**Energia nucleare**

Con **energia nucleare** si intendono tutti quei fenomeni in cui si ha la produzione di [energia](http://it.wikipedia.org/wiki/Energia) in seguito a trasformazioni nei [nuclei atomici](http://it.wikipedia.org/wiki/Nucleo_atomico).[[1]](http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_nucleare#cite_note-0) L'energia nucleare, insieme alle fonti rinnovabili e le fonti fossili, è una [fonte di energia primaria](http://it.wikipedia.org/wiki/Fonte_di_energia_primaria), ovvero è presente in natura e non deriva dalla trasformazione di altra forma di [energia](http://it.wikipedia.org/wiki/Energia).

**Descrizione**

Le reazioni che coinvolgono l'energia nucleare sono principalmente quelle di [fissione nucleare](http://it.wikipedia.org/wiki/Fissione_nucleare), di [fusione nucleare](http://it.wikipedia.org/wiki/Fusione_nucleare) e quelle legate alla [radioattività](http://it.wikipedia.org/wiki/Radioattivit%C3%A0) (decadimento radioattivo).

Nelle reazioni di **fissione** (sia spontanea, sia indotta), nuclei di [atomi](http://it.wikipedia.org/wiki/Atomo) con alto [numero atomico](http://it.wikipedia.org/wiki/Numero_atomico) (pesanti) come, ad esempio, l'[uranio](http://it.wikipedia.org/wiki/Uranio), il [plutonio](http://it.wikipedia.org/wiki/Plutonio) e il [torio](http://it.wikipedia.org/wiki/Torio) si spezzano producendo nuclei con numero atomico minore, diminuendo la propria massa totale e liberando una grande quantità di energia. Il processo di fissione indotta viene usato per produrre energia nelle [centrali nucleari](http://it.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucleare). Le prime [bombe atomiche](http://it.wikipedia.org/wiki/Bomba_atomica), del tipo di quelle sganciate su [Hiroshima e Nagasaki](http://it.wikipedia.org/wiki/Bombardamento_atomico_di_Hiroshima_e_Nagasaki), erano basate sul principio della fissione. Si deve notare che in questo contesto il termine [atomico](http://it.wikipedia.org/wiki/Atomo) è assolutamente inesatto o almeno inappropriato in quanto i processi coinvolti sono viceversa di tipo [nucleare](http://it.wikipedia.org/wiki/Nucleare), coinvolgendo i nuclei degli atomi e non gli atomi stessi.

Nelle reazioni di **fusione**, i [nuclei](http://it.wikipedia.org/wiki/Nucleo_atomico) di atomi con basso [numero atomico](http://it.wikipedia.org/wiki/Numero_atomico), come l'[idrogeno](http://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno), il [deuterio](http://it.wikipedia.org/wiki/Deuterio) o il [trizio](http://it.wikipedia.org/wiki/Trizio), si *fondono* dando origine a nuclei più pesanti e rilasciando una notevole quantità di energia (molto superiore a quella rilasciata nella fissione, a parità di numero di reazioni nucleari coinvolte).

In natura le reazioni di fusione sono quelle che producono l'energia proveniente dalle [stelle](http://it.wikipedia.org/wiki/Stella). Finora, malgrado decenni di sforzi da parte dei ricercatori di tutto il mondo, non è ancora stato possibile realizzare, in modo stabile, reazioni di fusione controllata sul nostro pianeta, anche se è in sviluppo il progetto [ITER](http://it.wikipedia.org/wiki/ITER), un progetto che con il successore [DEMO](http://it.wikipedia.org/wiki/DEMO) darà vita alla prima centrale nucleare a fusione del mondo. È invece attualmente possibile ottenere grandi quantità di energia attraverso reazioni di fusione incontrollate, come ad esempio nella [bomba all'idrogeno](http://it.wikipedia.org/wiki/Bomba_all%27idrogeno).

Le reazioni di [**decadimento radioattivo**](http://it.wikipedia.org/wiki/Decadimento_radioattivo) coinvolgono i nuclei di atomi instabili, che tramite processi di emissione/cattura di particelle subatomiche (radioattività) tendono a raggiungere uno stato di maggior equilibrio, in conseguenza della diminuzione della massa totale del sistema. Quelle in cui si ha la maggiore quantità di energia liberata sono i processi di [diseccitazione gamma](http://it.wikipedia.org/wiki/Decadimento_gamma): le particelle interessate sono fotoni generalmente ad alta energia, ovvero radiazioni elettromagnetiche alle frequenze più alte (anche se più precisamente si ha sovrapposizione fra le frequenze delle emissioni X di origine atomica e gamma di origine nucleare).

**La fonte dell'energia nucleare**





Schema di una reazione di fissione nucleare





Schema di fusione nucleare D-T

L'energia nucleare è data dalla fissione o dalla fusione del nucleo di un atomo. La prima persona che intuì la possibilità di ricavare energia dal nucleo dell'atomo fu lo scienziato [Albert Einstein](http://it.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) nel 1905. Per ricavare energia dal nucleo dell'atomo esistono due procedimenti opposti:

* la fissione (rottura) di un nucleo pesante
* la fusione (unione) di nuclei leggeri

**La fissione**

La fissione consiste nel rompere il nucleo dell'atomo per farne scaturire notevoli quantità di energia: quando un [neutrone](http://it.wikipedia.org/wiki/Neutrone) colpisce un nucleo *fissile* (ad esempio di uranio-235), questo si spacca in due frammenti e lascia liberi altri due o tre neutroni (mediamente 2.5). La somma delle masse dei due frammenti e dei neutroni emessi è leggermente minore di quella del nucleo originario e di quelle del neutrone che lo ha fissionato: la massa mancante si è trasformata in energia. La percentuale di massa trasformata in energia si aggira attorno allo 0.1%, cioè per ogni kg di materiale fissile, 1 g viene trasformato in energia. Se accanto al nucleo fissionato se ne trovano altri in quantità sufficiente e in configurazione geometrica adatta ([massa critica](http://it.wikipedia.org/wiki/Massa_critica_%28fisica%29)), si svilupperà una [reazione a catena](http://it.wikipedia.org/wiki/Reazione_a_catena) in grado di auto sostenersi per effetto delle successive fissioni dei nuclei causate dai neutroni secondari emessi dalla prima fissione.
La fissione nucleare dell'uranio e del plutonio è ampiamente sperimentata ed ingegnerizzata da circa 50 anni. Nell'agosto 2007, 439 reattori nucleari di potenza commerciali, producono il 16% dell'intera energia elettrica mondiale.[[2]](http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_nucleare#cite_note-1) Nei 30 Paesi dell'[OCSE](http://it.wikipedia.org/wiki/OCSE) l'energia elettronucleare costituisce il 30% del totale dell'energia elettrica prodotta. A parte il rischio di incidenti, il maggiore problema ancora insoluto è costituito dalle scorie radioattive, che rimangono pericolose per migliaia se non milioni di anni.

**La fusione**

L'altro metodo per ottenere energia dall'atomo è la fusione nucleare. Essa è esattamente opposta alla fissione: invece di spezzare nuclei pesanti in piccoli frammenti, si uniscono nuclei leggeri (a partire dall'[idrogeno](http://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno), composto da un solo [protone](http://it.wikipedia.org/wiki/Protone)) in nuclei più pesanti: la [massa](http://it.wikipedia.org/wiki/Massa_%28fisica%29) di questi ultimi è minore della somma di quelli originari, e la differenza viene emessa come energia sotto forma di [raggi gamma](http://it.wikipedia.org/wiki/Raggi_gamma) ad alta frequenza e di energia cinetica dei neutroni emessi. La percentuale di massa trasformata in energia si aggira attorno all'1%, un quantitativo enorme.
Perché la fusione avvenga, i nuclei degli atomi devono essere fatti avvicinare nonostante la forza di repulsione elettrica che tende a respingerli gli uni dagli altri, e sono quindi necessarie temperature elevatissime, milioni di gradi centigradi. La fusione nucleare avviene normalmente nel nucleo delle [stelle](http://it.wikipedia.org/wiki/Stella), compreso il [Sole](http://it.wikipedia.org/wiki/Sole), dove tali condizioni sono normali. A causa di queste difficoltà, al giorno d'oggi l'uomo non è finora riuscito a far avvenire la fusione in modo controllato e affidabile se non per qualche decina di secondi (quello incontrollato esiste: la [bomba termonucleare](http://it.wikipedia.org/wiki/Bomba_termonucleare)). Gli esperimenti odierni si concentrano sulla fusione di alcuni [isotopi](http://it.wikipedia.org/wiki/Isotopo) dell'[idrogeno](http://it.wikipedia.org/wiki/Idrogeno), il [deuterio](http://it.wikipedia.org/wiki/Deuterio) e il [trizio](http://it.wikipedia.org/wiki/Trizio), che fondono con maggiore facilità rispetto all'idrogeno comune [prozio](http://it.wikipedia.org/wiki/Prozio).
La fusione nucleare per ora è in fase di ricerca e - a differenza della fissione nucleare - è stata realizzata in impianti realizzati dall'uomo solo per pochi secondi. Dopo oltre 50 anni di sperimentazione, gli addetti ai lavori prevedono che la realizzazione di un reattore a fusione operativo richiederà ancora alcuni decenni.

**La centrale nucleare a fissione**

Il suo funzionamento è molto simile a quello di una convenzionale centrale termoelettrica con la differenza che l'acqua viene riscaldata da un reattore nucleare dove l'uranio viene fissionato. Tre sono le parti principali di una centrale nucleare attuale:

* Edificio di contenimento del reattore: enorme cilindro di cemento armato nella cui parte centrale è collocato il circuito refrigerante e il reattore vero e proprio
* Sala macchine: un edificio dove sono alloggiate le turbine e l'alternatore con i loro circuit ausiliari
* Edifici ausiliari: contengono le piscine schermate per la conservazione temporanea del combustibile esausto e radioattivo della centrale più gli altri circuiti ausiliari necessari al normale funzionamento e all'emergenza.Il funzionamento di una centrale nucleare a fissione del tipo ad acqua leggera bollente(uno dei più diffusi) è abbastanza semplice:

viene pompata dell'acqua attraverso il nocciolo del reattore che la fa evaporare attraverso il calore provocato dalla fissione dell'uranio. Il vapore viene quindi inviato nelle turbine che trasferiscono quindi la propria energia meccanica all'alternatore il quale genera la corrente elettrica.

**Il reattore**

Con reattore si intende uno spazio confinato all'interno del quale far avvenire le reazioni di fissione in maniera controllata. A partire dagli anni '40 del '900 sono stati ideati moltissimi tipi di reattore, con caratteristiche e scopi diversi. Lo scopo iniziale è stato la produzione di materiale adatto alla realizzazione degli arsenali atomici; solo in un secondo tempo a questa motivazione si è affiancata la produzione di energia elettrica. Non a caso i paesi che vantano il maggior numero di centrali sono anche dotate di armi nucleari. Tutti i reattori sono dotati di un sistema di *barre di controllo* che permette di regolare la reazione e quindi la potenza generata, nonché di aperture per consentire l'inserimento del materiale fissile e l'estrazione del "combustibile" esausto. Il tutto è racchiuso in un contenitore di acciaio ferritico pieno di acqua o di un altro *moderatore* (spesso grafite) che permette alla reazione di svilupparsi in modo regolare. L'acqua è molto spesso anche usata come fluido termovettore, cioè per raffreddare il nocciolo del reattore (che altrimenti fonderebbe) e nel contempo -scaldandosi- per generare vapore da inviare alle turbine. In taluni reattori anziché normale acqua vengono usate altre sostanze, quali gas o leghe metalliche a basso punto di fusione (per esempio contenenti sodio o piombo). In ogni caso tali fluidi di raffreddamento -essendo radioattivi- circolano in un circuito chiuso.
Il "combustibile" di gran lunga più diffuso è l'uranio arricchito (cioè con una percentuale di uranio-235 maggiore del normale), ma non è l'unico materiale fissile utilizzabile: la ragione per cui si sono sviluppati reattori ad U235 è che essi producono [plutonio](http://it.wikipedia.org/wiki/Plutonio), utile in tempi di corsa agli armamenti. Di contro le scorie hanno una "vita" molto più lunga che non -ad esempio- se si utilizzasse [torio](http://it.wikipedia.org/wiki/Torio), come proposto dal Nobel [Carlo Rubbia](http://it.wikipedia.org/wiki/Carlo_Rubbia).

**Scorie radioattive**

Radiotossicità (in [sievert](http://it.wikipedia.org/wiki/Sievert) per giga[watt](http://it.wikipedia.org/wiki/Watt) termico all'anno) del combustibile esausto scaricato dai reattori per diversi cicli del combustibile, in funzione del tempo. È altresì indicato l'andamento dei prodotti di fissione (approssimativamente simile per tutti i cicli) e la radiotossicità dell'[uranio](http://it.wikipedia.org/wiki/Uranio) naturale e del [torio](http://it.wikipedia.org/wiki/Torio) 232 di partenza.

Il procedimento di fissione nucleare (come peraltro quello di fusione, seppur in maniera molto inferiore) produce materiali residui ad elevata radioattività. Si tratta di pastiglie di combustibile esaurito (uranio, plutonio ed altri radioelementi) che vengono estratte dal reattore per essere sostituite, nonché dei prodotti di fissione. Questo materiale, emettendo delle radiazioni penetranti, è molto radiotossico e richiede dunque precauzioni nel trattamento di smaltimento. La radioattività degli elementi estratti da un reattore si riduce nel tempo secondo il fenomeno naturale del dimezzamento ma i tempi necessari a farla rientrare entro standard di accettabilità biologica per il corpo umano sono lunghi. I tempi di decadimento radioattivo variano inoltre a seconda dell'elemento oscillando da pochi giorni a centinaia di migliaia di anni. Esistono attualmente due modi principali per smaltire le scorie, rigorosamente legati a preliminari studi di natura [geologica](http://it.wikipedia.org/wiki/Geologia) riguardanti il sito di destinazione: per le scorie a basso livello di radioattività si tende a ricorrere al cosiddetto *deposito superficiale*, ovvero il confinamento in aree terrene protette e contenute all'interno di barriere ingegneristiche; per le scorie a più alto livello di radioattività si ricorre invece al *deposito geologico*, ovvero allo stoccaggio in bunker sotterranei schermati. Inoltre vengono sfruttati anche degli impianti di rigenerazione in grado di estrarre l'uranio, il [plutonio](http://it.wikipedia.org/wiki/Plutonio) e gli altri [attinoidi](http://it.wikipedia.org/wiki/Attinoidi) (detti *minori*, prevalentemente [nettunio](http://it.wikipedia.org/wiki/Nettunio), [americio](http://it.wikipedia.org/wiki/Americio) e [curio](http://it.wikipedia.org/wiki/Curio)) dalle scorie e renderlo riutilizzabile nel processo di fissione nucleare.
Le scorie inoltre potranno essere riprocessate in altre tipologie di reattori (nuclear transmuters o [trasmutatori](http://it.wikipedia.org/wiki/Trasmutatori) con [fattore di conversione](http://it.wikipedia.org/wiki/Fattore_di_conversione) c < 0.7) con auspicata produzione collaterale di energia elettrica.Nel caso esse vengano riprocessate col solo obiettivo di diminuirne la radioattività,sarà necessario un tempo di almeno 40 anni per assistere a un calo della radioattività del 99,9%.[[3]](http://it.wikipedia.org/wiki/Energia_nucleare#cite_note-2) Un ulteriore metodo in fase di studio per la trasmutazione delle scorie nucleari (ADS) si basa sull'impiego di un acceleratore di protoni di alta energia (600 MeV - 2 GeV), accoppiato con un reattore nucleare [subcritico](http://it.wikipedia.org/wiki/Subcritico), avente come barre di combustibile il materiale da trasmutare sotto forma di [MOX](http://it.wikipedia.org/wiki/MOX) o altro. Anche in questo caso si ipotizza la possibilità che il sistema sia energeticamente autosufficiente, con la produzione collaterale di energia.