

SCHEDA TECNICA B4) SISTEMI DI TRAZIONE ALTERNATIVI B4.c) CELLE A COMBUSTIBILE

STATO DELL'ARTE

Generalità

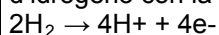
L'idrogeno può essere utilizzato come combustibile per la trazione dei veicoli in due modi diversi:

- iniezione diretta nel motore a scoppio (sistema poco differente dai tradizionali veicoli alimentati ad idrocarburi);
- celle a combustibile: dispositivi che impiegano l'idrogeno per generare elettricità attraverso una semplice reazione di ossidoriduzione e quindi muovere il veicolo attraverso un motore elettrico.

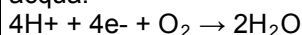
Le celle a combustibile costituiscono un sistema di conversione energetica "diretta", ovvero non direttamente soggetto ai limiti di conversione propri del II principio della termodinamica; non necessitano di organi meccanici in movimento, pertanto il loro funzionamento si presenta silenzioso e privo di vibrazioni e di attriti. In autotrazione si usano celle ad elettrolita polimerico (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell – PEM) poiché raggiungono prestazioni, ingombri e pesi adeguati per tale impiego.

L'idrogeno, utilizzato nelle celle, è prodotto dal reforming degli idrocarburi, ma è possibile anche estrarlo dall'acqua per elettrolisi, dalla fermentazione anaerobica delle biomasse, dalla gassificazione del carbon fossile; da processi fotochimici con catalizzatore a base di ossido di rame.

La cella è composta di tre strati sovrapposti: il primo è l'anodo, il secondo è l'elettrolita e, il terzo, il catodo. Il primo e il terzo fungono da catalizzatori mentre lo strato intermedio consiste in una struttura di supporto che assorbe l'elettrolita. Una singola cella genera una tensione bassa quindi, per aumentare tale tensione, vengono costruite pile di celle dette "stack". Una cella a combustibile inverte il processo elettrolisi (l'acqua, con l'impiego di energia elettrica, viene decomposta nei suoi componenti gassosi idrogeno e ossigeno), l'idrogeno e l'ossigeno vengono uniti per produrre acqua. In questo processo viene liberata energia elettrica che era immagazzinata nell'idrogeno (per la precisione l'idrogeno è un gas che consente l'accumulo di energia elettrica che può essere liberata con l'uso di una cella a combustibile). Esistono diversi tipi di celle a combustibile, andiamo ad analizzare il funzionamento di una cella a combustibile PEM (Polymer-Electrolyte-Membrane) che è la più diffusa in autotrazione. Quando l'anodo è immerso nell'idrogeno (H_2) e il catodo nell'ossigeno (O), si svolge il seguente processo: una molecola d'idrogeno si decompone in due atomi d'idrogeno con la liberazione di elettroni (e^-).



Gli ioni di idrogeno formati migrano attraverso l'elettrolita al catodo, ossidano con l'ossigeno e formano acqua.



Occorrono quindi gli elettroni che prima sono stati ceduti all'anodo per poter formare l'acqua, per questo i due elettrodi (catodo e anodo) sono collegati con un conduttore elettrico. Gli elettroni lo attraversano e partendo dall'anodo raggiungono il catodo: generando quindi una corrente elettrica sfruttabile. Tale processo si svolge senza interruzione fino a che permane una sufficiente quantità di idrogeno e di ossigeno [1]. La cella a combustibile sono simili alle batterie in cui la materia attiva viene continuamente rinnovata e, se si mantiene l'alimentazione di combustibile e di gas, la corrente elettrica continua può essere erogata indefinitamente. Come combustibile possono essere usati oltre all'idrogeno anche il metano e il metanolo, è chiaro come a partire da questi l'idrogeno deve essere estratto con un particolare procedimento. Il funzionamento delle celle può essere orizzontale o verticale ciò che conta è che le superfici affacciate devono avere un'area sufficiente per ottenere intensità di corrente adeguate alle esigenze applicative. Un impianto a cella a combustibile normalmente è costituita da un modulo di potenza (contenente la sezione elettrochimica), da un convertitore di corrente (inverter) e da un trasformatore in grado di convertire la corrente continua generata dalla pila in corrente alternata alla tensione e alla frequenza desiderate. Le celle hanno il grande vantaggio che gli effluenti (acqua e gas esausti), che vanno continuamente rimossi dalla cella, non contengono sostanze inquinanti [2].

Rifornimento

Per l'approvvigionamento dell'idrogeno è possibile identificare due diverse scelte progettuali:

- produrre l'idrogeno tramite impianti stazionari e successivamente immagazzinarlo a bordo;
- produrre l'idrogeno "just in time", direttamente all'interno del veicolo partendo da un idrocarburo.

(segue stato dell'arte)

La prima ipotesi è più semplice per la gestione complessiva del veicolo, ma è fortemente vincolata dall'assenza di una tecnologia matura in grado di garantire l'immagazzinamento di grosse quantità di idrogeno in modo conveniente, sicuro e soprattutto, con il minor ingombro e peso possibile. Le tipologie di sistemi di accumulo di idrogeno attualmente allo studio possono essere così catalogate:

- serbatoi in pressione: si utilizzano materiali compositi, la pressione può arrivare fino a 350 bar;
- idruri metallici: molti metalli hanno la capacità di assorbire all'interno del loro reticolo cristallino idrogeno molecolare in condizioni di temperatura e pressione prossime a quelle standard;
- nanofibre di carbonio: la tecnologia dell'assorbimento di gas su solidi si trova ancora allo stato embrionale, potenzialmente la densità di energia, sia in peso, sia in volume, è paragonabile a quella dell'idrogeno liquido ma l'efficienza del sistema di rifornimento è enormemente superiore;
- idruri salini: gli idruri dei metalli alcalini e alcalino-terrosi presentano la caratteristica di reagire con l'acqua dando origine ad idrogeno ed all'idrossido del metallo di partenza;
- idrogeno liquido: sistemi criogenici, la temperatura all'interno del serbatoio è di circa -250° C.

La seconda ipotesi consiste nel produrre l'idrogeno direttamente sull'autoveicolo: presenta grosse complicazioni impiantistiche, poiché si tratterebbe di installare un reformer (mini raffineria) in ogni veicolo circolante. Per quanto ardua, questa seconda strada potrebbe nel medio termine rappresentare la soluzione da perseguire poiché sarebbe totalmente compatibile con l'attuale rete di distribuzione dei combustibili per autotrazione.

Dati tecnici

La BMW ha già realizzato veicoli con motore a scoppio alimentato ad idrogeno; la cilindrata dei prototipi è di 5400 cc (12 cilindri a V e 150 kW) che portano l'autovettura da 0 a 100 km/h in 9,6 sec. ed a una velocità massima di 226 km/h [3]. I vantaggi di questa soluzione rispetto alle celle a combustibile risiedono in una maggiore densità energetica: il motore a combustione interna trasforma l'idrogeno direttamente in potenza propulsiva, senza quella ulteriore perdita di energia legata alla trazione di un motore elettrico. La potenza di quest'ultimo diminuisce al crescere del numero di giri, creando problemi soprattutto in fase di sorpasso, mentre il sistema a combustione interna fornisce potenza in alcuni casi anche superiore rispetto ai normali motori a benzina. L'autonomia è di circa 350 km. Tra i prototipi a celle a combustibile con motore elettrico esiste una realizzazione Fiat di un veicolo che ha un'autonomia di 140 chilometri, un tempo di ricarica di dieci minuti e raggiunge i cento chilometri orari. La Opel, con General Motors, ha costruito tre modelli di auto a idrogeno di cui il più recente raggiunge i 140 km orari e ospita quattro persone a bordo [4]. La scelta dell'una o dell'altra tecnologia dipenderà dalle preferenze del mercato; la maggioranza delle case automobilistiche mira all'impiego delle fuel cells, ma le due tecnologie potrebbero convivere.

In tabella 1 sono riportate i valori per alcune tipologie di trasformazione.

Operazione	Da Energia	A Energia	Mezzo	Minimo	Ragionevole	Massimo
Trasformazione	Chimica	Elettrica	Centrale Termoelettrica	30.00%	40.00%	50.00%
Trasporto	Elettrica	Elettrica	Elettrodotto	80.00%	95.00%	98.00%
Accumulo	Elettrica	Elettrica	Accumulatore elettrico	80.00%	85.00%	90.00%
Trasformazione	Elettrica	Meccanica	Convertitore/Motore elettrico	80.00%	85.00%	90.00%
Trasformazione	Chimica (H ₂)	Elettrica	Cella a combustione	40.00%	50.00%	60.00%
Trasformazione	Elettrica	Chimica	Elettrolisi	70.00%	70.00%	70.00%
Trasformazione	Chimica	Meccanica	Motore endotermico ciclo Otto	10.00%	20.00%	35.00%

Tabella 1: Lista dei rendimenti Minimi / Ragionevoli / Massimi per le varie trasformazioni di energia (Dati forniti da Ansfan) [5].

In Germania, nella regione Rhein-Main e a Mantova in Lombardia nel 2009 è stato lanciato un progetto (co-finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del VI Programma Quadro) per promuovere una mobilità sostenibile mediante lo sviluppo di veicoli a idrogeno e di infrastrutture (cioè stazioni di servizio e reti di distribuzione del gas). A Mantova sono in funzione 3 Panda a Idrogeno per attività dimostrative. Esse funzionano con un motore elettrico alimentato da Celle a combustibile (il combustibile è l'idrogeno a 350 bar contenuto in un serbatoio di 110 litri, derivato da tecnologie spaziali). Alla cella arriva anche aria inviata da un compressore. L'Ossigeno dell'aria e l'idrogeno si combinano generando energia elettrica, dando come sottoprodotto acqua, che esce dal tubo di scarico. Queste auto, quindi, sono a emissioni zero.

(segue stato dell'arte)

Le tensione teorica generata dalla cella è di 1,2 volt, mentre quella effettiva è di 0,7 volt, per questo motivo servono un numero elevato di celle (384, installati in 3 pacchi diversi) chiamati "stack" che sono alloggiati sul fondo della vettura. La Panda è caratterizzata da una cella di tipo PEM (a membrane polietilolitiche) ed un motore elettrico da 30 kW nom – 50 kW max. Possiede un compressore di nuova generazione e in serbatoio in fibra di carbonio dal 110 litri di volume, pressione di 350 bar, massa di 2,4 kg. La cella eroga una potenza massima di 90 kW e serve un motore elettrico a corrente alternata a induzione. Altre caratteristiche sono: un peso della vettura di 1400 kg, un'accelerazione in 5 secondi (da 0-50 km/h), una velocità massima di 130 km/h, un tempo di rifornimento inferiore ai 5 minuti ed un'autonomia maggiore di 200 km. Il tutto per un'abitabilità di 4 posti [6].

RISVOLTI ENERGETICI, AMBIENTALI E SOCIO-ECONOMICI

I rendimenti dei motori alimentati con celle a combustibile dipendono dalle modalità di produzione dell'idrogeno; mediamente, nel caso di percorso urbano, i valori si aggirano intorno al 30%, contro il 20% degli attuali motori diesel in circolazione [7]. Indipendentemente dalla tipologia dei sistemi di accumulo o produzione dell'idrogeno, le emissioni inquinanti di un veicolo a celle a combustibile sono notevolmente inferiori a quelle di qualunque altro tipo di propulsore e molto al di sotto dei limiti imposti alle emissioni dei gas di scarico dei veicoli dalle normative vigenti o in procinto di entrata in vigore nell'Unione Europea e negli Stati Uniti. Le emissioni di inquinanti vanno ricondotte al processo di produzione dell'idrogeno. Per le emissioni di CO₂ si può stimare che l'aumento complessivo del rendimento, i termini di energia primaria sopra riportato, comporti una proporzionale riduzione delle emissioni. Si passa quindi da un valore di circa 164 grammi con i veicoli attuali a un valore di **53** grammi di CO₂ emessa per passeggero per chilometro percorso.

Resta oggetto di discussione e di ricerca la modalità di produzione dell'idrogeno, in un panorama che, ad oggi, propone la possibilità di approvvigionamento attraverso combustibili tradizionali e lascia intravedere ampie potenzialità di generazione tramite fonti energetiche rinnovabili. In particolari condizioni, il processo sviluppato nelle celle a combustibile, può essere sfruttato anche per la produzione combinata di energia elettrica e calore in impianti fissi (centrali elettriche).

L'utilizzo delle celle a combustibile comporta una riduzione dei consumi, dal 20 al 40%. Un tale risparmio consente di ammortizzare velocemente la spesa per montare l'impianto, che costa circa 900 euro. Altri vantaggi sono: il minor costo dell'impianto rispetto a GPL e metano, la possibilità di funzionare. Funziona anche sui motori diesel o già a gpl o metano, il fatto di non richiedere modifiche dell'auto e poter essere utilizzato anche per camion, auto, barche e generatori. Inoltre è poco ingombrante, costa meno del gpl e funziona ad acqua distillata. È possibile percorrere 28-33 km con un litro. Da sottolineare la possibilità di iniettare gas hho nel nostro motore, senza che esso modifichi la carburazione, per migliorare la combustione del nostro motore e di conseguenza il rendimento termodinamico, inquinando molto meno [8]. Per quanto riguarda i costi, un veicolo ad idrogeno costa circa 20 volte il costo di un veicolo tradizionale di pari prestazioni [9].

PROSPETTIVE DI SVILUPPO

Produzione

Nel mondo attualmente, circolano 750 milioni di vetture e nel 2050 saranno circa il triplo. Risulta necessario passare quindi da un'alimentazione a benzina ad una a idrogeno che sono molto più efficienti ed emettono solo vapore acqueo, invece di anidride carbonica. Il primo problema dell'auto ad idrogeno è che se prodotto tramite energie rinnovabili, il suo costo è elevato, attorno ai 6-10 dollari per kg. Non possono tralasciare inoltre tralasciare i problemi tecnici legati all'idrogeno (che hanno una durata di 2.000 ore contro le 5.000 dei veicoli a benzina), mentre il suo costo, anche se prodotta in serie, sarebbe 4 volte superiore a quello di un'auto a benzina. L'altro grosso problema è la rete di distribuzione che solo negli Stati Uniti costerà Stati Uniti 11 miliardi di dollari. In ogni caso la conversione all'idrogeno rappresenta una concreta necessità attuale dato che il petrolio inquina ed è destinato a finire [10]. Per questi motivi 9 Gruppi automobilistici (la die Allianz Renault SA, la Daimler AG, la Ford Motor Company, la General Motors Corporation/Opel, la Honda Motor Co., Ltd., la Hyundai Motor Company, la Kia Motors Corporation, la Nissan Motor Corporation e la Toyota Motor Corporation) hanno firmato accordi per lo sviluppo e l'introduzione sul mercato di vetture elettriche con propulsione a celle combustibili.

(segue prospettive di sviluppo)

Il 2015 dovrebbe essere l'anno di introduzione di un significativo numero auto a celle combustibile anche se niente vieta che questo possa avvenire prima. Gli attuali progetti dimostrativi hanno inoltre confermato la fattibilità tecnica di costruzione, stoccaggio, trasporto ed impiego di impianti più efficienti per lo sfruttamento dell'idrogeno. Ciò comporta la realizzazione di una fitta rete di distributori di idrogeno (che dovrà essere attiva entro il 2015) che partendo dalle aree metropolitane dovrà trasformarsi in un'infrastruttura capillare [11]. In ogni tutti gli esperti del settore auto motive sono d'accordo nell'affermare che l'idrogeno sarà il carburante per le auto del futuro. Alcuni modelli di auto ad idrogeno sono già in circolazione come per esempio la Bmw Serie 7 Hydrogen, la Honda FCX Clarity e la Mercedes Classe B F-Cell. La FCX Clarity è un veicolo innovativo ad emissioni zero, destinato alla produzione in serie e alimentato dall'unità di celle a combustibile Honda V Flow FC Stack. È spinto da un motore elettrico sincrono a magneti permanenti accoppiato ad un cambio automatico a variazione continua CVT, la potenza è di quantificata in 100 Kw e la coppia in 256 Nm. Ha consumi molto ridotti con un'autonomia di circa 460 km. La Serie 7 Hydrogen della Bmw invece, è un auto di lusso già largamente utilizzata in Europa e negli USA. È dotata di un motore da 260 Cv in grado di funzionare sia a benzina, sia ad idrogeno, mentre la Classe B F-Cell, versione a celle combustibile (prodotta in pochi esemplari ma, stando ai test effettuati, dalle notevole potenzialità) è equipaggiata con un motore elettrico da 100 Kw (136 Cv) alimentato da batterie agli Ioni di Litio. L'idrogeno è stoccato in forma gassosa in tre serbatoi e l'autonomia è quantificata in circa 400 km [12].

Mercato e incentivi

Il programma degli incentivi 2009 prevedeva 1.500 euro per la rottamazione di vetture Euro 0, Euro 1 ed Euro 2 targate prima del 31/12/1999 a fronte dell'acquisto di un'auto Euro 4 ed Euro 5 aventi emissioni inferiori a 130 g/km di CO₂ per le Diesel e 140 g/km per quelle a benzina. L'incentivo è di 2.500 euro (con le stesse regole sopra indicate) per i veicoli commerciali leggeri mentre per le vetture alimentate a metano, idrogeno ed elettriche il sarà un bonus di 1.500 euro. Tali incentivi hanno introdotto un meccanismo incentivante per le vetture a basso impatto ambientale in base alle emissioni e alla tipologia di alimentazione. Si aveva quindi un bonus di 1.500 euro per chi acquista un auto alimentata a GPL, Metano, ibrida o a idrogeno con emissioni superiori a 120 grammi CO₂/km, bonus che saliva a 3.500 euro per auto a metano, elettriche o a idrogeno con emissioni inferiori a 120 grammi CO₂/km e a 2.000 euro per quelle a GPL. Se si rottamava un'auto e si acquistava una nuova vettura a metano, elettrica o idrogeno si usufruiva di un bonus complessivo pari a 3.000 euro che diventavano 5.000 se le emissioni sono inferiori a 120 grammi CO₂/km (perché il bonus rottamazione era cumulabile con quelli per l'acquisto di auto a basso impatto ambientale). Per esempio se si acquistava un auto nuova a GPL l'incentivo cumulato era di 3.000 euro con emissioni superiori ai 120 grammi CO₂/km o di 3.500 euro se le emissioni non superano questa soglia [13]. Per il 2010 invece sono rimasti gli incentivi alla rottamazione per i veicoli con più di 10 anni di età, mentre i nuovi incentivi avranno una maggiore impronta ecologica, con i limiti di CO₂ destinati ad essere abbassati: 115 g/km (invece di 140) per le vetture a benzina; fra 115 e 130 g/km per i diesel, che però vedranno scendere a 1.000 euro il contributo previsto dallo Stato. Sono spariti invece i contributi per l'acquisto di auto elettriche o a idrogeno, mentre è rimasto il contributo per chi compra vetture a metano. In quest'ultimo caso è aumentato il contributo (da 3.500 a 4.000 euro) ma sono scesi i livelli di inquinamento (115 g/km). Per quanto riguarda il GPL l'incentivo è stato di 1.500 euro per i modelli con volumi di emissioni fino a 115 g/km e di 1.000 euro per le auto con emissioni di CO₂ compresi fra 115 e 135 g/km [14].

ATTUABILITÀ NEL TERRITORIO COMUNALE

Già da alcuni anni APM eroga tutto il trasporto pubblico della città di Perugia con mezzi a ridotte emissioni inquinanti: autobus a metano, Minimetrol, scale mobili e ascensori. A questo si affianca il progetto di realizzare autobus a idrogeno con l'obiettivo di fare trasporto pubblico a zero emissioni [15]. In ogni caso la penetrazione dei motori ad idrogeno è attualmente limitata a causa del costo elevato, della difficoltà di approvvigionamento e della mancanza di assistenza tecnica.

NOTE

Riferimenti:

- [1] Celle (o pile) a combustibile
- [2] <http://xoomer.virgilio.it/montagner/funzionamento.htm>
- [3] <http://www.ecotrasporti.it/bmw.html>;
- [4] http://www.espressonline.it/ESW_articolo/0,2393,30497,00.html;
- [5] <http://www.webdomino.it/Macchinaldrogeno.asp>
- [6] ZERO REGIO UN PROGETTO EUROPEO PER UNA MOBILITA' A IDROGENO
- [7] R. Vellone: "Veicoli a celle a combustibile", Atti del Convegno ATI Aspettative ambientali e futuro tecnologico dei motori termici per propulsione veicolare, Roma, novembre 2000
- [8] Generatore di HHO, l'idrogeno per risparmiare carburante
- [9] Thomas et al.: "Integrated Analysis of Hydrogen Passenger Vehicle Transportation Pathways", Atti del Convegno 1998 US DOE Hydrogen Passenger Vehicle Transportation Pathways, Alexandria, VA, 1998
- [10] Auto alimentate a idrogeno. 2006
- [11] Avremo le auto a idrogeno entro il 2015
- [12] AUTO AD IDROGENO Il futuro dell'automobile è nelle celle a combustibile (fuel cell).
- [13] Incentivi auto 2009 Dal 7 febbraio, fino a 5.000 euro per chi rottama e acquista un'auto ecologica
- [14] Auto: incentivi 2010. L'ipotesi allo studio
- [15] www.apmperugia.it