

A photograph of an astronaut in a white space suit with blue stripes, floating in space against a backdrop of Earth's blue and white clouds. The astronaut's helmet is visible, and they appear to be working on a piece of equipment. The text 'Frammenti nucleari' is overlaid in large pink letters on the left side of the image.

Frammenti nucleari

Misure di alta precisione per la radioprotezione nello spazio e per l'adroterapia.

di Clementina Agodi e Giovanni Raciti

I primi studi sulle reazioni di *frammentazione del proiettile* risalgono al 1978 e vennero effettuati al *Lawrence Berkeley Laboratory*. In queste reazioni, nuclei medi e pesanti, accelerati a energie molto al di sopra della barriera coulombiana, interagendo con un nucleo bersaglio, si frammentano dando origine a diverse specie nucleari più leggere. Gli ioni prodotti vengono emessi con velocità leggermente inferiore a quella del proiettile iniziale, distribuendosi entro un cono di piccola apertura angolare rispetto alla direzione d'incidenza del proiettile.

Lo studio del processo di frammentazione nucleare coinvolge, oggi, diversi campi d'interesse: dalla ricerca di base alle applicazioni. Tra queste ultime, tali tipi di studi danno un contributo fondamentale per l'innovazione nel campo medico, in particolare nell'adroterapia, la nuova frontiera della terapia contro il cancro, e nella valutazione dei rischi da radiazioni nei viaggi interplanetari. Il principale vantaggio dell'adroterapia che, in alternativa alla radioterapia convenzionale, nel trattamento dei tumori utilizza, appunto, fasci di adroni (cioè di protoni oppure di ioni), si basa sul così detto *profilo inverso* della distribuzione di dose con la profondità di penetrazione nei tessuti (*picco di Bragg*). Questo profilo è caratterizzato dalla deposizione di una frazione relativamente piccola dell'energia totale nella regione superficiale, più prossima alla pelle, e da un netto aumento in prossimità della fine del percorso, con successiva rapida diminuzione. Ciò consente di modulare l'energia del fascio incidente in modo tale che il picco di dose raggiunga, alla profondità voluta, i tessuti malati.

Il principale obiettivo della radioterapia, in generale, è il controllo locale del tumore. A tal fine occorre cedere al focolaio tumorale una dose talmente elevata da distruggerlo, mantenendo, al tempo stesso, la dose nei tessuti sani circostanti più limitata possibile. Nell'adroterapia con ioni è fondamentale misurare i prodotti della frammentazione alle varie energie nell'attraversamento dei tessuti sani dopo la zona interessata al trattamento (code del picco di Bragg). Queste misure sono fondamentali per stimare correttamente come questo processo modifichi le distribuzioni di dose e l'efficacia biologica del trattamento stesso, preservando il più possibile i tessuti sani. L'altro aspetto applicativo degli studi sulla frammentazione riguarda la radioprotezione nello spazio. Quest'ultima è di crescente attualità in vista dei futuri programmi della Nasa, relativi alle missioni su Marte e alla colonizzazione del Sistema Solare, in particolare della Luna. Infatti, uscendo dallo schermo protettivo del campo magnetico terrestre, la radiazione cosmica diviene il principale rischio per la salute degli astronauti nelle missioni interplanetarie. Inoltre, la strumentazione di alta precisione utilizzata nelle

a.

La Nasa ha promosso lo studio della frammentazione di ioni a varie energie per ottimizzare le schermature delle navicelle spaziali, in modo da ridurre a livello accettabile il rischio per gli astronauti ed aumentarne il tempo di permanenza nello spazio.

missioni spaziali è molto suscettibile a danni da radiazione, tanto da poter persino determinare il fallimento della missione stessa. Ma che cosa hanno in comune l'adroterapia e le esplorazioni nello spazio? In entrambi questi campi di ricerca sono coinvolti processi fisici simili, la cui comprensione approfondita è importante sia per ottenere migliori trattamenti clinici con le radiazioni, che per rendere più sicuri i viaggi interplanetari.

Per calcolare correttamente le dosi da radiazione e per valutarne i rischi, sono necessarie delle misure sperimentali di frammentazione e di radiobiologia. Nella valutazione dei rischi da radiazione nello spazio, l'obiettivo che si prefigge la Nasa è quello di poter lavorare in sicurezza nello spazio con rischi da radiazioni accettabili. Benché nella radiazione cosmica, tra le particelle, quelle più pesanti siano solo l'1% esse contribuiscono in modo significativo alla dose totale. Fino ad oggi in campo applicativo, i problemi relativi alla frammentazione sono stati affrontati utilizzando soprattutto simulazioni. I modelli su cui si basano le simulazioni, però, devono essere convalidati: questo approccio presenta notevoli incertezze, dovute a una carenza di misure sistematiche. Il *rischio* non è una

grandezza misurabile sperimentalmente, ma si calcola con un modello. Come convalidare e migliorare i modelli? Il modo c'è ed è quello di eseguire le misure sperimentali necessarie nei laboratori di fisica nucleare. Questo è proprio quello che stiamo facendo con una vasta campagna di misure sperimentali, che comprende l'utilizzo di fasci di particelle in un intervallo di energie d'interesse sia per l'adroterapia che per la radioprotezione nello spazio. Questo programma sperimentale, frutto di una collaborazione internazionale, prevede diverse misure sia in Italia ai Laboratori Nazionali del Sud dell'Infn alle energie più basse, che in Germania al laboratorio Gsi a energie più elevate. Nel primo caso, i risultati saranno utilizzati per la realizzazione di un Sistema di Piano di Trattamento (Tps) per ioni leggeri ($A \leq 16$). Un Tps è un complesso sistema di calcolo, che aiuta a definire i parametri della radiazione per ogni specifico trattamento e a calcolare la dose inviata al paziente, in tempo reale e in modo interattivo. Quello che un'ampia collaborazione all'interno dell'Infn vuole sviluppare sarà all'avanguardia in questo campo, perché conterrà, grazie anche ai nostri esperimenti, molti elementi di innovazione rispetto a quanto fino ad oggi disponibile.

Biografie

Clementina Agodi è ricercatore ai Laboratori Nazionali del Sud dell'Infn. È responsabile nazionale dell'esperimento Frag e fa parte della collaborazione Tps dell'Infn.

Giovanni Raciti, recentemente scomparso, era professore di fisica sperimentale all'Università di Catania. Col suo lavoro, ha dato importanti contributi alla fisica nucleare sperimentale in Italia e all'estero. Era responsabile nazionale dell'esperimento Frag, per lo studio della frammentazione nucleare.

Link sul web

www.lns.infn.it

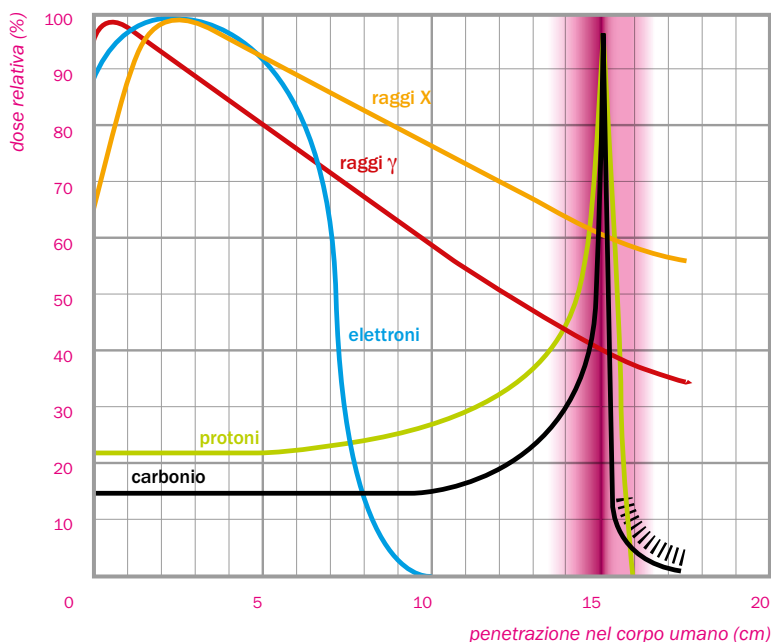
<http://lnsweb.lns.infn.it/>

www.fluka.org/fluka.php

www.to.infn.it/it/tps

<http://geant4.web.cern.ch/geant4/>

www.gsi.de/portrait/Broschueren/ionenstrahlen_e.html



b.

b. La figura mostra la dipendenza dalla profondità della dose relativa depositata per diverse radiazioni. La distribuzione di dose dei protoni e del carbonio ha un andamento diverso rispetto a quello di un fascio di elettroni di alta energia. Per protoni e carbonio, la dose in superficie è bassa rispetto a quella assorbita nella regione del picco, al contrario di quanto accade per elettroni, raggi X e gamma. Nel caso del carbonio, è evidenziata la regione interessata dagli effetti della frammentazione.