2 , in forma di cilindri o parallelepipedi, potrà essere svolta anche mediante magnetometro SQUID (superconductive quantum interference device). Tale strumento consente infatti di variare la temperatura del campione tra i 2 ed i 400 K, quindi sarà possibile studiare il materiale nell'intervallo di temperature in cui esso è superconduttore, e di applicare campi magnetici fino a 5 T, compatibili quindi con le specifiche applicative previste. Ogni campione verrà sottoposto a vari cicli di raffreddamento, in presenza di campo magnetico (H_R), per valutare l'efficienza con cui il materiale riesca a generare un campo magnetico simile ad H_R anche dopo l'annullamento di quest'ultimo. A partire dalla configurazione così ottenuta, si procederà poi applicando campi di segno concorde e discorde con quello di H_R , per determinare la stabilità del campo magnetico generato rispetto a questo tipo

di sollecitazioni, che cercano di simulare quelle che si avranno poi in fase applicativa. Queste analisi verranno effettuate su campioni prodotti a partire da polveri aventi diversa granulometria, così da capire quale sia l'effetto di quest'ultima sulle proprietà finali del materiale superconduttore.

E' in corso con Milano la negoziazione per l'utilizzo della loro struttura per misure con doppio campo. In autunno si prevede di riattivare l'apparato di controllo e misura del solenoide esistente. Nel corso del 2020, si prevede di spostare il sistema di misura di Ferrara (complete della nuova testa fredda e sistema di mappatura del campo) a Milano per le misura con doppio campo.

L'attività nella seconda metà del 2019 e nel 2020 prevede quindi:

- Completamento del monitor di fascio per il test alla UITF.
- Caratterizzazione del materiale MgB_2 in condizioni di lavoro.
- Realizzazione del nuovo sistema di misura del campo, ora limitato ad una sola sonda Hall al centro del cilindro, per poter mappare diversi punti e studiarne la distribuzione spaziale (fondamentale per le simulazioni e per le misure a doppio campo);
- Modifiche al criostato per l'alloggiamento di una test fredda più potente in prestito dalla Germania per poter raggiungere temperature prossime ai 4 K previsti a CLAS12 (e la stabilità rispetto ai cosiddetti flux-jumps);
- Realizzazione del sistema di movimentazione e sostegno del criostato durante i test con doppio magnete: il cilindro viene magnetizzato in campo di dipolo, movimentato e inserito nel solenoide previa accensione del magnete. La sequenza mima quella prevista per CLAS12. Campagna di misura con doppio campo.

I fondi richiesti sono:

- 5 keuro (apparati HDice) completamento e spare del beam monitor per test con fasci carichi.
- 6 keuro (apparati HDice) setup e campioni per caratterizzazione magnetica del materiale MgB_2
- 2 keuro (consumi HDice) elio per caratterizzazione magnetica del materiale MgB_2

Sub-judice alla realizzazione dei test con doppio campo:

- 4 keuro (consumi HDice) elio per test con doppio campo
- 2 keuro (trasporti HDice) trasporto sistema di test HDice a Milano
- 2 keuro (apparati HDice) traliccio di supporto magnete per misura con doppio campo (per compensare le notevoli forze di torsione);

Milestones 2019.

1. Disegno nuovo holder per mappatura campo con doppio magnete (30/6/2019);

Completamento: 90 %

In attesa di misurare le dimensioni reali all'apertura del criostato.

2. Test fotosensori, disegno e realizzazione dell'HALO COUNTER (31/12/2019)

Completamento 50 %

Disegno e materiale acquisito, schede elettroniche in fase di realizzazione e test.

Milestones 2020.

1. Completamento apparato di misura della resistenza dei bersagli polarizzati al fascio di elettroni (31/12/2020).