

Conoscere il nucleare

Che cos'è

L'atomo è la parte più piccola di ogni elemento presente in natura che ne conserva le proprietà chimiche e che fu per lungo tempo ritenuto indivisibile (dal greco *ατομος*, atomos, che non si può dividere). In realtà, esso è costituito da un **nucleo** (costituito da protoni e neutroni) circondato da **elettroni** in grado di promuovere reazioni chimiche che possono produrre energia (si pensi alle reazioni di combustione). L'impiego dell'energia nucleare nasce dalla possibilità di utilizzare le grandi energie presenti nel nucleo dell'atomo, ben maggiori rispetto alle energie ottenute da reazioni chimiche dove il nucleo dell'atomo non è coinvolto. L'energia nucleare può essere prodotta sia attraverso la **fissione nucleare** (separazione dei nuclei di materiali radioattivi pesanti) sia **attraverso la fusione** (unione di nuclei di elementi leggeri). Delle due reazioni, la fissione è l'unica realizzabile e controllabile dall'uomo, con i necessari accorgimenti tecnici legati alla prevenzione degli incidenti ed alla gestione delle scorie radioattive.

Invece, per quanto riguarda la fusione, essa non è ancora realizzabile per periodi di tempo sufficienti ad una produzione continua di energia. Infatti, non esiste ancora alcun dispositivo in grado di contenere e mantenere "confinato" per un tempo sufficiente l'idrogeno alle altissime temperature che rendono possibile l'aggregazione dei nuclei.

A cosa serve

Il calore che si genera durante la fissione nucleare deriva principalmente dal rallentamento dei nuovi nuclei prodotti: è possibile quindi riscaldare un fluido (chiamato fluido termovettore) in grado di mettere in movimento una macchina operatrice (ad esempio, una turbina). L'energia meccanica viene poi convertita in elettricità da un alternatore collegato a una turbina.

I combustibili nucleari sono utilizzati, per esempio, per produrre energia nelle grandi navi e sottomarini. L'energia fornita dai motori nucleari serve sia per muovere le eliche che per tutti gli altri servizi di bordo.

In passato erano state proposte applicazioni dell'energia nucleare nel campo del teleriscaldamento e della propulsione aerea, soluzioni scartate per motivi economici o di sicurezza. Oggi sembrano invece profilarsi altri utilizzi dell'energia nucleare, quali nuovi reattori per applicazioni spaziali e per la produzione di idrogeno.

Nella produzione di energia si cerca di ottenere dei rendimenti sempre più alti per un miglior utilizzo delle risorse ed una migliore economicità del prodotto. Nel caso delle centrali nucleari è possibile ottenere calore ad una temperatura molto elevata, ma considerazioni legate al buon funzionamento della macchina ed ai limiti dei materiali coinvolti fanno sì che, nelle usuali centrali nucleari ad oggi in funzione, il rendimento sia inferiore alle più moderne centrali a combustibili fossili.

Dove si trova

Come per le altre risorse energetiche non rinnovabili, quali carbone, petrolio e gas naturale, è necessario chiedersi quanto combustibile nucleare sia disponibile sulla Terra e a quale prezzo. In natura è presente un'enorme quantità di uranio naturale. Gli oceani, ad esempio, ne contengono circa un miliardo di chilometri cubi.

Le riserve di uranio certe estraibili, al 1° gennaio 2013, al costo di circa 80 dollari al chilo sono 1,9 milioni di tonnellate. Al costo di 260 dollari ne sono disponibili altri 7,6 milioni di tonnellate, al costo di 130\$/kg 5,9 milioni di tonnellate e meno di un milione di tonnellate di uranio può essere estratto a 40\$/kg (Fonte: *Uranium 2014: Resources, Production and Demand*). Queste riserve sono sufficienti a coprire il fabbisogno di combustibile dei 440 reattori attualmente in funzione per i prossimi 100 anni. L'uranio è presente nel terreno con concentrazioni medie di 4-5 milligrammi per kg mentre nel mare ci sono 3-4 milligrammi di uranio per tonnellata d'acqua: estrarre questo uranio, però, non è economicamente vantaggioso, perchè le concentrazioni sono molto basse e i costi supererebbero i 1000\$/kg. Le maggiori riserve di uranio note economicamente estraibili sono localizzate in quattro paesi, che da soli detengono il **57,4%** delle risorse: Australia (28,9%), Kazakhstan (11,5%), Russia (8,6%) e Canada (8,4%). (Fonte: *World Nuclear Association*)

Anche il **Torio** è un elemento fissile: le sue riserve potrebbero integrare quelle dell'uranio con reattori progettati all'uopo.

Tutto questo senza considerare l'impiego dei reattori "autofertilizzanti" in grado di produrre a loro volta combustibile fissile: in tal caso il combustibile nucleare diventerebbe pressoché inesauribile in prospettiva storica.

Bisogna inoltre ricordare che l'incidenza del combustibile sul costo dell'energia elettrica prodotta per via nucleare è di circa il 15%, dove petrolio e gas incidono circa per l'80% anche se i costi relativi ai reattori nucleari vanno valutati tenendo conto dell'intero ciclo dell'energia nucleare, che è molto più complesso di quello delle altre risorse energetiche. Tali costi comprendono, infatti: il ciclo intero del combustibile, la costruzione, la gestione e la sicurezza dell'impianto, compresi i casi d'emergenza, lo smaltimento delle scorie e l'eventuale smantellamento dell'impianto.

Inoltre, è necessario valutare l'economicità e l'efficacia degli impianti di riprocessamento che trattano il combustibile nucleare già utilizzato nei reattori e consentono di recuperare l'uranio non ancora "bruciato".

La fissione nucleare

Per fissione s'intende la **rottura del nucleo** in due o più frammenti più piccoli mediante l'azione di neutroni opportunamente rallentati su nuclei molto pesanti detti fissionabili, quali l'**uranio 235**, **torio 232**, **plutonio 239** ecc. I principali effetti di questo fenomeno sono la liberazione di una grande quantità di energia e l'emissione contemporanea di 2-3 neutroni che possono fungere da **veicolo di reazione**, provocando nuove fissioni e innescando così una **reazione a catena**.

L'energia che si libera nel corso di processi di fissione dei nuclei, se tenuta rigorosamente sotto controllo, può essere sfruttata per produrre elettricità. Alcuni di questi elementi pesanti, come l'uranio 235 (92 protoni e 143 neutroni), si trovano in giacimenti e quindi per ottenerli è necessario estrarli dal sottosuolo. Altri, come il plutonio 239 o l'uranio 233, vengono prodotti artificialmente dall'uomo.

L'uranio in natura è presente prevalentemente sotto forma di uranio 238 (non fissile) e solo in piccola parte di uranio 235 (0,71 %).

La fusione nucleare

La fusione nucleare è il processo con cui da tempo immemorabile si sprigiona energia nel Sole e nelle stelle per le reazioni di fusione tra **nuclei di idrogeno**.

Nel caso della reazione di fusione, si parte da nuclei molto leggeri, fino a provocare la loro aggregazione. Fondendosi, i nuclei diventano più pesanti e cedono energia durante il processo di fusione: ad esempio, un miscuglio di nuclei di idrogeno (1 protone), deuterio e trizio (1 protone e rispettivamente 1 e 2 neutroni) può portare all'innescò di una reazione che, attraverso vari passaggi, porta a costruire nuclei di carbonio. Affinché la reazione avvenga, le due particelle reagenti devono essere dotate di energia cinetica sufficiente a superare la barriera repulsiva dovuta alla carica elettrica dei nuclei e ciò significa che si devono raggiungere temperature altissime, alle quali la materia si trova allo **stato di plasma**. La più studiata fra le reazioni possibili, perché meno difficile, è la "deuterio più trizio" con temperatura di innescò dell'ordine di 100 milioni di gradi centigradi. Il deuterio è un isotopo dell'idrogeno, il cui nucleo è costituito da un protone più un neutrone; esso è presente nell'acqua nella proporzione di 1 su 7.000 atomi di idrogeno normale, quindi praticamente inesauribile. Il trizio è un altro isotopo dell'idrogeno, costituito da un protone più due neutroni; è **radioattivo** con tempo di dimezzamento di 12 anni e viene prodotto bombardando litio con neutroni. Il litio è dunque indirettamente la materia prima energetica.

La radioattività

La radioattività è un fenomeno fisico per cui nuclei instabili si trasformano in nuclei di altri elementi o in **isotopi** (nuclei di atomi identici dal punto di vista chimico ma con una massa diversa, dovuta a un diverso numero di neutroni) dei nuclei di partenza, emettendo particelle. I diversi nuclei radioattivi possono decadere verso stati più stabili con tempi che variano da pochi milionesimi di secondo a diversi miliardi di anni. La radioattività, presente naturalmente nell'ambiente terrestre, ha effetti biologici sull'uomo a causa delle sue proprietà ionizzanti. Questi effetti sono sfruttati nella diagnostica medica (radiografie, scintigrafie, Tac, Pet ecc.) e nelle terapie antitumorali (radioterapia, terapia neutronica con cattura di boro,

adroterapia) ma possono essere nocivi se non attentamente somministrati. Infatti, oltre un certo limite, le radiazioni possono diventare molto pericolose per la salute umana anche in relazione alla durata dell'esposizione. La radioattività è pericolosa soprattutto se caratterizza elementi con un "**tempo di dimezzamento**" (trasformazione in altri nuclei) che può durare millenni e in grado di fissarsi stabilmente nel corpo umano o di altre specie viventi.

La radioattività è utilizzata anche per sterilizzare e per indagare le proprietà ed i difetti dei materiali da costruzione. La produzione di scorie nucleari, generando elementi radiotossici, è estremamente importante e delicata nel ciclo di produzione dell'energia nucleare e grande attenzione deve venire posta affinché nessuna situazione possa mettere in contatto elementi radioattivi con persone umane.

Un po' di storia

E' difficile trovare una scoperta scientifica che abbia avuto un impatto più grande sulla popolazione e sulla politica mondiale di quello dell'energia nucleare. L'umanità ha preso coscienza di questa nuova forma di energia il 6 agosto 1945 quando si diffuse nel mondo la drammatica notizia dell'esplosione di una bomba nucleare sulla città giapponese di Hiroshima (80.000 morti immediati).

Nel corso del XX secolo, poi, sono state compiute le ricerche fondamentali che hanno portato alla fissione dell'atomo. Innanzi tutto, quelle dei coniugi Curie che, nel 1934, hanno rilevato il primo caso di radioattività artificiale.

In realtà le scoperte scientifiche che portarono alla possibilità di utilizzare l'energia nel nucleo atomico risalgono al 1895 con la scoperta della radioattività naturale in alcuni elementi da parte di Henry Becquerel. Nel 1932 fu l'anno in cui J. Chadwick ottenne la conferma sperimentale dell'esistenza del neutrone, di fondamentale importanza per indurre il processo di fissione con successiva liberazione di energia che venne intuito solo nel 1938 da Lise Meitner, leggendo assieme al nipote Otto Frish una comunicazione inviata da Otto Hahn. Queste scoperte permisero a Fermi di avviare, alle 15.50 del 2 dicembre 1942 il primo "reattore nucleare", con una potenza di circa mezzo watt e dimostrare che la reazione di fissione era attuabile e controllabile. Nel novembre del 1943, a meno di un anno dalla prima macchina di Fermi, entrò in funzione a Clinton, nello stato del Tennessee, il primo reattore al mondo, con una potenza di 3.5 megawatt termici; nel settembre del 1944 fu la volta del reattore di Hanford, nello stato di Washington, di potenza pari a 250 megawatt termici. Tra il 1940 e il 1945 venne compiuto negli Stati Uniti un balzo senza precedenti. Anche se l'obiettivo fu la costruzione della bomba atomica, questo immenso sforzo scientifico, tecnologico e industriale ebbe grandi ricadute sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. Dopo il conflitto mondiale, nel 1954, in Unione Sovietica, entrò in funzione la prima centrale elettronucleare, anche se di modesta potenza (5 megawatt elettrici). La prima centrale nucleare finalizzata alla produzione di energia elettrica da immettere sul mercato risale, invece, al 1956 ed è stata realizzata presso Calder Hill, in Inghilterra.

Per quasi tutta la seconda metà del secolo scorso, la produzione di energia elettrica da combustibile nucleare è cresciuta, fino a coprire oltre l'11% della produzione di energia elettrica mondiale. I dati aggiornati a ottobre 2014 indicano che nel mondo vi sono 436 centrali nucleari attive e 70 in costruzione. In termini di contributo in percentuale dell'energia nucleare alla produzione di energia elettrica domestica vi è in testa la Francia (76,1%), Ucraina (45,4%), Corea (28,3%) e Regno Unito (19,5%).

La nascita dell'energia nucleare come fonte concreta di energia si può far risalire verso la metà degli anni sessanta, quando se ne dimostrò la competitività economica. Lo sviluppo fu inizialmente assai accelerato ma successivamente ebbe un rallentamento legato a forti contestazioni sugli aspetti di sicurezza che determinarono crescenti difficoltà di ordine finanziario a causa dei ritardi nel concedere le autorizzazioni per il funzionamento degli impianti da parte degli organi nazionali per la sicurezza. In alcuni casi, gli stessi organi, imposero delle sostanziali modifiche agli impianti in servizio o addirittura delle chiusure definitive. L'incidente di Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e l'incidente nella centrale di Fukushima in Giappone (marzo 2011) hanno rinfocolato le polemiche nei confronti dell'opzione nucleare. Quest'ultimo incidente è stato di gran lunga più grave e per questo ha avuto un notevole impatto sull'opinione pubblica. In Italia, a seguito di un nuovo referendum popolare (dopo quello del 1987, a seguito dell'incidente di Chernobyl, le

centrali nucleari presenti sul territorio italiano erano state chiuse), nel giugno del 2011, l'impiego dell'energia nucleare per la produzione di energia elettrica è stato nuovamente abbandonato.