

CODICI DI CALCOLO PER MIGLIORARE L'EFFICACIA E RIDURRE I RISCHI NELL'USO DELLE RADIAZIONI IN CAMPO MEDICO



Barbara Caccia¹ e Pablo Cirrone²

¹Dipartimento di Tecnologie e Salute, ISS

²Laboratori Nazionali del Sud, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Catania

RIASSUNTO - L'introduzione di tecniche innovative per la diagnosi e la cura del cancro necessita di metodi di calcolo sempre più complessi. In particolare, nella radioterapia oncologica l'utilizzo di tecniche ad alto grado di conformazione (Intensity Modulated Radiation Therapy, Tomoterapia) o con fasci di radiazione con particelle cariche (Adroterapia) comporta un maggiore controllo locoregionale del tumore, ma pongono anche nuovi problemi nella valutazione della dose di radiazione rilasciata ai tessuti sani. Le tecniche di calcolo avanzato tipiche delle applicazioni in fisica delle alte energie, come ad esempio i codici di simulazione Monte Carlo, rappresentano un valido aiuto nella corretta applicazione delle nuove tecniche fisiche per la diagnosi e la terapia delle patologie tumorali, consentendo di sfruttare nel modo migliore l'innovazione tecnologica.

Parole chiave: radioterapia; fisica medica; metodologie computerizzate; simulazioni computerizzate

SUMMARY (*Radiation transport codes to improve efficiency and reduce risks in medical applications of ionizing radiations*) - The introduction of advanced techniques for cancer diagnosis and therapy needs complex computing approaches. Moreover in oncological radiotherapy the usage of conformal techniques (such as Intensity Modulated Radiation Therapy) with conventional (photon, electron beams) or not conventional (Hadrontherapy) beams allows a more accurate loco-regional disease control, but needs a more accurate evaluation of the dose released to the health tissues. The advanced computing techniques developed and used in high energy physics experiments (e.g. Monte Carlo simulation codes) represent a valid tool in the correct application of the new technologies for diagnostic and therapy.

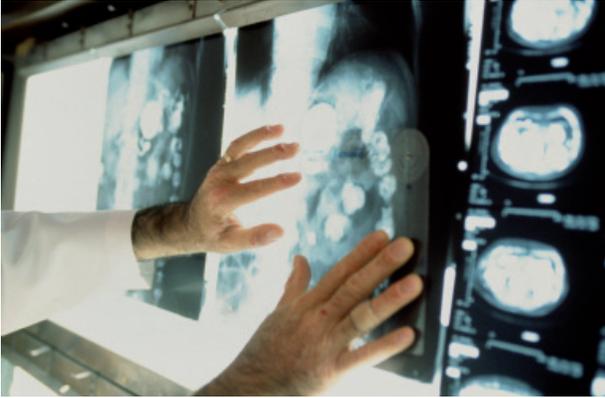
Key words: radiotherapy; medical physics; computing methodologies; computer simulation

barbara.caccia@iss.it

L'utilizzo delle radiazioni ionizzanti per la diagnosi e la cura di patologie tumorali ha contribuito al significativo aumento della sopravvivenza per i pazienti oncologici. Il rateo di sopravvivenza a cinque anni è in crescita progressiva (1) e questo rende sempre più importante ridurre i rischi di induzione di tumori secondari salvaguardando i tessuti sani e gli organi a rischio nell'utilizzo delle radiazioni ionizzanti. Nell'utilizzo delle radiazioni ionizzanti, ad esempio in un trattamento di radioterapia per una patologia oncologica, all'azione tumoricida delle radiazioni è sempre associata un'inevitabile interazione tra radiazioni e tessuti e organi sani che si vorrebbe proteggere. È quindi particolarmente importante valutare in modo corretto la distribuzione delle radiazioni nell'interazione con il paziente, in modo da poter pianificare un trattamento radioterapeutico o

scegliere una tecnica diagnostica avendo dati assolutamente accurati per la valutazione del rapporto rischio/beneficio per il paziente (2).

L'utilizzo di codici di calcolo Monte Carlo sembra fornire i risultati migliori per la valutazione della distribuzione di dose in campo radioterapeutico e diagnostico (3). Il metodo di calcolo Monte Carlo rappresenta un metodo numerico sviluppato e collaudato nella fisica computazionale, in cui la simulazione è intesa come mediazione tra teoria e misura sperimentale. In un sistema complesso, come quello che si determina nell'interazione tra radiazioni ionizzanti e tessuti biologici, non si può avere una descrizione analitica dei fenomeni e quindi la descrizione più accurata è fornita da una simulazione. Nelle simulazioni Monte Carlo, la "storia" della singola radiazione che penetra nella materia è ripetuta per un numero di volte sufficien- ►



temente elevato per fornire un dato statisticamente accurato. In fisica medica il metodo Monte Carlo si applica in radiobiologia, nel campo dell'imaging, nella modellizzazione di acceleratori per radioterapia, in radioprotezione e nel calcolo della dose in radioterapia. Tutte le applicazioni in fisica medica del codice Monte Carlo utilizzano package o librerie sviluppate generalmente in fisica delle alte energie per affrontare problemi di simulazione molto più complessi.

Corso per l'utilizzo di Geant4 in campo medico

Il Dipartimento di Tecnologie e Salute dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) si occupa da anni di sviluppo di codici di calcolo e modellistica per l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti in medicina. Nell'ambito delle attività formative che l'ISS offre agli operatori del Servizio Sanitario Nazionale (SSN), si è ritenuto utile fornire ai fisici che si occupano di fisica medica un corso per l'utilizzo di un codice Monte Carlo per applicazioni in radioterapia oncologica.

Il codice Monte Carlo, scelto per il corso, è Geant4. Geant4 è un codice Monte Carlo distribuito liberamente (<http://geant4.web.cern.ch/geant4/>), utilizzato nei più importanti esperimenti di fisica delle alte energie e di fisica nucleare (4). Geant4 è inoltre utilizzato come strumento di simulazione per applicazioni in fisica spaziale, per gli acceleratori e per le applicazioni in fisica medica. Geant4 è sviluppato e mantenuto da una collaborazione internazionale molto ampia, che coinvolge centri di ricerca e sviluppo sparsi in tutto il mondo e comprendente circa 100 ricercatori. La collaborazione fornisce un servizio di produzione del software garantito da un processo di valutazione della qualità del codice di calcolo prodotto e di validazione

dei modelli fisici descritti, ma anche di supporto agli utenti. Il progetto Geant4, inteso sia come codice di calcolo ma anche come filosofia di distribuzione, libera da diritti proprietari e capace di fornire un supporto agli utilizzatori, rappresenta un ottimo esempio di trasferimento di conoscenza dalla ricerca di base alle necessità applicative della fisica medica.

All'interno di Geant4 sono anche distribuite delle specifiche applicazioni, definiti come *example* con una struttura di codice aperto (*open source*), che rende possibile utilizzare e modificare i pacchetti per le applicazioni di cui si ha bisogno per la propria attività. Sono disponibili *example* per applicazioni in brachiterapia, radioprotezione, microdosimetria, adroterapia e per la visualizzazione delle immagini mediche in formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è parte integrante della collaborazione internazionale Geant4 e contribuisce in modo rilevante alle decisioni tecniche e scientifiche della collaborazione attraverso una partecipazione diretta allo sviluppo e all'indirizzo del codice, e allo sviluppo degli *example*.

L'ISS collabora con il Progetto Geant4 attraverso il Reparto Modelli di sistemi complessi ed applicazioni alla stima dei rischi del Dipartimento di Tecnologie e Salute. Le attività che sono condotte presso l'ISS, grazie anche alla presenza del Gruppo Collegato Sanità dell'INFN, hanno come principale obiettivo il trasferimento delle conoscenze maturate in ambiti di ricerca verso la pratica clinica. L'obiettivo viene attuato lavorando a contatto sia con la collaborazione di ricerca Geant4 che con i fisici che lavorano nelle strutture di fisica medica dell'SSN e in altri enti di ricerca nazionali. L'attività che viene svolta è soprattutto legata alla realizzazione di esempi applicativi che possano introdurre i fisici medici ospedalieri all'uso



immediato del codice in ambito clinico. L'obiettivo in queste attività è quello di avvicinare il mondo della ricerca e le necessità cliniche per rendere più efficace e sicuro il raggiungimento dell'obiettivo di cura del paziente con i migliori strumenti messi a punto nei grandi progetti di ricerca internazionale.

In questa attività di disseminazione dell'uso di tecniche computazionali avanzate nelle applicazioni cliniche ha un ruolo importante l'aspetto di formazione. L'ISS ha organizzato, dal 12 al 14 ottobre 2009, un corso per l'utilizzo del codice Geant4 in ambito medico. Il corso è stato tenuto presso la sede dei Laboratori Nazionali del Sud (LNS) dell'INFN di Catania, da ricercatori con competenze specifiche nello sviluppo del codice Geant4, in modo particolare per le applicazioni in adroterapia.

L'adroterapia rappresenta una delle tecniche di radioterapia oncologica innovativa su cui vi è un crescente interesse nel nostro Paese, ma soprattutto negli Stati Uniti e in Giappone. I fasci adronici sono costituiti da protoni e ioni che hanno la particolarità di poter colpire il bersaglio tumorale con maggiore precisione rispetto a fasci di fotoni o elettroni (considerati "convenzionali" nella radioterapia oncologica). Nel mondo sono operativi 30 centri di adroterapia (protoni e/o ioni leggeri), di cui 13 in Europa, e ne sono in costruzione 10, di cui due in Italia. A Catania (LNS-INFN) è ospitato l'unico centro di protonterapia italiano già in funzione, progettato, realizzato e gestito dai ricercatori del centro di ricerca INFN in collaborazione con i radioterapisti e i fisici medici della Struttura complessa di radiodiagnostica e radioterapia oncologica e la Clinica oculistica dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Policlinico di Catania. Il codice Geant4 è stato utilizzato per tutte le valutazioni progettuali e di utilizzo clinico della *facility* di trattamento presente presso gli LNS. La Figura 1 mostra la linea di trattamento di protonterapia degli LNS.



Figura 1 - Linea di fascio per protonterapia installata presso i Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (LNS-INFN) di Catania

I partecipanti al corso hanno avuto la possibilità di visitare la sala di trattamento per i pazienti, in questa interessante e stimolante compresenza di attività di ricerca e attività clinica.

Il corso, che ha avuto il patrocinio scientifico dell'Associazione di Fisica Medica, dell'Associazione Italiana di Radioprotezione e della collaborazione internazionale Geant4, ha avuto tra i docenti alcuni degli sviluppatori del codice Geant4. Durante il corso si è mostrato come installare e utilizzare il codice di calcolo per simulare un acceleratore per radioterapia e valutare la distribuzione di dose che si ottiene durante un irraggiamento. La disponibilità di sessioni pratiche di esercitazione nell'uso del codice ha permesso ai fisici medici presenti di ricevere una buona introduzione all'uso di questa tecnica di calcolo.

I contenuti delle lezioni tenute durante il corso sono disponibili sul sito www.iss.it/mars

Riferimenti bibliografici

1. Delaney GP, Jacob S, Featherstone C, *et al.* The role of radiotherapy in cancer treatment: estimating optimal utilisation from a review of evidence-based clinical guidelines. *Cancer* 2005;104:1129-37.
2. Xu X George, Bednarz B, Paganetti H. A review of dosimetry studies on external-beam radiation treatment with respect to second cancer induction phases. *Phys Med Biol* 2008;53:R193-R241.
3. Chetty IJ, Curran B, Cygler J, *et al.* Report of the AAPM Task Group No.105: issues associated with clinical implementation of Monte Carlo-based photon and electron external beam treatment planning. *Med Phys* 2007;34:4818-53.
4. Geant4 Collaboration. Geant4 developments and applications. *IEEE Trans Nucl Science* 2007;53(1):270-8.

