



ENZO DE SANCTIS, STEFANO MONTI, MARCO RIPANI

## ENERGY FROM NUCLEAR FISSION

AN INTRODUCTION

Undergraduate Lecture Notes in Physics.

Springer Int. Pub., Switzerland, 2016

hardcover: pp. XV + 278, € 51,99

ISBN: 978-3-319-30649-0

e-book: € 41,64

ISBN: 978-3-319-30651-3

Ogni tanto torna. E se ne parla. Intendo l'energia nucleare, in particolare quella tuttora in uso (da fissione), malgrado tutto e non in modo trascurabile, almeno su scala mondiale (450 reattori operativi e circa 60 in costruzione). Se ne può parlare in modi diversi ovviamente, spesso in chiave socio-politica toccando opinioni, statistiche, scelte discutibili o meno, scatenando battaglie e confronti non solo a livello socio-economico ma ideologico e culturale; meno frequentemente ma forse più appropriatamente, in chiave tecnico-scientifica per una rivisitazione aggiornata delle basi essenziali di una delle più grandi scoperte del secolo scorso e del suo utilizzo alla luce dei vantaggi e dei rischi che esso può comportare.

Il libro "Energy from nuclear fission" edito da Springer (2016) autori Enzo De Sanctis, Stefano Monti e Marco Ripani segue questa seconda linea ovviamente e si presenta proprio come una rivisitazione del contesto tecnico-scientifico a cominciare dalle basi di fisica nucleare necessarie per comprendere il fenomeno fisico nonché le modalità tecniche di funzionamento, i principi basilari di sicurezza e le questioni sanitarie e ambientali connesse con una tecnologia importante quanto complessa.

Qualche parola sugli autori del resto ben noti alla comunità dei fisici italiani: Enzo De Sanctis, fisico nucleare, direttore di ricerca emerito dei Laboratori di Frascati dell'INFN, già membro dell'Energy group dell'EPS e responsabile del Gruppo Energia della SIF (di cui è stato Consigliere e Vice Presidente) ha contribuito a varie iniziative della SIF quali il Libro bianco "Energia in Italia: Problemi e Prospettive" (2008), la collana del Giornale di Fisica "Energia nella Scuola", il cui primo fascicolo, "Energia e fissione nucleare", da lui curato assieme a S. Monti e G. Ricco, costituisce la base di partenza del volume in esame; Stefano Monti, ingegnere nucleare, è Segretario scientifico del Gruppo tecnico per i reattori veloci (AIEA), già direttore di ricerca e direttore della Divisione di Fisica Nucleare dell'ENEA; Marco Ripani è Primo ricercatore dell'INFN (Sezione di Genova) e Responsabile del progetto nazionale Energia

dell'INFN e ha fatto parte di gruppi di esperti dell'Euratom.

Il libro è organizzato in due parti di cui la prima più scientifica (Parte I, titolata "Nuclear Physics and Radioactivity") è da considerarsi sostanzialmente dedicata alla fisica nucleare e a lettori di livello universitario, come indicato del resto nella presentazione del libro stesso (che fa parte della serie editoriale di Springer: "Undergraduate Lecture Notes in Physics"). Si parte dalla classica descrizione delle proprietà basilari dei nuclei atomici (il nucleo come costituente dell'atomo, tavola periodica degli elementi, dimensioni, densità e raggio nucleare, forze e mappa nucleare, difetto di massa ed energia di legame nucleare, valle di stabilità, abbondanza degli elementi; poco invece sulla struttura e sulla caratterizzazione degli stati nucleari la cui esistenza è solo accennata nei decadimenti radioattivi). Viene qui fatto cenno alla fusione in relazione all'energia di legame e allo sbilanciamento di massa tra stato iniziale e finale per confronto con la fissione nucleare (v. fig. 1.9, pag. 25). Ci si sofferma poi abbastanza esaurientemente sui processi radioattivi, incluse le interazioni delle radiazioni nucleari con la materia e, con buona scelta, oltre agli effetti biologici, elementi di dosimetria, di datazione e applicazioni sanitarie e industriali. Di particolare interesse, anche se non ulteriormente approfondita in termini più attuali, la presentazione del problema della linearità o meno del rapporto dose/risposta (ovvero effetti sanitari) o la questione dell'esistenza o meno di una soglia. Gli Autori si limitano ad osservare che l'uso standard della risposta lineare senza soglia (LNT, *linear no threshold*) è messo in discussione da vari scienziati (non fosse altro che per il fatto empirico che l'umanità si è evoluta e vive in condizioni di *radiazioni di fondo*, determinando un certo adattamento); il problema dell'*effetto ormesi* (risposta non lineare a basse dosi con intervento cellulare riparatore o effetti addirittura benefici, sotto soglia) avrebbe forse meritato qualche riga in più. (Il termine *hormesis* non appare nel Glossario.) Nel novero

delle applicazioni mediche manca stranamente la Risonanza Magnetica Nucleare.

Più estesa e ben presentata la trattazione della dinamica nucleare (collisioni tra nuclei, reazioni nucleari, Q-valori, processi di fissione). Osserviamo qui che il fenomeno della fissione spontanea, trattata nel Capitolo dei processi radioattivi, meritava un maggiore e più esplicito approfondimento (vedi il caso del Californio<sup>252</sup> e di nuclei superpesanti come il Fermio<sup>258</sup>) in confronto con la fissione indotta da neutroni. Più estesa e ben sviluppata la trattazione del processo fisico di fissione e la fisica del reattore, già comprensiva degli elementi di base del funzionamento e del ciclo del combustibile non trascurando gli aspetti relativi alla produzione e all'utilizzo del Plutonio nonché le possibilità e prospettive di reattori al Torio, con una chiara distinzione e descrizione di materiali fertili e fissili. Il fenomeno della reazione a catena in reattori geologici naturali viene trattato più avanti nel Cap 6.5 dedicato ai reattori a fissione naturale di Oklo nella regione del Gabon, scoperti nel 1972, in relazione alla esemplificazione della possibilità di stoccaggio sotterraneo sicuro a lungo termine di scorie radioattive di lungo periodo di dimezzamento. Sarebbe stato forse utile e opportuno riportare tale voce anche nel Glossario.

Gli ulteriori aspetti e problemi relativi alla Ingegneria e Tecnologia industriale dei reattori nucleari come produttori di energia sono ampiamente descritti e trattati nella Parte II, (Cap. 4) a partire dalla loro classificazione e specificità seguendo il loro sviluppo storico e l'evoluzione generazionale dai primi reattori termici con varie modalità di moderazione e raffreddamento ai reattori veloci fino agli impianti di III e IV generazione, i primi in costruzione, i secondi in avanzata fase progettuale. Ne fa parte una dettagliata trattazione dell'intero ciclo del combustibile (dal ciclo aperto al ciclo chiuso) e delle riserve di combustibile nucleare, Torio incluso. Non manca, particolare importante, un puntuale confronto (Tabella 4.4 pag. 155) delle varie tecnologie generatrici di energia elettrica

(valore di riferimento 1000 MW di potenza). Utile per apprendere ad esempio che  $10^3$  kg di Uranio arricchito corrispondono a  $10^9$  kg di carbone,  $10^9$  m<sup>3</sup> di gas e 1300 turbine eoliche (90 m di diametro) e che le emissioni di gas serra da parte nucleare sono inferiori a quelle dovute al solare.

Gli ultimi due capitoli (Cap. 5 e Cap. 6) di questa seconda parte sono interamente e diffusamente dedicati a due argomenti fondamentali per lo sviluppo ulteriore di tale forma importante di produzione di energia primaria e dell'informazione corretta che ne consegue: le questioni di sicurezza e il trattamento delle scorie radioattive. Sul primo argomento si chiarisce in modo esauriente il problema della *safety* relativa alla definizione dei parametri di sicurezza cui deve sottostare una installazione (nucleare nel nostro caso) per assicurare un funzionamento corretto (disegno dell'impianto, controllo del reattore, rimozione del calore, sistema di raffreddamento, interventi di emergenza ecc.) nonché un minimo impatto esterno e massima protezione sanitaria e ambientale compreso ovviamente il problema della *decommissioning*.

Il quadro è completato da una esauriente presentazione della scala INES (International Nuclear Event Scale) della AIEA, relativa ai livelli di gravità dei possibili incidenti di impianti nucleari seguita da una elencazione e descrizione dettagliata dei dieci maggiori incidenti occorsi nella storia del nucleare civile. Emergono naturalmente i casi di Chernobyl e Fukushima trattati in maniera esauriente e tecnicamente corretta sia dal punto di vista degli avvenimenti e delle cause reali che da quello delle possibili reali conseguenze.

Il compendio di questa presentazione è dato dal confronto abbastanza interessante (Tab. 5.3. pag. 221) del numero di incidenti occorsi e delle corrispondenti mortalità causate nel settore energetico da fonti diverse (carbone, petrolio, idroelettrico, nucleare). La tabella si basa sui dati OECD tratti da un'analisi dell'Istituto Paul Scherrer del 2010 relativa al periodo 1969-2000 e quindi comprende, per il settore nucleare,

Chernobyl e non Fukushima (dove però, non vi sono stati morti immediate da radiazione). Forse l'aggiornamento di una tabella del genere avrebbe potuto essere un interessante compito degli autori.

La questione della *security* (sicurezza e salvaguardia) intesa come prevenzione dell'uso distorto della tecnologia nucleare e dei materiali radioattivi in relazione anche ai rischi connessi con l'espandersi di tale tecnologia è trattata insieme con il problema della non proliferazione delle armi nucleari. Il che comporta una disanima delle varie responsabilità nazionali e dei trattati internazionali che vengono descritti nella loro evoluzione storica insieme con i problemi ispettivi e di controllo assicurati dalla AIEA. Ne fa parte una descrizione degli aspetti tecnici (e delle difficoltà) relativi alla costruzione di una bomba atomica (a U-235 o Pu-239). Interessanti anche i problemi che accompagnano questo articolo. Il secondo argomento relativo al problema del trattamento del combustibile spento e dei residui radioattivi riconduce alla *vexata quaestio* dello smaltimento delle scorie e del relativo deposito. I 4 tipi di scorie sono elencati e descritti insieme con le modalità di trattamento e smaltimento, così come la composizione e il trattamento del combustibile spento, riportando in tabelle standard l'andamento temporale dell'attività specifica degli isotopi di alto livello più rilevanti presenti nelle scorie e i tempi di dimezzamento di alcuni di essi, nonché il volume indicativo di scorie prodotto annualmente da un impianto nucleare da 1000 MW e il confronto dei rates (kt/TWh) di produzione di scorie con impianti a carbone. Chiude il tutto la immane e doverosa trattazione e discussione sui depositi con esauriente presentazione dei metodi di condizionamento e di stoccaggio nonché dei sistemi a barriera multipla per depositi geologici (è qui che viene descritto l'esempio naturale dei reattori di Oklo). Infine si introducono i nuovi concetti (previsti nei progetti di reattori di IV generazione) di partizione e trasmutazione dei prodotti di fissione di più alta attività ed elevato tempo

di dimezzamento, tramite reattori a neutroni veloci e/o sistemi sottocritici guidati da acceleratori (ADS, *Accelerator Driven Systems*).

In conclusione il libro è senz'altro una pregevole e aggiornata rassegna di utile informazione e consultazione a vari livelli e di scorrevole lettura intervallata da grafici, tabelle e figure utili e opportune oltre a richiami e note puntuali. Novità editoriali interessanti che ne fanno quasi un testo scolastico, sono i problemi a fine di ogni capitolo risolti o lasciati all'esercizio del lettore (con le soluzioni). La novità degli inserimenti nel testo dei dati biografici degli scienziati il cui nome viene citato per scoperte o contributi relativi ai vari contenuti, può piacere o meno, considerando tali inserimenti precisazioni opportune o interruzioni un po' fastidiose del discorso. Completa l'informazione il corredo di una bibliografia abbastanza aggiornata e di un Glossario alla fine del testo oltre alle necessarie spiegazioni delle sigle in uso. Il tutto seguendo una filosofia piuttosto conservativa: gli autori non si sbilanciano in proiezioni e prospettive limitandosi sostanzialmente ai dati di fatto. Il che, comunque, in un contesto socio-culturale in cui l'informazione è alquanto discutibile e spesso catastrofista, non è poco.

Un'ultima considerazione, più o meno pertinente, visto che la Germania, patria di Otto Hahn e Fritz Strassmann, è un paese che dopo aver puntato in misura rilevante sull'energia nucleare per la produzione di energia elettrica circa il 25% fino al 2012) è in fase di riduzione drastica e l'Italia, patria di Enrico Fermi e tra le prime nazioni europee a iniziare la produzione di energia elettronucleare (anni 1950), ne ha decretato l'abolizione totale con due referendum. Ebbene, il libro, che stiamo apprezzando, ha per editore una prestigiosa casa tedesca e per autori tre italiani. Particolare abbastanza curioso, certamente interessante.

Renato Angelo Ricci  
Università di Padova,  
INFN-Laboratori Nazionali di Legnaro