



Foto di Salvatore Grimaldi

IL GENERATORE HHO

Con la collaborazione di
Fabrizio Tommasetti

In English

SOMMARIO

Introduzione / Introduction.....	Pag 2
Acqua.....	Pag 3
Cenni sull' ossigeno.....	Pag 4
Cenni sull' idrogeno.....	Pag 5
L'ossidrogeno.....	Pag 16
Prototipo sperimentale di Fabrizio Tommasetti.....	Pag 18
Ringraziamenti.....	Pag 29

Tutto il materiale di questo documento e' stato preso da internet tramite una semplice ricerca.

Disclaimer

Questa rivista è distribuita gratuitamente, senza alcuna garanzia per il contenuto, espressa o implicita, comprese, tra le altre, la garanzia di commerciabilità ed idoneità per un fine particolare. In nessun caso l'autore e i redattori saranno responsabili per i danni (inclusi, senza limitazioni, il danno all'integrità fisica nonché il danno per perdita o mancato guadagno, interruzione dell'attività, perdita di informazioni o tutti gli altri tipi di perdite) derivanti dall'uso del materiale presente in questa rivista tecnica, anche nel caso in cui l'autore sia stato avvertito della possibilità di tali danni.

Pertanto, MareaSistemi "titolare e gestore" nonché "responsabile" a titolo hobbistico della presente rivista, pur verificando l'attendibilità e l'innocuità delle notizie prima della pubblicazione, non si ritiene responsabile in relazione all'autenticità dei contenuti.

Questo è una rivista hobbistica non soggetta ad aggiornamento periodico. Queste pagine non forniscono un servizio di consulenza, e non è garantito che il materiale contenuto sia corretto o funzionante. L'autore non si assume alcuna responsabilità riguardo a come queste informazioni possono essere utilizzate o interpretate e ad eventuali danni diretti o indiretti di qualsiasi natura che ne dovessero derivare a persone a cose o animali.

Tutto il materiale viene fornito così come è senza nessuna forma di garanzia sulla sua validità. L'uso di ogni informazione o programma, e la costruzione e utilizzo di ogni sistema presentato, avviene completamente a proprio rischio e pericolo. Ogni sistema presentato è pensato per un utilizzo hobbistico/didattico, ne sono liberi l'utilizzo e l'autocostruzione per uso personale, ma ne è vietata la costruzione per fini commerciali (vendita).

Qualora qualche ditta decidesse comunque di costruire e commercializzare un qualsiasi circuito presente in questo sito, o di distribuire qualche software in esso contenuto, ogni responsabilità in caso di malfunzionamento o danni ricadrebbe completamente su di essa.

I diritti di quest'opera appartengono interamente a mareaSistemi. L'opera per volontà dell'editore e dell'autore è rilasciata nei termini della licenza Creative Commons attribuzione non commerciale. Tutte le informazioni della rivista e la rivista stessa, può essere liberamente consultata per uso personale ma non può essere copiata in altre pagine (se non citandone la fonte) o diffusa con altri mezzi per fini commerciali. Tutti i marchi registrati appartengono ai rispettivi proprietari, se involontariamente testi, immagini presenti in queste pagine dovessero ledere qualche copyright, potete segnalarcelo e provvederemo al più presto alla loro rimozione.

E' gradita ogni segnalazione di errore, imprecisione o ambiguità nelle spiegazioni o nel funzionamento descritti negli articoli.

This magazine is distributed free, without any guarantee for the content, express or implied, including, among others, the warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. In no event shall the author and editors be liable for any damages (including, without limitation, damage to physical damage and for loss of profits, business interruption, loss of information or all other types of losses) arising from the use of the material in this technical review, even if the author has been advised of the possibility of such damages.

Therefore, MareaSistemi "owner and manager" and "responsible" under this hobby magazine, while ensuring the reliability and innocuity of news before publication, will not be responsible in relation to the authenticity of the content.

This is a magazine hobby is not subject to regular updating. These pages provide an advisory service, and is not guaranteed that the material is correct or working. The author assumes no responsibility for how this information may be used or interpreted and any direct or indirect damages of any kind that might occur to people, animals or property.

All material is provided as is without any form of guarantee on its validity. 'S' use of any information or program, and the construction and use of each system presented is entirely at your own risk. Each system presented is designed to use a hobby / educational, they are free to use and DIY for personal use, but the construction is prohibited for commercial purposes (sale).

If any company decides nevertheless to build and market any circuit on this site, or distribute any software contained therein, any liability in case of malfunction or damage would fall completely on it.

The rights belong entirely to this mareaSistemi. The work for the will of the publisher and the author and released under the Creative Commons Attribution-LICENCE commerciale. Tutte le informazioni della rivista e la rivista stessa, can be freely accessed for personal use but may not be copied in other pages (if not citing the sources) or spread to other media for purposes commerciali. Tutti trademarks of their respective owners, if unintentionally texts, images on these pages should infringe any copyright, please let us know and we will remove them as soon as possible.

And 'welcome any reporting errors, inaccuracies or ambiguities in the explanations or operation described in the articles.

INTRODUZIONE / INTRODUCTION

Come ottenere idrogeno a basso costo ? In questa rivista abbiamo il piacere di presentarVi un generatore HHO realizzato da un nostro lettore.

Abbiamo scelto questo tipo di progetto specialmente perché e' stato realizzato da materiale di recupero oltre che per la sua semplicità di realizzazione anche i quei Paesi dove non e' possibile acquistare del materiale nuovo.

Se poi si utilizza corrente elettrica prodotta da pannelli fotovoltaici l' idrogeno ottenuto e' totalmente gratis.

E' possibile utilizzare un generatore HHO (Ossidrogeno), per avere una fiamma ossidrica senza l' utilizzo di bombole o per altri scopi.

Navigando su internet si possono scoprire altre sfumature del generatore HHO, addirittura c'è chi lo vende per l'installazione nei motori a combustione per risparmiare sul combustibile che oggi ha raggiunto dei prezzi che non sono più alla portata di tutti.

Prima della descrizione del progetto, abbiamo introdotto altri concetti, in modo da approfondire tecnicamente la ricerca.

How to get a cheap hydrogen ? It is a pleasure, in this magazine, to introduce You an HHO generator produced by one of our readers.

We have chosen this kind of project because it has been manufactured with spare parts and for its easy feasibility even in that country where it is not possible to find new materials.

Moreover, with the usage of the current produced by photovoltaic panels, the hydrogen is totally free.

It is possible to use an HHO generator (Ossidrogeno) in order to get a blowtorch without using tanks or for other purposes.

Surfing the net it is possible to discover other HHO generator undertones: it is sold to be installed in the combustion engines to save money on the fuel that today it is very expensive.

First we have introduced other notions in order to technically elaborate the research into more depth.

Si ringrazia FABRIZIO TOMMASETTI per l'autorizzazione alla pubblicazione delle sue foto su questa rivista



Nella Foto Fabrizio Tommasetti con il suo prototipo sperimentale

Fabrizio Tommasetti in the picture with his experimental prototype

**ATTENZIONE IL GAS GENERATO E' INFIAMMABILE
CONSIGLIAMO DI LEGGERE QUESTO ARTICOLO
SOLO A LIVELLO DIDATTICO E DI
NON TENTARE ASSOLUTAMENTE DI RIPETERE
GLI SPERIMENTI DESCRITTI A CASA O IN
QUALSIASI
ALTRO LUOGO.**

**BE AWARE, THE GENERATED GAS IS
FLAMMABLE. WE SUGGEST TO READ THIS
ARTICLE ONLY AT EDUCATIONAL LEVEL AND TO
NOT REPEAT THE EXPERIMENTS DESCRIBED
NEITHER AT HOME THEN IN OTHER SITES.**

L'ACQUA o H₂O

L'**acqua** è un composto chimico di formula molecolare H₂O, in cui i due atomi di idrogeno sono legati all'atomo di ossigeno con legame covalente. In condizioni di temperatura e pressione normali si presenta come un sistema bifase – costituito da un liquido incolore e insapore (acqua) e da un gas incolore (vapore acqueo) – ma anche come un solido (ghiaccio) nel caso in cui la temperatura sia uguale o inferiore alla temperatura di congelamento.

Essendo l'acqua un ottimo solvente, le acque naturali contengono disciolte moltissime altre sostanze, ed è per questo motivo che con il termine "acqua" si intende comunemente sia il composto chimico puro di formula H₂O, sia la miscela (liquida) formata dallo stesso, con altre sostanze disciolte al suo interno.

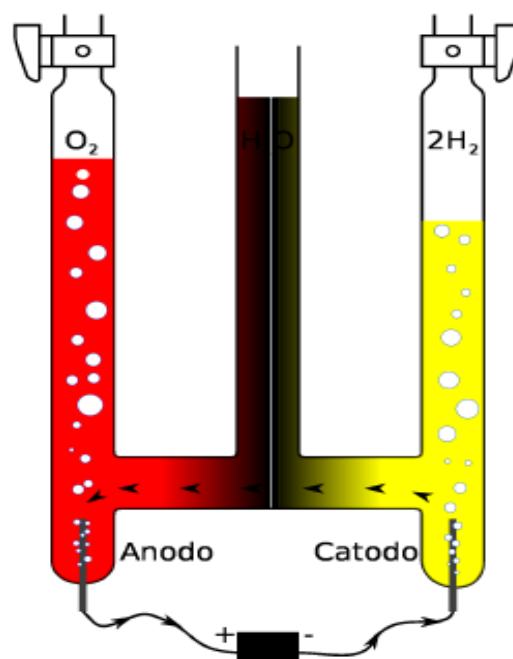
L'acqua in natura è tra i principali costituenti degli ecosistemi ed è alla base di tutte le forme di vita conosciute, uomo compreso; ad essa è dovuta anche la stessa origine della vita sul nostro pianeta ed è inoltre indispensabile anche nell'uso civile, agricolo e industriale; l'uomo ne ha inoltre riconosciuto sin da tempi antichissimi la sua importanza, identificandola come uno dei principali elementi costitutivi dell'universo, attribuendole un profondo valore simbolico, riscontrabile nelle principali religioni.

Sulla Terra l'acqua copre il 70,8% della superficie del pianeta **[(e poi manca l'acqua nei paesi poveri)]** e più o meno con la stessa percentuale è il maggior costituente del corpo umano.

Fisica e chimica dell'acqua Le prime scoperte scientifiche

La convinzione che l'acqua fosse un elemento primigenio e indivisibile si protrasse fino agli ultimi decenni del XVIII secolo, quando gli scienziati Lavoisier e Cavendish scoprirono che questa sostanza è formata in realtà da due costituenti: idrogeno e ossigeno.

Nel 1742, Anders Celsius definì la scala di temperatura che prende il suo nome, ponendo il punto di fusione dell'acqua (alla normale pressione atmosferica) a 0 gradi ed il punto di ebollizione a 100 gradi.



La prima scomposizione dell'acqua in idrogeno e ossigeno (i suoi componenti elementari) fu eseguita nel 1800 dal chimico inglese William Nicholson, tramite il processo di elettrolisi. L'acqua è infatti parzialmente dissociata in ioni H⁺ e OH⁻, che migrano verso i due poli della cella elettrolitica.

l'ossigeno e l'idrogeno vengono prodotti sotto forma di bolle gassose sulla superficie degli elettrodi, da cui possono essere raccolti.

Gilbert Newton Lewis ha isolato il primo campione di pura acqua pesante (in cui l'idrogeno è sostituito dal deuterio, suo isotopo) nel 1933.

CENNI SULL'OSSIGENO

L'ossigeno

è l'elemento chimico della tavola periodica degli elementi, che ha come simbolo O e come numero atomico 8. Il nome viene dal greco: οξύς (oxys) (acido, letteralmente: appuntito) e la radice γεν che significa "generare". L'elemento è comune e si trova non solo sulla Terra ma in tutto l'universo.

L'ossigeno libero, come lo si trova sulla Terra, è termodinamicamente instabile, ma esiste grazie all'azione della fotosintesi delle piante.

L'ossigeno è l'elemento chimico più comune della crosta terrestre rappresentandone circa il 47% della massa, mentre nell'atmosfera è in percentuale del 21%. Assieme all'acqua e ai composti di carbonio è l'elemento che permette la vita sulla Terra.

Cenni storici

L'ossigeno venne scoperto dal farmacista svedese Karl Wilhelm Scheele nel 1771, ma la sua scoperta non venne immediatamente riconosciuta, e quella indipendente fatta nel 1774 da Joseph Priestley ricevette maggiore riconoscimento pubblico.

Nello stesso anno Antoine Laurent Lavoisier diede il nome all'elemento, ma solo nel 1777 Scheele lo riconobbe come un componente dell'aria.

Nel 1781 Antoine Lavoisier ne accertò la funzione indispensabile per i fenomeni di respirazione e di combustione.

A temperatura e pressione standard, l'ossigeno si trova in forma di gas costituito da due atomi O₂ (numero CAS: 7782-44-7). Questa molecola è un importante componente dell'aria prodotta dalle piante durante la fotosintesi, ed è necessaria per la respirazione degli esseri viventi.

L'ossigeno liquido e solido hanno colore azzurro e sono entrambi altamente paramagnetici. La teoria degli orbitali molecolari ha spiegato il fenomeno del paramagnetismo e ha confermato che il legame è da considerarsi doppio: i due elettroni meno legati in O₂ occupano orbitali degeneri di simmetria π ed hanno spin paralleli. Ciò porta ad uno stato fondamentale di tripletto che ha come conseguenza una straordinaria inerzia cinetica nelle reazioni di ossidazione di molecole organiche diamagnetiche perché tali reazioni avvengono senza la conservazione del numero quantico totale di spin.

L'ossigeno è l'elemento più abbondante della crosta terrestre, si stima che ammonti al 46,7%. L'ossigeno forma l'87% degli oceani (in quanto componente dell'acqua, H₂O) e il 20% dell'atmosfera terrestre (come O₂ o O₃, ozono).

I composti di ossigeno, in particolare ossidi metallici, silicati (SiO₄⁴⁻) e carbonati (CO₃²⁻), si trovano comunemente nelle rocce e nel terreno. L'acqua ghiacciata è un solido comune sui pianeti e le comete. Le calotte polari di Marte sono composte da anidride carbonica congelata. I composti di ossigeno si trovano in tutto l'universo e lo spettro dell'ossigeno è spesso rintracciabile nelle stelle.

Di solito, l'ossigeno è ben scarso nei pianeti gassosi.

Proprietà fisiche

Stato della materia	gassoso (paramagnetico)
Punto di fusione	50,35 K (−222,8 °C)
Punto di ebollizione	90,18 K (−182,97 °C)
Punto critico	−118,57 °C a 5,04295 MPa ^[1]
Punto triplo	−218,787 °C a 151,99 Pa ^[1]
Volume molare	17,36 · 10 ^{−3} m ³ /mol
Entalpia di vaporizzazione	3,4099 kJ/mol
Calore di fusione	0,22259 kJ/mol
Velocità del suono	317,5 m/s 293 K

CENNI SULL' IDROGENO

L'utilizzo dell'idrogeno come combustibile era già conosciuto nella metà del secolo scorso.

Infatti, fino agli anni Cinquanta, nelle grandi città italiane e, ancora oggi in alcune città europee, viene distribuito il cosiddetto "gas di città" per il riscaldamento delle case. Questo gas è costituito da una miscela di idrogeno (circa il 50%) e ossido di carbonio, ottenuto facendo reagire il carbone con vapore d'acqua.

Per molti l'idrogeno è ancora legato ai ricordi dei primi dirigibili tedeschi, i mitici Zeppelin, divenuti memorabili per le crociere transoceaniche che compievano. Tra questi ricordi, purtroppo, ve ne sono alcuni anche tragici.

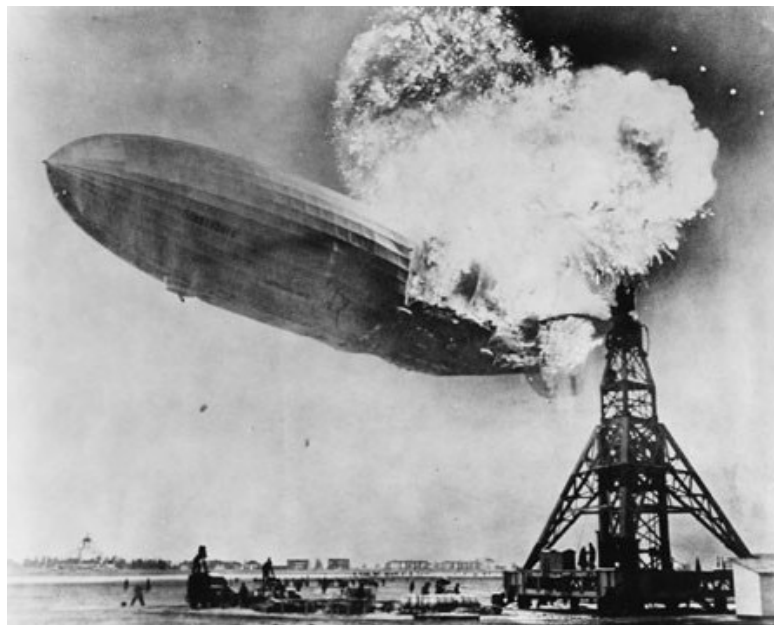
Infatti, per **sottolineare la pericolosità dell'idrogeno**, molto spesso si ricorda la tragedia del **dirigibile Hindenburg**, che si incendiò e precipitò al suolo nel 1937.

Ad un'analisi più accurata si notò che, in realtà, la presenza dell'idrogeno non era stata la causa principale dell'accaduto. Infatti, recenti studi tendono ad attribuire la responsabilità dell'incendio al rivestimento del dirigibile, estremamente infiammabile.

Nel corso degli anni, il settore in cui si è concentrata la maggior parte delle ricerche è stato quello dei trasporti.

Da decenni, ad esempio, si propone di utilizzare nel trasporto aereo l'idrogeno al posto del combustibile attualmente utilizzato, soprattutto perché il peso dell'idrogeno risulta essere inferiore.

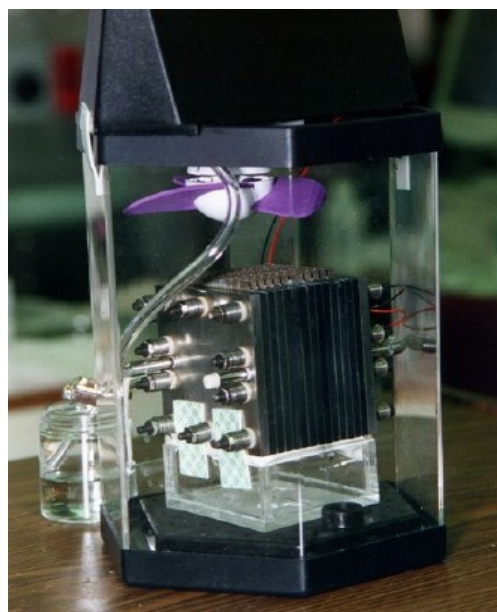
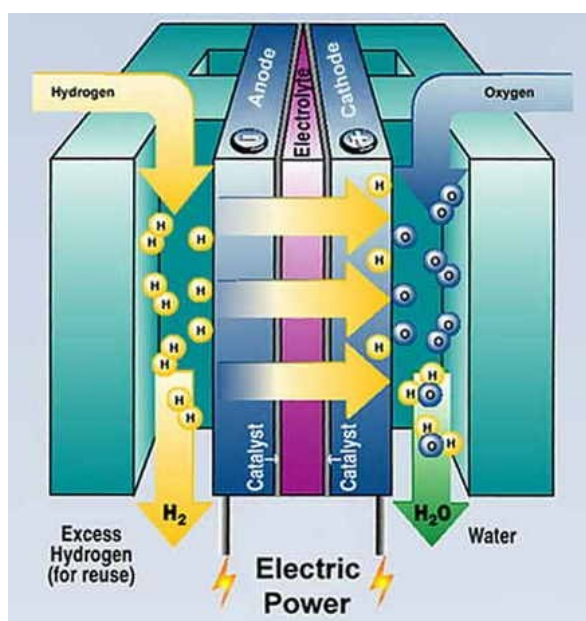
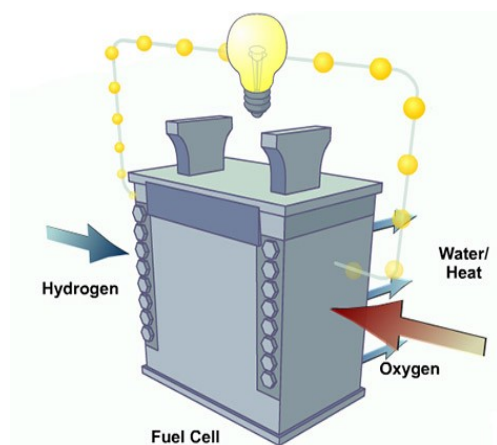
Le prime esperienze in tale campo risalgono al 1957, quando negli Stati Uniti fu costruito un bombardiere B-57 alimentato ad idrogeno.



Vantaggi dell'idrogeno

L'idrogeno può essere prodotto come l'elettricità, da qualsiasi fonte d'energia, comprese quelle rinnovabili. Se prodotto da energie rinnovabili, l'utilizzo di idrogeno non causa l'emissione di gas climalteranti.

L'utilizzo di idrogeno come vettore energetico, al contrario dell'elettricità, permette anche grandi stoccaggi di energia (paragonato agli accumulatori elettrici).



Nel settore del trasporto su gomma, già nei primi anni Settanta, un ingegnere torinese, *Massimiliano Longo*, aveva sviluppato un sistema per utilizzare l'idrogeno nelle automobili.

Questa possibilità ha poi assunto un'importanza strategica con lo sviluppo delle celle a combustibile.

In realtà, già nel 1839 il fisico britannico *William R. Grove* dimostrò che la combinazione elettrochimica di idrogeno e ossigeno genera elettricità; egli riportò i risultati di un esperimento nel corso del quale era riuscito a generare energia elettrica in una cella contenente acido solforico, dove erano stati immersi due elettrodi, costituiti da sottili fogli di platino, sui quali arrivavano rispettivamente idrogeno ed ossigeno.

Tuttavia, le celle a combustibile, basate su questo concetto, restarono poco più che curiosità di laboratorio per oltre un secolo, ovvero fino agli anni Sessanta, quando la NASA iniziò a realizzarne versioni leggere (e costose) per alimentare i veicoli spaziali.

Oltre che per fini pacifici, nel secolo scorso l'idrogeno venne utilizzato anche nel settore militare.

Infatti, all'inizio degli anni Cinquanta, gli Americani finanziarono le ricerche per un nuovo tipo di ordigno dalle potenzialità distruttive ancora maggiori della bomba atomica. Il progetto, affidato ad un gruppo di scienziati diretto da *Edward Teller*, portò alla realizzazione di una nuova generazione di bombe, dette "H" o "all'idrogeno", la cui potenza distruttiva era eccezionale, come dimostrò la prima esplosione sperimentale, fatta il 1 novembre 1952 nell'isoletta di Eniwetok nell'arcipelago delle Marshall (Pacifico settentrionale).

L'ordigno, che pesava 65 tonnellate, scavò un cratere largo 3 chilometri e profondo 800 metri, cancellando praticamente l'isola.

Tali bombe non sono mai state usate in guerra, ma sono stati effettuati vari test sperimentali con molti effetti indesiderabili.

In particolare, la pioggia radioattiva a cui è associata l'esplosione può contaminare i cibi e causare gravi malattie, come il cancro.

In parte, fu proprio per ridurre questi pericoli che nell'agosto del 1963 gli Stati Uniti, l'Unione Sovietica e la Gran Bretagna firmarono un trattato che bandiva gli esperimenti con qualsiasi tipo di arma nucleare nell'atmosfera (compresa la bomba all'idrogeno), nello spazio o sott'acqua.

Da allora, molte altre nazioni hanno firmato questo trattato.

Ma alcuni Paesi non hanno ancora firmato e compiono tuttora esperimenti nell'atmosfera.

PILA A COMBUSTIBILE

Una pila a combustibile (detta anche cella a combustibile del nome inglese fuel cell) è un dispositivo elettrochimico che permette di ottenere elettricità direttamente da certe sostanze, tipicamente da idrogeno ed ossigeno, senza che avvenga alcun processo di combustione termica.

Pertanto, non essendo il processo soggetto al limite di Carnot, l'efficienza delle pile a combustibile può essere molto alta; alcuni fenomeni però, come la catalisi e la resistenza interna, pongono limiti pratici alla loro efficienza.

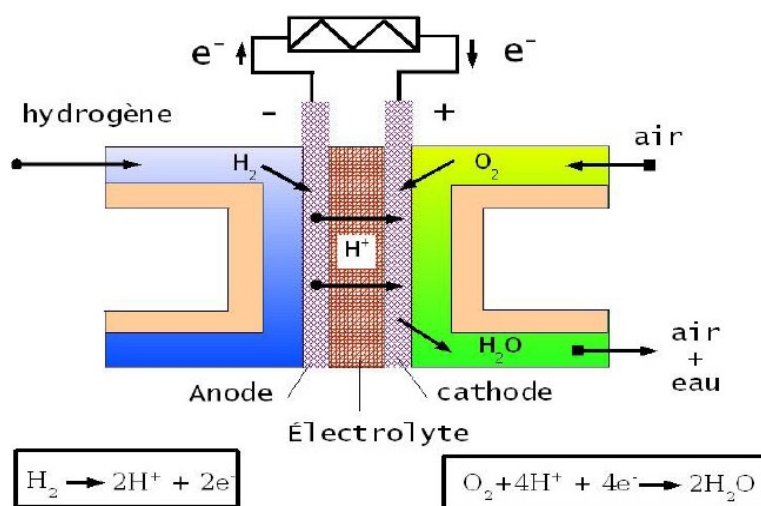
Infatti, il calore generato dalla combustione non può essere completamente convertito in elettricità a causa dei limiti imposti dal teorema di Carnot, che consegue dal secondo principio della termodinamica: in base a esso, la massima efficienza η_{max} di una macchina termica che opera tra una temperatura T_a e una temperatura più bassa T_b (per esempio l'ambiente) è:

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

Anche nelle macchine termiche più efficienti, quali le turbine a gas combinate con turbine a vapore, a causa dei limiti dei materiali di costruzione, raramente l'efficienza può superare il 60%, e questo può avvenire solo in grandi impianti a ciclo combinato di elevata potenza.

Nei motori a combustione delle più moderne automobili, l'efficienza è spesso al di sotto del 30%.

Il principio alla base, delle pile a combustibile è quello della generazione diretta, a partire dalle sostanze reagenti (per esempio idrogeno ed ossigeno) di una forza elettromotrice per mezzo di una reazione elettrochimica, in modo analogo alle pile elettriche.



La reazione elettrochimica si basa sull'idea di spezzare le molecole del combustibile o del comburente (di solito ossigeno atmosferico) in ioni positivi ed elettroni; questi ultimi, passando da un circuito esterno, forniscono una corrente elettrica proporzionale alla velocità della reazione chimica, e utilizzabile per qualsiasi scopo.

In pratica, la scelta dei combustibili è molto limitata, perché ionizzare molte molecole è difficile, e la reazione risulta avere una grande energia di attivazione, che a sua volta rallenta la reazione e rende l'uso pratico impossibile.

L'idrogeno è un gas in grado di essere ionizzato facilmente, perché la sua molecola è costituita da due atomi legati da un legame relativamente debole (H-H); molto più debole, per esempio, di quello tra atomi di idrogeno e carbonio nella molecola del metano (CH₄).

Il comburente più tipicamente usato è l'ossigeno dell'aria: non solo reagisce con l'idrogeno dando un prodotto innocuo come l'acqua, ma è anche disponibile in abbondanza e gratuitamente dall'atmosfera.

Generalmente, un impianto a celle a combustibile è costituito, oltre che dalla sezione elettrochimica, anche da un convertitore di corrente e da un trasformatore che convertono la corrente continua generata dalla pila in corrente alternata.

Le celle a combustibile si differenziano a seconda della natura chimica dell'elettrolita e della temperatura alla quale funzionano.

Le celle che liberano temperature comprese tra 60 e 200 gradi centigradi sono dette a bassa-media temperatura, mentre si definiscono ad alta temperatura quelle che sviluppano calore fino alla temperatura di 1000 gradi centigradi.

Queste ultime sono spesso utilizzate per applicazioni che necessitano sia di elettricità sia di calore.

Le celle a combustibile a bassa e media temperatura presentano minori problemi tecnologici di quelle ad alta, ma hanno rendimenti inferiori.

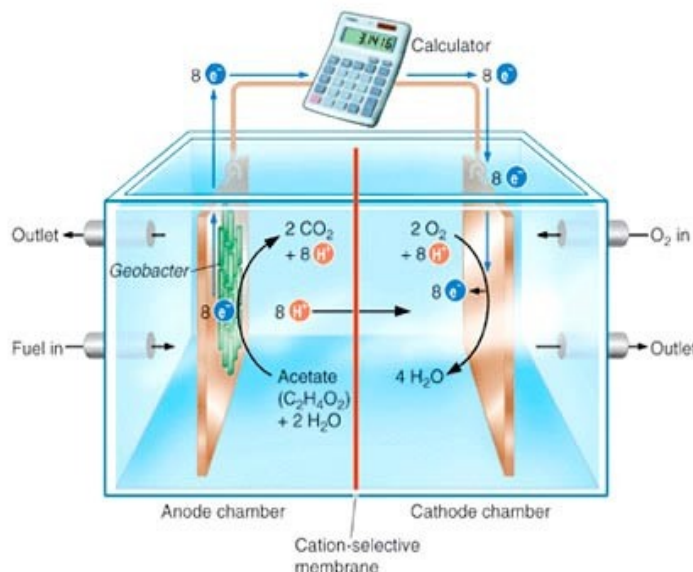
La tecnologia che sfrutta l'idrogeno come fonte di energia è in rapido sviluppo sia per applicazioni stazionarie (non in movimento, come industrie, abitazioni) sia per sistemi mobili (trasporti).

Le celle a combustibile rivestono un notevole interesse al fine della produzione di energia elettrica, in quanto presentano caratteristiche energetiche ed ambientali tali da renderne potenzialmente vantaggiosa l'adozione:

rendimento elettrico elevato, con valori che vanno dal 40-48% (riferito al potere calorico inferiore del combustibile) per gli impianti con celle a bassa temperatura, fino a raggiungere oltre il 60% per quelli con celle ad alta temperatura con ridottissimo impatto ambientale, sia dal punto di vista delle emissioni gassose che di quelle acustiche, il che consente di collocare gli impianti anche in aree residenziali, rendendo il sistema particolarmente adatto alla produzione di energia elettrica distribuita possibilità di cogenerazione (produzione associata di energia elettrica e calore):

il calore cogenerato può essere disponibile a diversa temperatura, in forma di vapore o acqua calda, ed impiegato per usi sanitari, condizionamento di ambienti, ecc.

Una delle centrali elettriche a "celle a combustibile" più grandi del mondo è quella che si trova presso il polo tecnologico della Bicocca a Milano (da 1,3 megawatt di potenza).



Della più grande centrale ad idrogeno del mondo. La Centrale ENEL di Fusina, a Venezia. 47 milioni di euro, l'investimento, per una potenza di circa 12 MW.

Come si trasporta l' idrogeno

Oltre a dover essere prodotto, l'idrogeno deve essere trasportato e conservato nei luoghi di consumo. Queste attività si rivelano particolarmente difficoltose, a causa delle caratteristiche di questo gas. Esso, infatti, è infiammabile, poco denso e si disperde nell'aria con molta facilità.

La conservazione e il trasporto sono quindi aspetti che rendono ancora difficile l'utilizzo dell'idrogeno su vasta scala.

Negli ultimi anni sono stati studiati e messi a punto diversi sistemi di stoccaggio sempre più efficienti e adatti a tutte le applicazioni.

L'idrogeno può essere accumulato e trasportato in forma gassosa, liquida oppure adsorbito su materiali speciali; ogni forma presenta aspetti favorevoli e svantaggi e tutte, se pur in gran parte già utilizzate, richiedono significativi sforzi di ricerca e sviluppo per un impiego su larga scala affidabile e economicamente competitivo (quindi, per esempio, per costruire una rete adeguata per il rifornimento degli autoveicoli).

L'accumulo di idrogeno compresso

Il modo più semplice ed economico per accumulare idrogeno è di utilizzarlo sotto forma di gas compresso a pressione di 200-250 bar (e oltre).

Le bombole con gas compresso rappresentano il sistema di trasporto più semplice ma limitato dal fatto che l'idrogeno necessita di contenitori molto voluminosi, fino a tre volte più grandi rispetto a quelli utilizzati per il metano e dieci volte rispetto a quelli per la benzina.

Quindi tale tecnologia risulta non facilmente proponibile per l'uso a bordo di auto tradizionali, a causa del peso ed ingombro dei serbatoi attualmente utilizzati, che rappresentano un limite all'autonomia e alla capacità di carico del veicolo.

Di recente notevoli progressi sono stati fatti con l'introduzione di serbatoi con struttura metallica o termoplastica rinforzata con fibre di carbonio, di vetro e altri materiali, che presentano un peso 3-4 volte inferiore a quello dei comuni serbatoi e che consentono di superare in gran parte gli inconvenienti dell'uso delle bombole tradizionali. Questi serbatoi sono in grado di operare a pressioni fino a 350 bar (potenzialmente fino a 700 bar) e consentono quindi di ottenere densità di accumulo di idrogeno adeguate all'uso a bordo di veicoli. **Le caratteristiche di sicurezza sono solitamente molto elevate grazie alla robustezza dei serbatoi e all'introduzione di fusibili antiscoppio in caso di incendio, e di valvole di interruzione del circuito in caso di urto.**



L'accumulo di idrogeno liquido

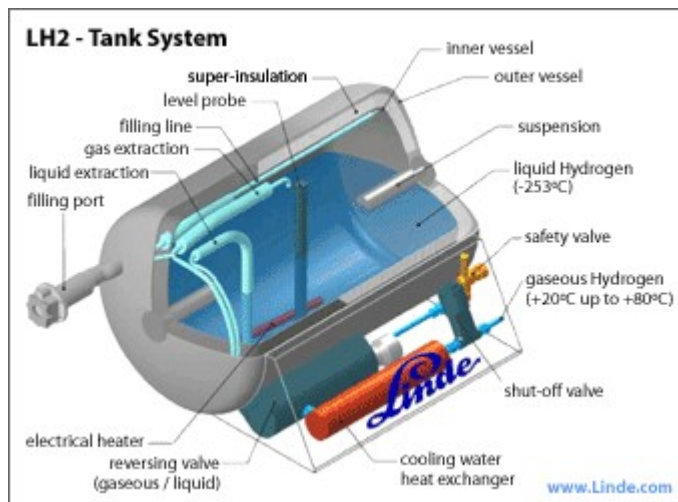
Per ovviare alla necessità di utilizzare grandi contenitori si può ricorrere all'idrogeno liquido, dato che in questo stato occupa un volume minore rispetto al metano.

Ma anche questo metodo presenta delle difficoltà: l'idrogeno diventa liquido a -253 gradi centigradi e per mantenerlo in questo stato occorrono serbatoi speciali e un grande dispendio di energia.

Esistono però ancora diversi problemi legati alla sicurezza (perdite durante il rifornimento o in caso di incidente, per esempio).

Per questo motivo i più moderni serbatoi per autoveicoli sono costituiti da due strati di acciaio molto resistente tra i quali viene creato il vuoto.

L'accumulo in forma liquida è forse la tecnologia che oggi meglio soddisfa, da un punto di vista teorico, le esigenze specifiche dell'autotrazione; tuttavia anch'essa presenta dei limiti.



A sfavore dell'idrogeno liquido giocano la maggiore complessità del sistema, non solo a bordo del veicolo, ma anche a terra, per la distribuzione e il rifornimento, ed i maggiori costi ad esso associati. Anche il costo energetico della liquefazione è considerevole, corrispondendo a circa il 30% del contenuto energetico del combustibile, contro un valore compreso tra il 4% e il 7% per l'idrogeno compresso.



L'accumulo chimico

Altre tecnologie sfruttano la capacità dell'idrogeno di legarsi a composti chimici o a metalli per facilitarne l'accumulo e il trasporto.

L'idrogeno può legarsi chimicamente con diversi metalli e leghe metalliche formando idruri, composti in grado di intrappolare idrogeno a pressioni relativamente basse (il gas penetra all'interno del reticolo cristallino del metallo) e di rilasciarlo ad alte temperature.

Tale tecnologia permette di raggiungere densità energetiche potenzialmente maggiori dell'idrogeno compresso e paragonabili con quelle dell'idrogeno liquido. Il volume di stoccaggio si potrebbe ridurre di 3-4 volte, rendendo possibile l'uso nelle autovetture, mentre l'energia specifica dipende dal peso specifico del metallo di base.

Le percentuali in peso dell'idrogeno sul peso del metallo variano dall'1% al 12,7% (idruro di litio), mentre per le comuni bombole tale percentuale è di poco superiore all'1%.

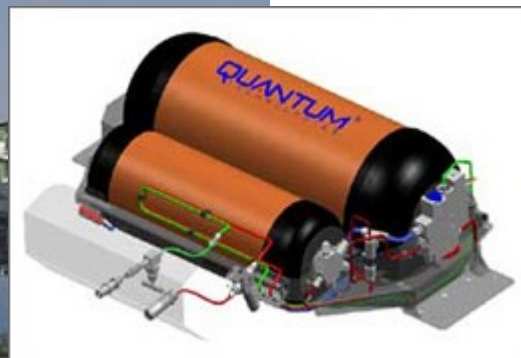
A fronte di queste caratteristiche positive esistono ancora numerosi problemi da superare per la realizzazione di sistemi di accumulo veramente competitivi. Per esempio, occorre lavorare ancora per migliorare la stabilità strutturale e termica del materiale, per rendere compatibili pressioni e temperature con le applicazioni previste.

Comunque, allo stato attuale, i materiali disponibili portano a sistemi di accumulo troppo pesanti: a parità di peso il veicolo presenta un'autonomia tre volte inferiore a quella ottenibile con idrogeno liquido o compresso con serbatoi di tipo avanzato.

Sono invece indubbi i vantaggi in termini di convenienza, compattezza, sicurezza.

In alternativa si possono trasportare molecole ricche di idrogeno dalle quali estrarre il gas solo dove e quando serve mediante un apparecchio detto reformer (ma in questo modo si ottiene anche una certa quantità di sostanze di scarto).

Esistono diverse molecole che potrebbero essere impiegate a questo scopo, come il metano (CH_4) e il metanolo (CH_3OH). L'uso di questi sistemi chimici è vantaggioso perché si potrebbero utilizzare strutture di trasporto e di immagazzinamento già esistenti. Benché promettenti, anche queste tecnologie presentano aspetti negativi: il metanolo, per esempio, è tossico. Ultimamente è allo studio un composto chimico, il sodio boroidruro, capace di legare molto idrogeno. Una soluzione acquosa, composta per metà da sodio boroidruro e metà da acqua, fornisce idrogeno con un rapporto energetico simile, in volume, a quello della benzina. Il sodio boroidruro privato dell'idrogeno si trasforma in borace, una sostanza presente nei comuni detersivi che può essere nuovamente utilizzata.



Accumulo in nanostrutture

Una tecnologia recentissima e ancora sperimentale per l'accumulo dell'idrogeno riguarda l'utilizzo di nanostrutture di carbonio (nanotubi e nanofibre di carbonio), strutture microscopiche di fibre di carbonio che permettono di immagazzinare al loro interno una certa quantità di idrogeno.

Scoperte all'inizio degli anni Novanta, stanno dimostrando buone capacità di adsorbimento dell'idrogeno, con risultati in alcuni casi sorprendenti.

Su questi materiali sono in corso ricerche da parte di numerosi gruppi di lavoro, ma i risultati ottenuti, spesso in contrasto fra loro, sono per il momento difficilmente confrontabili in quanto le esperienze sono state effettuate su campioni di materiale di diverso tipo, provati in condizioni di pressione e temperatura molto diverse tra loro.

La distribuzione

A seconda delle quantità interessate, l'idrogeno può essere trasportato per mezzo di autocisterne o con idrogenodotti.

Fra le due possibilità, entrambe praticabili con le tecnologie attuali, esistono grosse differenze di costo e quindi solo analisi tecnico-economiche per le singole applicazioni possono determinare quale sia di volta in volta la soluzione migliore.

L'esperienza accumulata nel settore della distribuzione del gas può essere utilizzata in maniera molto diretta anche per la realizzazione e l'esercizio di reti di distribuzione dell'idrogeno, grosso modo simili alle attuali reti per il gas naturale; le maggiori differenze potrebbero risiedere nei materiali utilizzati (alcuni acciai hanno migliore compatibilità con l'idrogeno) e nei criteri di progetto delle stazioni di pompaggio.

Infatti, l'idrogeno richiede una pressione di pompaggio tre volte superiore rispetto al metano, a causa della minore densità. Inoltre, se il diametro ideale dei gasdotti è di 1,4 metri, quello degli idrogenodotti è di 2 metri.

Comunque, sebbene abbia una densità energetica in volume minore di quella del gas naturale, l'idrogeno è meno viscoso, per cui, con un'adatta progettazione, l'energia necessaria per il suo pompaggio diventa paragonabile a quella richiesta per la stessa quantità di gas naturale.

Idrogenodotti di dimensioni significative sono attualmente presenti in diverse nazioni. Esiste una rete di circa 170 chilometri nella Francia del Nord, per un totale nell'intera Europa di più di 1500 chilometri. Il Nord America, poi, possiede più di 700 chilometri di condutture per il trasporto dell'idrogeno.

Reti di distribuzione per l'idrogeno liquido, invece, risultando particolarmente costose e di difficile gestione, sono state realizzate solo per applicazioni particolarmente specializzate, come il rifornimento di veicoli spaziali.

Utilizzare l'idrogeno

La produzione mondiale annua di idrogeno è di 500 miliardi di metri cubi, equivalenti a 44 milioni di tonnellate, ottenuti per il 90% dal processo chimico di reforming degli idrocarburi leggeri (principalmente il metano) o dal cracking di idrocarburi più pesanti (petrolio) e per il 7% dalla gassificazione del carbone. Solo il 3% proviene dalla elettrolisi.

L'idrogeno può essere utilizzato per produrre altri composti o come combustibile per produrre energia. In particolare, l'idrogeno prodotto è impiegato nell'industria chimica, per produrre ammoniaca, alcool metilico (metanolo), concimi per l'agricoltura e prodotti petroliferi, e nell'industria metallurgica per il trattamento dei metalli.

L'idrogeno è poi un ottimo combustibile che può essere utilizzato per produrre energia in due modi. Il primo metodo consiste nel bruciare l'idrogeno da solo, oppure aggiunto ad altri combustibili. Il secondo metodo consiste nel far reagire l'idrogeno in modo chimico con l'ossigeno (non bruciandolo), ottenendo direttamente energia elettrica attraverso un dispositivo chiamato cella a combustibile.

Il combustibile idrogeno

La combustione dell'idrogeno non presenta particolari problemi e dà luogo ad emissioni molto meno inquinanti rispetto ad altri combustibili. I prodotti della combustione con aria sono acqua, idrogeno incombusto e tracce di ammoniaca.

Quindi, se i motori delle automobili o le caldaie di casa venissero alimentate con questo gas, si potrebbe produrre energia evitando le emissioni di sostanze nocive. Inoltre, qualsiasi altro combustibile miscelato con l'idrogeno migliora la combustione e il suo rendimento.

Per questo motivo negli Stati Uniti è stato sperimentato l'utilizzo di metano con l'aggiunta del 15% in peso di idrogeno, definito commercialmente Hythane.

Effetti sull'ambiente

Dalla reazione di idrogeno con ossigeno risulta teoricamente solo acqua demineralizzata e anche la sua combustione in motori e in turbine a gas produce emissioni inquinanti in quantità minime e trascurabili.

Con la temperatura di combustione aumentano le emissioni di NOx in modo esponenziale, ma queste possono essere controllate con un'adeguata regolazione della temperatura.

Usando celle a combustibile che funzionano a bassa temperatura (per esempio PEM), l'emissione di sostanze inquinanti è praticamente zero, ma anche le emissioni da celle a combustibile ad elevata temperatura sono fino a 100 volte minori rispetto a quelle prodotte da impianti convenzionali.

Nella valutazione dell'impatto ambientale si deve però sempre considerare l'intera catena cominciando dall'energia primaria fino all'uso finale.

I veicoli a idrogeno



L'intervento in questo settore è orientato allo sviluppo sia di motori a combustione interna, sia di motori a celle a combustibile, questi ultimi essenziali per un sistema di trasporto a minimo impatto ambientale.

Nel primo caso si tratta di un motore con cilindri e pistoni, che brucia idrogeno invece di benzina o gasolio e non costringe a ripensare la tecnologia dei motori a scoppio.

Nel secondo caso si tratta di una tecnologia in cui le celle a combustibile producono corrente e alimentano dei motori elettrici.

Uno dei vantaggi dell'uso di celle a combustibile per la trazione di veicoli è il loro rendimento energetico; infatti, la percentuale che risulta effettivamente utilizzabile per il movimento del veicolo è di oltre il 50% dell'energia prodotta dal carburante mentre, nei motori a benzina, si raggiunge al massimo il 40%. Inoltre, nel traffico urbano il rendimento energetico dei veicoli ad idrogeno risulta circa il doppio di quello delle auto classiche. Infine il materiale di scarico è costituito da solo vapore acqueo, quindi con un impatto ambientale pressoché nullo.

L'idrogeno può essere fornito alle celle di un veicolo da un serbatoio dove è conservato allo stato liquido, oppure gassoso.



In alternativa può essere estratto da idrocarburi, come metano o metanolo direttamente a bordo mediante un reformer.

Attualmente è allo studio la possibilità di sfruttare il boridato di sodio e l'olio di girasole.

Le caratteristiche delle celle a combustibile permettono inoltre la realizzazione di veicoli con taglie anche molto diverse (dalle bici all'auto, all'autobus, alle motrici ferroviarie) con la stessa tecnologia e con caratteristiche di prestazioni, consumi ed impatto ambientale equivalenti.

Attualmente molte case automobilistiche stanno realizzando modelli sperimentali di automobili e di autobus a idrogeno (vedi immagine "Bus con impianto idrogeno").

Alcuni prototipi già circolano in diverse città italiane ed estere.

Il problema per lo sviluppo dei veicoli a idrogeno, oltre a quello della produzione di tale combustibile, è che manca una rete di distribuzione e di stazioni di rifornimento per questo gas.

Oggi i distributori di idrogeno sono una rarità come i due solitari di Berlino, di Monaco e quello che si sta realizzando a Milano e che sorgerà vicino alla centrale a "celle a combustibile" della Bicocca.

Tra i problemi tecnologici, uno dei più critici è il sistema di accumulo dell'idrogeno a bordo, che condiziona pesantemente l'autonomia del veicolo a causa dell'eccessivo peso e ingombro dei serbatoi attuali.

Prototipi di autoveicoli a idrogeno

Un prototipo all'avanguardia e già in commercio è l'autoveicolo che utilizza un serbatoio di idrogeno puro a 250 atmosfere, con una velocità superiore ai 150 chilometri all'ora, ma con un'autonomia limitata.

Un altro autoveicolo all'avanguardia si basa sul concetto di "sistema integrato": si tratta di un sistema di serbatoi cilindrici ad alta pressione in fibra di carbonio che permettono una buona autonomia anche utilizzando idrogeno compresso, cosa che non è possibile per altri prototipi che utilizzano lo stesso sistema di carburante con serbatoi in metallo.

Uno dei più recenti prototipi di autoveicolo utilizza come carburante un sale (NaBH_4 = sodio boridruro, detto anche boridruro di sodio ed impropriamente anche sodio boridrato o boridrato di sodio): questa "acqua salata" (non tossica e non infiammabile), fatta passare per un sistema catalitico, rilascia idrogeno "su domanda", cioè l'idrogeno viene prodotto al momento del bisogno per cui l'idrogeno "libero" nel sistema è presente in parti minime, limitando a zero i rischi di incendi e/o esplosioni. Il carburante "processato" viene recuperato in un altro serbatoio sotto forma di borace,



Un composto chimico simile al sapone, anche questo non tossico e riciclabile industrialmente in nuovo carburante (in teoria basta aggiungere idrogeno), una tecnologia che potrebbe essere considerata ottimale se sarà messo a punto un sistema a costi ragionevoli.

Il veicolo ha una autonomia superiore ai 500 chilometri e una velocità superiore ai 150 chilometri all'ora.

La questione sicurezza

Esistono ancora molte perplessità per gli aspetti di sicurezza a causa della poca familiarità con questo vettore energetico. **Tuttavia un'analisi più attenta ridimensiona il concetto di pericolosità dell'idrogeno.**

Questo gas è meno infiammabile della benzina (ha una temperatura di autoaccensione maggiore). L'idrogeno è il più leggero degli elementi e perciò si diluisce e si disperde molto rapidamente in spazi aperti.

E' praticamente impossibile farlo detonare, se non in spazi confinati (per individuare concentrazioni potenzialmente pericolose si utilizzano sensori che possono facilmente comandare adeguati sistemi di sicurezza).

Inoltre, quando brucia, l'idrogeno si consuma molto rapidamente, sempre con fiamme dirette verso l'alto.

Per contro materiali come la benzina, il gasolio, il GPL o il gas naturale sono più pesanti dell'aria e, non disperdendosi, rimangono una fonte di pericolo per tempi molto più lunghi.

E' stato calcolato che l'incendio di un veicolo a benzina dura 20 – 30 minuti, mentre per un veicolo a idrogeno non dura più di 1–2 minuti. Inoltre, nel caso di fiamme da idrogeno, vi sono poche possibilità che materiali vicini possano essere a loro volta incendiati, riducendo così, oltre alla durata dell'incendio, anche il pericolo di emissioni tossiche.

L'idrogeno, al contrario dei combustibili fossili, non è tossico, né corrosivo ed eventuali perdite dai serbatoi non causano problemi di inquinamento del terreno o di falde acquifere sotterranee.

L'OSSIDROGENO

L'**ossidrogeno** è una miscela di gas di idrogeno e ossigeno tipicamente nella proporzione atomica di 2 a 1, la stessa dell'acqua.

A temperatura e pressione normali il campo d'infiammabilità dell'ossidrogeno si estende tra il 4% e il 94% di volume in idrogeno con una fiamma alla temperatura di circa 2000 °C.

L'ossidrogeno brucia (trasformandosi in vapore acqueo e rilasciando l'energia che sostiene la reazione) quando viene portato alla sua temperatura di autoignizione.

La quantità di calore sviluppato, secondo Julius Thomsen, è di 34,116 calorie per ogni grammo di idrogeno bruciato.

Sono state inventate molte forme di lampade all'ossidrogeno, come le lampade di calce, che utilizzavano una fiamma all'ossidrogeno per scaldare un pezzo di calce ad alta temperatura per renderla luminosa.

La natura esplosiva della miscela di gas le resero tutte più o meno pericolose; furono quindi sostituite da illuminazione elettrica.

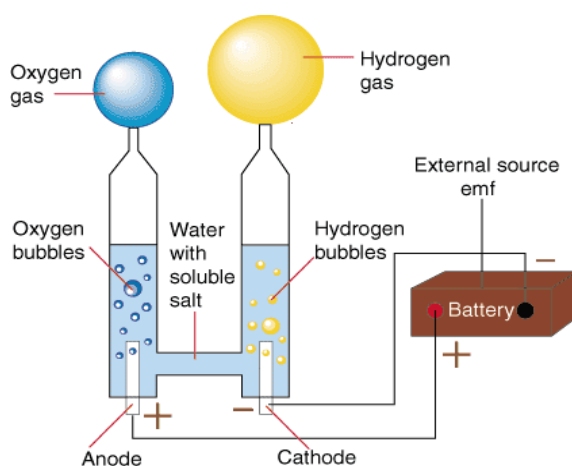
L'ossidrogeno è stato in passato molto usato nelle lavorazioni del platino, poiché la temperatura di fusione di questo elemento (1768,3 °C) si poteva raggiungere solo con una fiamma all'ossidrogeno, o, sistema oggi prevalentemente usato, in un forno elettrico ad arco.

Saldatura all'ossidrogeno

La "saldatura all'ossidrogeno" è un metodo di saldatura che brucia idrogeno (il carburante) con l'ossigeno (il comburente).

Viene usata per tagliare e saldare metallo, vetro e termoplastica.

La fiamma all'ossidrogeno viene usata nell'industria del vetro per la lucidatura al fuoco, un metodo di lucidatura del vetro che consiste nel fondere la parte più superficiale del vetro per rimuovere graffi e imperfezioni.



Generatore secondo il modello di Brown

Alcuni modelli di fiamma ossidrica ad acqua mescolano i due gas immediatamente dopo la loro produzione (invece che nell'ugello della torcia) rendendo la miscela più accurata.

Questo modello di elettrolizzatore viene chiamato *a canale comune* e il primo venne inventato da William A. Rhodes nel 1966.

Il gas Ossidrogeno prodotto in un elettrolizzatore a condotto comune viene solitamente chiamata *gas di Brown*, dal nome di Yull Brown che ricevette un brevetto per un elettrolizzatore a condotto comune con celle in serie nel 1977 e 1978 (il termine "gas di Brown" non viene utilizzato nei suoi brevetti, ma viene detto "miscela di idrogeno e ossigeno").

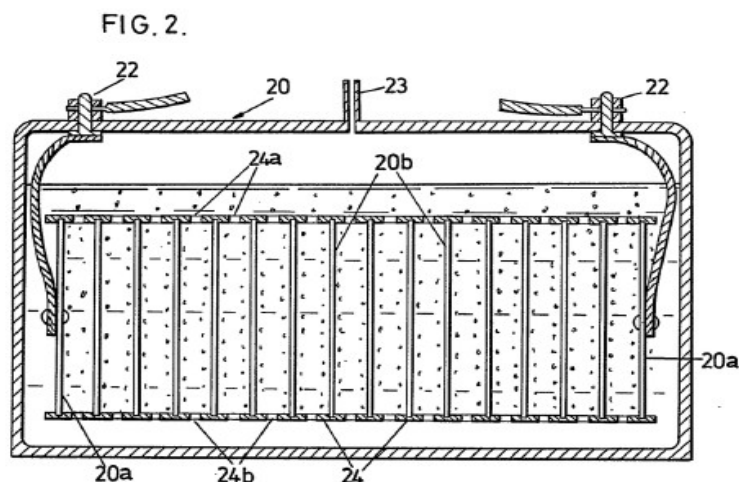
Le torce di Brown utilizzavano anche un arco elettrico per incrementare la temperatura della fiamma (metodo chiamato "saldatura atomica"):

Un arco elettrico viene fatto passare attraverso la miscela del gas prima che bruci, in modo tale che le molecole del gas stesso si spezzino in ossigeno e idrogeno atomici, utilizzando l'energia elettrica per produrre una fiamma più calda nel momento in cui gli atomi si ricombinano.

L'elettrolizzatore di Brown era costituito in questa maniera:

le celle sono poste adiacenti una accanto all'altra in una camera elettrolitica comune e sono come una singola unità nella quale vi sono un numero di elettrodi in serie. La camera è provvista di uno spazio per la raccolta del gas e di un'uscita per collegarvi, ad esempio, strumenti che lo bruciano. Inoltre devono essere collegati ad una fonte energetica esterna soltanto gli elettrodi terminali, facendo sì che il sistema sia realizzabile in modo estremamente efficiente e compatto. In più, con una tale sistemazione, si può eliminare la necessità di un trasformatore per molte delle applicazioni, in modo da poter collegare l'apparato direttamente ad una presa elettrica, se desiderato attraverso un ponte di diodi.

Eliminando la necessità di un trasformatore si può rendere il sistema di generazione del gas sorprendentemente compatto, ben adatto sia per usi domestici che industriali.



Il modello con celle in serie di Yull Brown.^[4] Notare la fonte energetica collegata soltanto alle due piastre esterne. Notare anche il singolo condotto di uscita del gas, caratteristica significativa e predominante dell'elettrolizzatore di Brown.

IL PROTOTIPO SPERIMENTALE DI TOMMASETTI FABRIZIO

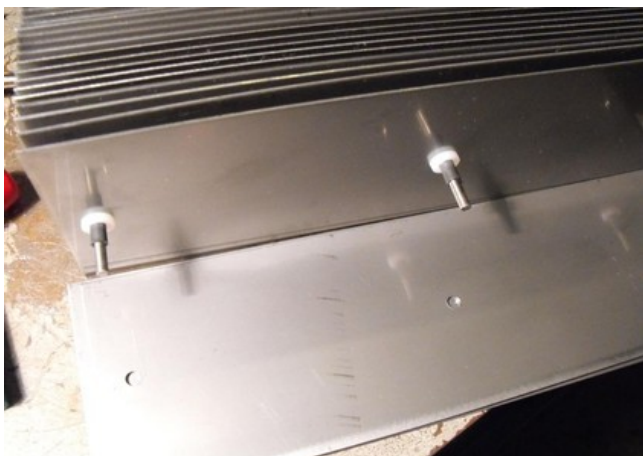
Fiamma ossidrica ad acqua

Una "fiamma ossidrica ad acqua" è una fiamma all'ossidrogeno che viene alimentata con ossigeno e idrogeno ottenuti sul momento da elettrolisi dell'acqua, evitando la necessità di bombole contenenti ossigeno e idrogeno.

Le fiamme ossidriche ad acqua devono essere progettate per mitigare il ritorno di fiamma rendendo la camera elettrolitica sufficientemente resistente.

L'uso di un apparato a bolle in acqua intermedio rende gli effetti del ritorno di fiamma irrilevanti, mentre uno strumento simile a secco non sarebbe efficace a causa della velocità della fiamma.

Il modello di seguito è stato realizzato da Fabrizio Tommasetti utilizzando per la maggior parte pezzi riciclati.

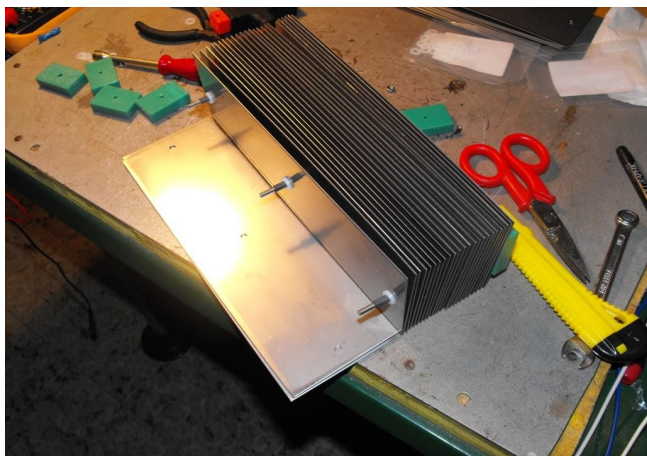


Per ottenere l'effetto elettrolisi, i lamierini in acciaio inox devono essere forati per permettere il fissaggio tramite un perno filettato (sempre dello stesso materiale).

Nell'immagine si notano le rondelle in nylon che permettono l'isolamento delle piastre evitando corto circuiti tra gli elementi.

I lamierini sono stati ricavati tagliando un foglio di lamiera di acciaio inox.

La scelta del materiale è ottima visto che l'acciaio inox resiste alla corrosione e non si deforma con il calore generato durante il processo di elettrolisi.

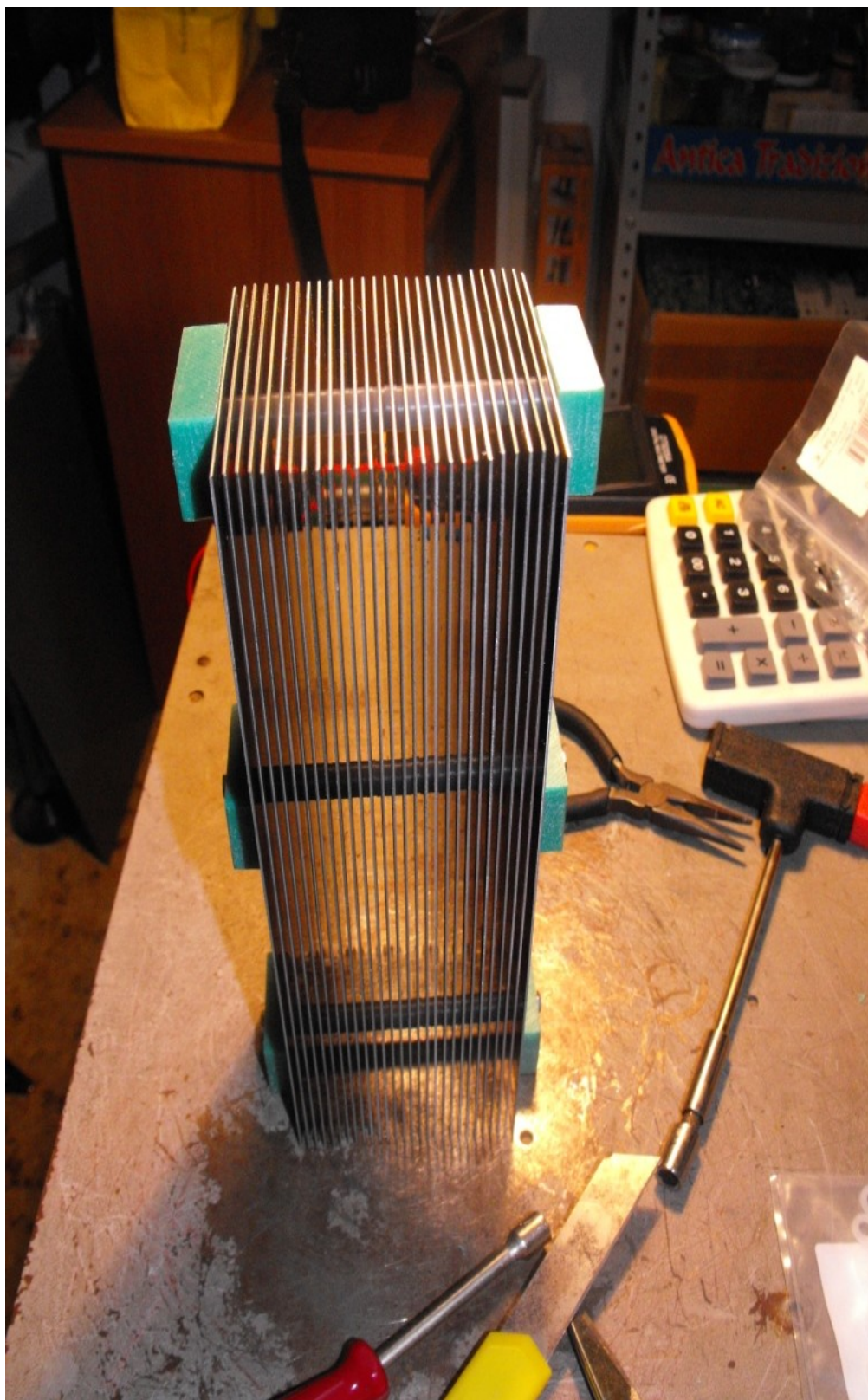


To get an electrolysis effect, the metallic iron sheets have to be perforated in order to allow the fixing by means of threaded hinge (of the same material).

In the picture, the nylon washers are visible: they allow the plate isolation avoiding short circuits between the elements.

The metallic iron sheets have been obtained cutting a big metallic iron sheet.

The material chosen is excellent, due to the big resilience of the iron to the corrosion and to the buckle due to the high temperature generated during the electrolysis process.



A sinistra il dettaglio delle piastre in acciaio. Si notano i distanziali in gomma per evitare vibrazioni durante l'elettrolisi.

On the left the iron plate detales with plastic isolations



Il pacco piastre, che sono il cuore principale del generatore, devono essere alloggiati in un contenitore che non faccia reazione durante il processo di elettrolisi dell'acqua.

Tra le 1000 soluzioni possibili, è stata scelta una delle più economiche e funzionali: uno scarto di tubo di scarto in polipropilene con diametro di 120 mm.

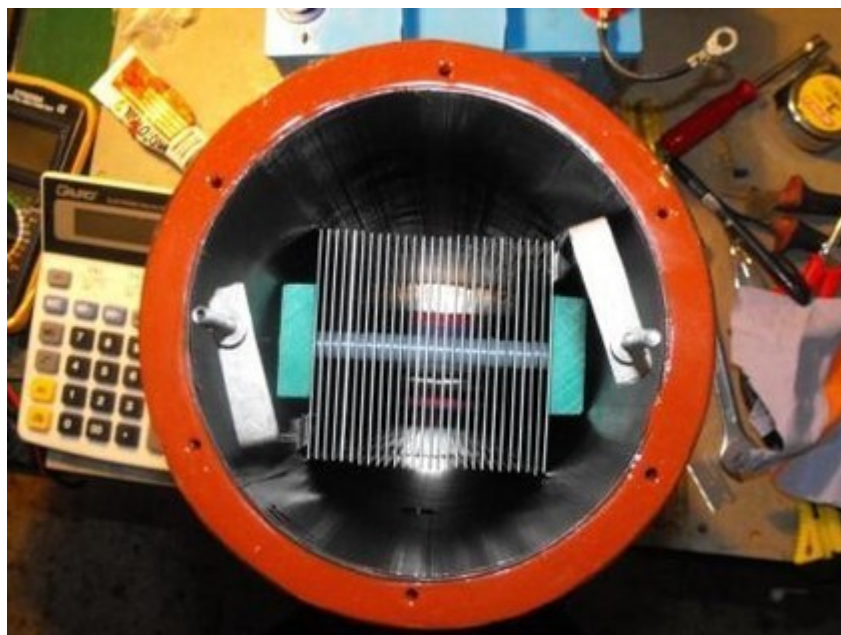
The plates, that represent the generator heart, have to be placed in a case which not induce a reaction during the electrolysis process of the water.

The more economic and functional solution has been chosen: a waste pipe made of polypropylene with a diameter of 120 mm.

In questa foto si vede il corpo piastre. Per sigillare il contenitore (al fine di evitare fughe d' idrogeno vista la sua volatilità) è stato usato del silicone rosso, adatto per sigillare corpi che tendenzialmente possono arrivare ad alta temperatura.

In this picture the body plate is visible.

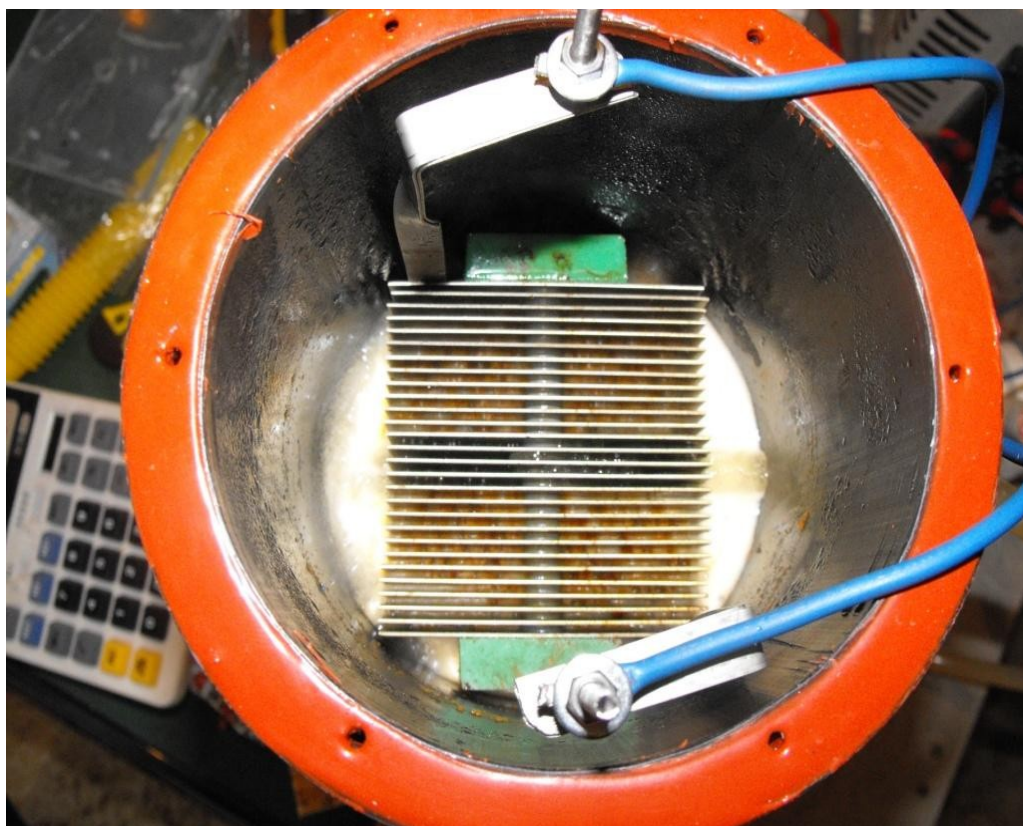
To seal up the case (in order to avoid hydrogen leakage, due to its volatility) a red silicon has been used, suitable to seal up bodies that could arrive to an high temperature.





Collaudo del funzionamento. Si vede chiaramente la formazione di schiuma. Per evitare che quest'ultima s'incanali nel tubo di uscita dell'ossidrogeno e' stata utilizzata una spugna come frangi bolle.

Per ottenere l'elettrolisi e' stata utilizzata direttamente la tensione di rete, (raddrizzata tramite un ponte diodi) assorbendo una potenza minore di 2000 watt. L'assorbimento e' proporzionale alla conducibilit'a della soluzione chimica utilizzata.



Functional test. Foam formation is clearly visible. In order to avoid that the foam converges in the pipe where the oxydogen is carried out, a sponge has been used as filter.

In order to get the electrolysis, the high voltage has been directly used (staighen-up by means of diodes bridge) absorbing a power less then 2000 W. The absorpsion is proportional to the used chemical solution conductivity.



Una volta collaudato il pacco piastre, si chiude utilizzando un ritaglio di teflon (o altro materiale plastico) fissato con delle viti al contenitore in polipropilene.

Si può notare il tubo dove fuoriesce l'ossidrogeno e l'altro collegato a uno strumento per la misura della pressione.

Gli elettrodi sono collegati alle piastre tramite dei bulloncini in acciaio inox.

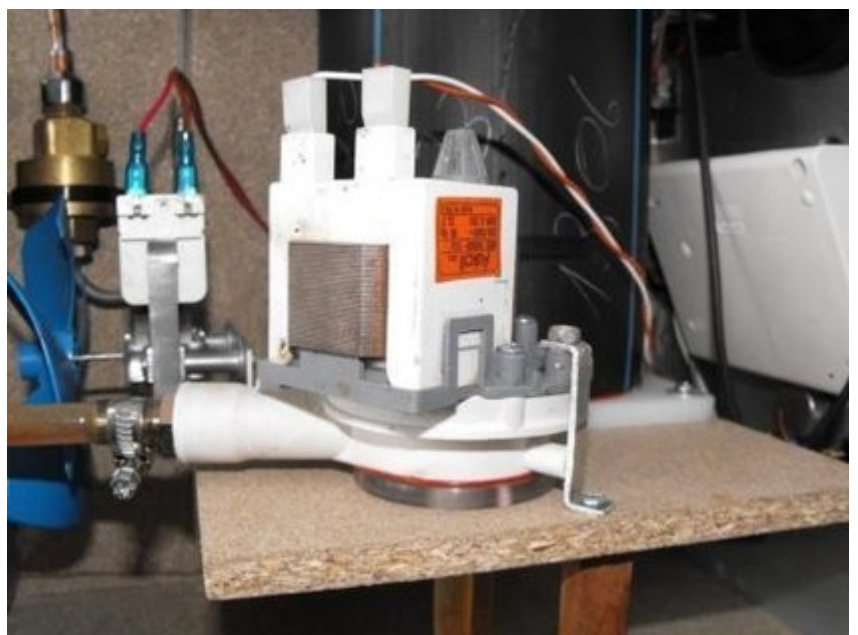
Once the body plates has been tsted, it is closed with a teflon scrap (or other plastic material) fixed with screws to the propylene case.

The pipe where the oxydogen is carried out and the other one connected to a pressure measurement instrument are visible in the picture.

The electrodes are connected to the plates via little metallic iron nutcases.

Per dissipare il calore, generato durante l'elettrolisi, la soluzione di acqua distillata e bicarbonato (si possono utilizzare anche altre soluzioni chimiche), viene fatta circolare in un circuito chiuso con un radiatore tramite una pompa di recupero di una vecchia lavatrice.

In order to dissipate the heat, generated during the electrolysis, the solution of distilled water and bicarbonate (even using other chemical solution), is driven in a close circuit with a radiator by means of a pump of an old wash machine.





Il radiatore per il raffreddamento dell'acqua.

The radiator for the water cooling.



Per convogliare aria fredda sul radiatore e' stata utilizzata una ventolina di raffreddamento posta di fronte al radiatore recuperata da un forno a microonde.

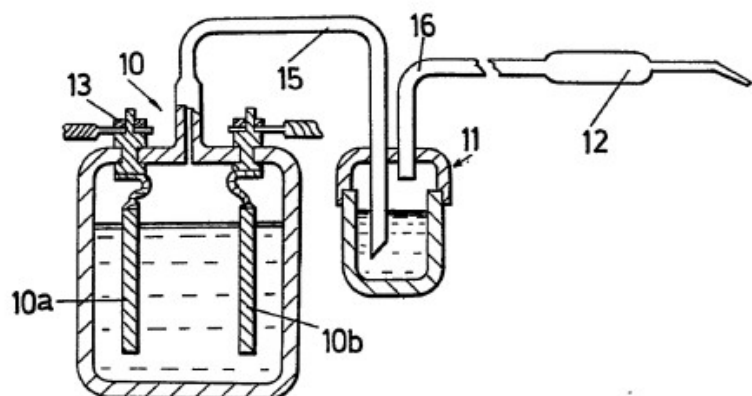


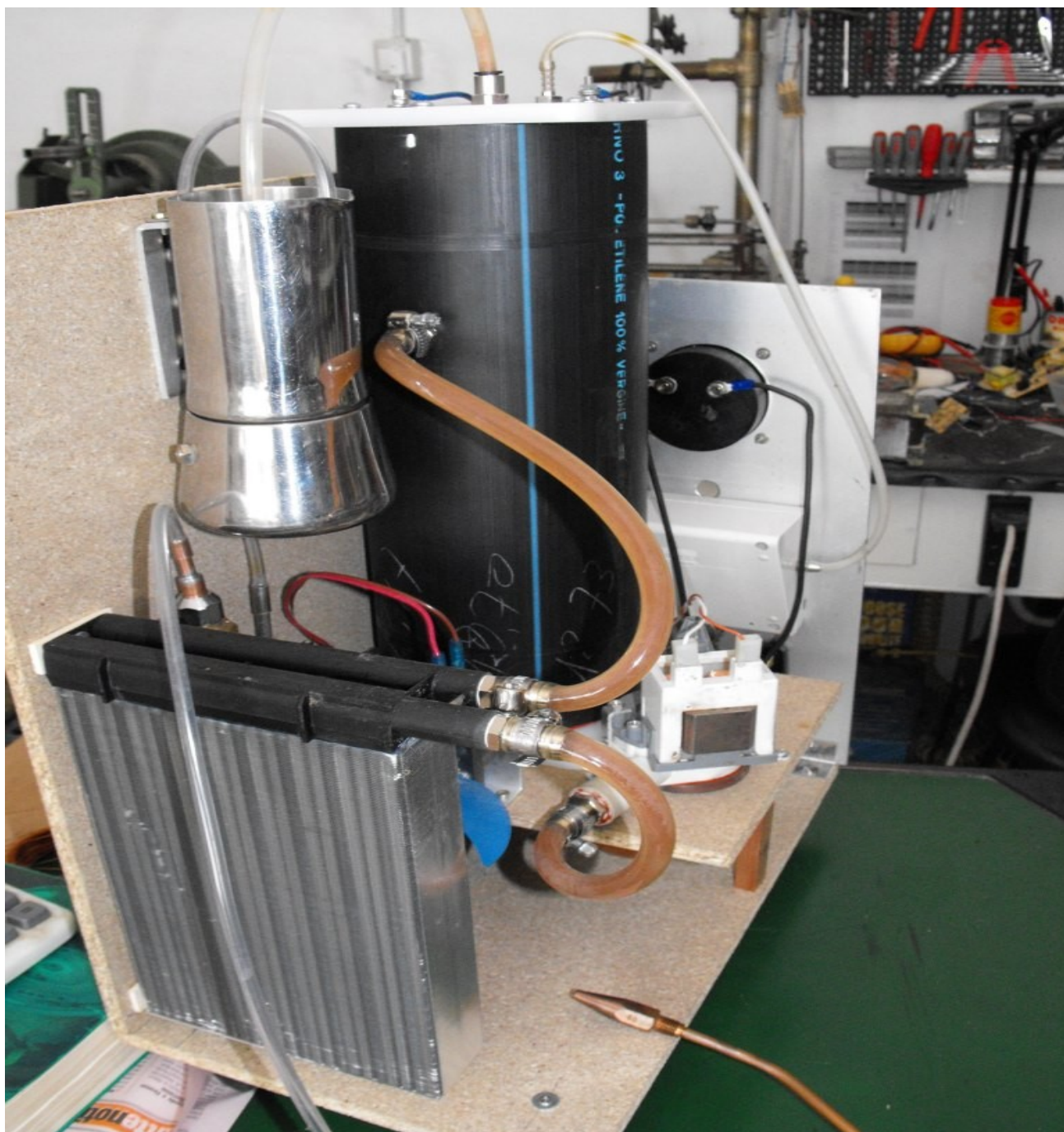
Come protezione si utilizzano una valvola antiritorno di fiamma del tipo da fiamma ossidrica e una vecchia caffettiera in acciaio inox.

As a protection, a backstop flame valve (blowtorch type) and an old iron coffee maker, are used.

Un ulteriore protezione contro il ritorno di fiamma realizzato da una vecchia moka di acciaio inox.
Sotto lo schema di principio.

One more protection against the flame return realized by means of an old iron moka.
Here below the diagram.





In questa fotografia si possono notare i particolari descritti.

This picture shows the details above described.



Il semplicissimo circuito elettronico per la regolazione della tensione di alimentazione.

The simple electronic circuit for the power voltage control.

Cannello autocostruito con pezzi di recupero.

Small pipe selfmade with spar parts.





Ed in fine gli occhiali di protezione molto importanti soprattutto quando si gioca con lamiera di ferro e vetro.

At the end, the protection glasses, very important especially when You are playing with metal sheet and glass.

Gli occhiali di protezione da usare per la saldatura

The protection glasses to be used for the soldering.



RINGRAZIAMENTI



A special thanks to Fabrizio for his genius able to build something in the most simple way.

Thanks to **NEF-PC Consulting**, too for the english translation.

Salvatore Grimaldi too, for the cover picture.

Un grazie a Fabrizio per la sua genialità nel costruire nel più semplice dei modi possibili permettendo a chiunque la realizzazione di questa invenzione che pur essendo "antica" e' molto utile per saldare e tagliare i materiali.

Grazie anche a **NEF-PC Consulting** per la traduzione in inglese e anche a Salvatore Grimaldi per la foto di copertina

