

# Dal laboratorio alla società

Le molteplici applicazioni della fisica fondamentale

di Giacomo Cuttone



La fisica ha svolto un ruolo fondamentale nello sviluppo di tecniche e metodologie innovative da applicare nel campo dello studio dell'ambiente e del clima, dell'energia, della biomedicina e dei beni culturali. Questi ambiti hanno attinto a piene mani dalla ricerca in molteplici settori della fisica: impiego di radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, rivelatori di radiazione, sviluppo di nuovi materiali, sistemi di calcolo a elevate prestazioni, intelligenza artificiale. Nei 70 anni della sua storia, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) ha svolto un ruolo di primo piano in questo settore, in virtù dei grandi progetti di ricerca che ha saputo con successo portare avanti.

Il primo e, sicuramente, il più proficuo ambito di applicazione è rappresentato dalla biomedicina. Grazie allo sviluppo continuo di rivelatori di radiazione per gli esperimenti di fisica fondamentale,

le tecniche di *imaging* morfologico e funzionale si sono evolute, permettendo di realizzare protocolli clinici capaci di studiare in modo sempre più preciso e predittivo un ampio spettro di patologie. Sono state trasferite all'industria tecnologie che hanno permesso di realizzare tomografi di tipo TAC (tomografia assiale computerizzata), RMN (risonanza magnetica nucleare), PET (tomografia a emissione di positroni) e SPECT (tomografia a emissione di singolo fotone) sempre più performanti e con sensibilità sempre maggiore.

Accanto allo sviluppo delle macchine, un forte impegno è stato profuso nel settore dell'analisi delle immagini cliniche con l'impiego di sistemi di calcolo avanzati che applicano metodi di intelligenza artificiale, e permettono di estrarre informazioni anche predittive attraverso l'utilizzo di tecniche di "radiomiche" (vd. p. 11, ndr).

a.  
Un apparecchio per la tomografia assiale computerizzata (TAC) per la diagnostica per immagini.



b.  
Kick off meeting del Centro ICSC di Bologna, alla presenza della Ministro della Università e Ricerca Anna Maria Bernini (novembre 2022).

Nel corso dei prossimi anni, gli algoritmi di intelligenza artificiale, grazie alla loro capacità di analizzare elevati volumi di dati, inclusi quelli sanitari e quelli derivanti dalle applicazioni delle “scienze omiche” (genomica, proteomica, ecc.) e della *system biology*, forniranno un contributo determinante al progresso tecnologico del sistema sanitario (vd. anche p. 37, ndr).

Particolare interesse sarà rivolto alla capacità dell’intelligenza artificiale di contribuire all’interpretazione dei “dati omici”, soprattutto quelli ottenuti dalle indagini genomiche, per favorire sempre più lo sviluppo di protocolli di medicina personalizzata, a beneficio, soprattutto, dei pazienti affetti da malattie rare. Altro settore che trarrà particolare vantaggio dalle tecnologie di intelligenza artificiale (soprattutto grazie agli algoritmi di *deep learning* e *machine learning*, vd. Asimmetrie n. 27, ndr) sarà quello relativo alla radiomica, che è un campo di studio basato sull’estrazione di biomarcatori di immagine non invasivi a partire dalle immagini digitali ottenute con le avanzate tecnologie di *imaging* diagnostico oggi disponibili, quali, ad esempio, la tomografia computerizzata “*dual source*”, la PET e la risonanza magnetica ad alto campo.

Grazie agli sviluppi e investimenti fatti dall’INFN per i propri esperimenti, sono state realizzate grandi infrastrutture di calcolo anche di tipo Cloud (vd.

Asimmetrie n. 13, ndr), che sono già certificate anche per la conservazione di dati sanitari anonimizzati, grazie a cui si stanno portando avanti programmi di ricerca in collaborazione con strutture sanitarie per studi retrospettivi, predittivi e prospettici basati sull’utilizzo di tecniche di intelligenza artificiale per l’analisi di grandi moli di immagini di pazienti affetti da differenti patologie oncologiche, cardiologiche, neurologiche e neurodegenerative. Il Centro Nazionale per il supercalcolo ICSC, guidato dall’INFN assieme al Tecnopolo di Bologna, ha e avrà, nei prossimi 10 anni, un ruolo fondamentale in questo ambito. Sarà possibile realizzare programmi di ricerca che, attraverso l’impiego di tecniche avanzate di calcolo, possono implementare programmi di ricerca preclinica e clinica in maniera virtuale (la cosiddetta “medicina *in silico*”), riducendo così anche i tempi di possibili utilizzi di nuovi farmaci e/o protocolli clinici.

Anche la ricerca traslazionale e pre-clinica in ambito biomedico e biotecnologico si potrà avvalere di queste infrastrutture avanzate di calcolo, che sono uniche a livello europeo. Nel campo dell’*imaging* funzionale con radiazioni non ionizzanti (RMN) si stanno realizzando innovativi programmi di ricerca per l’analisi delle immagini con tecniche di calcolo tensoriale unitamente allo sviluppo di nuovi tomografi ad alto campo. Questi studi vengono realizzati in collaborazione con importanti centri di cura e ricerca

clinica, quali il Meyer di Firenze, la Fondazione Santa Lucia e l'Ospedale Pediatrico Bambin Gesù di Roma. Un importante campo di applicazione della fisica degli acceleratori è costituito dall'utilizzo di particelle cariche pesanti in ambito oncologico (adroterapia). Ai Laboratori Nazionali del Sud (LNS) di Catania nell'ormai lontano 2002 è stato trattato in Italia il primo paziente affetto da melanoma uveale, con fasci di protoni, grazie al progetto CATANA (Centro di Adroterapia e Applicazioni Nucleari Avanzate). Da allora, in circa venti anni, oltre 500 pazienti sono stati trattati con successo presso il centro catanese. Inoltre, l'INFN ha svolto, e continua a svolgere, un ruolo centrale nello sviluppo degli acceleratori e delle sorgenti del Centro Nazionale di Adroterapia (CNAO) a Pavia, in cui vengono trattati pazienti affetti da patologie oncologiche con fasci di protoni e di ioni carbonio (vd. p. 14, ndr). Altre importanti attività di ricerca, portate avanti con continuità da oltre due decenni, riguardano la dosimetria, la radiobiologia e lo sviluppo di nuovi sistemi di pianificazione anche con l'impiego di tecniche avanzate di simulazione Montecarlo. Fra le tecniche di radioterapia avanzate, attualmente in fase di sviluppo, un ruolo importante va attribuito alle cosiddette "terapie radiantior binarie", quali la *boron neutron capture* (BNCT), la *proton boron*

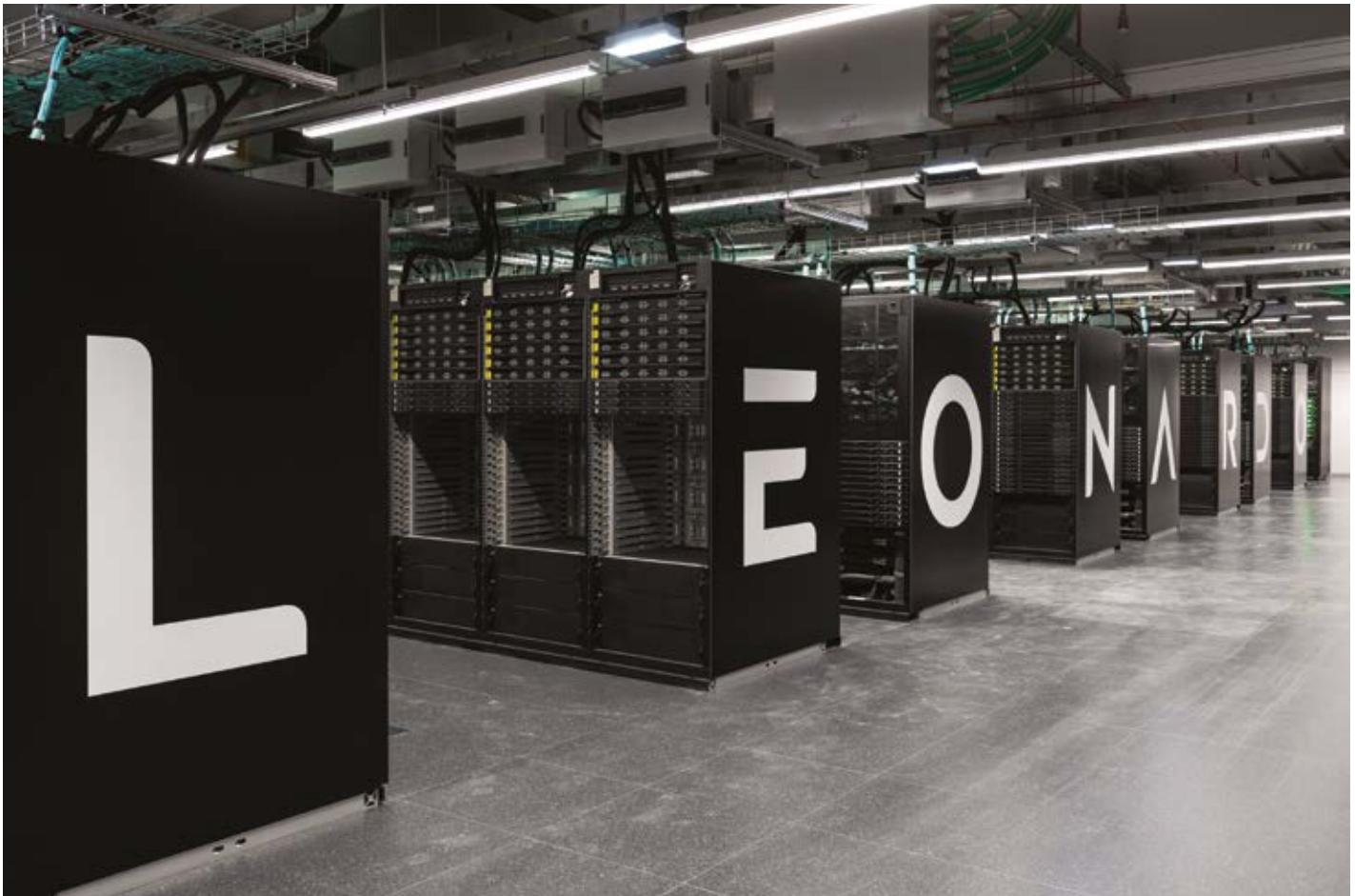
*capture* (PBCT) e la terapia *flash* (vd. p. 14, ndr). La BNCT, sotto la guida della sezione di Pavia dell'INFN e dei Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), con lo sviluppo di un acceleratore lineare compatto a radiofrequenza (RFQ) e di avanzati programmi di ricerca radiobiologici, dosimetrici e di pianificazione dei trattamenti, porterà in collaborazione con l'Università Vanvitelli alla realizzazione di un centro preclinico a Caserta. I programmi di ricerca sulla PBCT sono portati avanti con sperimentazione preclinica in collaborazione con il CNR e l'Università di Catania.

Infine, la terapia *flash*, ovvero l'utilizzo di elettroni e protoni a elevato/elevatissimo rateo di dose, vede l'INFN fortemente impegnato con la Sapienza Università di Roma e con l'Università degli Studi di Pisa e Catania e il CNR, per lo sviluppo di un innovativo acceleratore di elettroni di altissima energia per la comprensione radiobiologica dell'effetto *flash* con studi in vitro e preclinici, e nell'impiego di laser di alta potenza per l'accelerazione a elevatissimo rateo di dose di fasci di elettroni e protoni.

L'analisi fin qui presentata mostra in modo chiaro come sia sempre più necessario sviluppare approcci e metodologie semplici, accurate e standardizzate



C.  
CATANA (Centro di Adroterapia e Applicazioni Nucleari Avanzate), il primo centro di protonterapia italiano ai Laboratori Nazionali del Sud di Catania.



di valutazione di impatto delle tecnologie per la salute che abbraccino una prospettiva centrata sulla persona, piuttosto che sulla tecnologia stessa, e che considerino l'interazione tra tecnologia-persona-ambiente in modo olistico, secondo il cosiddetto approccio “one-health”. Si stanno oggi sviluppando programmi di ricerca fortemente interdisciplinari che cercano di trovare correlazioni fra le caratteristiche dell’ambiente in cui viviamo e la salute dei cittadini. La ricerca di eventuali correlazioni nell’ottica della medicina di precisione guidata da un approccio *one health* riguarda la gestione dei dati, che è alla base della reale convergenza dell’acquisizione delle informazioni e della rivoluzione omica. La creazione di una piattaforma computazionale in continua evoluzione di comune utilizzo per i soggetti interessati potrebbe permettere di integrare i dati eterogenei di differente origine, organizzati come un database con diversi livelli di accesso per preservare la *privacy* del paziente. Anche in questo ambito il centro nazionale ICSC con il super calcolatore LEONARDO occuperà un posto di primo piano. Passando ai beni culturali, in questo campo ha un ruolo fondamentale lo sviluppo di tecniche di

analisi non distruttive basate sull’impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti unite a dedicati sistemi di rivelazione. In questo ambito la ricerca INFN è stata guidata dai LNS e dalla sezione di Firenze, che in collaborazione con il CNR ha portato alla nascita di due grandi laboratori: il LABEC (Laboratorio di tecniche nucleari per l’Ambiente e i Beni Culturali) e il LANDIS (Laboratorio di Analisi Non Distruttive In Situ). Le tecniche sviluppate dal laboratorio LANDIS, in collaborazione con il CNR, sono principalmente basate sulla spettrometria X e sull’analisi con fasci di particelle cariche. Esse consentono l’analisi della composizione locale dei campioni, l’*imaging* elementale bidimensionale o tridimensionale e la caratterizzazione mineralogica. Inoltre, la possibilità di utilizzare particelle cariche accelerate dal tandem e dal ciclotrone superconduttore dei LNS in un intervallo di energia ampia (da pochi MeV a 80 MeV nel caso di protoni) ha permesso al gruppo del LANDIS di sviluppare tecniche nucleari di analisi specificamente dedicate all’indagine su manufatti di importanza artistica e culturale. Il LABEC è un centro di riferimento per lo sviluppo di nuove tecnologie basate sull’uso di acceleratori

d.  
Il supercomputer  
LEONARDO del Cineca.

e di radiazioni ionizzanti e le loro applicazioni in contesti ambientali e di studio e valorizzazione del patrimonio culturale (vd. pp. 20 e 30, ndr). L'acceleratore principale del LABEC è un acceleratore eletrostatico tandem da 3 MV e garantisce misure di spettrometria di massa e analisi elementali per ambiente e beni culturali. Il LABEC si dedica anche allo sviluppo di macchine acceleratrici innovative, come MACHINA (*Movable Accelerator for Cultural Heritage In situ Non-destructive Analysis*), il primo acceleratore di particelle "trasportabile" dedicato ai beni culturali, progettato in collaborazione con il Cern di Ginevra e l'Opificio delle Pietre Dure di Firenze. Grazie alla caratteristica fondamentale della trasportabilità, MACHINA rivoluzionerà lo studio e la diagnostica preventiva dei beni culturali e aiuta esperti e ricercatori ad analizzare in modo non invasivo opere d'arte e reperti storici, compresi quelli inamovibili di grandi dimensioni, come gli affreschi, e quelli non trasportabili a causa delle fragili condizioni di conservazione. Si realizzerà una macchina estremamente compatta e relativamente leggera: circa 2 m per 300 kg.

Altro ambito applicativo di grande importanza è quello dell'energia. Nell'ultimo decennio, la ricerca in questo campo all'interno dell'INFN è cresciuta anche grazie alle attività condotte nell'ambito del progetto strategico INFN-E (vd. p. 24, ndr). L'obiettivo di INFN-E è lo sviluppo di competenze e applicazioni tecnologiche nell'ambito dell'energia nucleare e delle problematiche correlate.

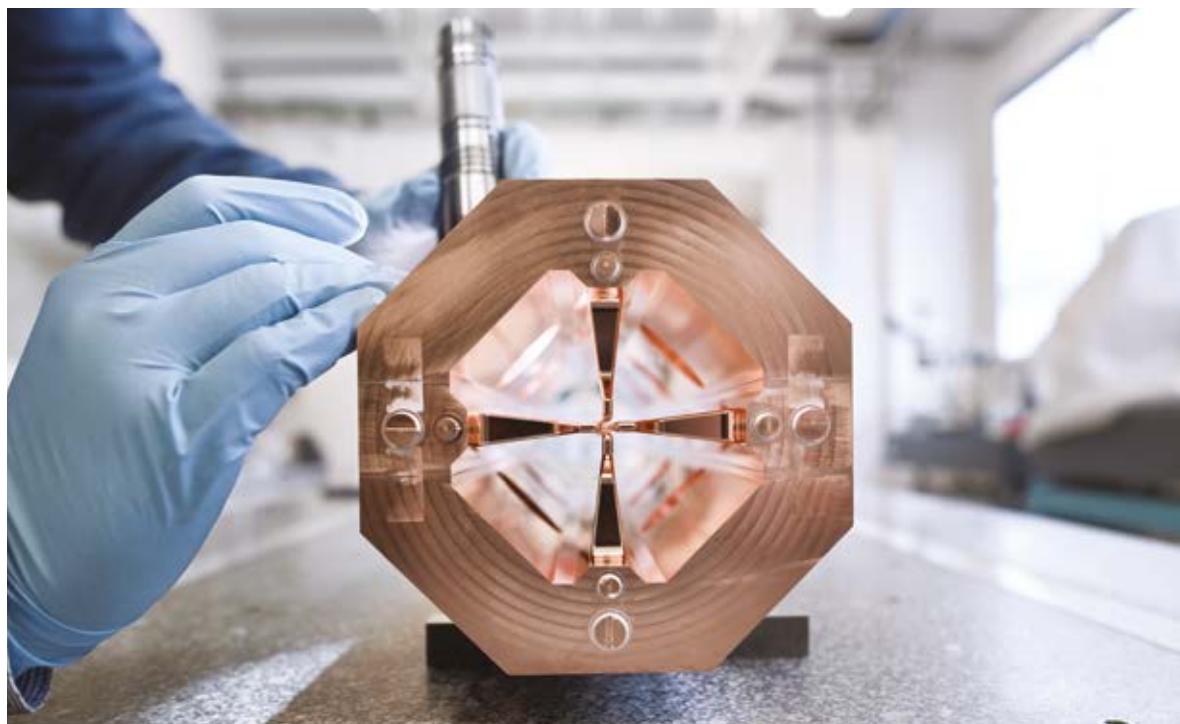
INFN-E agisce sia come incubatore per lo sviluppo di

prodotti altamente innovativi, da proporre a industrie ed enti di ricerca, sia come centro di iniziativa verso forme di finanziamento esterno per misure e controlli nucleari (sicurezza e sorveglianza di depositi di materiali radioattivi e impianti nucleari), per nuove tecnologie per la fusione nucleare e per impianti innovativi per la fissione.

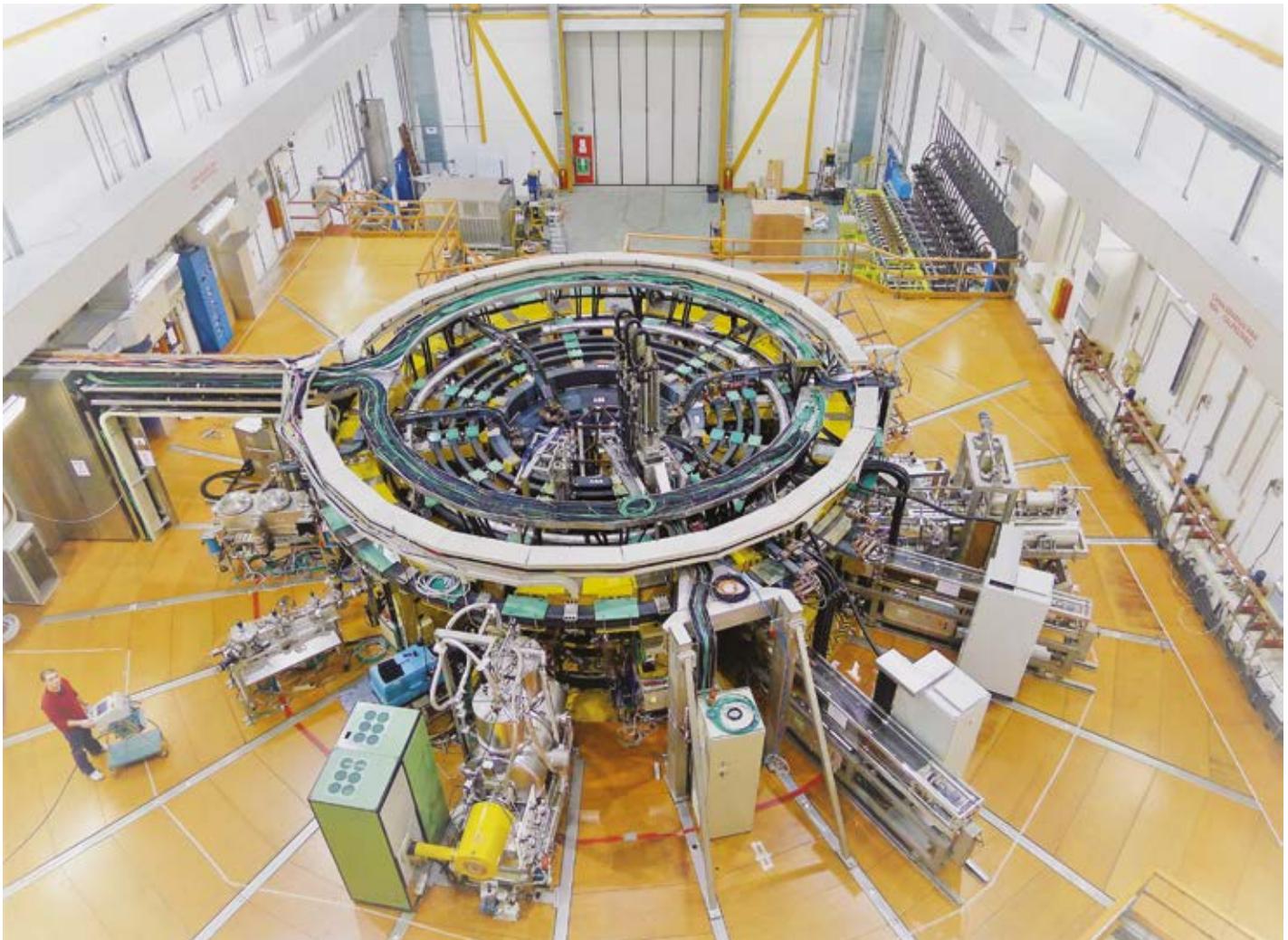
Campo molto fertile di ricerca è stato e sarà ancora quello relativo alle misure e ai controlli nucleari. In virtù, infatti, dell'esperienza unica dei ricercatori INFN nel campo dei rivelatori di radiazione, sono stati sviluppati sistemi innovativi che possono garantire un monitoraggio online dei rifiuti radioattivi provenienti dalle centrali nucleari dismesse del nostro paese e da radiofarmaci prodotti e/o manipolati nelle aziende ospedaliere italiane.

Gli enti italiani di ricerca – CNR, ENEA, INFN – e l'Università degli Studi di Padova, soci del Consorzio RFX, stanno efficacemente contribuendo al programma europeo per le ricerche sulla fusione nucleare, per avanzare nella conoscenza scientifica dei plasmi da fusione attraverso la sperimentazione sul più grande dispositivo esistente di tipo "reversed field pinch", la macchina RFX-mod2, e con la partecipazione allo sfruttamento scientifico dei dispositivi Tokamak e Stellarator europei e al funzionamento di nuovi impianti sperimentali.

Più recentemente grazie allo sviluppo di infrastrutture di ricerca basate su laser di elevata potenza, ai LNS e ai LNF (Laboratori Nazionali di Frascati) si sono avviati anche programmi di ricerca nel campo della fusione inerziale basata su



e.  
La struttura accelerante di tipo RFQ (*radio frequency quadrupole*) del progetto MACHINA.



produzione di plasmi di alta temperatura attraverso riscaldamento, indotta da sorgenti laser di alta potenza. Questa ricerca è frutto della pluriennale esperienza dell'INFN nel campo dell'accelerazione in plasmi prodotti da laser di alta potenza e delle sue applicazioni anche in campo medico.

Oggi possiamo sicuramente affermare che l'INFN svolge un ruolo fondamentale e spesso anche di *leadership* nei principali ambiti applicativi (biomedicina, ambiente, beni culturali, energia), che hanno permesso di realizzare importanti infrastrutture di ricerca, luogo di elezione per la realizzazione di programmi di ricerca interdisciplinari in collaborazione con altri enti di ricerca, università e centri di ricerca industriale e clinica nazionali e internazionali.

f.  
La macchina toroidale RFX-mod2 per il confinamento e riscaldamento del plasma.

#### Biografia

**Giacomo Cuttone** è dirigente di ricerca dei Laboratori Nazionali del Sud. Ha svolto la sua attività di ricerca nel campo della fisica nucleare, fisica degli acceleratori e, più recentemente, della fisica astroparticellare. È stato presidente della Commissione Scientifica Nazionale 5 (ricerche tecnologiche e applicative) dell'INFN dal 2008 al 2011 e direttore dei Laboratori Nazionali del Sud dal 2011 al 2019, ed è componente di comitati scientifici nazionali e internazionali sulla politica scientifica nel campo delle scienze della vita.