

UN AGGIORNAMENTO SULLA SICUREZZA ANTINCENDIO DEI VEICOLI AD IDROGENO

I veicoli ad idrogeno fanno parte dei cosiddetti veicoli alimentati con combustibili alternativi, cioè tutti quelli diversi dai combustibili tradizionali come benzina o gasolio. Si tratta di una grande varietà di tipologie diverse, che vanno dai veicoli a GPL, a metano, elettrici, ibridi, ecc., e comprendono biciclette, motociclette, autobus e forse in un prossimo futuro anche camion. Già da molti anni sono in circolazione auto a metano o a GPL, dopo decenni di oblio sono prepotentemente tornate di moda le auto elettriche, in alcuni paesi sono molto diffuse le auto ad alcool (etanolo), ora si affacciano sul mercato anche le auto ad idrogeno.

In questo articolo troverete una breve spiegazione dei vari tipi di veicoli alimentati ad idrogeno, i loro principi di funzionamento, i principali vantaggi e svantaggi di questa tecnologia, ed anche quanto è per ora possibile sostenere in merito alla sicurezza antincendio dei veicoli alimentati ad idrogeno.

I veicoli ad idrogeno con motore termico.

All'estero sono già in vendita alcuni modelli di auto alimentate ad idrogeno, mentre in Italia fino a poco tempo fa c'erano alcuni ostacoli di tipo normativo attualmente in via di superamento. Le bombole di idrogeno sono caricate a 700 bar, mentre in Italia la pressione massima ammessa era di 350 bar: si attende a breve un aggiornamento della normativa, già annunciata dal D.Lgs. 257/2016.

Per procedere alla valutazione del rischio incendio di un veicolo ad idrogeno, occorre prima distinguere i due principali tipi di utilizzo dell'idrogeno. Una decina di anni fa BMW provò con successo una vettura che utilizzava l'idrogeno come semplice carburante all'interno di un motore "tradizionale" a combustione interna, abbastanza simile ad un normale motore a benzina a ciclo Otto. I pochi esemplari della BMW Serie 7 non furono messi in vendita al pubblico bensì assegnati in prova a persone selezionate. Il principio di funzionamento era dunque concettualmente piuttosto semplice, ma la realizzazione non era semplice per nulla. La vettura, già di per sé un modello piuttosto grande e pesante, era resa ancora più pesante da tutti i dispositivi che erano a servizio dell'idrogeno, quali per esempio i serbatoi. Essi contenevano idrogeno liquido, che deve essere conservato a temperature non superiori a -253°C, vicino allo zero assoluto. Ciò ovviamente comportava una serie di problemi di isolamento termico e di conservazione dell'idrogeno, problemi di non semplice risoluzione. Il risultato è che la vettura percorreva circa 2 Km con 1 litro di idrogeno.

Inoltre, come tutti i serbatoi criogenici, il serbatoio di idrogeno liquido non era stagno. Infatti dato che, in assenza di un meccanismo di raffreddamento continuo, qualsiasi siano i dispositivi adottati per l'isolamento termico prima o poi il contenuto del serbatoio si scalda, ne consegue che all'interno del serbatoio la pressione aumenta, con pericolo di esplosione. Dunque in tutti i serbatoi criogenici è sempre presente una apertura o una valvola di sfogo: l'aumento di temperatura produce l'evaporazione di una parte del liquido, la pressione aumenta, la valvola si apre, un po' di gas esce, la pressione scende, la temperatura scende e si conserva al livello desiderato. In questo modo, però, a poco a poco l'idrogeno del serbatoio tende a fuoriuscire tutto, e dopo alcuni giorni il serbatoio sarà vuoto; e magari il box dove abbiamo parcheggiato l'auto sarà pieno di idrogeno.

In realtà occorre precisare che l'idrogeno, essendo molto leggero e volatile, si accumula con difficoltà ed anzi tende a disperdersi facilmente. Ad ogni modo, il problema dell'inevitabile rilascio nel tempo dell'idrogeno liquido, con conseguente emissione di gas infiammabile nell'ambiente, dovrà essere tenuto in considerazione

nella valutazione della possibilità che le auto ad idrogeno liquido possano o meno parcheggiare nelle autorimesse al chiuso. Naturalmente sempre che questa tipologia costruttiva ritorni di moda.

Al contrario, con idrogeno gassoso compresso in bombole stagne non sussiste il problema del rilascio progressivo di gas in ambiente.

Una nota finale: i veicoli che utilizzano idrogeno in un motore a combustione interna non sono del tutto privi di emissioni gassose nocive in atmosfera. Infatti la combustione dell'idrogeno con ossigeno produce soltanto acqua solo se l'ossigeno è puro: se nel motore viene immessa aria, dove l'ossigeno costituisce circa il 21% ed il resto è in gran parte costituito da azoto, quest'ultimo, durante la combustione, produce una certa quantità di ossidi di azoto.

I veicoli ad idrogeno a celle di combustibile.

Le fuel-cell, o celle a combustibile, o pile a combustibile, funzionano in maniera completamente diversa.

Il principale vantaggio delle fuel-cell è l'efficienza: il Principio di Carnot, o secondo principio della termodinamica, insegna che se si considera una macchina termica che opera fra due temperature T_1 e T_2 , con $T_1 > T_2$, il rendimento massimo è $\eta_{\max} = 1 - T_2/T_1$. Dunque una macchina che opera fra due temperature molto vicine avrà efficienza molto bassa, ma in ogni caso non è mai possibile ottenere una efficienza del 100%. Ed infatti, i motori a ciclo Otto a benzina hanno un rendimento intorno al 28%; i motori a benzina a ciclo Atkinson (che in realtà bisognerebbe chiamare più correttamente a ciclo Miller, largamente utilizzati nelle auto ibride), a fronte di una minore potenza massima rispetto ai motori a ciclo Otto hanno una efficienza che può arrivare al 35-40%; i motori diesel hanno una efficienza intorno al 40%, sebbene taluni motori speciali arrivino al 50%; le turbine a gas arrivano perfino al 60%. Ebbene le fuel-cell arrivano al 60%, oltre a presentare una serie di altri vantaggi.

Ma come funziona una cella a combustibile?

La cella a combustibile si basa, anziché sulla combustione, sulla reazione elettrochimica in cui si spezzano le molecole del combustibile in ioni positivi e negativi (elettroni)¹. Questi ultimi vengono fatti transitare in un apposito circuito in modo da creare una corrente continua. L'idrogeno H_2 è particolarmente adatto a questo scopo, perché il legame fra i due atomi che compongono la sua molecola è relativamente debole. Per permettere la reazione elettrochimica è necessario ossigeno, che viene prelevato dall'aria esterna. La corrente elettrica prodotta va ad alimentare un motore elettrico di trazione.

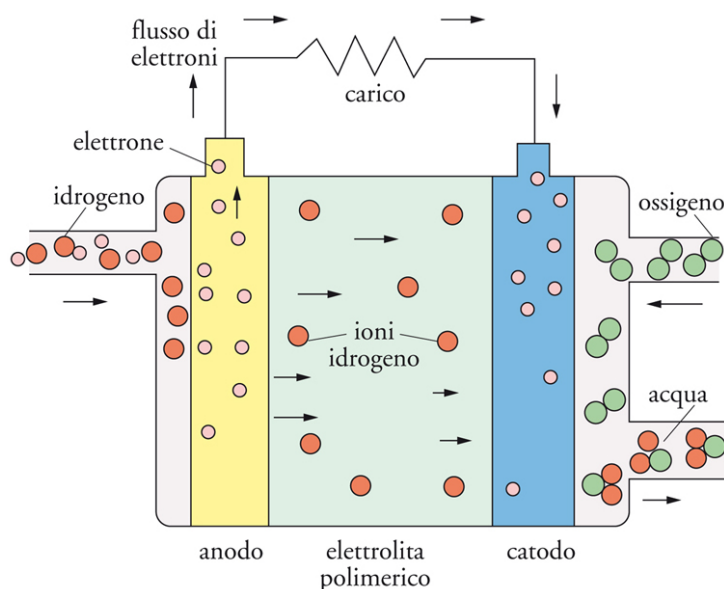
I prodotti di scarto della cella a combustibile sono calore e ... acqua! Infatti combinando chimicamente H_2 e O si ottiene proprio H_2O , con una produzione di qualche litro ogni 100 km. Quindi ecco un ulteriore vantaggio: i veicoli a fuel-cell non inquinano. Per lo meno non presentano emissioni nocive in atmosfera mentre, come si vedrà, normalmente il processo di produzione dell'idrogeno è inquinante. Vediamo allora più nel dettaglio vantaggi e svantaggi di questa tecnologia rispetto ad un veicolo alimentato tradizionalmente, per esempio a benzina.

Vantaggi	Svantaggi
Maggiore efficienza termodinamica	Presenza di bombole ad alta pressione
Silenziosità (vantaggio per conducente, passeggeri, ambiente)	Silenziosità (pericolo per i pedoni)
Emissioni in atmosfera assenti (solo acqua)	Alta infiammabilità dell'idrogeno
Tempo per il rifornimento paragonabile ai veicoli	Costo iniziale di acquisto

¹ Il metodo più utilizzato è la cosiddetta pila a scambio protonico. Una analisi dettagliata del funzionamento elettrochimico delle pile a combustibile esula dallo scopo del presente articolo.

tradizionali	
Autonomia paragonabile ai veicoli tradizionali	Scarso numero di distributori
Rispetto per l'ambiente	Costo di percorrenza stradale
	Attuale procedimento di produzione dell'idrogeno mediante reforming del metano

Insomma, a fronte di alcuni svantaggi, che ora passeremo ad esaminare, pare che i veicoli a fuel-cell presentino diversi vantaggi. Ma alcuni dei vantaggi sopra elencati meritano un approfondimento.



SCHEMA SEMPLIFICATO DI FUNZIONAMENTO DI UNA FUEL-CELL

Cominciamo dal rispetto dell'ambiente. Il giorno in cui sarà economicamente conveniente estrarre l'idrogeno dall'acqua mediante elettrolisi, magari grazie ad energia solare o eolica, allora sarà possibile sostenere che il rispetto dell'ambiente è massimo. Nel frattempo, corre l'obbligo di ricordare che l'idrogeno è normalmente ottenuto dal revamping (o reforming) del gas metano CH_4 , cioè un combustibile fossile. Fra l'altro, il bilancio energetico del processo è negativo, come è inevitabile che sia, e parte dell'energia totale contenuta nel metano viene dispersa durante la produzione di idrogeno. Ad ogni modo il procedimento non è esente da produzione di CO_2 , impatto ambientale, consumo di combustibili fossili.

Sul fronte dei tempi di rifornimento le notizie sono molto incoraggianti. Al contrario di quanto avviene per le auto elettriche, che ancora oggi sono caratterizzate da tempi di ricarica molto lunghi, nell'ordine di grandezza delle ore (o, al massimo e solo in caso molto particolari, nell'ordine di molte decine di minuti), le auto ad idrogeno hanno tempo di rifornimento del tutto analoghi a quelli delle auto tradizionali, misurabili in minuti.

È proprio il problema del tempo necessario alla ricarica delle batterie, insieme al problema del ridotto numero di colonnine di ricarica, che frena lo sviluppo della mobilità elettrica, almeno in Italia. Invece le auto ad idrogeno già oggi, agli albori di questa tecnologia, possono ritenersi soddisfatte dal punto di vista dei tempi di rifornimento. D'altra parte il numero di stazioni di rifornimento è di gran lunga inferiore al numero di colonnine di ricarica elettrica. In tutta Italia oggi esiste una sola (dicesi una sola!) stazione di rifornimento di idrogeno a Bolzano, molto opportunamente situata in Via Enrico Mattei.



LA STAZIONE DI RIFORNIMENTO DI IDROGENO DI BOLZANO.

Un ulteriore vantaggio delle auto ad idrogeno, rispetto alle auto tradizionali, è la silenziosità: in questo le auto ad idrogeno sono simili alle auto elettriche pure (EV). Le celle a combustibile non producono rumore in quantità rilevante: nel caso della Toyota Mirai, oltre al rumore aerodinamico e dovuto al rotolamento degli pneumatici, l'unico generatore di (poco) rumore è dato dal compressore che immette aria, cioè ossigeno, nelle celle.

Un altro vantaggio, rispetto alle auto elettriche, è l'autonomia. Le auto elettriche hanno faticato molto, e tuttora faticano, a garantire le medesime distanze di percorrenza che un pieno di benzina o gasolio può fornire: alcuni modelli si sono avvicinati, ma resta ancora molta strada da fare. Non così le auto ad idrogeno: le percorrenze già attualmente sono per la Toyota Mirai dichiarate intorno ai 500 Km, ma Hyundai, con la ix35 Fuel Cell, ha già annunciato che è vicino il traguardo dei 600 Km. Si tratta di risultati interessanti, del tutto paragonabili alle auto normali.



DA SINISTRA, L'ING. GIOACCHINO GIOMI, CAPO DEL CORPO NAZIONALE VVF, ED IL DOTT. MAURO CARUCCIO, AD DI TOYOTA MOTOR ITALIA S.P.A. ALLA PRESENTAZIONE DELLA TOYOTA MIRAI A ROMA CAPANNELLE, GIUGNO 2018.

Secondo Yoshikazu Tanaka, progettista della Toyota Mirai, l'alimentazione elettrica per le auto di grandi dimensioni ed i camion resterà non economicamente conveniente ancora per molto tempo, a causa del costo delle batterie che ovviamente cresce con il peso del veicolo e l'autonomia richiesta. L'alimentazione elettrica ed ibrida è invece adatta alle autovetture piccole, da città. Per le autovetture grandi o i camion, sempre secondo Tanaka, l'alimentazione ad idrogeno è più adatta.

Profili di rischio incendio per le auto fuel-cell.

Non sono molte le auto ad idrogeno in circolazione. Una di queste, la Toyota Mirai, è stata recentemente presentata al Centro Studi ed Esperienze dei Vigili del Fuoco a Roma Capannelle. Questa vettura dispone di 370 celle collegate in serie, ognuna delle quali lavora con una tensione di 1 volt. Parte dell'energia prodotta dalle fuel-cell viene assorbita dai sistemi di bordo, fra cui c'è anche un compressore per spingere aria (e quindi ossigeno) nelle celle, in parte viene utilizzata dal motore elettrico di trazione, ma il sofisticato sistema elettronico di gestione può anche decidere di inviare parte dell'energia prodotta alle batterie al Ni-MH presenti sul veicolo, che si ricaricano anche grazie al recupero dell'energia in frenata come le auto HEV "normali" proprio in maniera analoga a quanto avviene nelle altre ibride Toyota. Queste batterie servono per le partenze da fermo e per le forti accelerazioni, dato che le fuel-cell hanno un lieve ritardo nella risposta.

Dunque le auto fuel-cell presentano i medesimi pericoli di incendio delle batterie delle auto HEV ed in più i pericoli derivanti dalla presenza delle bombole di idrogeno. Dato che la parte delle batterie è già stata esaminata, concentriamoci allora sull'idrogeno.

Non si può evitare di premettere che contro l'idrogeno esiste un diffuso preconcetto. La percezione comune della pericolosità dell'idrogeno risente ancora, a novant'anni di distanza, del tragico incidente del dirigibile tedesco Hindenburg che, all'attracco a Lakehurst nel New Jersey nel 1937, esplose uccidendo 35 delle 97 persone a bordo, oltre ad una ulteriore persona a terra. Il dirigibile era per l'appunto riempito di idrogeno e l'incidente distrusse per sempre la fiducia del pubblico in tali mezzi di trasporto.

In senso diametralmente opposto, alcuni siti che si interessano di idrogeno pubblicizzano tale gas come molto sicuro: "l'idrogeno di per sé non è più pericoloso della benzina o di altri gas combustibili. Anche in caso di collisione i rischi non sono diversi da quelli di una vettura tradizionale o a metano"².

Naturalmente è troppo presto per una valutazione del rischio di incendio o di esplosione basata scientificamente su serie stabili di dati statistici, ma sorge il dubbio che la verità stia nel mezzo. Nell'impossibilità di procedere ad una valutazione quantitativa del rischio, ciò che è possibile fare oggi è soltanto procedere ad una lista di possibili pericoli, senza che sia possibile associarvi una probabilità.



BOMBOLE DI IDROGENO COMPRESSO A 700 BAR PER AUTO FCEV.

Un primo pericolo dell'idrogeno è costituito dalle bombole ad alta pressione (700 bar). Si tratta di una pressione molto superiore a quella delle bombole di metano per autotrazione (circa 200 bar), per non parlare poi del GPL (massimo circa 8 bar). Già da questo aspetto non si può non concludere che è presente un maggiore rischio di scoppio. Naturalmente per contrastare questo pericolo i costruttori utilizzano materiali speciali, protezioni particolari ecc.: Toyota dichiara di aver provato a far esplodere le bombole prendendole a fucilate, senza riuscirci.

Per quanto riguarda le proprietà chimico-fisiche dell'idrogeno, esso si presenta normalmente sotto forma di gas, non è tossico, è estremamente volatile ed infiammabile, è facilmente esplosivo. L'idrogeno è fra le sostanze in natura con il campo di esplosività più ampio, circa dal 4% al 75%. Molti altri gas hanno un campo di esplosività più ridotto: il metano, per esempio, ha un campo di esplosività compreso fra il 4% ed il 15%. Ciò significa che, al di sopra o al di sotto di queste proporzioni, il metano non esplode perché la miscela è troppo magra o troppo grassa. L'idrogeno invece resta esplosivo se miscelato con aria in quasi tutte le proporzioni. Inoltre è violentemente reattivo in presenza di cloro o fluoro, che però non dovrebbe essere una condizione comune in un veicolo su strada. Per fortuna, essendo molto leggero, in caso di perdite normalmente l'idrogeno si disperde velocemente nell'aria verso l'alto, senza produrre pericolosi ristagni in basso come potrebbe per esempio fare il GPL; naturalmente ciò vale all'aperto, in caso di spazi confinati il pericolo ovviamente esiste.

² Fonte: http://www.linde-gas.it/it/industries/power_and_energy/hydrogen_technology/auto_a_idrogeno/index.html.

La combustione dell'idrogeno è particolare: rispetto alla combustione di un normale idrocarburo emette molto meno calore per irraggiamento. Addirittura una combustione di idrogeno ed ossigeno in proporzione stechiometrica (gas di Brown) è praticamente invisibile ad occhio nudo. Ciò potrebbe significare, almeno nella maggior parte dei casi, una minore probabilità di propagazione dell'incendio, almeno per la parte dovuto al calore da irraggiamento.

L'idrogeno è poi un elemento particolare, date le sue caratteristiche ed in particolare la dimensione molto piccola della sua molecola, tende a permeare molti metalli, con il risultato che tende a rendere fragile il metallo delle bombole. Per questo motivo i serbatoi di idrogeno sono molto particolari e contengono strutture apposite per "intrappolare" l'idrogeno, come spugne, nanostrutture, microsferi, ecc.; inoltre per le bombole si utilizzano materiali compositi. Il tutto contribuisce a rendere le bombole pesanti e costose.

Un ulteriore aspetto, esterno ai veicoli ma ad essi collegato, riguarda il trasporto dell'idrogeno. Una eventuale futura diffusione dei veicoli ad idrogeno comporterà la necessità di realizzare una serie di infrastrutture di rifornimento, per le quali è in corso di preparazione una normativa da parte dei Vigili del Fuoco. Inoltre, se continuerà a non essere economicamente conveniente la produzione di idrogeno mediante elettrolisi dell'acqua, che è disponibile più o meno ovunque ed in ogni caso è facilmente trasportabile in tutta sicurezza, bisognerà prevedere una serie di veicoli per il trasporto dell'idrogeno su gomma o su ferro. Un carico di bombole di idrogeno che se ne va in giro sulle strade o sulle linee ferroviarie è uno di quegli incubi che faranno dormire sonni poco tranquilli ai Comandanti dei Vigili del Fuoco.



LA NUOVA HYUNDAI FUEL-CELL.

Conclusioni.

Le auto fuel-cell ad idrogeno presentano pregi e difetti.

Una diffusione di massa dei veicoli fuel-cell non appare prossima. I costi dei veicoli fuel-cell sono molto alti: per la Toyota Mirai si parla di 66.000 euro, e sul sito svizzero della Hyundai la brochure ufficiale ci informa che il prezzo della ix35 fuel-cell nella versione base, priva di optional, è pari a 66.990 franchi svizzeri (circa 58.000 euro). La principale ragione è che le celle a combustibile sono ancora frutto in gran parte di una lavorazione artigianale: è probabile che quando la loro produzione avverrà in serie su scala industriale allora i costi si abbasseranno notevolmente.

Il costo dell'idrogeno alla pompa, combinato con il consumo, rende le percorrenze meno convenienti rispetto alla maggior parte della auto "normali" oggi in circolazione. L'idrogeno all'unica pompa esistente in Italia (a Bolzano) costa intorno ai 14 Euro/kg; dato il consumo di circa 1,2 kg di idrogeno ogni 100 km, si ottiene un costo di percorrenza di circa 17 euro ogni 100 km, paragonabile ad una auto che percorre circa 9 km con 1 litro di gasolio oppure 10 km con 1 litro di benzina. Esistono molte auto "normali" che presentano costi di percorrenza inferiori.

Il tempo necessario per il rifornimento è ridotto, mentre per i veicoli elettrici costituisce un problema tuttora molto penalizzante. La diffusione delle stazioni di rifornimento è attualmente quasi nulla, a tal punto da rendere praticamente impossibile l'utilizzo di questo tipo di veicoli, almeno in Italia. Senza una capillare rete di distribuzione, paragonabile agli attuali distributori di benzina o gasolio, la diffusione dei veicoli Fuel-cell in Italia sarà semplicemente impossibile. Dalle notizie disponibili, al Ministero dell'Interno è in preparazione una nuova normativa di prevenzione incendi relativa agli impianti stradali di distribuzione di idrogeno per autotrazione.

Per quanto riguarda l'inquinamento, è vero che un'auto fuel-cell non emette composti gassosi nocivi in atmosfera, ma fintanto che l'idrogeno sarà ottenuto mediante reforming del metano, l'intero processo non sarà privo di impatto ambientale: in particolare sul bilancio energetico finale, sulla produzione di CO₂ e sul consumo di combustibili fossili. Solo quando la produzione di idrogeno potrà avvenire con facilità ed a costi sostenibili da fonti rinnovabili mediante elettrolisi dell'acqua, allora si potrà davvero sostenere che non si consumano combustibili fossili: e di acqua negli oceani ce n'è a sufficienza per garantire il rifornimento di un sufficiente numero di autovetture fino alla fine dei secoli.

Anche in questo caso, però, a meno di innovazioni tecnologiche non tutti i problemi saranno risolti, perché una motorizzazione di massa con veicoli fuel cell richiederebbe, allo stato attuale della tecnologia, una quantità di platino ed altri metalli rari di molte volte superiore a quella esistente su tutta la terra.

Come già anticipato, una seria valutazione del rischio di incendio e di esplosione attualmente non ha ancora sufficienti elementi statistici su cui basarsi. Di certo, le auto ad idrogeno presentano pericoli diversi dalle auto "normali" e dalle auto elettriche, rischi che infatti l'industria già oggi sta affrontando in modo diverso. Le immagini del dirigibile Hindenburg, anche a tanti anni di distanza, hanno ancora il loro peso e per ora si possono fare soltanto alcune ipotesi: attendiamo che il tempo si premuri di confermarle o smentirle.