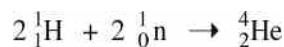


## ◆ Energia nucleare

### • Energia nucleare

La massa è una forma di energia: è questo concetto, sviluppato nella **teoria della relatività** di *Einstein*, che permette di comprendere gli aspetti energetici delle reazioni nucleari.

Consideriamo la sintesi dell'elio,  ${}^4_2\text{He}$ , a partire da due nuclei di idrogeno (protoni) e da due neutroni:



Determinazioni sperimentali con lo spettrometro di massa danno per l' ${}^4_2\text{He}$  una massa di 4,00150 u, mentre per due protoni  $2 \times 1,00728$  e per due neutroni  $2 \times 1,00867$ , con un totale di 4,03190 u.

Nella sintesi dell'elio, a partire da due protoni e da due neutroni, si verifica una diminuzione di massa (difetto di massa) che è di circa 0,0304 u.

La massa che "scompare" si trasforma in energia secondo l'equazione di Einstein:

$$E = m \times c^2$$

dove **E** rappresenta l'energia in joule, **m** la massa in kg della sostanza coinvolta e **c** la velocità della luce in metri al secondo, m/s.

### • Fissione nucleare

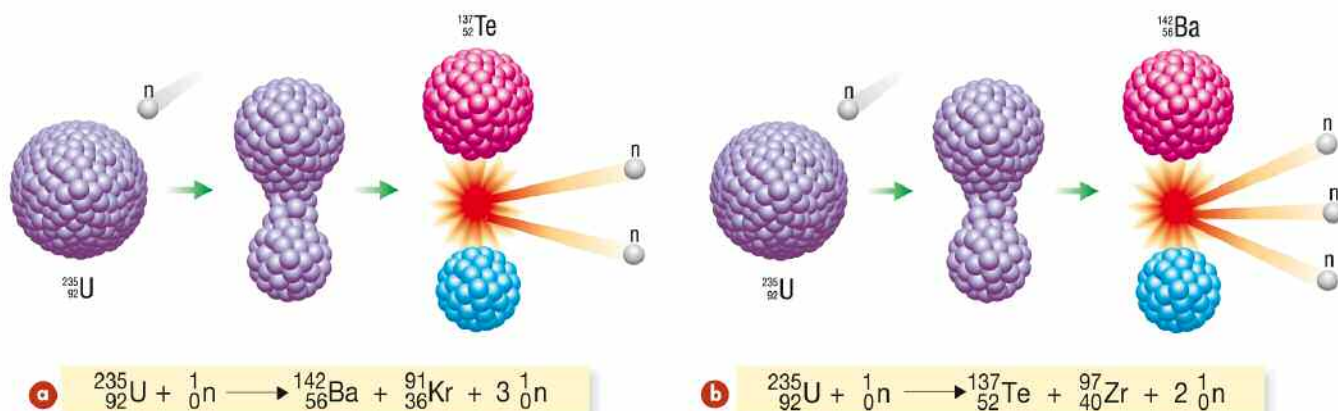
Bombardando con neutroni alcuni nuclei di un materiale fissile ( ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$ ) si verifica una fissione nucleare e si libera una notevole quantità di energia.

Nel caso dell'**uranio-235** il neutrone viene assorbito dal nucleo dell'uranio che immediatamente si spacca (**fissione** deriva da fendere, spaccare) in due nuclei di massa atomica intermedia; inoltre si ha emissione di un numero di neutroni compreso tra 2 e 3 e di un numero enorme di raggi gamma (figure 1a e 1b).

Questa reazione è altamente energetica: una mole di uranio (235 g) produce circa  $2 \times 10^{10}$  kJ. Questo valore è molto elevato se si considera che 1 tonnellata di carbone sviluppa  $8 \times 10^4$  kJ ed una mole di metano (16 g) sviluppa  $8,0 \times 10^2$  kJ.

1

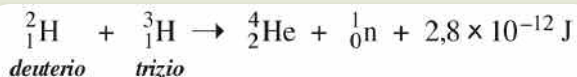
1. La reazione di fissione dell'uranio-235 può portare a prodotti differenti (a) e (b).



### • Fusione nucleare

Nelle reazioni di fusione nucleare si combinano nuclei leggeri per formarne altri più pesanti liberando una notevole quantità di energia, superiore a quella ottenuta con la fissione nucleare.

Nella sintesi dell'*elio* a partire da deuterio (si indica con H o con D) e *trizio*, due isotopi dell'idrogeno, si ha sviluppo di una notevole quantità di energia ( $2,8 \times 10^{-12}$  J) per atomo di elio formato.



L'energia liberata nella formazione di 4 g di elio ( $6,02 \times 10^{23}$  atomi) è:

$$\begin{aligned} 2,8 \times 10^{-12} \text{ J} \times 6,02 \times 10^{23} \text{ atomi} &= 1,69 \times 10^{12} \text{ J} = \\ &= 1,69 \times 10^9 \text{ kJ} \end{aligned}$$

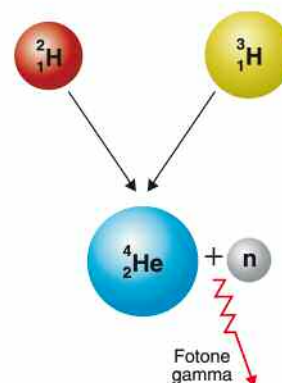
L'energia sviluppata dipende dalla perdita di massa della reazione secondo l'equazione di Einstein.

La fusione, per poter avvenire, richiede alte temperature, dell'ordine di 100 milioni di gradi Celsius: a queste temperature le particelle si muovono l'una contro l'altra con velocità sufficiente a superare la repulsione elettrostatica con cui i due nuclei, entrambi carichi positivamente, tenderebbero a respingersi.

Nelle bombe termonucleari (*bomba a idrogeno*) temperature del genere sono ottenute mediante una bomba a fissione.

Questa tecnica, evidentemente, non può essere utilizzata nelle reazioni di fusione controllata per produrre energia elettrica per usi domestici e industriali.

2. La fusione di un nucleo di deuterio ( ${}^2_1\text{H}$ ) con uno di trizio ( ${}^3_1\text{H}$ ) dà luogo ad un nucleo di elio ( ${}^4_2\text{He}$ ) più un neutrone (n) e una radiazione di alta energia (fotone gamma).





## ◆ Scorie radioattive e tempo di dimezzamento

Le centrali nucleari di fissione presentano il problema della conservazione delle sostanze radioattive che sono presenti nei prodotti di scarto (le scorie radioattive). Le radiazioni emesse da queste sostanze causano danni biologici perché, colpendo con la loro elevata energia le molecole della cellula, ne spezzano i legami chimici e quindi la distruggono o ne alterano le funzioni. *Se le radiazioni colpiscono il DNA si possono indurre mutazioni genetiche.*

Oltre ai prodotti di fissione già analizzati, sono presenti come isotopi radioattivi degli elementi naturali: lo *stronzio-90*, il *cesio-137*, lo *iodio-131*, il *bario-140*, vari isotopi del *plutonio*, l'*uranio-236*, il *nettunio-237*, l'*americio-243* ed il *curio-244*. I nuclei di questi atomi si presentano instabili e per raggiungere uno stato di maggiore stabilità si decompongono emettendo radiazioni di varia natura con un processo di **decadimento radioattivo**.

Il tempo necessario perché un campione di sostanza radioattiva, mediante decadimento, dimezzi la sua quantità è chiamato **tempo di dimezzamento**. I pericoli per l'uomo, oltre che dall'irraggiamento diretto, possono derivare da perdite dei reattori nucleari in seguito ad incidenti; in tal caso i "radionuclidi" possono andare a finire nell'atmosfera e nel terreno ed entrare nella catena alimentare o essere inalati con l'aria.

Questo pericolo è stato sentito in Europa in seguito all'incidente della *centrale nucleare di Chernobyl* nell'aprile del 1986. In effetti, radionuclidi sono caduti dall'atmosfera negli anni passati come "**fallout radioattivo**" delle esplosioni atomiche in seguito agli esperimenti nucleari delle grandi potenze. La **radioattività** di un campione può essere *rivelata e misurata* con il **contatore di Geiger** (dal nome del fisico tedesco *Hans Geiger*, 1882-1945).

Per determinare l'età di fossili animali e vegetali si utilizza il tempo di dimezzamento del  $^{14}\text{C}$  (5730 anni), un isotopo radioattivo presente nella costituzione degli organismi viventi.

**Tab. 1.**  
Tempi di dimezzamento di alcuni elementi.

ELEMENTO	ISOTOPO O NUCLIDE	TEMPO DI DIMEZZAMENTO	TIPO DI RADIAZIONE
Carbonio-14	$^{14}_6\text{C}$	5730 anni	beta
Cesio-129	$^{129}_{55}\text{Cs}$	32 ore	beta e gamma
Cloro-39	$^{39}_{17}\text{Cl}$	55,5 minuti	beta e gamma
Cobalto-60	$^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 anni	beta e gamma
Cromo-51	$^{51}_{24}\text{Cr}$	26,5 giorni	beta e gamma
Idrogeno-3	$^3_1\text{H}$	12,3 anni	beta
Iodio-131	$^{131}_{53}\text{I}$	8,07 giorni	beta
Manganese-51	$^{51}_{25}\text{Mn}$	46 minuti	positrone
Potassio-40	$^{40}_{19}\text{K}$	$1,3 \times 10^9$ anni	beta e gamma
Radio-226	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1620 anni	alfa e gamma
Radon-222	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 giorni	alfa
Tecnezio-99	$^{99}_{43}\text{Tc}$	6,02 ore	gamma
Tellurio-123	$^{123}_{52}\text{Te}$	$1,2 \times 10^{13}$ anni	cattura elettronica
Uranio-227	$^{227}_{92}\text{U}$	1,3 minuti	alfa e gamma
Uranio-235	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ anni	alfa e gamma
Uranio-238	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \times 10^9$ anni	alfa e gamma



## ◆ "Il solare termodinamico"

Intervista di Antonio Cianciulli a Carlo Rubbia  
(Repubblica 19 maggio 2004)



Carlo Rubbia (1934)  
Premio Nobel  
per la Fisica 1984.

**È la terza via delle energie rinnovabili. Una fonte pulita perfettamente competitiva, abbondante e sicura.**

"Il nuovo solare termodinamico ad alta temperatura, l'energia catturata dagli specchi parabolici e immagazzinata da un fluido salino, è la terza via delle rinnovabili. Una fonte pulita, perfettamente competitiva, abbondante e sicura. Basta un quadrato di tre chilometri di lato, la lunghezza di una pista di aeroporto, per ottenere la stessa energia di una centrale nucleare. E per giunta è tecnologia italiana: una ricchezza che possiamo utilizzare direttamente ed esportare".

È un Carlo Rubbia in grande forma quello che si accinge a battezzare la fase uno del suo sogno. A meno di quattro anni dall'ideazione del progetto Archimede, il premio Nobel che guida l'Enea festeggerà oggi l'inaugurazione della nuova centrale elettrica di Priolo, in provincia di Siracusa, l'impianto Enel ristrutturato per far posto al sole. Si tratta della prima dimostrazione della realizzabilità del programma solare dell'Enea, un primo passo concreto che potrebbe aprire la strada a una filiera energetica made in Italy.

**Eppure, dopo Archimede che l'aveva usata per altri scopi, questa forma di energia solare ha avuto poco successo. E l'esperienza della centrale siciliana a specchi di Adrano, che ha inghiottito molti fondi e prodotta poco energia, aveva indotto al pessimismo. Cosa è cambiato?**

"Lasciando da parte Archimede, troviamo che il primo brevetto per gli specchi solari risale al 1860. Da allora è stato un succedersi di prove ed errori. Per esempio vent'anni fa, in California, avevano costruito centrali ibride che usavano il solare e il gas naturale, ma bastava una nuvoletta per bloccare il solare e far partire l'impianto a gas: il rendimento era scarso. E poi come fluido per accumulare il calore si usava un olio minerale poco sicuro e ad alto impatto ambientale. Oggi parliamo di una tecnologia completamente diversa".

**Molto più affidabile?**

"Non c'è paragone. Noi usiamo specchi

di nuova progettazione che si muovono lungo l'arco della giornata seguendo il sole e quindi riescono a catturare più luce. Al posto del vecchio olio infiammabile abbiamo una miscela di sali fusi che non causa problemi e consente di accumulare l'energia in modo da renderla disponibile in ogni momento, anche quando non c'è il sole, in modo da ottenere la flessibilità richiesta dal mercato. E infine c'è il fattore temperatura che è fondamentale perché lo scopo finale è produrre vapore per far girare le turbine: la vecchia tecnologia solare non arrivava a superare i 350 °C; ora raggiungiamo i 550 °C, la stessa temperatura che si usa negli impianti a combustibili fossili".

**Siamo comunque ancora alla fase di sperimentazione.**

"Come esperimento pilota i 20 megawatt aggiunti dalle tecnologie solari alla centrale di Priolo non sono da buttare via: bastano a una città di 20 mila abitanti, consentono di risparmiare 12 500 tonnellate equivalenti di petrolio l'anno ed evitano l'emissione di 40 mila tonnellate l'anno di anidride carbonica. E il bello è che questo tipo di energia è conveniente: ai prezzi attuali l'impianto si ripaga in 6 anni e ne dura 30. Oltretutto, una volta avviata la produzione di massa, i prezzi di costruzione tenderanno al dimezzamento".

**Quanto costa oggi un metro quadrato di specchi?**

"Oggi, cioè in fase preindustriale, il costo complessivo dell'impianto oscilla tra i 100 e i 150 euro a metro quadrato. E da un metro quadrato si ricava ogni anno un'energia equivalente a quella di un barile di petrolio. Il che vuol dire che utilizzando un'area desertica o semidesertica di dieci chilometri quadrati si ottengono mille megawatt: la stessa energia che si ricava da un impianto nucleare o a combustibili fossili, ma con costi inferiori e con una lunga serie di problemi in meno".

**Per esempio?**

"Non si producono rifiuti né emissioni. L'energia è abbondante e rinnovabile. Non bisogna costruire sistemi di trasporto per i combustibili perché il sole arriva da solo. Gli investimenti e i costi

sono più bassi rispetto alle centrali convenzionali. Il sistema è estremamente flessibile e si presta ad essere usato con impianti di piccola taglia in località isolate. I tempi di costruzione sono brevi, circa tre anni".

**Ritiene che questa tecnologia cambi il ruolo delle rinnovabili?**

"Secondo le previsioni dell'Iaea le rinnovabili di nuovo tipo, escludendo dunque l'idroelettrico e la biomassa tradizionale, non supereranno il 3,5 per cento del totale energetico nel 2030. Per andare oltre occorrono due condizioni. La prima è che i costi siano competitivi. La seconda è che il sistema sia flessibile: non a caso l'unica rinnovabile che ha mercato è l'idroelettrico perché le dighe consentono di usare l'acqua quando ce n'è bisogno. La tecnologia che si sperimenta a Priolo soddisfa entrambe queste condizioni".

**Quanta energia si può produrre con questo tipo di centrali?**

"In prospettiva, arrivando a un'applicazione industriale su larga scala, si può pensare che in regioni con una buona insolazione come il Sud dell'Italia si ricavi energia sufficiente a sostituire carbone, petrolio e metano".

**Ma se la tecnologia è così semplice e i costi così bassi, perché il sistema non si è già imposto?**

"Perché è un'idea nuova, e come tutte le idee nuove fatica ad essere assimilata. Noi stiamo aprendo un mercato dalle potenzialità enormi in un momento in cui c'è un disperato bisogno di un'energia non inquinante. Decidere tempi e modi spetta ai politici. Certo dal punto di vista scientifico una cosa va detta: o si lavora seriamente alla costruzione di un sistema energetico diverso da quello attuale, oppure si va avanti continuando a immettere gas serra nell'atmosfera e ci si assume il rischio dell'instabilità climatica legata a questo processo".

## ◆ La marmitta catalitica

La combustione del carburante in un motore è un processo incompleto. Infatti, nei prodotti di reazione, oltre al diossido di carbonio e all'acqua, sono presenti anche monossido di carbonio (CO) e ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), gas entrambi indesiderati, e idrocarburi non combusti.

Per il trattamento dei gas di scarico delle autovetture con motore a combustione interna, fin dal 1993 viene usata la marmitta catalitica (o convertitore catalitico). Questo dispositivo ha contribuito ad abbassare approssimativamente del 95 % l'emissione dei gas inquinanti nell'aria.

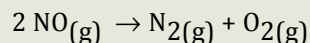
Il convertitore catalitico è costituito da un involucro in acciaio inossidabile, e da una struttura porosa ceramica isolante impregnata, in superficie, di particelle di platino e rodio.

1

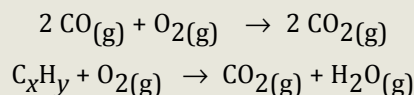


**Fig. 1.**  
Rappresentazione schematica di una marmitta catalitica.

Le particelle di rodio, ad alta temperatura ( $\approx 500\text{ }^\circ\text{C}$ ), convertono gli ossidi di azoto (NO) dei gas di scarico in azoto ( $\text{N}_2$ ) e ossigeno ( $\text{O}_2$ ), secondo la reazione:



Le particelle di platino, in un intervallo di temperatura di  $350\text{-}500\text{ }^\circ\text{C}$ , in presenza di ossigeno, determinano la conversione del monossido di carbonio in diossido di carbonio e, inoltre, la combustione degli idrocarburi incombusti, secondo le seguenti reazioni:



Se la temperatura dei gas di scarico non è sufficientemente elevata, il catalizzatore risulta inefficace, anche se abbassa l'energia di attivazione della reazione.