



Nome Insegnante: Renata prado

Materia: tecnologia

Classe: III MEDIA

Titolo Lezione: idrogeno

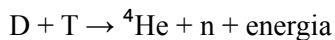
Immagina di alzare gli occhi al cielo in una notte limpida: ogni stella che vedi, compreso il Sole, sta brillando grazie all'elemento più semplice e abbondante dell'universo, l'idrogeno. Questo elemento, formato da un solo protone e un elettrone, è il punto di partenza per comprendere alcuni dei processi più potenti mai scoperti dall'essere umano. Nonostante la sua semplicità, l'idrogeno è al centro di fenomeni che possono generare sia energia utile per la vita quotidiana sia una forza distruttiva enorme. Per capire il suo ruolo nel nucleare, è necessario distinguere tra due tipi di reazioni: la Fissione nucleare e la Fusione nucleare. Nel primo caso, un nucleo pesante, come quello dell'uranio, viene diviso in nuclei più piccoli, liberando energia. Questo è il principio su cui si basano le centrali nucleari attuali. La fusione, invece, funziona al contrario: nuclei leggeri si uniscono per formarne uno più pesante, liberando una quantità di energia ancora maggiore. È proprio questo il processo che alimenta le stelle. L'idrogeno gioca un ruolo fondamentale nella fusione nucleare, ma non esiste in una sola forma. Esistono infatti diversi isotopi, cioè varianti dello stesso elemento con un diverso numero di neutroni. Il più comune è il prozio, che non ha neutroni. Poi c'è il deuterio, che ne ha uno, e il trizio, che ne possiede due ed è radioattivo. Sono proprio il deuterio e il trizio a essere utilizzati nelle reazioni di fusione, perché la loro combinazione permette di liberare grandi quantità di energia. Riprodurre sulla Terra ciò che avviene nel Sole non è semplice. I nuclei atomici, infatti, tendono a respingersi a causa delle loro cariche positive, e per farli unire è necessario portarli a temperature altissime, di milioni di gradi. Gli scienziati stanno lavorando da decenni per controllare questo processo, utilizzando dispositivi avanzati come i tokamak e progetti internazionali come ITER. L'obiettivo è riuscire a produrre energia in modo pulito e praticamente inesauribile, senza le scorie radioattive a lungo termine tipiche della fissione.

Tuttavia, la stessa reazione che potrebbe rappresentare una soluzione per il futuro energetico dell'umanità può essere utilizzata anche in modo distruttivo. È il caso della bomba a idrogeno, o bomba termonucleare. A differenza della bomba atomica, che sfrutta la fissione, questa arma utilizza la fusione di deuterio e trizio per liberare un'energia immensamente superiore. Per innescare la fusione, viene utilizzata una prima esplosione nucleare a fissione, che crea le condizioni di temperatura e pressione necessarie. La potenza di queste armi è tale da superare di gran lunga quella delle bombe sganciate durante la Seconda guerra mondiale. Un esempio storico è il test Test Ivy Mike, effettuato nel 1952, che dimostrò al mondo la devastante capacità della fusione nucleare applicata a scopi militari.

L'idrogeno, quindi, rappresenta un paradosso: è l'elemento che alimenta le stelle e che potrebbe offrire una fonte di energia pulita per il futuro, ma è anche alla base delle armi più potenti mai create. Comprenderne il funzionamento significa non solo studiare la fisica, ma anche riflettere sull'uso che l'umanità decide di fare delle proprie scoperte scientifiche.

Nel contesto del nucleare, l'idrogeno è importante non tanto nella sua forma più comune (il prozio), ma nei suoi isotopi più pesanti: deuterio ( $^2\text{H}$ ) e trizio ( $^3\text{H}$ ). Questi nuclei hanno una caratteristica fondamentale: sono abbastanza leggeri da poter fondere, ma abbastanza "stabili" da permettere una reazione con una probabilità significativa. Quando deuterio e trizio si avvicinano abbastanza da superare la repulsione elettrostatica tra i loro protoni (la cosiddetta barriera coulombiana), interviene la forza nucleare forte e i nuclei si fondono.

La reazione più importante, sia nella ricerca energetica sia nelle armi, è:



In questa reazione si forma un nucleo di elio-4 e viene emesso un neutrone ad alta energia. Il punto chiave è che una parte della massa iniziale si trasforma in energia, secondo la relazione di Einstein  $E = mc^2$ . È proprio questa conversione di massa in energia a rendere la fusione così potente. Rispetto alla Fissione nucleare, la Fusione nucleare ha una densità energetica molto più alta. Inoltre, produce neutroni molto energetici (circa 14 MeV nel caso D-T), che hanno un ruolo fondamentale sia nei reattori sperimentali sia nelle armi. Nel caso civile, uno dei problemi principali è il confinamento del plasma: il combustibile (deuterio e trizio) deve essere portato a temperature dell'ordine di 100 milioni di gradi, dove la materia si trova nello stato di plasma. A queste temperature, nessun materiale può contenerlo, quindi si usano campi magnetici intensissimi (tokamak) o compressione inerziale. Progetti come ITER cercano di raggiungere la cosiddetta "ignizione", cioè una condizione in cui la reazione si autosostiene.

Quando si passa alle armi, il discorso cambia radicalmente. La bomba a idrogeno, o termonucleare, utilizza sempre la reazione D-T, ma in modo incontrollato e rapidissimo. Il

problema tecnico principale è che la fusione richiede temperature e pressioni enormi: per ottenerle, si usa una bomba a fissione come innesco. Il modello più diffuso è quello detto “a due stadi” (schema Teller-Ulam). Nel primo stadio, una bomba a fissione genera un'enorme quantità di energia sotto forma di radiazione X. Questa radiazione viene confinata e utilizzata per comprimere il secondo stadio, che contiene combustibile di fusione (spesso sotto forma di deuterio di litio). La compressione è così intensa da aumentare enormemente densità e temperatura, permettendo l'innesco della fusione. Durante la reazione, il litio può generare trizio in situ tramite bombardamento neutronico, rendendo il sistema ancora più efficiente. Inoltre, i neutroni ad alta energia prodotti dalla fusione possono indurre ulteriori reazioni di Fissione nucleare in un eventuale rivestimento di uranio naturale o impoverito, aumentando ulteriormente la potenza dell'esplosione. Questo porta a una caratteristica fondamentale della bomba a idrogeno: non ha un limite teorico di potenza definito come le bombe a fissione. Si possono aggiungere più stadi, aumentando progressivamente l'energia liberata. È per questo che queste armi sono di ordini di grandezza più potenti rispetto alle bombe atomiche tradizionali.

Un esempio storico è il test Test Ivy Mike, che utilizzava deuterio liquido e dimostrò per la prima volta la fattibilità della fusione termonucleare su larga scala. Le versioni successive sono diventate molto più compatte ed efficienti grazie all'uso di combustibili solidi come il deuterio di litio.

Dal punto di vista tecnico, quindi, l'idrogeno nel nucleare è centrale perché rappresenta il combustibile della fusione: una reazione estremamente efficiente, difficile da controllare ma potentissima. La differenza tra applicazione civile e militare non sta tanto nella fisica di base, quanto nel modo in cui questa energia viene gestita: lentamente e controllata nei reattori sperimentali, oppure rilasciata tutta insieme, in una frazione di secondo, nelle armi termonucleari.

Un esempio molto famoso di bomba a idrogeno è la Tsar Bomba, la più potente mai fatta esplodere.

Fu testata dall'Unione Sovietica il 30 ottobre 1961 sopra l'arcipelago della Novaja Zemlja. Dal punto di vista tecnico, era una bomba termonucleare a più stadi basata sul principio Teller-Ulam, cioè quello che sfrutta una prima esplosione a fissione per comprimere e innescare la fusione. La sua potenza fu di circa 50 megatoni, cioè più di 3000 volte la bomba di Hiroshima. In realtà, il progetto originale prevedeva addirittura 100 megatoni, ma venne ridotto per limitare le ricadute radioattive.

Dal punto di vista fisico, funzionava come le altre bombe H:

primo stadio → fissione (innesco)

secondo stadio → fusione di isotopi dell'idrogeno

possibile terzo stadio → ulteriore amplificazione tramite fissione indotta dai neutroni

Quello che la rende interessante anche didatticamente è che mostra fino a che punto si può “scalare” la fusione nucleare: non c’è un limite teorico rigido alla potenza, perché si possono aggiungere stadi successivi.

Gli effetti furono impressionanti:

la palla di fuoco era larga diversi chilometri

l’onda d’urto fece più volte il giro della Terra

i vetri si ruppero a centinaia di chilometri di distanza