

# Idrogeno

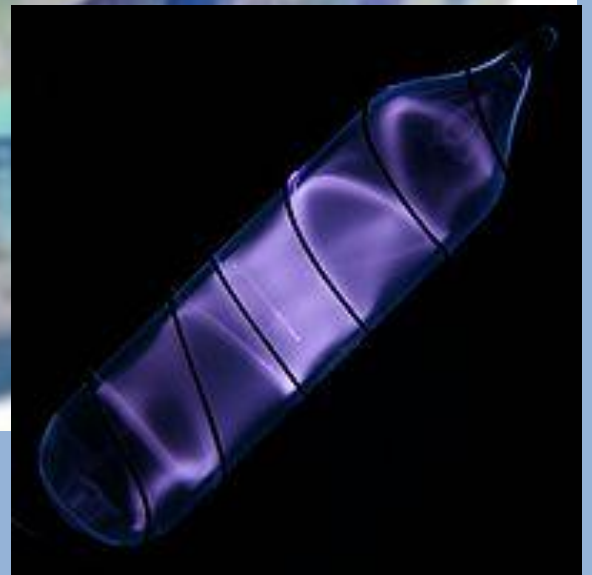
Lorenzo Giusti

Liceo Scientifico "Leonardo Da Vinci" classe IV B

## Caratteristiche generali dell'elemento

L'idrogeno (dal greco  $\nu\delta\omega\rho$  "hydor", *acqua*; la radice  $\gamma\epsilon\nu/\gamma\omicron\nu$  significa *generare*, quindi *generatore d'acqua*) è il primo elemento chimico della tavola periodica degli elementi, ha come simbolo H e come numero atomico 1.

Allo stato elementare esiste sotto forma di molecola biatomica,  $H_2$ , che a pressione atmosferica e a temperatura ambiente (298 K) è un gas incolore, inodore, altamente infiammabile. L'idrogeno è l'elemento più leggero e più abbondante di tutto l'universo osservabile. È presente nell'acqua (11,19%) e in tutti i composti organici e organismi viventi. L'idrogeno forma composti con la maggior parte degli elementi, spesso anche per sintesi diretta. Le stelle sono principalmente composte di idrogeno nello stato di plasma di cui rappresenta il combustibile delle reazioni termonucleari, mentre sulla Terra è scarsamente presente allo stato libero e molecolare e deve quindi essere prodotto per i suoi vari usi. In particolare questo elemento è usato nella produzione di ammoniaca, nell'idrogenazione degli oli vegetali, in aeronautica (in passato nei dirigibili), come combustibile alternativo e, di recente, come riserva di energia nelle pile a combustibile. Inoltre è occluso in alcune rocce, come il granito.



## Tavola Periodica degli Elementi

1 IA Nuovo Originale		Metalli alcalini Metalli alcalino terrosi Metalli del blocco d Lantanidi										Metalli del blocco p Nonmetalli Gas nobili						18 VIIIA				
1 H Idrogeno 1,00784	2 He Elio 4,002602																					
3 Li Litio 6,941	4 Be Berillio 9,012182																					
11 Na Sodio 22,989770	12 Mg Magnesio 24,3050																					
19 K Potassio 39,0983	20 Ca Calcio 40,078	21 Sc Scandio 44,955910	22 Ti Titanio 47,887	23 V Vanadio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganese 54,938048	26 Fe Ferro 55,847	27 Co Cobalto 58,933200	28 Ni Nichel 58,6934	29 Cu Rame 63,546	30 Zn Zinco 65,409	31 Ga Gallio 69,723	32 Ge Germanio 72,54	33 As Arsenico 74,92160	34 Se Selenio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Kriptone 83,798					
37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Stronzio 87,62	39 Y Ittrio 88,9062	40 Zr Zirconio 91,224	41 Nb Niobio 92,90638	42 Mo Molibdeno 95,94	43 Tc Technicio 98,906250	44 Ru Rutenio 101,07	45 Rh Rodio 102,90550	46 Pd Palladio 106,90508	47 Ag Argento 107,8682	48 Cd Cadmio 112,411	49 In Indio 114,818	50 Sn Stagno 118,710	51 Sb Stibio 121,757	52 Te Tellurio 127,60	53 I Iodio 126,90547	54 Xe Xenone 131,29					
55 Cs Cesio 132,90545	56 Ba Bario 137,327	57 to 71						72 Hf Hafnio 178,49	73 Ta Tantalio 180,9479	74 W Wolframio 183,84	75 Re Renio 186,207	76 Os Osmio 190,23	77 Ir Iridio 186,217	78 Pt Platino 195,078	79 Au Oro 196,96655	80 Hg Mercurio 200,59	81 Tl Tallio 204,3833	82 Pb Piombo 208,2868	83 Bi Bismuto 208,9804	84 Po Polonio 209	85 At Astatina 210	86 Rn Radon 222
87 Fr Francio 223	88 Ra Raffaello 226	89 to 103						104 Rf Rifrenio 261	105 Db Dubnio 262	106 Sg Seaborgio 266	107 Bh Bohrio 264	108 Hs Hassium 277	109 Mt Meitnerio 268	110 Ds Darmstadtio 271	111 Rg Roentgenio 272	112 Uub Ununbium 285	113 Uut Ununtrio 284	114 Uuq Ununquadio 289	115 Uup Ununpentio 288	116 Uuh Ununsextio 292	117 Uus Ununseptio 294	118 Uuo Ununoctium 294
Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.																						
Nota il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti italiani di quei nomi.																						

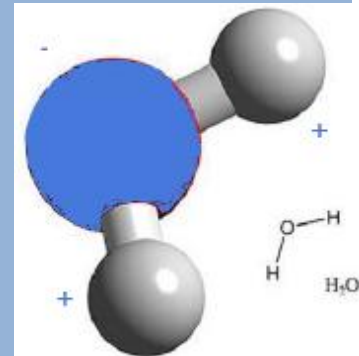
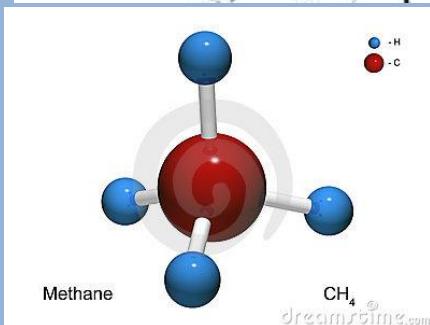
# Percentuali in natura



L'idrogeno è l'elemento più abbondante dell'universo, forma fino al 75% della materia, in base alla massa, e più del 90%, in base al numero di atomi. Questo elemento si trova principalmente nelle stelle e nei giganti gassosi. Relativamente alla sua abbondanza generale, l'idrogeno è molto raro nell'atmosfera terrestre (1 ppm) e praticamente inesistente allo stato puro sulla superficie e nel sottosuolo terrestre. Giove e Saturno hanno circa l'80 % dell'idrogeno, il Sole il 90 %.

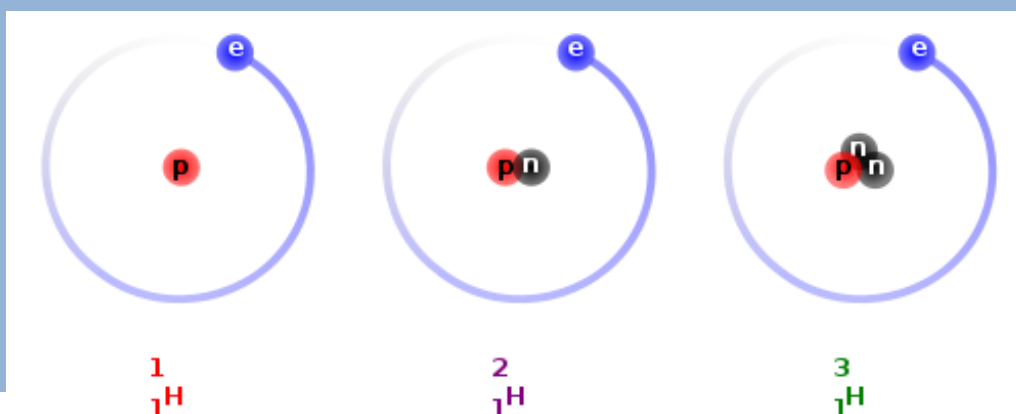
Sulla Terra invece solo l'1 % dei gas è idrogeno. La fonte più comune di questo elemento è

l'acqua, che è composta da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno ( $H_2O$ ). Altre fonti sono: la maggior parte della materia organica (che comprende tutte le forme di vita conosciute), i combustibili fossili e il gas naturale. Il metano ( $CH_4$ ), che è un sottoprodotto della decomposizione organica, sta diventando una fonte di idrogeno sempre più importante



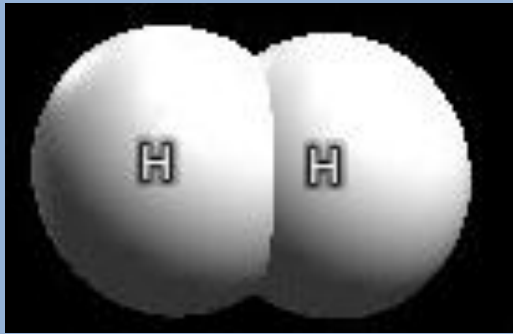
## Isotopi

L'idrogeno elementare è un gas incolore e inodore a molecola biatomica ( $H_2$ ), costituito da una miscela di tre isotopi: l'idrogeno o prozio ( $1H$ ) (99,98% della miscela), il cui atomo è formato da un protone e da un elettrone, il deuterio  $2H$  (indicato anche col simbolo D e detto idrogeno pesante) e il trizio  $3H$ , che hanno nel nucleo oltre al protone, rispettivamente uno e due neutroni. La quantità di deuterio è di 1:5900 rispetto all'idrogeno, mentre il trizio è presente solo in minime tracce.

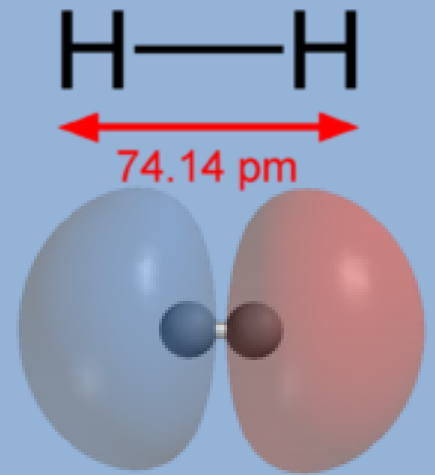


# Molecola dell'idrogeno

Il diidrogeno ha formula  $H_2$ . La sua molecola è quindi costituita da due atomi di idrogeno. In condizioni normali si presenta come un gas infiammabile, incolore ed inodore. Nell'uso comune viene chiamato anch'esso semplicemente idrogeno o idrogeno gassoso quando è necessario distinguerlo dall'elemento chimico omonimo.

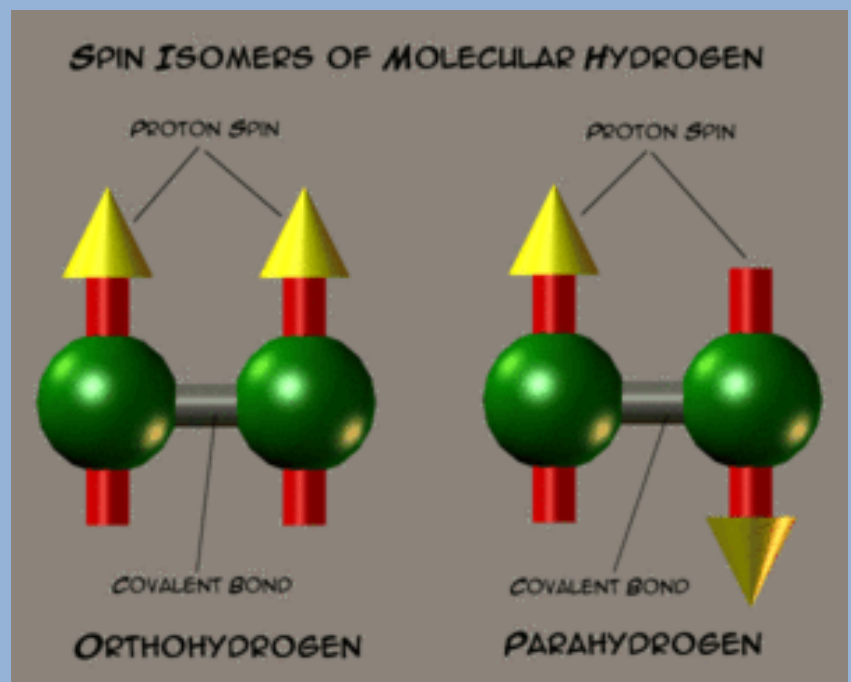


Si ottiene in laboratorio mediante reazione di acidi con metalli come lo zinco e, industrialmente, mediante l'elettrolisi dell'acqua, il reforming del gas naturale, la gassificazione di residui della raffinazione del petrolio. L'idrogeno è impiegato per la produzione dell'ammoniaca, per la desolforazione dei derivati del petrolio, come combustibile alternativo e, di recente, come fonte di energia per le pile a combustibile.



In condizioni normali il gas di idrogeno è una miscela di due diversi tipi di molecole, che differiscono a seconda che gli spin dei due nuclei atomici siano tra loro paralleli o antiparalleli. Queste due forme sono rispettivamente conosciute come orto-idrogeno e para-idrogeno. In condizioni standard, il rapporto tra orto e para è di circa 3 a 1 e la conversione di una forma nell'altra è talmente lenta da non avvenire in assenza di un catalizzatore. Le due forme differiscono a livello energetico, il che provoca piccole differenze nelle loro proprietà fisiche. Ad esempio, i punti di fusione ed ebollizione del paraidrogeno sono all'incirca 0,1 K più bassi dell'ortoidrogeno.

L'esistenza di queste due forme pone un inconveniente nella produzione industriale di idrogeno liquido: quando viene liquefatto, l'idrogeno è generalmente una miscela para:orto circa 25:75; lasciato a sé, nell'arco di un mese la miscela si arricchisce della forma para, che diventa il 90%; questa conversione libera calore che fa evaporare gran parte dell'idrogeno, che viene perso. Per ovviare a ciò, la liquefazione dell'idrogeno viene condotta in presenza di un catalizzatore a base di ossido di ferro; in questo modo l'idrogeno liquido ottenuto è composto per oltre il 99% dalla forma para.



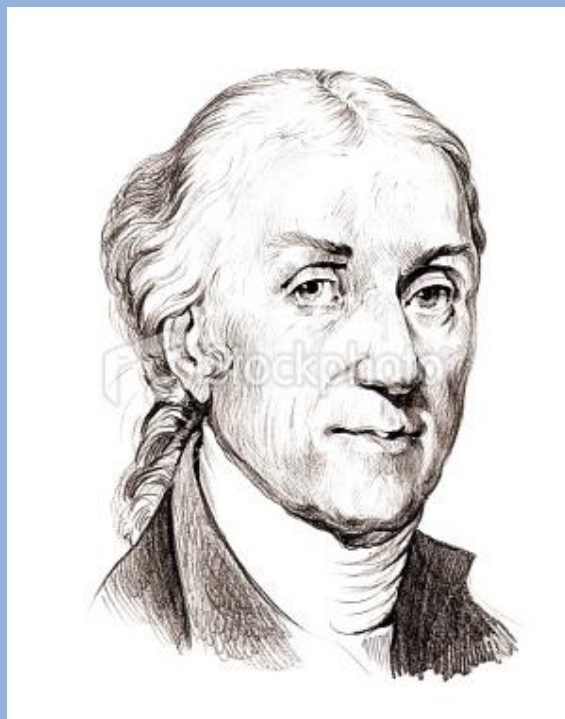
# Note storiche

L'idrogeno biatomico gassoso ( $H_2$ ) fu descritto formalmente per la prima volta da T. Von Hohenheim (conosciuto con il nome di Paracelso, 1493 - 1541), che lo ottenne artificialmente mescolando metalli con acidi forti. Paracelso non si rese conto che il gas infiammabile ottenuto in queste reazioni chimiche era un nuovo elemento chimico.

Nel 1671, Robert Boyle riscoprì e descrisse la reazione che avveniva quando si mescolavano limatura di ferro ed acidi diluiti, e che generava idrogeno gassoso.

Nel 1766, Henry Cavendish fu il primo a riconoscere l'idrogeno gassoso come una sostanza discreta, identificando il gas prodotto nella reazione metallo-acido come "aria infiammabile" e scoprendo che la combustione del gas generava acqua. Cavendish ebbe a che fare con l'idrogeno durante i suoi esperimenti con gli acidi ed il mercurio. Giunse erroneamente alla conclusione che l'idrogeno era un componente liberato dal mercurio e non dall'acido, ma fu capace di descrivere con precisione molte proprietà fondamentali dell'idrogeno. Tradizionalmente, si considera Cavendish come lo scopritore di questo elemento.

Nel 1783, Antoine Lavoisier assegnò all'elemento il nome di idrogeno (in francese Hydrogène, in greco ὕδωρ, ὑδάτος, "acqua" e γένος-ου, "generatore") quando provò (insieme a Laplace) la scoperta di Cavendish che la combustione del gas generava acqua.



Uno dei primi usi che si fece dell'idrogeno gassoso fu come gas di riempimento per aerostato e, successivamente, per altri tipi di aeronavi. La famosa tragedia del dirigibile Hindenburg si pensa non sia stata dovuta all'idrogeno con cui era stato riempito, infatti gli ingegneri avevano rivestito la struttura dell'aeronave in modo da non causare scintille, dato che si conosceva l'infiammabilità del gas. Quello fu un caso particolare di impiego, dato che non era disponibile l'elio gassoso, gas quasi altrettanto leggero, ma inerte. Al tempo l'idrogeno gassoso si otteneva per la reazione dell'acido solforico con il ferro metallico.

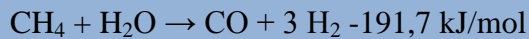
# Produzione dell'idrogeno

Il fatto che l'idrogeno sia l'elemento più abbondante dell'universo potrebbe far pensare che sia estremamente facile produrlo, ad esempio estraendolo dall'acqua. Se questo è vero in linea teorica, nella pratica attualmente il modo più economico per produrre questo elemento consiste nell'utilizzo di petrolio o di altri combustibili fossili. Infatti, circa il 97% dell'idrogeno prodotto è ottenuto dai combustibili fossili, mentre soltanto un 3% si ottiene tramite l'elettrolisi dell'acqua. Questo processo, sfruttando combustibili fossili, porta all'emissione di elevate quantità di CO<sub>2</sub>, le quali finiscono per aumentare il bilancio termico della terra e l'effetto serra.

## Steamreforming

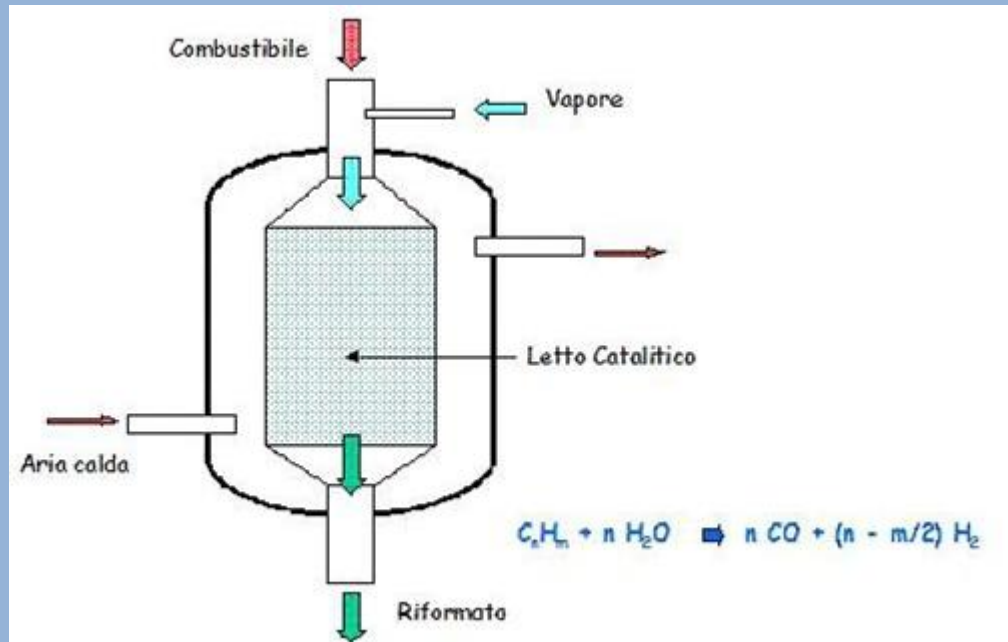
La produzione su vasta scala dell'idrogeno avviene solitamente mediante il processo di reforming del gas naturale (o "steamreforming")

Tale processo consiste nel far reagire metano (CH<sub>4</sub>) e vapore acqueo (H<sub>2</sub>O) ad una temperatura intorno a 700–1100 °C, per produrre syngas (una miscela costituita essenzialmente da monossido di carbonio e idrogeno), secondo la reazione:

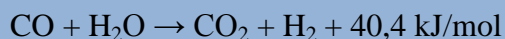


Il calore richiesto per attivare la reazione è generalmente fornito bruciando parte del metano.

La reazione è favorita a basse pressioni, tuttavia si fa avvenire a pressioni elevate (20 atm) visto che l'H<sub>2</sub> così ottenuto è il prodotto più commercializzabile. Il mix di prodotto è noto come gas di sintesi perché è spesso utilizzato direttamente per la produzione di metanolo ed altri composti correlati. A parte il metano, possono essere utilizzati altri idrocarburi per ottenere il Syngas con diverse proporzioni dei componenti prodotti.



Ulteriore idrogeno può essere recuperato dal monossido di carbonio (CO) attraverso la water gas shiftreaction, che si ottiene a circa 130 °C:



Essenzialmente, l'atomo di ossigeno (O) è strappato dall'acqua (vapore) per ossidare il carbonio (C), liberando l'idrogeno precedentemente legato a carbonio e ossigeno.

## Elettrolisi

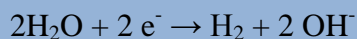
L'elettrolisi dell'acqua è un processo elettrolitico nel quale il passaggio di corrente elettrica causa la scomposizione dell'acqua in ossigeno ed idrogeno gassosi.

Dal punto di vista etimologico, il termine elettrolisi è composto dal prefisso elettro- (elettricità) e da lisi (separazione). L'etimologia del termine è connessa con il meccanismo del processo di elettrolisi dell'acqua, che consiste appunto nel "rompere" la molecola di acqua nei suoi elementi costituenti (idrogeno e ossigeno).

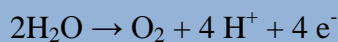
La cella elettrolitica è in genere composta da due elettrodi di un metallo inerte, (ad esempio platino) immersi in una soluzione elettrolitica e connessi ad una sorgente di corrente (ad esempio una batteria da 6 volt).

La corrente elettrica dissocia la molecola d'acqua negli ioni  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_3\text{O}^+$  (e da una bassissima percentuale di protoni liberi  $\text{H}^+$ , i quali tendono a reagire con le molecole di acqua per dare ioni  $\text{H}_3\text{O}^+$ ).

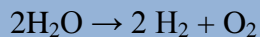
Al catodo gli ioni idrogeno ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) acquistano elettroni in una reazione di riduzione che porta alla formazione di idrogeno gassoso:



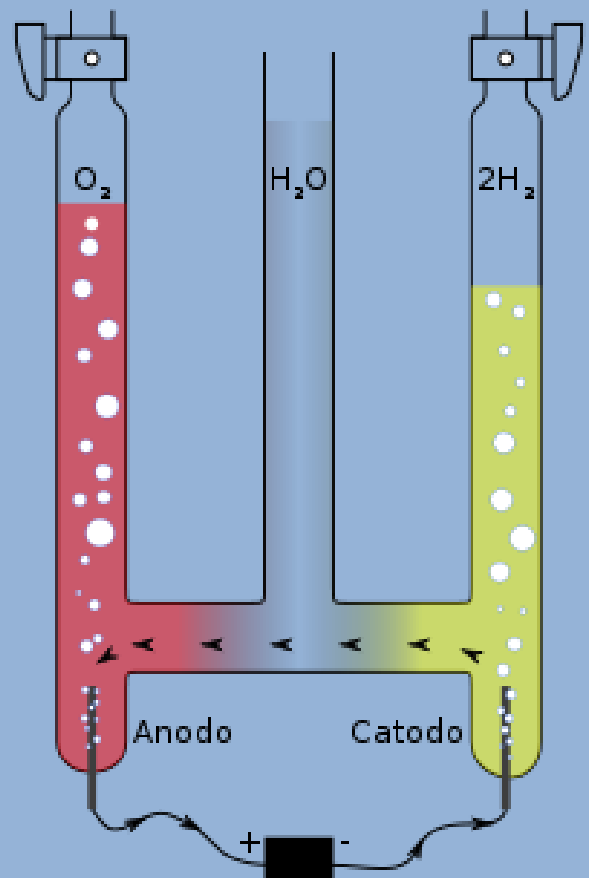
All'anodo, gli ioni idrossido ( $\text{OH}^-$ ) subiscono ossidazione, cedendo elettroni:



Dalla somma delle due semireazioni precedenti si ottiene la seguente reazione completa:



Si formerà quindi un volume di idrogeno quasi doppio del volume di ossigeno (in quanto secondo la legge dei gas perfetti il numero di moli e il volume sono in proporzionalità diretta), quindi l'idrogeno avendo il doppio delle moli e il volume molare dell'idrogeno è di  $11,42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ , mentre per l'ossigeno è di  $17,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ , quindi per l'idrogeno si ha quasi il doppio del volume dell'ossigeno.



# Applicazioni dell'idrogeno

## Combustibile

Stante l'attuale sviluppo tecnologico, l'idrogeno può essere effettivamente utilizzato a fini energetici come combustibile nei motori a combustione interna utilizzati su alcuni prototipi di auto. Il problema vero, sollevato da più parti, è però a monte: l'idrogeno atomico e molecolare è assai scarso in natura ovvero l'elemento in sé si trova combinato assieme ad altri elementi in vari composti sulla crosta terrestre; esso dunque non è una fonte primaria di energia come lo sono gas naturale, petrolio e carbone, in quanto deve essere prodotto artificialmente spendendo energia a partire da fonti

energetiche primarie. Esso sarebbe quindi impiegabile unicamente come vettore energetico cioè come mezzo per immagazzinare e trasportare l'energia disponibile ove occorra, mentre il ciclo di produzione/utilizzo sarebbe comunque inefficiente dal punto di vista termodinamico poiché la sua produzione richiederebbe in genere un'energia maggiore di quella che poi si renderebbe disponibile attraverso la sua 'combustione'. La molecola d'acqua è infatti più stabile e quindi meno energetica del diossigeno  $O_2$  e del diidrogeno  $H_2$  separati e segue la legge secondo la quale i processi "naturali" portano un sistema da un'energia più alta ad una più bassa tramite una trasformazione. Per



le leggi della termodinamica l'estrazione di idrogeno dall'acqua non può avvenire dunque come reazione inversa a costo zero, cioè senza spendere lavoro. Qualsiasi metodo di estrazione comporta quindi un costo che è pari all'energia liberata successivamente dalla combustione dell'idrogeno sotto forma di diidrogeno se a tal fine si utilizza l'esatto processo inverso, ed in realtà in tal caso anche maggiore perché non esiste alcuna macchina con rendimento pari al 100% durante il processo di estrazione. In altri termini la produzione di idrogeno sotto forma di diidrogeno attraverso il metodo più semplice, ovvero l'elettrolisi dell'acqua, e il successivo utilizzo dell'idrogeno sotto forma

di diidrogeno nella reazione inversa con  $O_2$  nelle pile a combustibile non solo non porta ad alcun guadagno energetico, ma anzi, per quanto detto sopra, il guadagno netto energetico sarebbe negativo cioè ci sarebbe una perdita dovuta alle dissipazioni in calore. L'unico modo di usare in

maniera efficiente l'idrogeno come fonte di energia sarebbe ottenerlo come bioidrogeno a spese di alghe e batteri.

Attualmente il diidrogeno ottenuto da fonti solari, biologiche o elettriche ha un costo di produzione, in termini energetici, molto più elevato di quello della sua combustione per ottenere energia. H<sub>2</sub> può essere ottenuto con un guadagno netto di energia a partire da fonti fossili, come il metano (le reazioni di sintesi sono infatti diverse da quelle di combustione), però si tratta di fonti energetiche non rinnovabili cioè destinate comunque ad esaurirsi nel tempo ed in più con emissioni dirette di CO<sub>2</sub>.

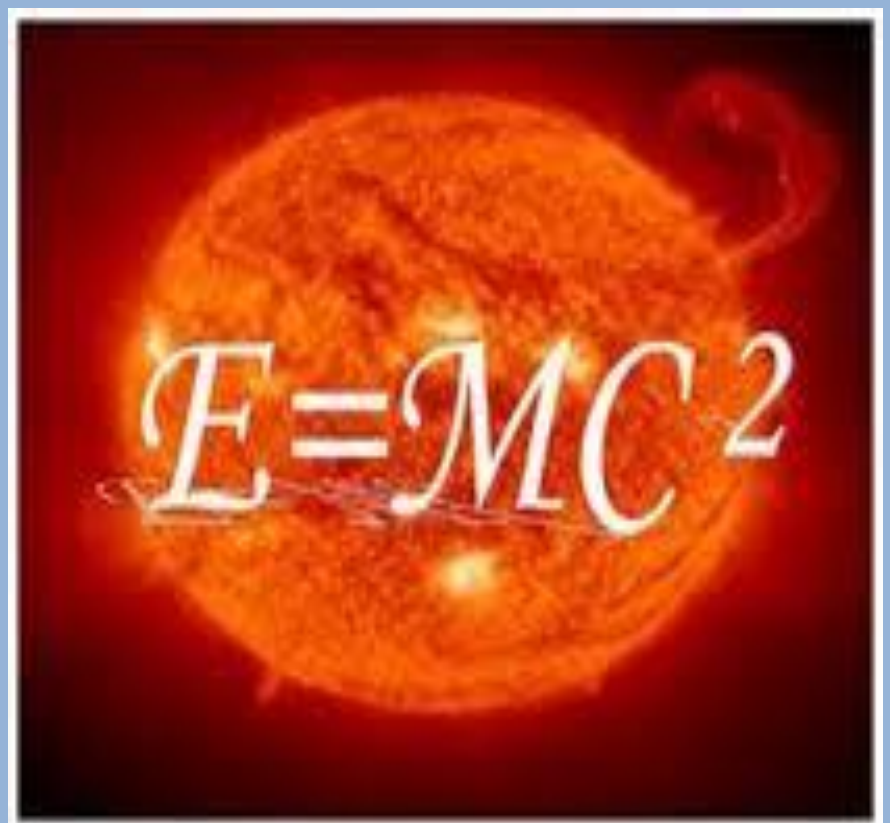
Un altro modo in cui l'idrogeno potrebbe venire utilizzato efficacemente come fonte di energia, a prescindere da qualunque processo di produzione, è quello della fusione nucleare ovvero in un impianto termonucleare con un ipotetico reattore nucleare a fusione alimentato da deuterio o trizio, una tecnologia che attualmente è ancora in via di sviluppo nel reattore sperimentale ITER e che potenzialmente potrebbe risolvere i problemi energetici mondiali poiché in tale reazione nucleare piccole quantità di idrogeno producono enormi quantità di energia: l'energia del Sole proviene infatti dalla fusione nucleare dell'idrogeno; si tratta tuttavia di un processo tecnologicamente complicato da gestire sulla Terra e tuttora oggetto di intensa ricerca.

## Fusione nucleare

In fisica nucleare la fusione è il processo di reazione nucleare attraverso il quale i nuclei di due o più atomi vengono compressi tanto da far prevalere l'Interazione forte sulla repulsione elettromagnetica, unendosi tra loro ed andando così a generare un nucleo di massa maggiore dei nuclei reagenti nonché, talvolta, uno o più neutroni liberi; la fusione di elementi fino ai numeri atomici 26 e 28 (ferro e nichel) è esoenergetica, ossia emette più energia di quanta ne richieda il processo di compressione, oltre è endoenergetica, cioè assorbe energia (per la costituzione di nuclei atomici più pesanti).

Il processo di fusione è il meccanismo che alimenta il Sole e le altre stelle; all'interno di esse - tramite la nucleosintesi - si generano tutti gli elementi che costituiscono l'universo dall'elio fino all'uranio ed è stata riprodotta dall'uomo con la realizzazione della bomba H.

Nella fusione nucleare la massa e l'energia sono legate dalla teoria della relatività ristretta di Einstein secondo l'equazione:  $E = mc^2$





In questo tipo di reazione il nuovo nucleo costituito ed il neutrone liberato hanno una massa totale minore della somma delle masse dei nuclei reagenti, con conseguente liberazione di un'elevata quantità di energia, principalmente energia cinetica dei prodotti della fusione.

Affinché avvenga una fusione, i nuclei devono essere sufficientemente vicini, in modo che la forza nucleare forte predomini sulla repulsione coulombiana (i due nuclei hanno carica elettrica positiva, si respingono): ciò avviene a distanze molto piccole, dell'ordine di qualche femtometro ( $10^{-15}$  metri). L'energia necessaria per superare la repulsione coulombiana può essere fornita ai nuclei portandoli ad altissima pressione (altissima temperatura, circa  $10^7$  kelvin, e/o altissima densità).

La fusione nucleare, nei processi terrestri, è usata in forma incontrollata per le bombe a idrogeno e in forma controllata nei reattori a fusione termonucleare, ancora in fase sperimentale.

## Fusione tra deuterio e trizio

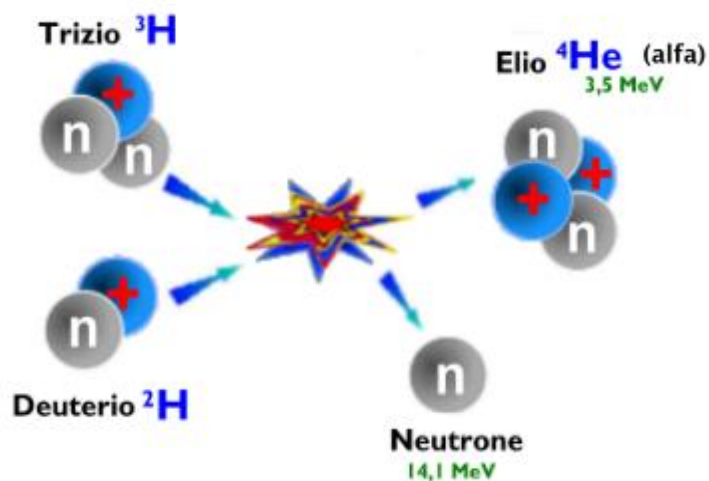
Per la realizzazione di reattori a fusione, il primo problema è di individuare reazioni aventi una bassa energia di soglia. Questo significa un criterio di Lawson inferiore e quindi un minore sforzo iniziale. Il secondo problema è rappresentato dalla produzione di neutroni, difficili da gestire e controllare. Le reazioni che non liberano neutroni, dette aneutroniche, sono di grande interesse, così come quelle che liberano neutroni a bassa energia.

La reazione che può avvenire nel sole con la soglia più bassa di energia è la fusione nucleare tra deuterio e trizio.

reazione D-T (la soglia più bassa,  $\sim 50$  keV)



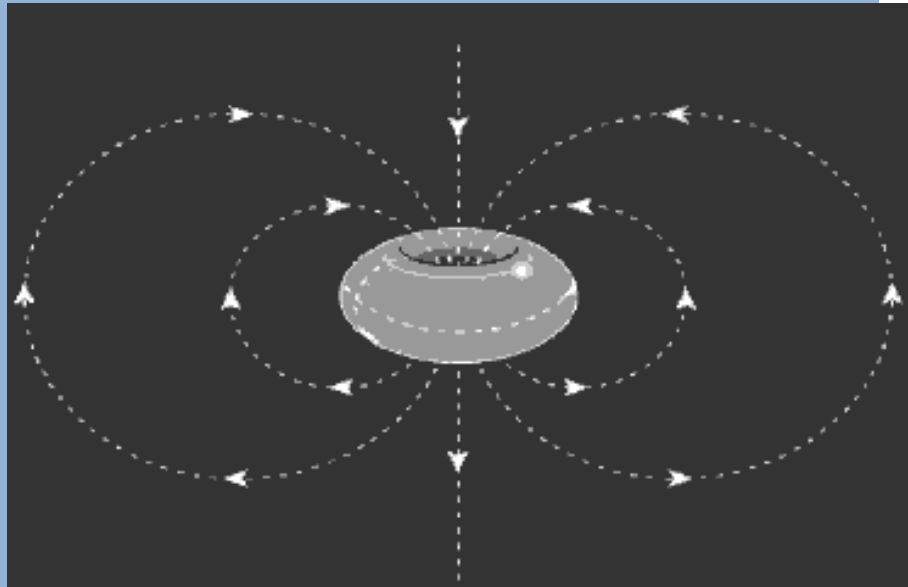
### Reazione di fusione Deuterio Trizio



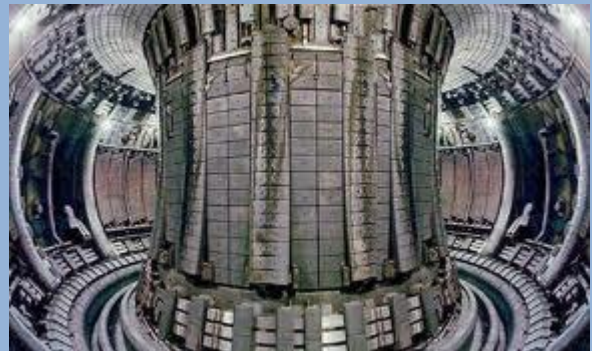
La reazione più probabile è quella che avviene tra un nucleo di deuterio e un nucleo di trizio, reazione in cui si genera un nucleo di elio (particella alfa) e un neutrone. In questa reazione la massa complessiva dei prodotti è inferiore a quella delle particelle interagenti e si verifica la liberazione di energia secondo il principio di equivalenza massa-energia. L'energia liberata si distribuisce tra la particella alfa e il neutrone in rapporto inverso alle rispettive masse.

# Confinamento magnetico

Un tentativo per la realizzazione della fusione nucleare sulla terra è quella di confinare il plasma d'idrogeno con un campo magnetico. Un plasma è costituito da particelle cariche che possono quindi essere confinate da un appropriato campo magnetico. Sono noti molti modi di generare un campo magnetico in grado di isolare un plasma in fusione; tuttavia, in tutte queste configurazioni, le particelle cariche che compongono il plasma interagiscono inevitabilmente con il campo, influenzando l'efficienza del confinamento e riscaldando il sistema. Due sono le geometrie che si sono rivelate interessanti per confinare plasmi per fusione: lo specchio magnetico ed il *toro magnetico*. Lo specchio magnetico è una configurazione "aperta", cioè non è chiusa su se stessa, mentre il toro (una figura geometrica a forma di "ciambella") è una configurazione chiusa su se stessa intorno a un buco centrale. Varianti del toro sono le configurazioni *sferiche*, in cui il buco al centro del toro è di dimensioni molto ridotte.



Ognuno di questi sistemi di confinamento ha diverse realizzazioni, che differiscono tra loro nell'enfatizzare l'efficienza del confinamento o nel semplificare i requisiti tecnici necessari per la realizzazione del campo magnetico. La ricerca sugli specchi magnetici e su altre configurazioni aperte (bottiglie magnetiche, "pinch" lineari, cuspidi, ottupoli, ecc.) ha avuto un grande sviluppo negli anni 1960-1970, poi è stata abbandonata per le inevitabili perdite di particelle agli estremi della configurazione. Invece, una variante dei sistemi toroidali, il *tokamak* è risultato essere una soluzione inizialmente più semplice di altre per



un'implementazione da laboratorio. (Un tokamak è una macchina di forma toroidale che, attraverso il confinamento magnetico di isotopi di idrogeno allo stato di plasma, crea le condizioni affinché si verifichi, al suo interno, la fusione termonucleare allo scopo di estrarne l'energia prodotta.) Ciò l'ha reso il sistema su cui la ricerca scientifica in questo settore ha mosso i suoi passi più significativi. Attualmente il più promettente esperimento in questo campo è il progetto ITER.

