

Misura di produzione di particelle cariche secondarie prodotte da fasci di carbonio di energia terapeutica su targhetta sottile o antropomorfa/complessa effettuate con il tracciatore di carichi del progetto INSIDE (DoseProfiler) ed un telescopio di scintillatori e cristalli di LYSO.

Con la presente si descrive il piano di misure da operare con il fascio di carboni del centro CNAO tra il 23 luglio ed il 26 luglio.

Obiettivi delle misure sono i seguenti:

- Misurare la sezione d'urto di produzione di frammenti carichi ad angolo elevato rispetto alla direzione incidente del fascio su bersagli sottili, in funzione dell'energia incidente del fascio. Sono previste energie nel range di interesse dell'adroterapia con ioni carbonio e tre tipi di bersagli: grafite, polietilene, PMMA. Le misure verranno effettuate ad angoli rispetto alla direzione incidente del fascio nel range tra 60° e 90° . Tali misure verranno eseguite con un telescopio di rivelatori a scintillazione, seguiti da un rivelatore (calorimetro) formato da un cristallo di LYSO e, indipendentemente – contemporaneamente, con il rivelatore DoseProfiler, sviluppato presso il dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza", INFN e Centro Fermi nell'ambito del progetto INSIDE (Fig. 1).

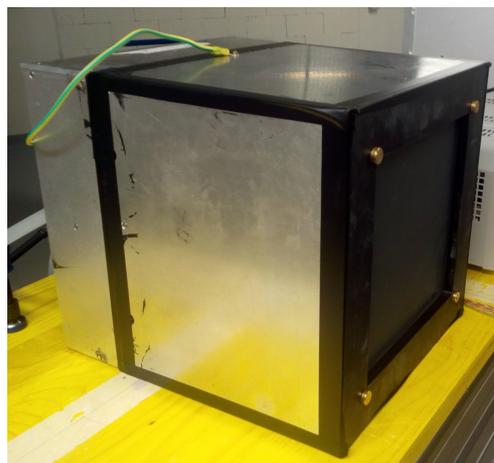


Fig. 1: Il DoseProfiler

- Caratterizzare la produzione di frammenti carichi prodotti dalle interazioni di un fascio di carbonio di energia terapeutica in un bersaglio spesso antropomorfo (fantoccio RANDO, se disponibile) o comunque in un bersaglio disomogeneo parallelepipedo di PMMA (le disomogeneità verranno introdotte tramite l'inserzione di materiali di differente densità nel PMMA segmentato opportunamente).

Entrambe queste misure svolgono una importanza cruciale nel panorama della campagna sperimentale volta a completare lo studio della fattibilità di un monitoraggio online di trattamenti con ioni carbonio a mezzo di un rivelatore

che utilizzi i frammenti secondari carichi prodotti dalle interazioni del fascio incidente con il paziente.

La sezione d'urto in funzione di energia ed angolo su bersagli sottili di tipo differente permetterà l'implementazione ed ottimizzazione degli algoritmi software necessari per l'analisi dei profili di emissione dei secondari ricostruiti con il rivelatore. Per ottenere la risoluzione richiesta nelle applicazioni di monitoraggio di PT (correlando la posizione del BP allo spettro misurato) è necessario infatti tenere in conto la differente sezione d'urto di produzione di carichi, in funzione della densità e della tipologia di tessuto attraversato. Inoltre tali misure possono essere importanti per l'ottimizzazione dei modelli di interazione nei codici MC.

Ruolo altrettanto importante svolgerà la misura effettuata con il DoseProfiler del profilo di emissione di carichi in bersagli spessi, di tipo antropomorfo o comunque disomogenei. In questo caso, per la prima volta, sarà possibile effettuare la misura sperimentale della risoluzione ottenibile con il DP in condizioni di tipo 'clinico', permettendo un confronto con le predizioni effettuate tramite simulazioni MC.

Il programma sperimentale al momento prevede:

- Montaggio dell'apparato sperimentale in sala di trattamento assegnata, secondo lo schema riportato in seguito. Se disponibile, potrebbe esserci una preferenza per la Sala 3.
- Validazione e test dell'apparato sperimentale, verifica della risposta di tutti i rivelatori in condizione di fascio ad alta intensità
- Misura delle sezioni d'urto di produzione di secondari carichi, effettuata simultaneamente con il DP e con il telescopio di rivelatori a scintillazione + calorimetro di LYSO.
- Misura, simultanea alla precedente, della produzione di carichi da bersaglio disomogeneo-antropomorfo tramite DoseProfiler.

Nell'ipotesi in cui sia possibile prendere dati 1) la domenica 23 luglio dalle 6 alle 14; 2) la notte tra il 24 ed il 25 luglio, fino alle 4 di mattina 3) la notte tra il 25 luglio ed il 26 luglio fino alle 4 di mattina, il tempo di fascio verrà così utilizzato:

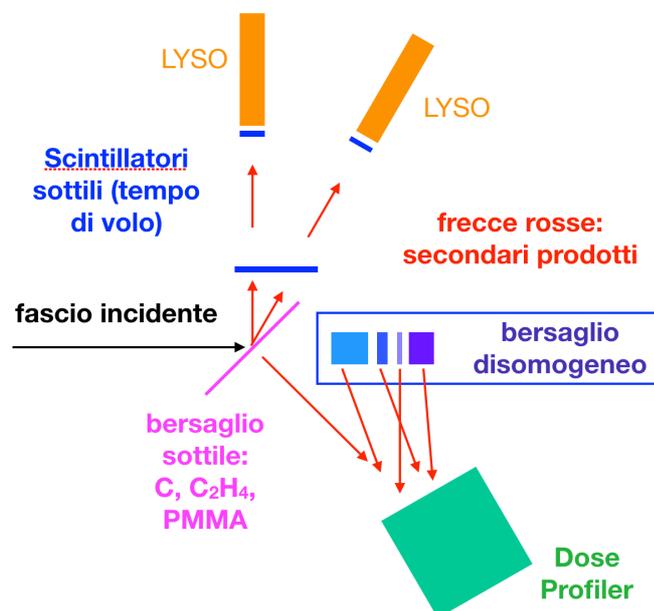
- 23 luglio: setup dell'apparato sperimentale, test della risposta dei rivelatori, primo set di misure con bersaglio sottile di grafite a varie energie. Se disponibile, test su RANDO, altrimenti su bersaglio disomogeneo in materiale plastico (PMMA) preparato dal gruppo responsabile della misura. Si richiede fascio ad alta intensità ($\sim 10^8$ $^{12}\text{C}/\text{s}$) ad energie fisse senza scansione trasversale. Si vorrebbero considerare almeno 3 delle seguenti energie: 115.23, 150.71, 221.45 e 351.86 MeV/u. Ogni misura richiede l'integrazione di 10^{11} ^{12}C primari. Come richiesto dal servizio di radioprotezione, la movimentazione dei bersagli irradiati sarà effettuata solo dopo un opportuno lasso di tempo a cura di personale autorizzato.
- 24-25 luglio: completamento del set di misure con bersagli di grafite e polietilene a varie energie e vari angoli. Se disponibile, test su RANDO, altrimenti su bersaglio disomogeneo. Si richiede fascio ad alta intensità

($\sim 10^8$ $^{12}\text{C}/\text{s}$). Le caratteristiche richieste del fascio e dell'eventuale bersaglio disomogeneo sono quelle del punto precedente.

- 25-26 luglio: misure con bersagli di PMMA a varie energie e vari angoli. Se disponibile, test su RANDO, altrimenti su bersaglio disomogeneo. Si richiede fascio ad alta intensità ($\sim 10^8$ $^{12}\text{C}/\text{s}$). Per concludere, se disponibile, test di un piano di trattamento (o comunque di pencil beam in posizione fissa di intensità terapeutica e diverse energie) su RANDO o bersaglio disomogeneo, tramite DP. Le caratteristiche richieste del fascio e dell'eventuale bersaglio disomogeneo sono quelle dei punti precedenti.
- I dispositivi saranno montati non appena sarà possibile l'accesso alla sala assegnata, e saranno smontati alla fine del turno al fine di ripristinare le condizioni per il trattamento terapeutico. Fra un turno e l'altro il materiale sarà riposto in un locale che sarà indicato dal personale CNAO. Prima di essere spostato, sarà controllata l'attivazione del materiale per mezzo di strumentazione fornita dal CNAO.

Ove possibile, al fine di garantire il successo del piano di misure, sarebbe importante poter accedere anche al fascio di carboni nella notte tra il 23 ed il 24 luglio.

Per permettere la misura simultanea delle sezioni d'urto di produzione di carichi in funzione dell'energia a due angoli differenti, verranno equipaggiati due 'bracci' di misura con scintillatori sottili per effettuare misure di tempo di volo (distanza ~ 150 cm) ed un rivelatore con cristallo di LYSO per la misura dell'energia e l'identificazione dei frammenti.



Contemporaneamente, il rivelatore DP rivelerà i frammenti carichi prodotti ad un angolo differente, effettuando misure di risoluzione spaziale sul punto di emissione nel bersaglio sottile. Le limitate capacità di misura dell'energia del frammento carico nel rivelatore DP non ancora perfettamente calibrato, rendono necessario il telescopio a scintillazione per effettuare le misure di $d\text{Sigma}/dE$.

Il fascio incidente ad alta intensità, attenuato solo in misura ridotta nell'attraversare il bersaglio sottile, produrrà frammenti secondari anche nel bersaglio disomogeneo situato subito dopo. Il DP potrà dunque studiare i carichi

prodotti in questa configurazione per effettuare misure di risoluzione spaziale sul profilo di emissione dei secondari.

Layout del dispositivo in sala. Uno sketch e' riportato in fig. 2.

il gruppo sperimentale si avvarrà sia di supporti meccanici autocostruiti che del lettino in sala, in modo da non interferire con il pantografo per la movimentazione del medesimo. In caso si posizioni il DP sul lettino si precisa che il peso dell'oggetto è inferiore a 30 kg. L'allineamento degli scintillatori e LYSO avverrà con sbarre di alluminio appoggiate sul lettino (fig. 3). Il peso e l'ingombro sul pavimento della sala sarà mantenuto nei limiti ammessi.

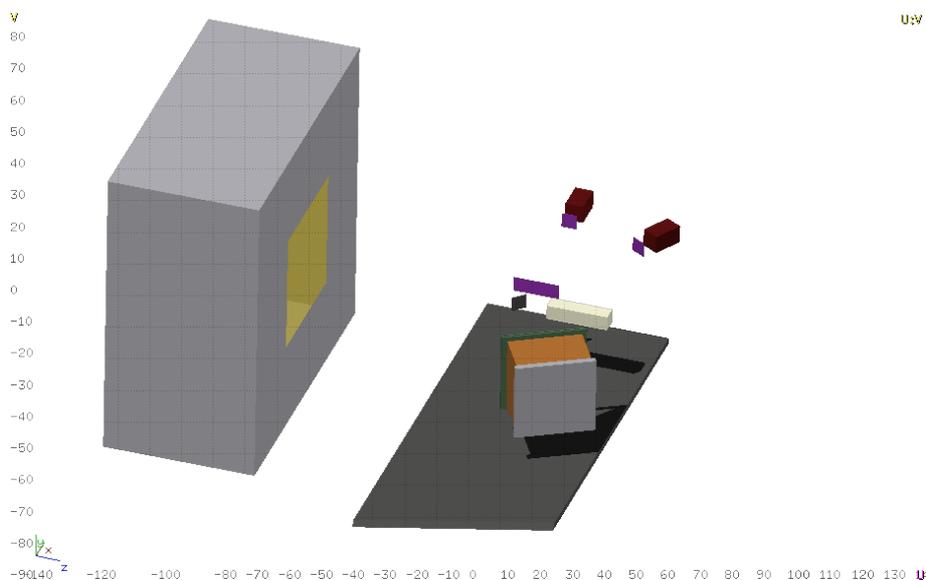


Fig. 2: Sketch 3D del possibile layout

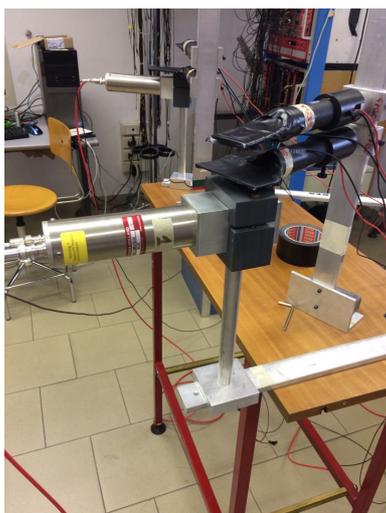


Fig. 3: Cristalli LYSO con i loro fotomoltiplicatori e relative staffe di alluminio

Durante la presa dati saranno sistemati in sala di trattamento, e nella relativa sala controllo, ulteriori dispositivi:

- 1 chiller per il raffreddamento ad acqua a circuito chiuso delle boards di elettronica del DP. Il peso dell'oggetto e' dell'ordine della decina di kg e sarà sistemato sul pavimento (fig. 4)



Fig. 4: Chiller

- 1 rack su ruote poggiato sul pavimento con crate NIM e VME ospitanti i moduli per l'alimentazione dei rivelatori e l'acquisizione dati. Peso totale circa 60 kg (Fig. 5);



Fig. 5: Rack con Crates NIM e VME

- 1 PC per gestire l'acquisizione dati;
- I dati saranno trasmessi via cavo ethernet sfruttando la connessione esistente fra l'interno della sala di trattamento e la relativa sala di controllo. In caso di necessità il gruppo responsabile della misura provvederà a stendere altri cavi di lunghezza adeguata;
- E' possibile anche l'utilizzo di un oscilloscopio digitale.

Elenco dei dispositivi	Produttore o denominazione
CRATE NIM	CAEN
CRATE VME	CAEN
Alimentatori bassa tensione	HP
Chiller (raffreddamento profiler ad acqua)	Julabo 250
Rivelatori a scintillazione con relativo fotomoltiplicatore ed elettronica di lettura	Dipartimento di scienze di base e applicate per l'ingegneria
Alimentatori alta tensione	CAEN
Cavi di connessione: lemo, HV, ethernet, fibra ottica	
Moduli elettronica VME	CAEN
Moduli elettronica NIM	CAEN
Rivelatore Dose Profiler per esperimento INSIDE	Dipartimento di scienze di base e applicate per l'ingegneria
DAQ server (con relativi mouse, tastiera, video)	DELL
Oscilloscopio digitale	LeCroy