

Considerazioni sull'irraggiamento di GEM con neutroni

Per il test che abbiamo sviluppato e che avremmo avuto intenzione di proseguire serve una sorgente di neutroni [ref1] con un intenso flusso ad "alta energia", cioè sopra il MeV e con uno spettro possibilmente abbastanza simile a quello in CMS. Questa richiesta elimina tutte le sorgenti basate su fissione nucleare che forniscono fasci *termici* (energia media 0.025 eV), *epitermici* ($1\text{ eV} \lesssim E_n \lesssim 1\text{ MeV}$) e più raramente neutroni *veloci* ($E_n \approx 1\text{ MeV}$) ottenuti da reattori attraverso speciali canali "profondi" che estraggono neutroni di fissione non moderati.

Neutroni di alta energia possono essere ottenuti solo per "spallazione" da un fascio primario di protoni (o ioni) prodotto da un acceleratore con energia $E_b \gtrsim 100\text{ MeV}$.

In Europa, a nostra conoscenza, ci sono 4 facilities di questo tipo:

	Nome facility	Acceleratore
1.	SINQ (PSI)	Ciclotrone 590 MeV (protoni)
2.	ISIS (RAL, Oxford)	Sincrotrone 800 MeV (protoni)
3.	NIF/CRC (Louvain)	Ciclotrone 50 MeV (deutoni)
4.	CHARM (CERN)	Sincrotrone 24 GeV (protoni)

La 1. Non è adatta perché i neutroni vengono moderati per ottenere uno spettro di bassa e bassissima energia.

Per la 2. non abbiamo avuto contatti diretti e quindi mancano informazioni dettagliate sulle caratteristiche del fascio di neutroni. La facility ha una posizione di irraggiamento (Chiplr) con uno spettro che sembra avere le caratteristiche giuste, però è ottimizzata per l'irraggiamento di componenti elettronici. Il fascio è fortemente collimato e il campo di irraggiamento è limitato (probabilmente $10\text{cm} \times 10\text{cm}$). Il flusso non è elevato (probabilmente dell'ordine di $10^4\text{-}10^6\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Rimangono quindi la 3. e la 4. che abbiamo già utilizzato.

NIF/CRC (Louvain)

I neutroni sono ottenuti dal fascio primario di deutoni da 50 MeV del ciclotrone di Louvain attraverso la reazione ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$. Lo spettro energetico si estende da qualche MeV fino a 50 MeV, con un picco a circa 20 MeV [ref2] ed ha una bassa contaminazione di altre particelle. Nella posizione di irraggiamento (un piano perpendicolare alla direzione del fascio) il flusso standard è molto elevato, circa $10^{11}\text{ neutroni cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$, ma nella misura da noi effettuata nel 2014 non è stato possibile sfruttarlo appieno. Tenuto conto della sensibilità del rivelatore ($\varepsilon \cong 3 \cdot 10^{-3}$), la rate di eventi sul rivelatore sarebbe stata dell'ordine di 30 MHz cm^{-2} , quindi insostenibile dall'elettronica (senza tenere conto del fondo di altre particelle). Quindi è stato chiesto di regolare l'intensità del fascio di deutoni in modo da avere flussi di neutroni compatibili col funzionamento dell'elettronica ($10^6\text{-}10^8\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$).

PRO:

- Il fascio del ciclotrone è pressoché continuo (Duty Cycle $\cong 100\%$) e di alta intensità, quindi si possono ottenere alte fluenze di neutroni in tempi relativamente brevi.

CONTRO:

- La distribuzione angolare dei neutroni è piccata in avanti, quindi i valori di flusso sono effettivamente costanti ed uniformi in un'area limitata (poche centinaia di cm^2). Il fascio quindi non è molto adatto ad irraggiare uniformemente un rivelatore di grande area come il modulo ME0.

- L'acceleratore "fa orari da ufficio", quindi il funzionamento copre circa 8-10 ore nell'arco di una giornata. Al massimo si possono ottenere un paio di giorni di fascio (16-20 ore in totale) ad un costo indicativo di 600 EUR/h.

CHARM (CERN)

I neutroni sono ottenuti dal fascio primario di protoni da 24 GeV del PS che interagisce con un bersaglio. Ci sono 13 posizioni per l'irraggiamento con flussi e composizione variabile ed è possibile utilizzare una schermatura mobile per ridurre particelle cariche e fotoni. Il flusso di particelle nelle posizioni di irraggiamento, distanti metri dal bersaglio, è uniforme su di un'area molto estesa. Si parla quindi di "un campo misto" di particelle. Nella posizione da noi utilizzata (#3) il flusso di neutroni è circa $3 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Il PS è un acceleratore impulsato con una repetition rate di circa 2 s ma il fascio è distribuito tra molti utenti e quindi l'effettivo Duty Cycle a CHARM è dell'ordine del 2% o meno, in funzione della operatività della macchina (superciclo del PS).

PRO:

- Buon flusso di neutroni.
- ottima uniformità per irraggiare grandi rivelatori.
- Il PS funziona h24 ed i run durano una settimana.

CONTRO:

- Importanti flussi da altre particelle (fotoni e adroni carichi).
- Basso Duty Cycle.
- Molto difficile ottenere due settimane consecutive di fascio.

Misure di discharge probability

Un fenomeno di scarica all'interno del rivelatore può essere distruttivo. Nei test finora effettuati con il prototipo GEM 10 cm x 10 cm questa situazione non si è mai verificata.

Obiettivo dei nostri test è di rivelare scariche non distruttive che producono una diminuzione significativa e temporanea del guadagno e di quantificarne la frequenza (discharge probability). Per questo motivo il rivelatore è stato strumentato con elettronica standard per misurare la rate di eventi e con un picoamperometro per campionare la corrente anodica. Con una frequenza di campionamento dell'ordine di 1/10 ms è possibile studiare variazioni di corrente molto rapide che sono connesse ad un diminuzione di guadagno del rivelatore.

A CHARM l'impulso del fascio (spill) dura circa 0.4 s. Pertanto è stato possibile campionare la corrente anodica in coincidenza col fascio con la frequenza richiesta. Per coprire l'intera durata dello spill bastano 50 campionamenti. Il tempo di conversione e acquisizione dei 50 campionamenti richiede circa 2 s, cioè un tempo abbondantemente inferiore all'inter-spill del PS.

I risultati preliminari dei test [[ref3](#), [ref4](#), [ref5](#), [ref6](#), [ref7](#)] ci danno un upper limit per la discharge probability tra 10^{-9} e 10^{-11} .

Per diminuire ulteriormente questo limite occorre realizzare almeno una delle seguenti condizioni:

- a) aumentare la fluenza dei neutroni (maggiore flusso e/o maggiore tempo di irraggiamento).
- b) aumentare l'area del rivelatore

La condizione b) permette, a parità di altre condizioni, di "raccogliere" un numero totale di neutroni maggiore. Questa era la strada intrapresa con la richiesta di effettuare un terzo test a CHARM utilizzando un modulo ME0 che avrebbe permesso anche di operare un rivelatore realmente simile a quelli che verranno installati in CMS.

A Louvain, invece, sarebbe possibile utilizzare la condizione a) ma ci sono tre controindicazioni:

- 1) il fascio è continuo ed il picoamperometro non può campionare la corrente anodica in continua ad alta frequenza. Nella configurazione utilizzata a CHARM avremmo un tempo morto dell'ordine di 2s/2.4s, cioè superiore a 80%.
- 2) L'intensità massima del fascio è troppo elevata (limiti dell'elettronica)
- 3) La distribuzione angolare dei neutroni è piccata in avanti ed il flusso non è uniforme su tutta la camera

Pertanto il vantaggi di avere un flusso maggiore di neutroni è parzialmente vanificato. L'uso del fascio di Louvain richiede importanti modifiche al nostro set-up sperimentale, in particolare per misurare 'in continua' la corrente anodica.

Misure di longevity o di ageing

Queste misure non sono mai state il nostro obiettivo se non in modo limitato, cioè per verificare che dopo aver irraggiato il rivelatore non si verificassero variazioni importanti delle sue performance.

Tuttavia i referees ci hanno chiesto di valutare la possibilità di sottoporre il rivelatore ad un flusso di neutroni integrato nel tempo (fluenza) pari a quello previsto in CMS. I moduli ME0 più vicini al fascio saranno sottoposti ad un flusso di neutroni di circa $4 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (**max**). La fluenza prevista nei 10 anni di funzionamento a LHC è $2.4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$.

Per ottenere la stessa fluenza a Louvain e a CHARM sono necessari rispettivamente 2 mesi e 18 mesi di run circa (in arancione nella tabella). Nessuna delle due facilities consente tempi di run così lunghi.

Se fosse possibile sfruttare l'intensità massima del fascio di Louvain (funzionamento standard) basterebbe un irraggiamento di 40 minuti, ma questa non è una condizione di lavoro realizzabile per i limiti dell'elettronica.

I moduli ME0 più lontani dal fascio sono sottoposti ad una rate di neutroni minore ed i tempi di run calcolati si riducono (in verde nella tabella). Anche in questo caso però i tempi non sono compatibili con le modalità di funzionamento delle due facilities.

	Louvain (stand)	Louvain (ridotto)	CHARM	LHC-HL	
				ME0-HL (min)	ME0-HL (max)
Flusso (neutroni/cm2/s)	1.0E+11	1.0E+08	3.0E+08	4.0E+05	4.0E+06
Duty Cycle	100%	100%	2%	L/L_INT=5 $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}/3000 \text{ fb}^{-1}$	
Durata standard di 1 run	10 ore	10 ore	6 giorni	10 anni	10 anni
Fluenza per 1 run (neutroni/cm2)	3.6E+15	3.6E+12	3.1E+12	2.4E+13	2.4E+14
Tempo HL equivalente di 1 run (min)	1500 anni	1.5 anni	1.2 anni		
Tempo HL equivalente di 1 run (max)	150 anni	55 giorni	47 giorni		
10 anni HL in ... (min)	4 minuti	7 giorni	8 settimane		
10 anni HL in ... (max)	40 minuti	2 mesi	18 mesi		

L'obiettivo di irraggiare il rivelatore di test con una fluenza di neutroni pari a 10 anni di funzionamento a LHC e di registrarne il funzionamento è realisticamente impossibile sia a Louvain che a CHARM.

Considerazioni finali

- La facility CHARM ci sembra quella più adatta per per le misure che ci siamo proposti di fare Tuttavia l'attività del PS verrà interrotta nel tardo autunno in previsione del Long Shutdown. A gennaio avevamo contattato i responsabili della facility per avere una settimana di fascio in autunno. Non avendo potuto confermare la richiesta per tempo, ad oggi non ci sono più slot disponibili.
- La facility di Louvain è meno adatta ma comunque valida. La preparazione del run richiede tempi lunghi per la riprogettazione del set-up sperimentale e l'organizzazione logistica (a Louvain non abbiamo supporto in situ come al CERN).