

Confronto-Interlaboratorio (ILC) su dosimetri PADC (CR-39) per dosimetria neutronica: comparazione tra dati sperimentali preliminari e simulazioni FLUKA

Alessandro Calamida¹, Daniela Mercogliano¹, Alfonso Santagata², Gaia D’Ippolito³, Luca Carrarelli¹, Luca Silvi¹ and Massimo Pinto¹

¹Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (NUC-INMRI) – ENEA

²Tapiro (NUC-IRAD-RNR) - ENEA

³Università degli studi di Roma «La Sapienza»

INTRODUZIONE

Gli interconfronti tra laboratori (ILC) hanno l'obiettivo di valutare la consistenza delle misurazioni di fluenza e/o dose ambientale effettuate dai laboratori in tutta Italia. I loro obiettivi principali sono: identificare le principali fonti di incertezza, migliorare le prestazioni di laboratorio, perfezionare le procedure sperimentali e rafforzare la coerenza delle misurazioni tra i laboratori partecipanti.

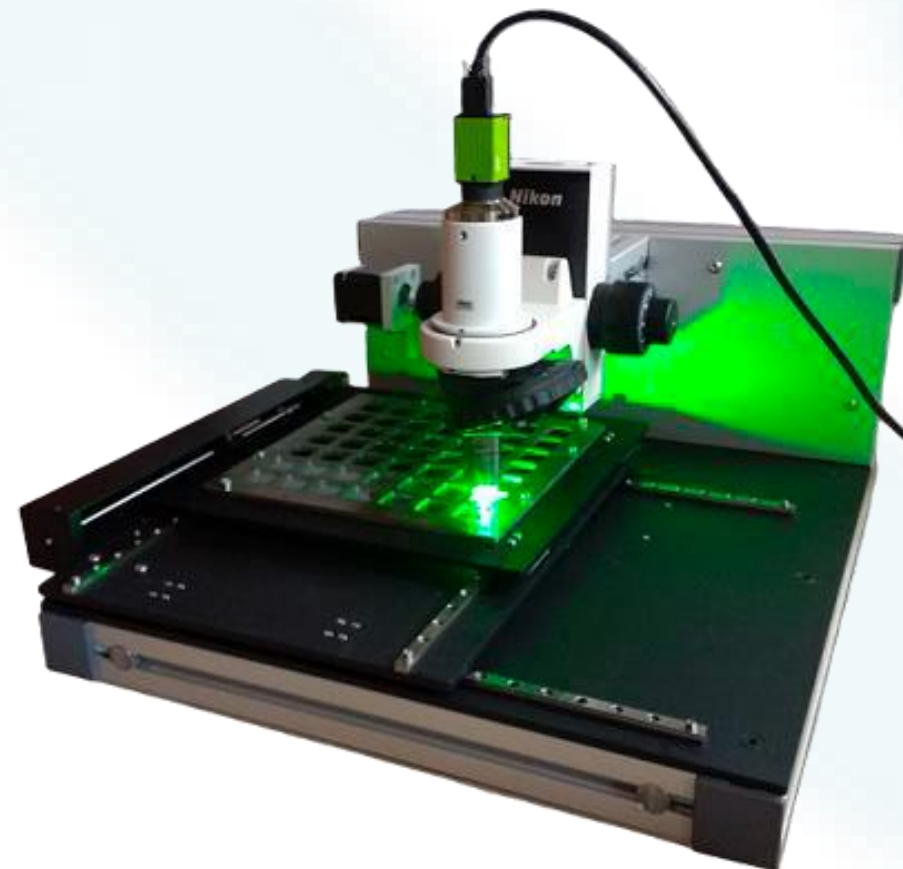
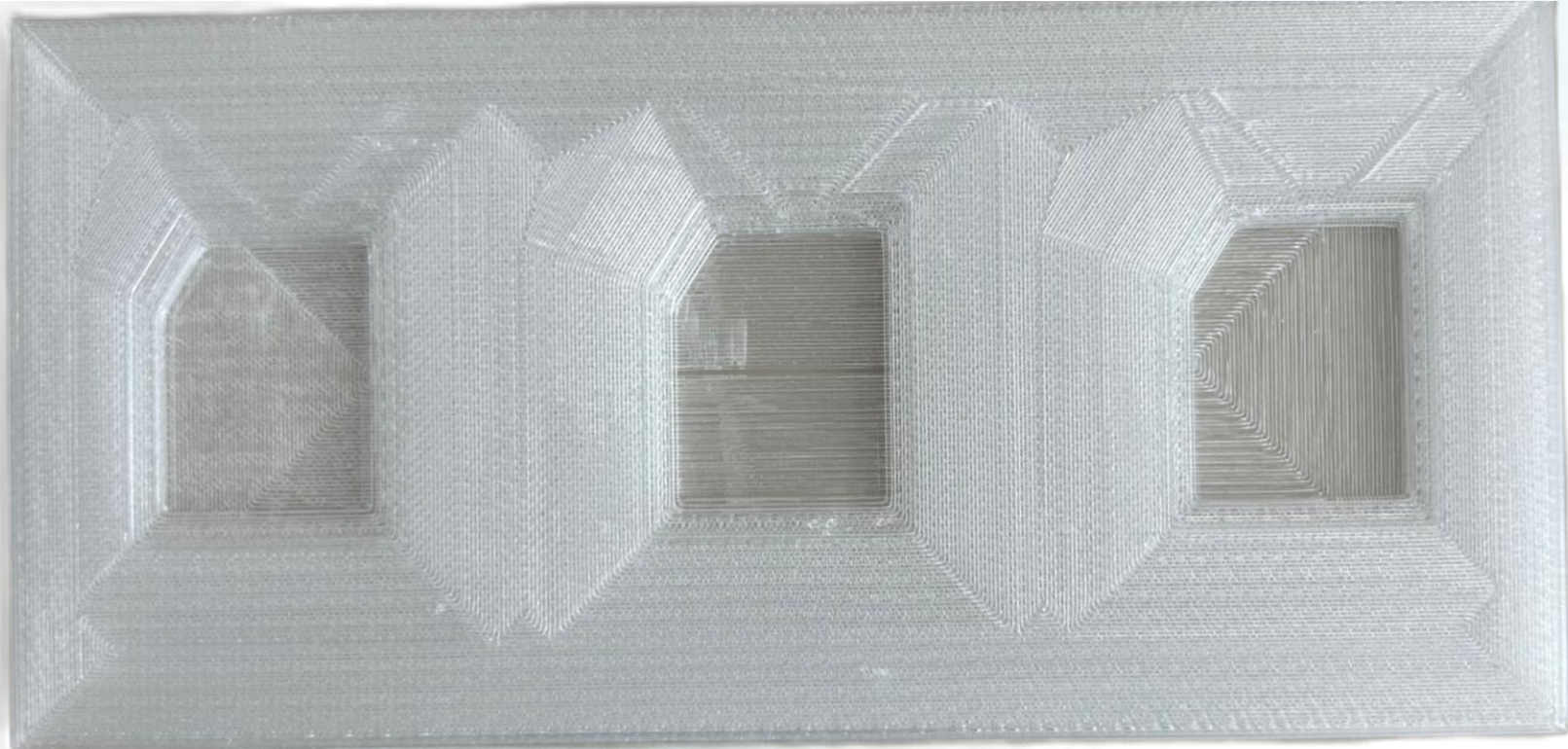
Per la dosimetria neutronica questa attività è piuttosto importante a causa delle sfide che questa presenta, legate alla dipendenza energetica della risposta dei rivelatori e alla complessità dei campi di radiazione. Per questi motivi, per l'interconfronto ILC3 per i neutroni, sono stati scelti rivelatori a traccia nucleare a stato solido basati su PADC (Poly-Allyl-Diglycol-Carbonate), nome commerciale CR-39, forniti dalla TASL Ltd. I loro principali vantaggi sono la sensibilità ai neutroni veloci e la loro risposta limitata alle radiazioni gamma. Dei 18 laboratori e strutture sanitarie (reparti di radioterapia) che hanno applicato, 9 hanno confermato fino ad ora.



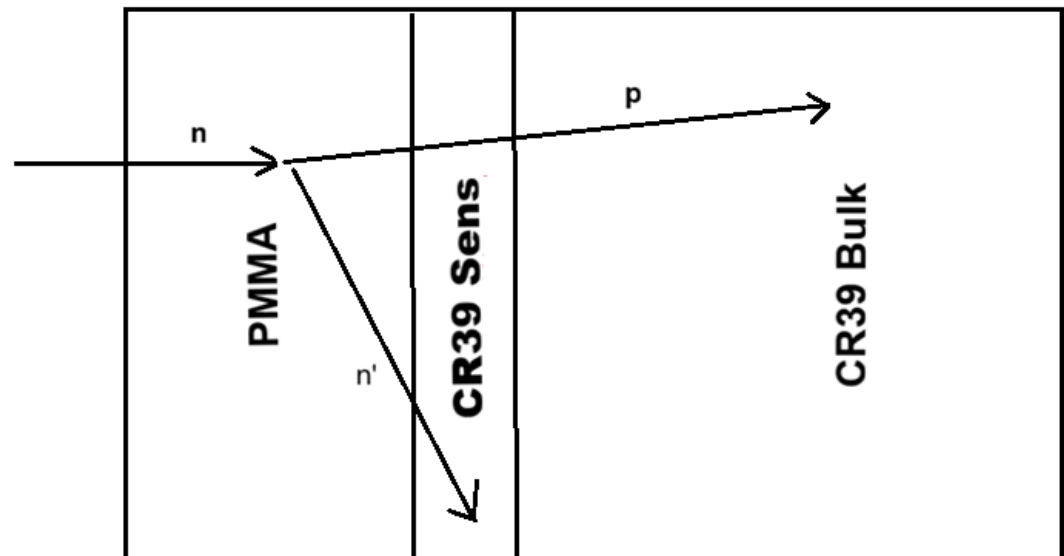
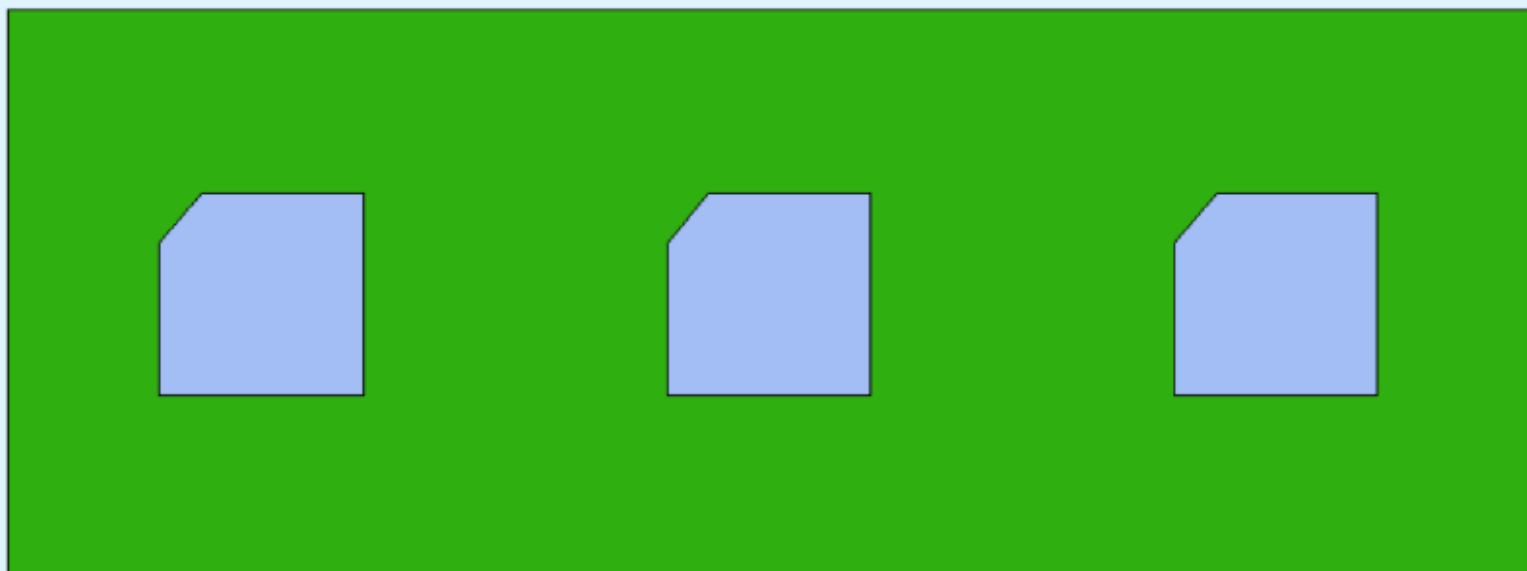
SETUP SPERIMENTALE E DELLE SIMULAZIONI

L'allestimento sperimentale per l'ICL3 prevede l'uso di un set di PADC che deve essere esposto al campo neutronico. I rivelatori saranno posizionati in un supporto fatto di PMMA (polimetilmetacrilato). Su ogni PADC sarà posizionato un radiatore di PMMA di spessore 0.4 mm. I neutroni interagiscono con il PMMA producendo particelle che possono lasciare tracce identificabili come: protoni (~85% a energie ²⁴¹Am-Be), α, ³He e ioni pesanti. Questi interagiranno con il PADC causando danni strutturali nello stesso. Le dimensioni della tracce lasciate sono dell’ordine dei nm. Per poter essere rilevabili, i PADC necessitano di una procedura di sviluppo chimico con una soluzione di NaOH. Questa espanderà le tracce e porterà i danni alla dimensione dei μm. Poi, con l'uso di un microscopio laser, queste tracce verranno conteggiate. Il conteggio delle tracce permette di ottenere la dose.

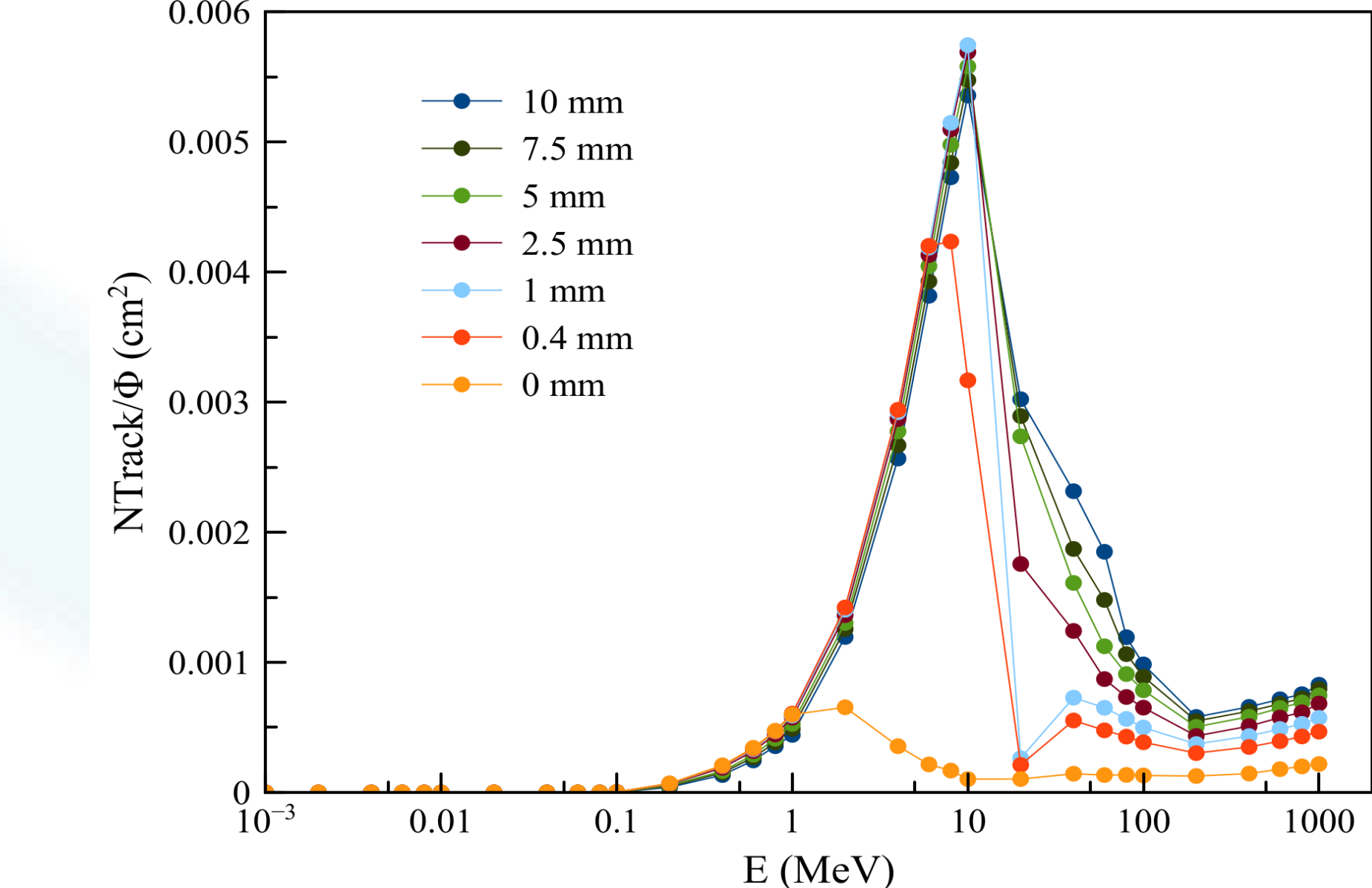
Ogni laboratorio riceverà due set di supporti, con il PADC, uno per la misurazione e l'altro come blank. Come confronto, una misurazione con un ²⁴¹Am-Be (standard secondario situato nel laboratorio TAPIRO dell'ENEA) esporrà due set di PADC, uno con copertura di PMMA da 0.4 mm e l'altro senza.



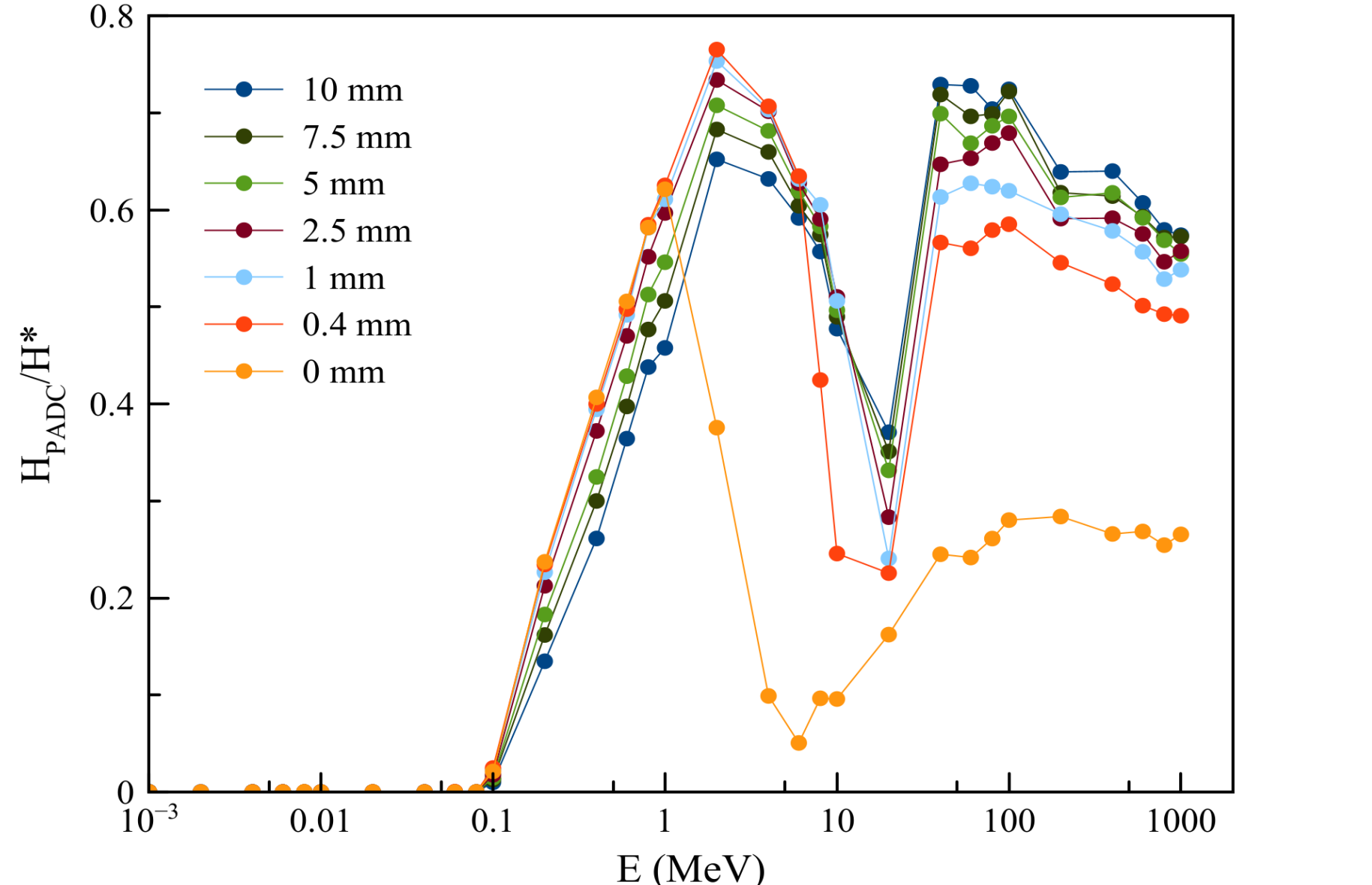
In parallelo alle misurazioni sperimentali, è stato realizzato anche un set di simulazioni Monte Carlo (MC) utilizzando il codice FLUKA-INFN [1]. L'intero sistema dei dosimetri è stato riprodotto in FLUKA e poi irradiato utilizzando un fascio di neutroni monocromatico con la dimensione dell'intero supporto. Le simulazioni sono state eseguite in un intervallo energetico di 1 meV ÷ 1 GeV con cinque energie per decade Utilizzando come riferimento una routine di *scoring* scritta da Bolzonella *et al.* [2], è possibile memorizzare la particella che lascia una traccia nel PADC che sarà poi resa visibile nel processo di sviluppo. In questo modo è possibile contare sia il numero di tracce che si formano nel PADC sia la dose misurata dal dosimetro stesso. La dose ambientale somministrata al PADC è stata stimata utilizzando i coefficienti di conversione FLUKA AMD74. Successivamente la dose stimata con la routine è stata confrontata con la dose ambientale così ottenuta: $R = H_{PADC}/H^*$. Tutte le simulazioni sono state eseguite con una fluenza totale di 10⁶ n/cm². Nelle simulazioni sono stati studiati diversi spessori del radiatore PMMA in un intervallo: 0.4÷10 mm. Alla fine, impiegando le funzioni di risposta ottenute si è fatto il *folding* con uno spettro di ²⁴¹AmBe per confrontare le tracce ottenute con le simulazioni MC con quelle sperimentali.



RISULTATI E DISCUSSIONI



Risultati Folding ²⁴¹ AmBe		
<i>t</i> (mm)	Ntrack/Φ _{MC} (cm ²)	Ntrack/Φ _{exp} (cm ²)
0	3.51E-04	2.01E-04
0.4	2.71E-03	3.36E-04
1	2.90E-03	-
2.5	2.85E-03	-
5	2.77E-03	-
7.5	2.68E-03	-
10	2.60E-03	-



La simulazione mostra che anche una piccola quantità di spessore di PMMA (*t*) può aumentare il numero di tracce per la fluenza di un ~87%. Inoltre, il massimo della risposta si sposta a energie più elevate, da 2 MeV a 4 MeV. Aumentare lo spessore del PMMA fornisce una risposta migliore a energie superiori a 30 MeV ma la diminuisce sotto 8 MeV. Nella maggior parte delle applicazioni di neutroni, solitamente la dosimetria, $\langle E_n \rangle < 10$ MeV. Per questo motivo, lo spessore di 0.4 mm scelto per l'ILC3 si è rivelato la scelta migliore grazie alla sua massima risposta alla dose a queste energie rispetto agli altri spessori studiati. Sia le simulazioni che i risultati sperimentali confermano che l'aggiunta di una piccola copertura di PMMA aumenta il numero di tracce sui rivelatori PADC di un ~70%. Si prevedono in future nuove misure sperimentali più raffinate per ottenere un migliore accordo tra queste e le simulazioni.

Bibliografia

[1] «FLUKA: a multi-particle transport code», A. Ferrari, P.R. Sala, A. Fasso' and J. Ranft,**CERN-2005-10 (2005)**, INFN/TC_05/11, SLAC-R-773;

[2] Bolzonella *et al.*, Rad. Meas. **138** (2020), 106456.