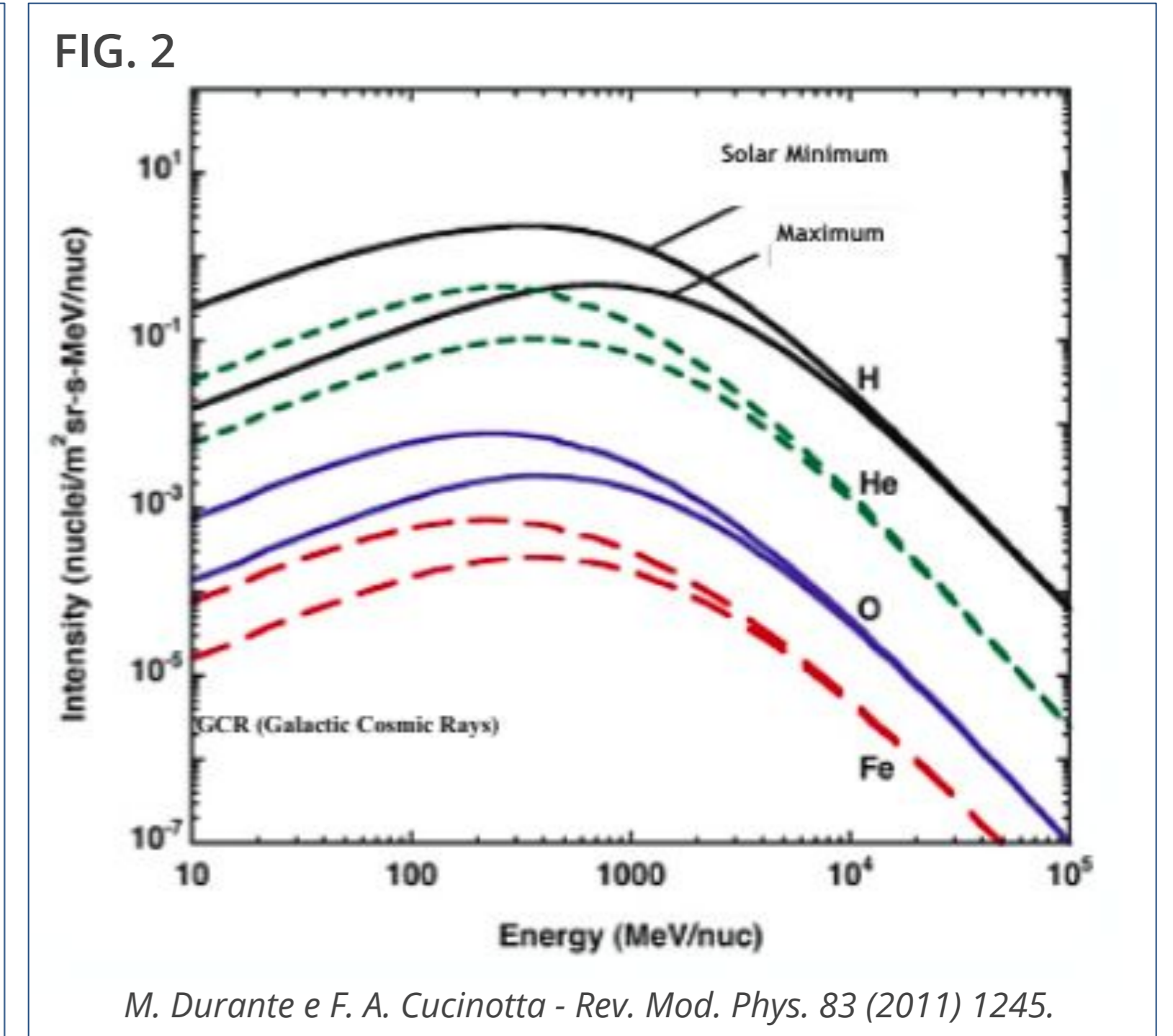
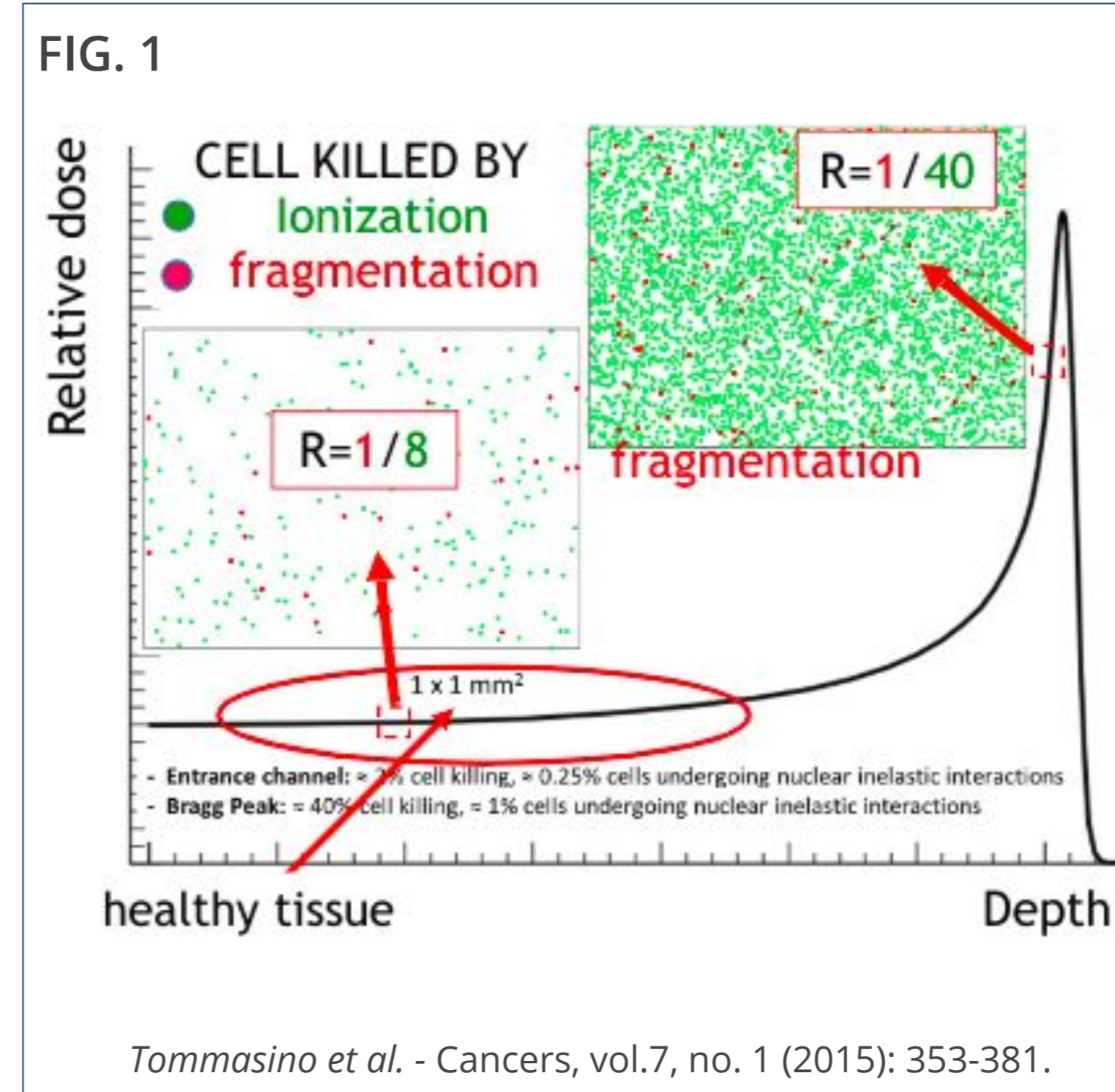


FRAMMENTAZIONE NELLE INTERAZIONI NUCLEARI TRA FASCIO E BERSAGLIO

L'obiettivo principale dell'esperimento FOOT (FragmentatiOn of Target) è la misura delle sezioni d'urto doppio-differenziali rispetto all'energia cinetica e all'angolo di emissione dei frammenti prodotti nelle interazioni nucleari tra un fascio di ioni e diversi atomi bersaglio presenti nei tessuti umani^(Fig.1).

Gli intervalli di energia a cui tali misure verranno effettuate sono due:

- uno di energia fino a 400 MeV/u, per valutare gli effetti della frammentazione nucleare nel trattamento di adroterapia con fasci di protoni, in particolare il deposito di energia dovuto a frammentazione nucleare nella parte di tessuti sani presente tra l'ingresso del fascio e i tessuti tumorali^[1]
- il secondo, di energia fino a 700 MeV/u, per migliorare la conoscenza della frammentazione di ioni su nuclei: la progettazione dei veicoli spaziali richiede infatti una conoscenza più approfondita delle sezioni d'urto per ottimizzare le schermature, con l'obiettivo di minimizzare il rischio di danni agli astronauti in vista di missioni spaziali di lunga durata^[2]

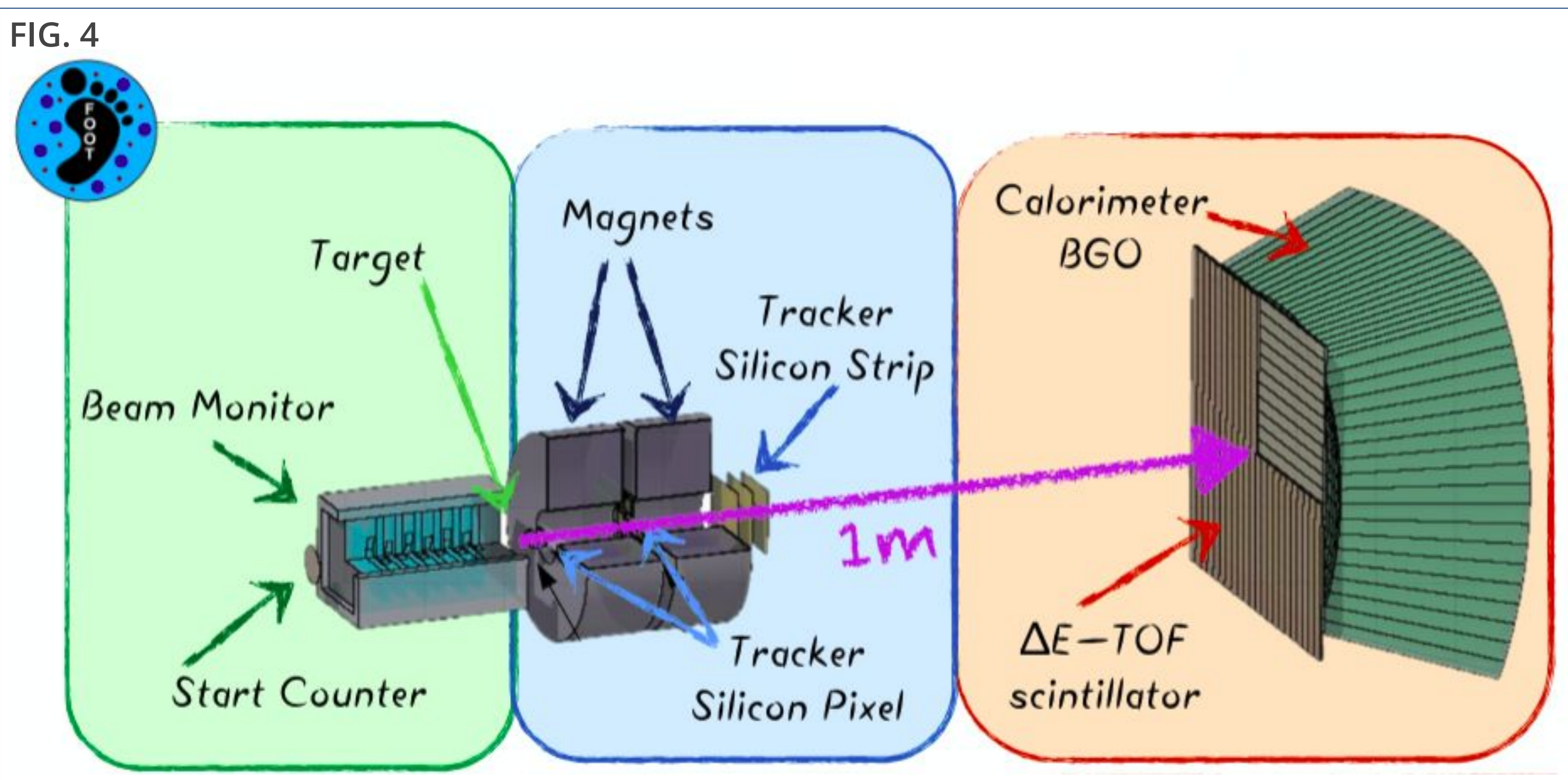


TECNICA SPERIMENTALE

Poiché i frammenti prodotti dall'interazione dei protoni con i nuclei bersaglio hanno un percorso breve (dell'ordine di 10 - 100 μm) negli intervalli di energia considerati, l'esperimento FOOT utilizza la tecnica della cinematica inversa^(Fig.3) per identificarli e misurare la loro energia, cioè inviare gli ioni a un bersaglio ricco di protoni. Le sezioni d'urto possono quindi essere estratte dai dati ottenuti utilizzando un bersaglio di C puro^[3].



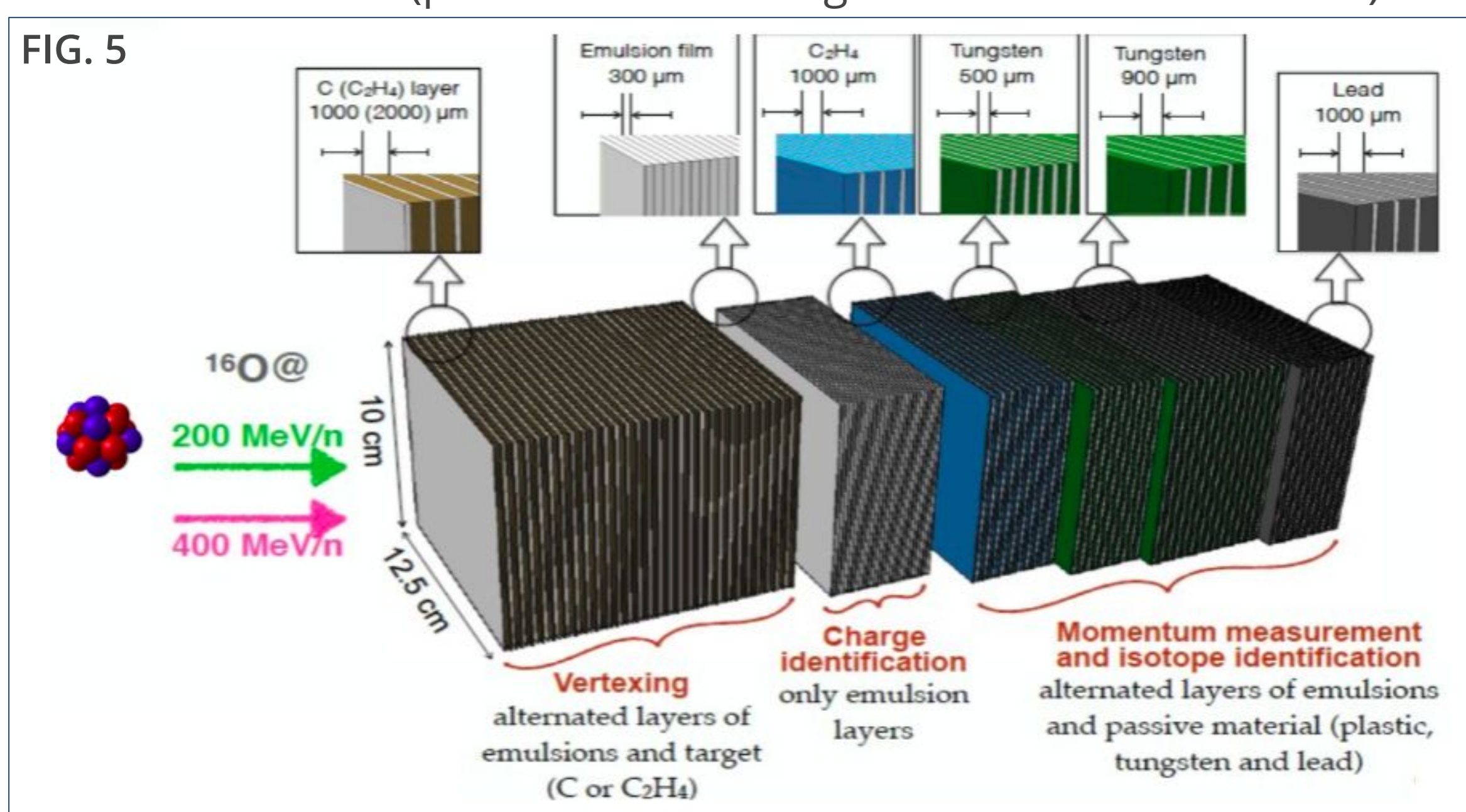
APPARATO SPERIMENTALE



La configurazione sperimentale sarà esposta a fasci di ioni in due configurazioni: una con rivelatori elettronici^(Fig.4) per la misura di frammenti più pesanti e una basata principalmente su una camera ad emulsioni per la misura di frammenti più leggeri^[4].

Per la configurazione elettronica è possibile identificare tre diverse regioni:

1. **Zona di interazione:** un sottile scintillatore plastico utilizzato per fornire informazioni di trigger e il tempo di partenza al rivelatore Time Of Flight (TOF), una camera a multifili con lo scopo di misurare la direzione del fascio e sottili bersagli in polietilene e grafite, necessari per adottare il metodo di sottrazione delle sezioni d'urto
2. **Spettrometro magnetico:** quattro strati di rivelatore di silicio a pixel dopo il bersaglio da utilizzare come rivelatore di vertice, due magneti permanenti con geometria Halbach con al centro due rivelatori di silicio a pixel e infine tre strati di rivelatori a microstrip, ciascuno composto da 2 sensori, per la ricostruzione della posizione XY e per eseguire la misura dell'impulso
3. **Area calorimetrica:** 22 + 22 barre di scintillatore plastico disposte in due strati ortogonali (per misurare l'energia depositata (dE / dx), dare l'arresto al TOF e fornire una stima della posizione del frammento) e un calorimetro composto da 360 elementi di cristalli BGO (per misurare l'energia cinetica dei frammenti)



La seconda configurazione, basata su una camera ad emulsioni^(Fig.5) che sostituirà la parte elettronica dopo la zona d'interazione, fornirà misurazioni per frammenti più leggeri emessi ad angoli più grandi, estendendo l'accettazione angolare fino a circa 70 °. Con questa configurazione, la frammentazione del proiettile sarà anche studiata tramite cinematica diretta.

PROBLEMATICHE PER LE MISSIONI SPAZIALI

Esistono tre fonti principali di particelle energetiche nello spazio: eventi da particelle solari (SPE), Raggi Cosmici Galattici (GCR) e le particelle geomagneticamente intrappolate.

Il loro spettro energetico può raggiungere la regione del GeV^(Fig.2) e sono in grado di infliggere una dose letale agli astronauti.

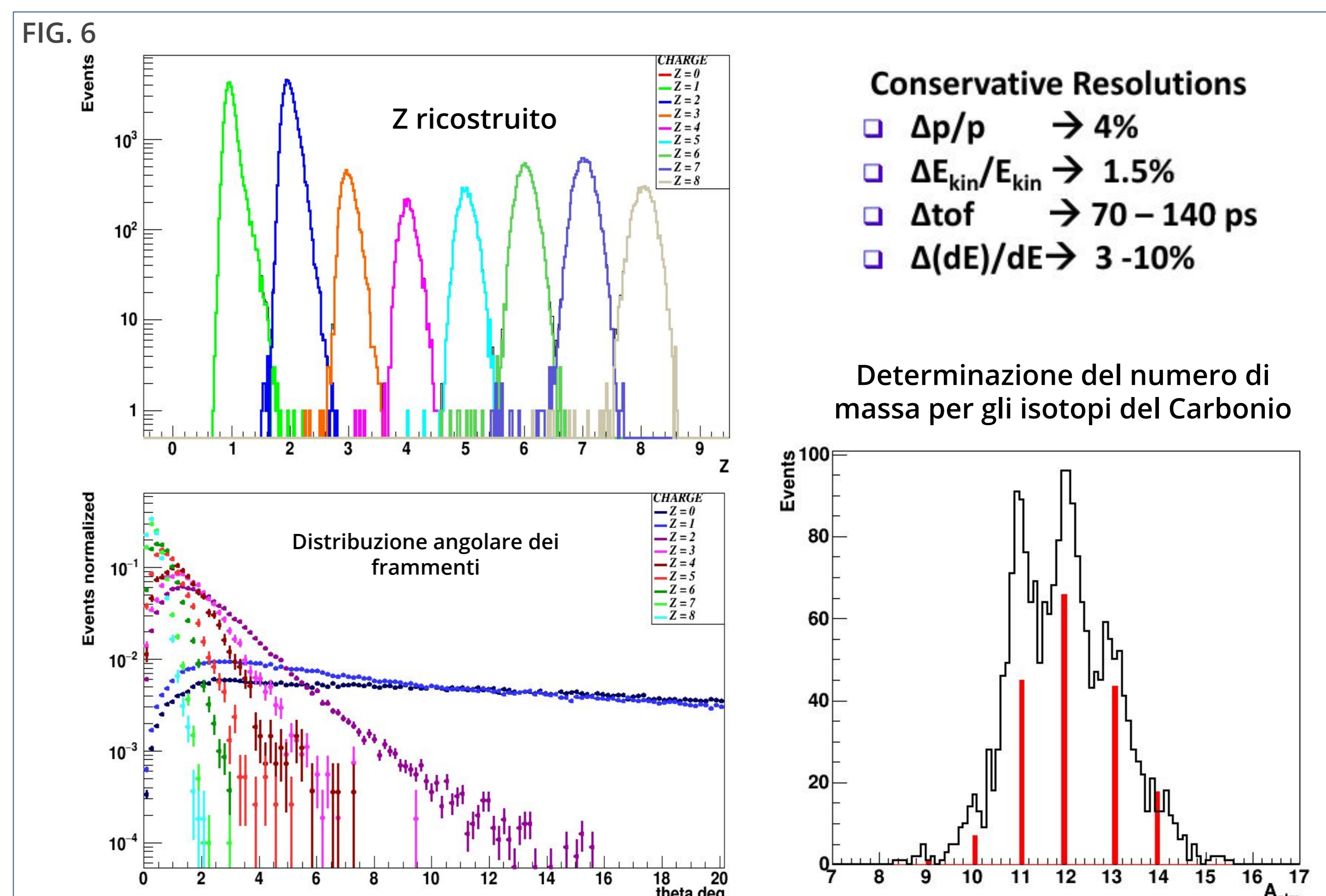
Le sezioni d'urto doppio-differenziali per gli ioni leggeri sono particolarmente importanti, in quanto tali particelle hanno un elevato potere penetrante e una ampia diffusione angolare dal fascio primario.

Le misure per bersagli di idrogeno sono particolarmente necessarie, in quanto i materiali ricchi di tale elemento sono tra le migliori opzioni per la costruzione delle schermature dei velivoli spaziali^[5].

RISULTATI ATTESI E PRESTAZIONI

Lo studio preliminare delle prestazioni del rivelatore sulla misura di carica e sulla risoluzione del numero di massa è stato eseguito sulla base di simulazioni FLUKA^[6] utilizzando valori conservativi per le risoluzioni^(Fig.6) dei singoli rivelatori.

Le risoluzioni ottenute per la carica di frammenti pesanti e la determinazione del numero di massa sono rispettivamente di circa il 2% e il 3%^[7].



Lo studio della frammentazione del fascio e del bersaglio a energie fino a 700 MeV/u fornirà preziose informazioni per lo sviluppo della radioprotezione per le missioni spaziali di lunga durata e lontano dalla Terra.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] J.T. Tang JT et al. - Br J Cancer 76 (1997).
- [2] M. Durante, F.A. Cucinotta - Nat Rev Cancer. 2008(6):465-72
- [3] Dudouet et al. - Fis. Rev. C 88.2 (2013): 024606.
- [4] FOOT CDR Conceptual Design. 0.13140/RG.2.2.28904.78080.
- [5] M. Durante e F. A. Cucinotta - Rev. Mod. Phys. 83 (2011) 1245.
- [6] A. Ferrari et al. - CERN-2005-10 (2005), INFN/TC_05/11, SLAC-R-773
- [7] S.M. Valle et al. - Il Nuovo Cimento 41 C (2018) 169.

