

# Tecnologie e normative per impianti e veicoli ad idrogeno

A. Bassi

*In conseguenza del crescente interesse, manifestato dai costruttori di veicoli stradali e dalle Amministrazioni Governative per i veicoli ad idrogeno, dall'impatto ambientale nullo (ZEV – Zero Emission Vehicle), sono stati formati dei Gruppi di Lavoro nell'ambito degli Enti di normazione internazionale (ISO, CEN) per valutare gli aspetti funzionali e della sicurezza, e quindi redigere delle normative di guida alla progettazione e alla omologazione.*

*La presente memoria, dopo una breve descrizione delle tecnologie che possono avere impatto sulla normazione, descrive un profilo storico delle principali iniziative in proposito, a partire dal Progetto EIHP (European Integrated Hydrogen Project) della Comunità Europea del 1998, del Gruppo di Lavoro ISO/TC197 dedicato ai recipienti per idrogeno ad alta pressione fino al Gruppo di Lavoro ECE-ONU GRPE/H<sub>2</sub> (2001) incaricato di scrivere due Regolamenti: uno per gli impianti veicolari ad idrogeno liquido ed uno per gli impianti veicolari ad idrogeno gassoso compresso. Un cenno particolare viene quindi dato circa il nuovo Gruppo di Lavoro ISO/TC22/SC25 che ha il compito di redigere le normative per i veicoli ecologici alimentati a combustibile gassoso, comprendendo quindi il gas naturale, il GPL e l'idrogeno, per cogliere opportune comunanze e per mutuare tecnologie già sviluppate.*

*La memoria si conclude descrivendo alcune disposizioni tecniche di rilievo, inerenti soprattutto la sicurezza dei serbatoi di idrogeno, contenute nei due Regolamenti ECE-ONU del Gruppo di Lavoro ECE-ONU GRPE che saranno pubblicati a breve per consentire agli operatori di sviluppare adeguate prototipazioni e flotte pilota.*

**Parole chiave: idrogeno, normative, ecologia, combustibile, veicolo stradale**

## I COMBUSTIBILI PER I VEICOLI STRADALI E LE PROSPETTIVE DELL'IDROGENO

Com'è ampiamente noto, l'inquinamento dell'aria, soprattutto nei centri urbani, è dovuto in gran parte ai veicoli stradali. I combustibili tradizionali: benzina e gasolio sono ritenuti i responsabili di questo fatto e malgrado gli ingenti sforzi compiuti dai Costruttori di automobili per il miglioramento dei motori, sembra che per ottenere ulteriori miglioramenti si debba ricorrere a combustibili alternativi, che siano già alla base più ecologici.

Si pone quindi il problema di individuare quali combustibili, tra quelli di possibile utilizzo, siano i più idonei all'uso veicolare. In genere i combustibili presi in considerazione sono costituiti da composti di carbonio e di idrogeno.

Una delle prime analisi di valutazione e confronto fra i combustibili tradizionali e i combustibili alternativi circa le loro prestazioni motoristiche ed ecologiche è focalizzata al contenuto di carbonio. Le ragioni di questa scelta stanno in due ordini di motivazioni:

1° Il carbonio presente nel combustibile genera, durante la combustione, che generalmente è incompleta, dei composti parzialmente ossigenati (CO) e tutta una serie di composti C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> non bruciati, noti come idrocarburi incomposti. Inoltre, soprattutto nel gasolio, il carbonio genera delle polveri finissime di carbone ricoperte di idrocarburi liquidi, noti come particolato (PM10 ecc,...). Queste

emissioni allo scarico dei motori sono altamente nocive per cui da tempo sono regolamentate dalle leggi antinquinamento.

2° Il carbonio inoltre genera, durante la combustione, anche se perfettamente completa e stechiometrica, il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>). Le emissioni di questo gas sono ovviamente ineliminabili ed esse sono una delle principali cause dell'effetto serra e sono parte importante del (GWI) Global Warming Index, insieme ad altri composti.

Il carbonio quindi è uno dei responsabili principali delle emissioni di inquinanti, quindi il primo obiettivo di questo confronto è l'identificazione dei combustibili con il minimo contenuto di carbonio. Anche le Autorità preposte alla lotta contro l'inquinamento hanno recepito questo concetto, introducendo nelle loro considerazioni nel proporre leggi, incentivi, ecc..., il contenuto di carbonio come una caratteristica negativa del combustibile, tanto che intendono imporre una tassa specifica, denominata Carbon Tax, per disincentivare l'uso dei combustibili a più alto contenuto di carbonio.

Nella fig. 1 è rappresentato il contenuto di carbonio di un combustibile come rapporto C/H e le relative emissioni di CO<sub>2</sub>, proveniente dalla generazione di una uguale quantità di energia termica 10.000 Kcal ovvero 41,8 MJ. Si evidenzia in questa figura come i combustibili migliori dal punto di vista ecologico sono nell'ordine, l'idrogeno, il metano e il GPL, prima dei combustibili tradizionali benzina e gasolio. Nella tabella 1 sono indicate le caratteristiche peculiari di alcuni combustibili, mentre nella tabella 2 sono presentate le caratteristiche chimico-fisiche dei tre combustibili considerati: GPL, metano, idrogeno, nel confronto con la benzina. Per queste loro proprietà questi combustibili sono alla base degli studi e delle sperimentazioni sui veicoli stradali del prossimo futuro.

Alado Bassi  
Sintesi AB, Milano

Memoria presentata alla Giornata di Studio:  
Stato dell'arte nell'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico,  
Milano, 25 marzo 2003

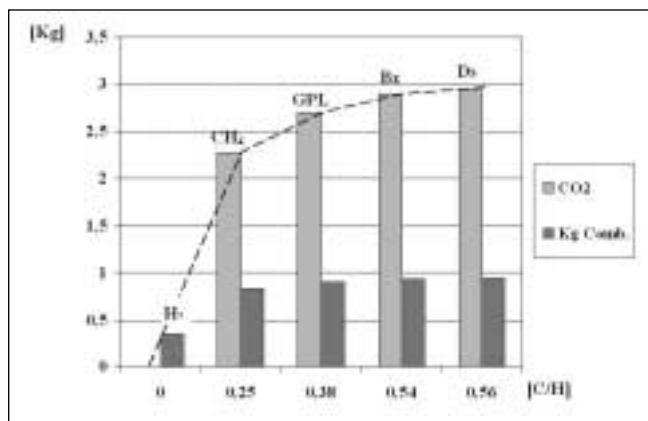


Fig. 1 – Emissioni di CO<sub>2</sub> per generare 10.000 Kcal (41,8 MJ) in funzione del rapporto C/H del combustibile

Figure 1 – CO<sub>2</sub> emissions to generate 10.000 Kcal (41,8 MJ) versus fuel ratio C/H

<b>Benzina</b>	E' un combustibile liquido per autotrazione costituito da una miscela di idrocarburi con una formula chimica media (C <sub>8</sub> H <sub>16,17</sub> ) e da altre sostanze (additivi), per renderla più idonea all'utilizzo nel motore a combustione interna. Viene contenuto in serbatoi in lamiera o in plastica alla pressione massima di 0,3 bar e dotati di dispositivi antievaporative.
<b>GPL</b>	(Gas di Petrolio Liquefatto) E' un combustibile liquido in pressione per autotrazione, costituito da una miscela di propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ) e di butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) in varie proporzioni e di altre sostanze in limitata quantità (es. olefine) provenienti dal processo di lavorazione in raffineria. Deve essere contenuto in serbatoi in pressione (max 30 bar) riempiti al massimo all'80% della loro capacità e dotati di dispositivi di sicurezza alla sovrappressione e alla sovratemperatura.
<b>CNG</b>	(Gas Naturale Compresso) E' un combustibile gassoso costituito da una miscela di metano (CH <sub>4</sub> ) e di altri gas (es. etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , azoto N <sub>2</sub> ecc...). Deve essere contenuto in bombole in pressione (max 200 bar) dotate di dispositivi di sicurezza alla sovratemperatura.
<b>Idrogeno</b>	E' un combustibile (H <sub>2</sub> ) che non si trova in natura e deve quindi essere estratto da altri combustibili come il petrolio, il metano ecc... oppure prodotto mediante l'elettrolisi dell'acqua con l'energia elettrica. Deve essere contenuto in bombole in pressione (200 bar ed oltre) oppure in serbatoi criogenici alla temperatura di - 252°C.

Tab. 1 – I combustibili per le vetture ecologiche del prossimo futuro

Table 1 – The fuels for ecologic vehicles for the next future

**CARATTERISTICHE DEI COMBUSTIBILI:**  
Gasolio, benzina, GPL, metano ed idrogeno

Il problema fondamentale del serbatoio di combustibile per un veicolo stradale è il suo contenuto energetico in termini di peso e di volume che deve essere di entità tale da assicurare l'autonomia richiesta dall'utente in funzione del profilo di missione richiesto: utenza privata, trasporto locale nei centri cittadini, trasporto a lunga distanza, flotta ecc... Anche gli aspetti operativi, come la facilità di rifornimento, il tempo di rifornimento, la sicurezza, sono importanti nella definizione della tipologia e della tecnologia per realizzare i serbatoi veicolari.

Il sistema combustibile/serbatoio deve quindi avere un'idonea densità di energia in peso e in volume, anche per consentire un'adeguata installazione a bordo del veicolo, senza penalizzazioni eccessive di spazio e di massa rispetto alle soluzioni attualmente in uso.

Il combustibile deve essere altresì facilmente trasferibile dalla stazione di rifornimento al serbatoio in tempi brevi, in assoluta sicurezza, con una rete di punti di rifornimento opportunamente distribuita nel territorio, che a loro volta devono essere riforniti in modo economico ed operativamente accettabile. In sostanza tutto il percorso del combustibile dalla sorgente di energia, alla raffineria, alla stazione di rifornimento, alla colonnina, deve essere adeguato e conveniente all'utenza veicolare.

Allo stato attuale dello sviluppo tecnologico, esistono tre tipi di sistemi combustibile/serbatoio idonei all'uso nei veicoli stradali:

- Serbatoio contenente un combustibile liquido a sua volta suddiviso in tre tipologie:
  - A pressione atmosferica e a temperatura ambiente (benzina, gasolio)
  - A bassa pressione e a temperatura ambiente (5 ÷ 20 bar) (GPL)
  - A bassa temperatura e a bassa pressione (5 bar) (serbatoio criogenico) (metano [- 161°C], idrogeno [- 252°C])
- Serbatoio contenente un combustibile gassoso ad alta pressione (200 ÷ 250 bar) (metano, idrogeno)
- Batteria elettrica contenente energia elettrochimica.

Naturalmente oggi i combustibili più operativamente accettabili dall'utenza sono quelli liquidi a temperatura ambiente e a pressione atmosferica; purtroppo questi combustibili presentano in genere elevate emissioni di inquinanti, inclusa la CO<sub>2</sub>, dato il loro alto contenuto di carbonio.

Infatti i combustibili sono composti in genere da due elementi idrogeno H, carbonio C, qualche volta anche l'ossigeno entra a far parte dei combustibili (ossigenati). I combustibili liquidi hanno un alto contenuto di carbonio C, che li rende liquidi a temperatura ambiente e quindi nella combustione generano elevate quantità di CO<sub>2</sub>.

I combustibili meno inquinanti sono quindi quelli gassosi: GPL, metano ed idrogeno che presentano contenuto di carbonio minore o addirittura nullo. Essi presentano però delle difficoltà più o meno rilevanti di immagazzinamento a bordo dei veicoli.

Nella tabella 3 sono indicati i valori delle densità energetiche di alcuni combustibili oggi presi in considerazione, in funzione della forma di accumulo ovvero del tipo di serbatoio preso in esame.

Nella fig. 2 sono indicate graficamente le densità energetiche in peso e in volume di alcuni serbatoi/combustibili oggi allo studio, nel loro confronto con i serbatoi tradizionali del-

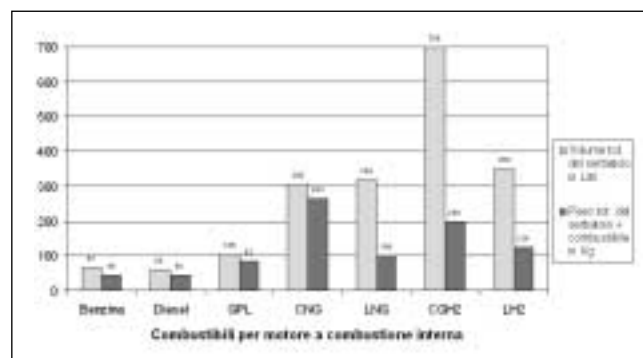


Fig. 2 – Confronto dei sistemi di accumulo di energia a bordo dei veicoli. Base: serbatoio benzina di 55 litri [500 kWh] per un'autonomia tipo di 600 Km

Fig. 2 – Storage energy systems comparison. Base line: gasoline tank 55 liters for range of 600 Km

	BENZINA	GPL (Propano-Butano)	METANO	IDROGENO
Potere calorifico inferiore	44,4 MJ/Kg	46÷45,4 MJ/Kg	50 MJ/Kg	120 MJ/Kg
Numero di ottano RON	90÷98	100	120	130
Rapporto C/H	0,54	0,38÷0,4	0,25	0
Tonalità termica	3,65 MJ/m <sup>3</sup>	3,48 MJ/m <sup>3</sup>	3,18 MJ/m <sup>3</sup>	2,97 MJ/m <sup>3</sup>
Velocità di combustione cm/sec	23÷27 cm/sec	23÷27 cm/sec	30÷35 cm/sec	200÷40
Limite inferiore infiammabile a pressione ambiente	1,0 % vol.	2,1÷1,5% vol.	5,0% vol.	4,1 % vol.
Limite superiore infiammabile a pressione ambiente	7,6% vol.	9,5÷8,5% vol.	15% vol.	72,5 % vol.
Densità δ [Kg/m <sup>3</sup> ] vapore a 1 bar	4,75	1,83÷2,42	0,67	0,08989 Kg/m <sup>3</sup>
Densità vapore/aria	3,9	1,5÷2,0	0,56	0,070
Densità liquido (15°C)	740 Kg/m <sup>3</sup>	585÷573 Kg/m <sup>3</sup>	423 Kg/m <sup>3</sup> (-161°C)	70 Kg/m <sup>3</sup> (-252°C)
Temperatura auto accensione	320 °C	465 °C	540 °C	560 °C
Punto di ebollizione (°C) 1 bar	125 °C	- 42 °C ; - 1°C	- 161 °C	- 252 °C
Tensione di vapore REID (100°F)	0,25 ÷0,45 bar (abs)	10,0 ÷2,5 bar (abs) propano – butano	-	-

Tabella 2 - Caratteristiche dei combustibili: Benzina, GPL, Metano e Idrogeno

Table 2 - Characteristics of the fuels: gasoline, LPG, methane and hydrogen

	Forma di accumulo	Energia (KWh/Kg)	Energia (KWh/l)
Idrogeno	Compresso 200 bar	33,3	0,53
	Compresso 248 bar	33,3	0,64
	Compresso 300 bar	33,3	0,75
	Compresso 700 bar	33,3	1,46
	Liquido - 252 °C	33,3	2,36
	Metalhydride	0,58	3,18
Gas naturale	Compresso 200 bar	13,9	2,58
	Compresso 248 bar	13,9	3,01
	Compresso 300 bar	13,9	3,38
	Liquido - 162 °C	13,9	5,8
GPL (propano)	Liquido	12,9	7,5
Metanolo	Liquido	5,6	4,42
Benzina	Liquido	12,7	8,76
Gasolio	Liquido	11,6	9,7
Energia elettrica	Batteria Pb	0,03	0,09

Tab. 3 - Densità energetiche del solo combustibile per alcuni combustibili in funzione della forma di accumulo

Table 3- Energetic density of some fuels versus storage technology

la benzina e del gasolio. E' stata utilizzata come base di riferimento un serbatoio di benzina di 55 litri per una quantità di energia pari a 500 KWh. Dal confronto emerge che i combustibili tradizionali benzina e gasolio sono notevolmente migliori fra tutti; il GPL viene immediatamente dopo e successivamente vengono i combustibili gassosi; metano ed idrogeno. Questi ultimi presentano la doppia possibilità di essere immagazzinati sia in forma gassosa ad alta pressione (200 bar) sia in forma liquida a bassa pressione (5 ÷ 10 bar) ma a temperature inferiori al loro punto di ebollizione che è - 161°C per il metano e - 252°C per l'idrogeno.

### I SERBATOI VEICOLARI PER IDROGENO LIQUIDO E GASSOSO

#### Il serbatoio criogenico

Ad un primo approccio, l'idrogeno presenta caratteristiche fisico-chimiche della stessa natura del metano, tuttavia la sua molecola molto piccola e il suo basso peso specifico, lo rendono ancora più difficile da immagazzinare a bordo dei veicoli stradali.

Una prima possibilità di realizzare il serbatoio di idrogeno è quindi costituito dalla bombola di gas compresso a 200 bar analoga a quella del metano. L'energia specifica in peso e volume è molto bassa.

Una seconda possibilità è quella di realizzare un serbatoio criogenico a bassissima temperatura (- 253°C). Nella fig. 3 è rappresentato lo schema di costruzione di un serbatoio criogenico per autovettura. Le sue caratteristiche principali sono:

- Capacità totale 140 litri
- Peso totale 120 Kg
- Massimo riemp. di LH2 120 litri
  - Equivalente a 8,4 Kg di idrogeno
  - Equivalente a 37 litri di benzina
- Pressione interna max. 5 bar
- Temperatura interna - 253 °C
- Perdita giornaliera 2%

Il contenuto energetico in termini di idrogeno liquido dei serbatoi (criogenico e a pressione) in funzione della pressione è indicato nella fig. 4.

Sono state eseguite numerose prove per verificare i limiti di sicurezza del serbatoio criogenico LH<sub>2</sub>. Nelle prove di BON-FIRE l'idrogeno viene evacuato in 6 ÷ 13 minuti senza fiamma, data l'alta velocità di uscita del gas. L'idrogeno prende fuoco "solo" ad una certa distanza dal serbatoio.

L'accendibilità dell'H<sub>2</sub> in aria è molto ampia 5 ÷ 76% in volume. La velocità della fiamma è circa 10 volte quella della benzina.

Ogni serbatoio è dotato di una valvola di ventilazione (ven-

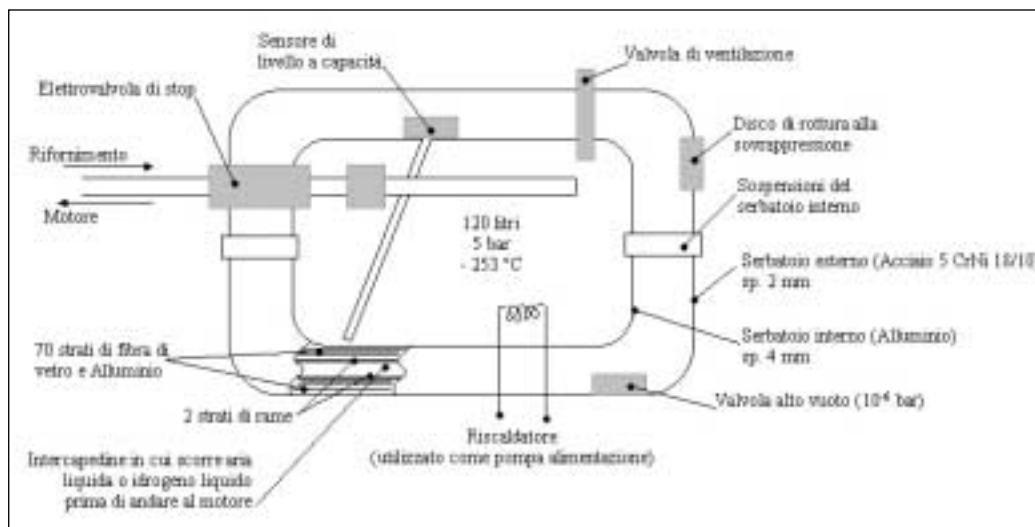


Fig. 3 - Schema di serbatoio criogenico LH<sub>2</sub>

Fig. 3 - Cryogenic tank LH<sub>2</sub> schema

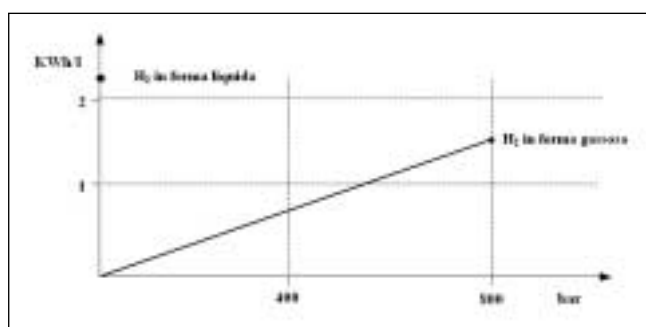


Fig. 4 - Contenuto energetico H<sub>2</sub> in funzione della pressione di stoccaggio

Fig. 4 - Energetic content of gaseous H<sub>2</sub> versus storage pressure versus liquid H<sub>2</sub>

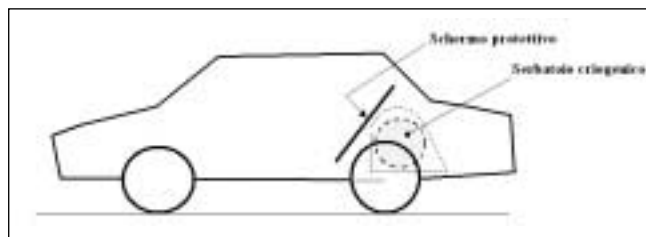


Fig. 5 - Installazione in vettura del serbatoio criogenico LH<sub>2</sub>

Fig. 5 - Installation on board of the cryogenic tank (LH<sub>2</sub>)

ting valve) e di un sistema BOIL-OFF che mantiene la pressione e la temperatura interna nei limiti consentiti. I sistemi BOIL-OFF sono essenzialmente due:

- Evacuare, tramite una valvola tarata in pressione, una certa parte di LH<sub>2</sub> (2% al giorno) che per evaporazione raffredda la massa restante;
- Raffreddare mediante ciclo frigorifero ad aria liquida utilizzando parte dell'idrogeno immagazzinato.

Sembra che l'idrogeno liquido non sia molto pericoloso data la sua altissima volatilità; comunque tutte le vetture BMW sono dotate di uno schermo tra il serbatoio e l'abitacolo (vedi fig. 5).

Si ipotizza però, che per consentire il parcheggio nei garage sotterranei dei veicoli ad idrogeno, vengano predisposte opportune disposizioni di sicurezza (da identificare), prevenendo dei coefficienti di ventilazione adeguati e sicuramente maggiori di quelli oggi adottati.

Il problema più difficile da risolvere è l'autonomia termica, ovvero il tempo che il serbatoio impiega per svuotarsi a cau-

sa dell'inevitabile riscaldamento da parte dell'ambiente. I nuovi serbatoi, oggi allo studio, dovrebbero raggiungere senza alcuna perdita un'autonomia di 10 ÷ 15 giorni.

Data la notevole difficoltà di immagazzinare l'idrogeno a bordo dei veicoli, e presentando l'idrogeno le migliori caratteristiche ecologiche rispetto tutti gli altri combustibili, molti centri di ricerca stanno esplorando altre possibilità di realizzare un serbatoio ottimale per i veicoli stradali. Nella tabella 3 sono elencati alcuni sistemi di accumulo a confronto con le loro caratteristiche principali.

Prendendo come riferimento l'energia specifica realizzabile con una bombola in composito contenente metano alla pressione di 200 bar: 2,43 KWh/litro e 6,94 KWh/Kg si osserva come con la stessa tecnologia un'analogha bombola per idrogeno presenta valori decisamente inferiori: 0,6 KWh/litro e 2,15 KWh/Kg. Sarebbe necessario quindi ricorrere al serbatoio criogenico ad idrogeno liquido per avere valori migliori: 2,13 KWh/litro e 4,5 KWh/Kg.

La migliore tecnologia oggi ipotizzabile consiste nell'utilizzo delle NANO STRUTTURE in carbonio a 200 ÷ 400 °C e a 1 bar che consente di realizzare densità energetiche decisamente interessanti: 9,32 KWh/litro e 4,66 KWh/Kg.

Il problema tecnologico del serbatoio veicolare di idrogeno è senza dubbio ancora lontano dall'essere risolto, come pure le altre problematiche dell'estrazione, del trasporto e della distribuzione dell'idrogeno. Si ipotizza che ci vorranno almeno 10 ÷ 15 anni per vedere questo tipo di veicoli in quantità sulle nostre strade.

#### LA BOMBOLA DI IDROGENO COMPRESSO

Le bombole per contenere idrogeno compresso ad alta pressione sono simili a quella attualmente utilizzate per il metano che sono normate dal recente Regolamento ECE-ONU R.110. La differenza sostanziale tra l'idrogeno e il metano sta nella diversità di peso specifico (decisamente inferiore quello dell'idrogeno), e nelle più ridotte dimensioni della molecola dell'idrogeno rispetto a quella del metano. Questi due fatti inducono a realizzare bombole a più alta pressione (350 bar o 700 bar) e dotate di pareti a più bassa permeabilità. Un'altra differenza non secondaria è la diversa compatibilità chimica dei materiali usati e al loro comportamento nel tempo della vita operativa della bombola.

Le tipologie delle bombole per idrogeno compresso, prese in considerazione sulla falsariga di quelle delle bombole metano, recentemente introdotte nei Regolamenti in stesura, sono cinque:

Tipo 1 Costruzione interamente metallica (acciaio o altri metalli).

SISTEMA DI ACCUMULO	VOLUME SPECIFICO [gr H <sub>2</sub> /litro]	PESO SPECIFICO [gr H <sub>2</sub> /Kg]	ENERGIA SPECIFICA [KWh/litro]	ENERGIA SPECIFICA [KWh/Kg]
Bombola in composito 200 bar Gas Naturale (base di rif.)			2,43	6,94
Bombola in acciaio 200 bar			2,43	2,70
Bombola in composito 250 bar	17,5	64	0,6	2,15
Bombola in acciaio 200 bar				0,75
Serbatoio criogeno (-253°C)	35	105	2,13	4,5
Methalhydride Temp.ambiente (dati attuali)	80	10	1 ÷ 1,5	0,21 ÷ 0,39
Methalhydride temp. ambiente (proiezioni future)	> 160	20 ÷ 25	> 5	> 0,7
Metanolo con reformer a bordo	≈ 95	≈ 120	4	3
Serbatoio Spugna di ferro	≈ 65	≈ 35	1,4	0,7
Nanofibre in grafite (in sviluppo)	30 litri H <sub>2</sub> /grammo	< 750	< 90	25
Nano strutture carbonio (CHEN) Li-MWNT (200 ÷ 400 °C) 1 bar			6,0	6,66
Nano strutture Carbonio (CHEN) Li-GIC (200 ÷ 400 °C) 1 bar			9,32	4,66
Idruri salini MgH <sub>2</sub> (290°C a 1 ÷ 5 bar)			2,2	2,6
Idruri salini MgNiH <sub>2</sub> (290°C a 1 ÷ 5 bar)			1,0	1,6
Leghe di titanio (0 ÷ 100 °C)			1,1	0,5 ÷ 0,7
Leghe di La (0 ÷ 100 °C)			1,0	0,45 ÷ 0,6

Tab. 4- Tecnologie per l'accumulo di H<sub>2</sub> a bordo dei veicoli [Fonte: Ludwig - Bölkow - Systemtechnik G.m.b.H. Ottobrunn 1997 (D)]

Table 4 - Technologies for storage of the H<sub>2</sub> on board of the vehicles

Tipo di tecnologia	Rapporto R = Kg/litro	Costo (€) per litro	Omologazione	Stato di sviluppo
Acciaio (200 bar)	0,84 ÷ 1	3 ÷ 3,5	Italia (DGM) Canada/USA Nuova Zelanda ECE-ONU R.110/CNG-1	Consolidato da anni
Acciaio + fibra di vetro (200 bar)	0,67	4 ÷ 4,6	ECE-ONU R.110/CNG-2	Consolidato da alcuni anni
Alluminio + fibra di vetro (200 bar)	0,82	10 ÷ 12 (prototipi)	Canada (CTC) CSA B51 Australia ECE-ONU R.110/CNG-3	Prototipi diffusi
Liner Plastic + fibra vetro/carbonio (200 bar)	0,4 ÷ 0,6	15 ÷ 20 (prototipi) 12 ÷ 15 (produzione)	USA AGA-NGV2 ECE-ONU R.110/CNG-4	Prototipi e piccola produzione
Liner Plastic + fibra carbonio (200 bar)	0,3 ÷ 0,4	18 ÷ 22 (prototipi) 14 ÷ 18 (produzione)	ECE-ONU R.110/CNG-4	Prototipi e piccola produzione

Tab. 5 - Alcune caratteristiche delle bombole per metano compresso (simili a quelle per l'idrogeno compresso)

Table 5 - Characteristics of the compressed methane cylinders (similar to compressed H<sub>2</sub> cylinders)

- Tipo 2 Liner metallico rinforzato circonferenzialmente con fibra continua impregnata di resina.
- Tipo 3 Liner metallico rinforzato completamente con fibra continua impregnata di resina.
- Tipo 4 Liner in materiale non metallico completamente rinforzato con fibra continua impregnata di resina.
- Tipo 5 Costruzione di tipo innovativo non indicata nelle precedenti quattro tipologie.

Il tipo 5 è stato introdotto per consentire agli operatori industriali di studiare nuove forme e nuove tecnologie di bombole per idrogeno compresso, dato che la soluzione definitiva non è ancora stata trovata in quanto le conoscenze tecnologiche sono ancora scarse e richiedono ancora ingenti sforzi di innovazione.

Nella tabella 4 sono riportate alcune caratteristiche delle bombole veicolari per metano come un'utile indicazione di quelli che saranno i futuri serbatoi veicolari per l'idrogeno. Nella tabella 5 e figura 6 sono indicate le caratteristiche principali delle bombole di tipo 3 e di tipo 4 sempre realizzate per metano, ma simili a quelle realizzate per l'idrogeno, oggi solo in forma di prototipi. Recentemente sono state realizzate bombole in composito a 700 bar del peso di 95 Kg e contenenti 3,1 Kg di idrogeno, che possono assicurare ad un veicolo medio, funzionante con motore a combustione interna ad idrogeno, un'autonomia di circa 270 Km. Queste prestazioni non sono entusiasmanti, tuttavia rappresentano un primo importante passo nello sviluppo di queste tecnologie.

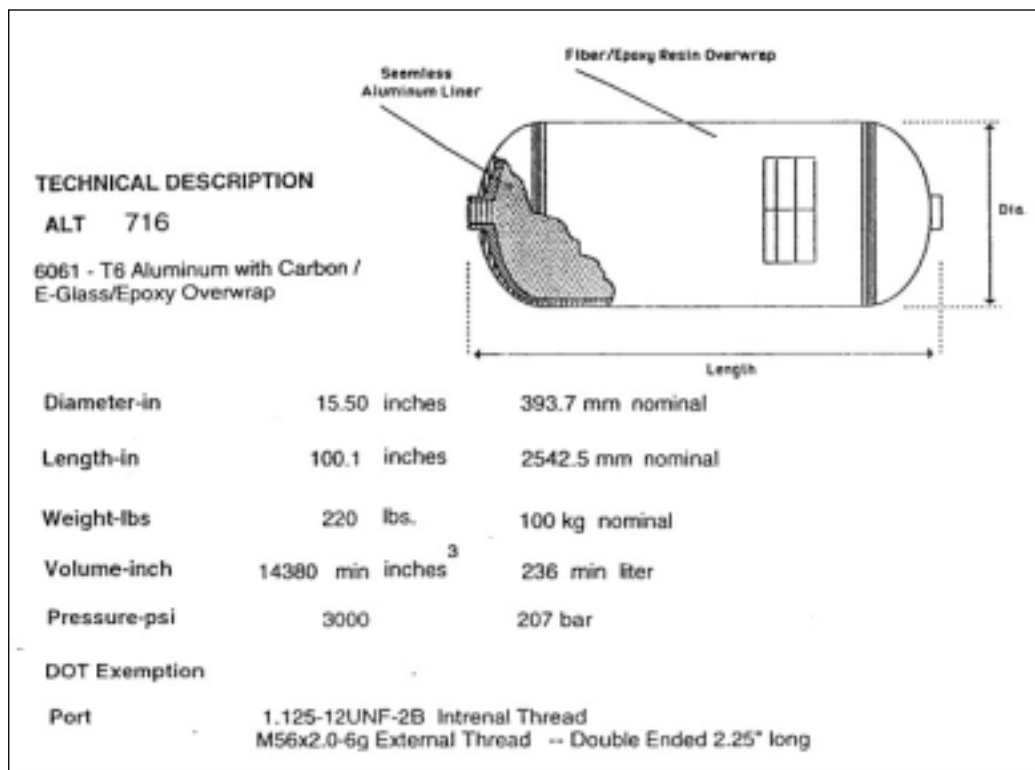


Fig. 6 - Bombola per metano di tipo CNG-3 realizzata con un "liner" in alluminio rinforzato con fibre di carbonio/vetro/epossidiche (207 bar) ( $R \approx 0,43$ ) (STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES - USA)

Fig. 6 - Cylinder for methane type CNG-3 with aluminum liner and carbon E-glass epoxy over wrap

"EIHP" EUROPEAN INTEGRATED HYDROGEN PROJECT

Nel 1998 è stato istituito presso la Comunità Europea DG XII il progetto "EIHP 1" con lo scopo di raccogliere le informazioni tecniche sull'utilizzo dell'idrogeno sia in generale sia nell'uso veicolare, concernenti soprattutto la sicurezza di esercizio dei veicoli alimentati ad idrogeno funzionamento su strada, parchemento, rifornimento. Sono state quindi raccolte anche le norme e gli standard redatti per le applicazioni industriali dell'idrogeno anche non specificatamente dedicate ai veicoli. L'obiettivo finale è stato quindi quello di raccogliere tutte le indicazioni possibili per poter redigere i Regolamenti di omologazione internazionali, nell'ambito dell'organizzazione ECE-ONU WP29 di Ginevra, che appunto è delegata alla stesura di tutti i regolamenti di omologazione dei veicoli stradali, applicabili per legge a tutti i Paesi che hanno sottoscritto l'Accordo ECE-ONU del 1958. La Comunità Europea ha sottoscritto, con tutti i suoi Paesi membri, l'accordo.

Nell'ambito del progetto "EIHP 1" è stata creata una base dati sull'idrogeno come combustibile per i veicoli e sono stati identificati i punti critici sia degli impianti veicolari a livello prestazionale e a livello sicurezza, che degli impianti fissi a terra per la fabbricazione, distribuzione dell'idrogeno. I Partners del progetto "EIHP 1", che si è concluso nel 2000, sono stati:

- AIR LIQUIDE (F), BMW (D), EC JOINT RESEARCH ISpra (I), HEW (Compagnia Elettrica) (D), HYDROGEN SYSTEM (B), INTA (ES), LBST (D), MESSER GRIESHEIM (D), RENAULT (F), VOLVO (S).

Come passo successivo all'EIHP 1, nel 2001 è stato istituito un secondo progetto "EIHP 2" con lo scopo di redigere in forma di bozza i seguenti documenti di preparazione ai futuri Regolamenti:

- Regolamento armonizzato a livello mondiale, contenente le disposizioni di omologazione dei veicoli stradali alimentati ad idrogeno;
- Procedure per l'ispezione periodica in servizio dei veicoli alimentati ad idrogeno;
- Regolamento armonizzato a livello mondiale contenente le disposizioni per l'omologazione e l'ispezione periodica

delle infrastrutture di rifornimento, i sottosistemi e i componenti.

I Partners del progetto "EIHP 2" sono gli stessi del progetto "EIHP 1" più i seguenti:

- ADAM-OPEL (D), AIR PRODUCTS (UK), BP AMOCO (UK), COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE (B), D/C (D), NCSR (HE), DET NORJKC VERITAS (N), FORD (D) CENTRO DI RICERCHE DI KORSLRUBE (D), NORSK HYDRO (N), SHELL (UK), ROUFOSS (N).

GRUPPO DI LAVORO AD HOC GRPE SULL'IDROGENO NEI VEICOLI STRADALI "HYDROGEN VEHICLES - ON BOARD STORAGE SYSTEMS"

Nell'ambito del GRPE (Working Party on Pollution and Energy) del WP29 di Ginevra, e successivamente al Gruppo di Lavoro EIHP, è stato istituito un gruppo di lavoro ad hoc per redigere due Regolamenti, uno per le applicazioni dell'idrogeno compresso e l'altro per l'idrogeno liquido, da applicare ai veicoli stradali e ai loro componenti. Questi regolamenti in forma di bozza saranno presentati nel corso del 2003/2004 alle riunioni plenarie del GRPE per la discussione finale e per l'approvazione definitiva. Successivamente i due Regolamenti verranno recepiti dai Paesi che hanno sottoscritto l'accordo ECE-ONU WP29 del 1958 e quindi trasferiti nelle rispettive Gazzette Ufficiali per l'applicazione ai componenti e ai veicoli a cura dei Ministeri dei Trasporti dei singoli paesi. Il simbolo E contraddistinguerà i veicoli e i componenti omologati.

REGOLAMENTO ECE-ONU PER LE APPLICAZIONI VEICOLARI DI IDROGENO COMPRESSO

La bombola in alta pressione è il più diffuso sistema per immagazzinare combustibili gassosi con un elevato grado di sicurezza. Due milioni di veicoli con metano compresso in bombole di 200 bar già in circolazione sulle strade testimoniano la fattibilità di questo sistema come pure una sua certa

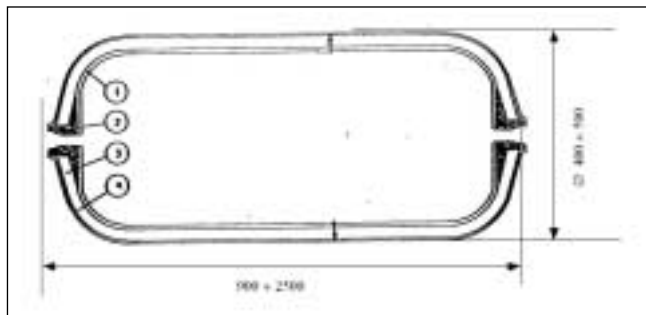


Fig. 7 - Bombola per metano di tipo CNG-4 realizzata con un "liner" in polietilene rinforzato con fibre di carbonio/vetro (200 ÷ 250 bar) (R ≈ 0,32) (ULLIT - FRANCE)

Fig. 7- Cylinder for methane type CNG-4 with liner in polyethylene with carbon E-glass over wrap (200 ÷ 250 bar) (R ≈ 0,32)

accettabilità da parte dell'utenza. Pertanto il Regolamento ECE-ONU per l'idrogeno compresso ha preso spunto dall'analogo Regolamento ECE-ONU R.110 per il metano, con l'obiettivo aggiuntivo di:

- Incrementare la pressione di esercizio fino a 700 bar per ragioni di autonomia;
- Progettazione più accurata dei sistemi e dei componenti con particolare attenzione all'affidabilità in esercizio;
- Prove di omologazione più severe;
- Sistemi di rilevazioni guasti installati a bordo (OBD) per un controllo continuo in esercizio;
- Procedure specifiche di revisione, collaudo e ricertificazione dei sistemi e dei veicoli in esercizio su strada.

La fig. 8 rappresenta le disposizioni di sicurezza previste dal Regolamento per un sistema di stoccaggio ed alimentazione idrogeno per autovettura. Sostanzialmente sono previste delle valvole di sicurezza che devono evitare con assoluta certezza lo scoppio della bombola, anche in caso di coinvolgimento in un incendio.

Le principali valvole di sicurezza, alcune delle quali obbligatorie, sono:

- Elettrovalvola di stop (normalmente chiusa) posta all'uscita della bombola, che ha lo scopo di impedire l'uscita del gas in caso di urto, di rottura della tubazione, di utenza, (motore o fuel cell) guasta, o spenta, ecc. ...
- Valvola fusibile tarata normalmente a 110 Π 120 °C che ha lo scopo di evacuare il gas in caso di incendio per evi-

tare lo scoppio della bombola;

- Diagramma tarato ad una certa pressione di sicurezza in caso di sovrappressione anomala che può verificarsi anche in un incendio;
- Sensori di pressione e di temperatura per il controllo dei parametri di funzionamento in esercizio.

Per quanto riguarda la bombola di idrogeno compresso, si elencano di seguito le sue principali specifiche di costruzione:

- Combustibile  $H_2$  (> 99,8 % per la FC)
- Pressione di lavoro 350 bar a 15 °C
- Massima pressione di riempimento 438 bar a 85 °C
- Pressione di scoppio  $\geq 823$  bar (coeff. 2,35)
- Temperature - 40 °C + 85 °C
- Vita utile > 15 anni a 15000 cicli
- Tempo di riempimento < 3 minuti per 5 Kg di  $H_2$
- Perdita massima ammissibile < 1 Ncm<sup>3</sup>/l/h

Le prove di omologazione che la bombola di idrogeno deve superare sono:

- Cicli di pressione (Leak Before Break) (la bombola deve perdere prima di rompersi)
- Prova di scoppio idrostatica a freddo
- Bonfire test su braciere per verificare il funzionamento delle valvole di protezione
- Prova all'impatto di un proiettile (la bombola può perdere ma non scoppiare)
- Prova di tolleranza ai tagli (solo per bombole in composito)
- Prove ambientali (corrosione, compatibilità ai diversi fluidi, ...)
- Prove di vibrazioni
- Prove di caduta
- Cicli di temperatura estreme
- Prova di tenuta
- Prova di riempimento.

Anche a livello di veicolo completo sono previste delle prove per l'omologazione per verificare la correttezza dell'installazione dei componenti inclusa la bombola. Le prove previste sono:

- Rilevamento perdite di idrogeno in alcune zone del veicolo
- Bonfire sull'intero veicolo
- Prova dei sistemi di evacuazione dell' $H_2$  dalla bombola e dai componenti installati
- Misure delle temperature e delle pressioni lungo il sistema di alimentazione dell'idrogeno

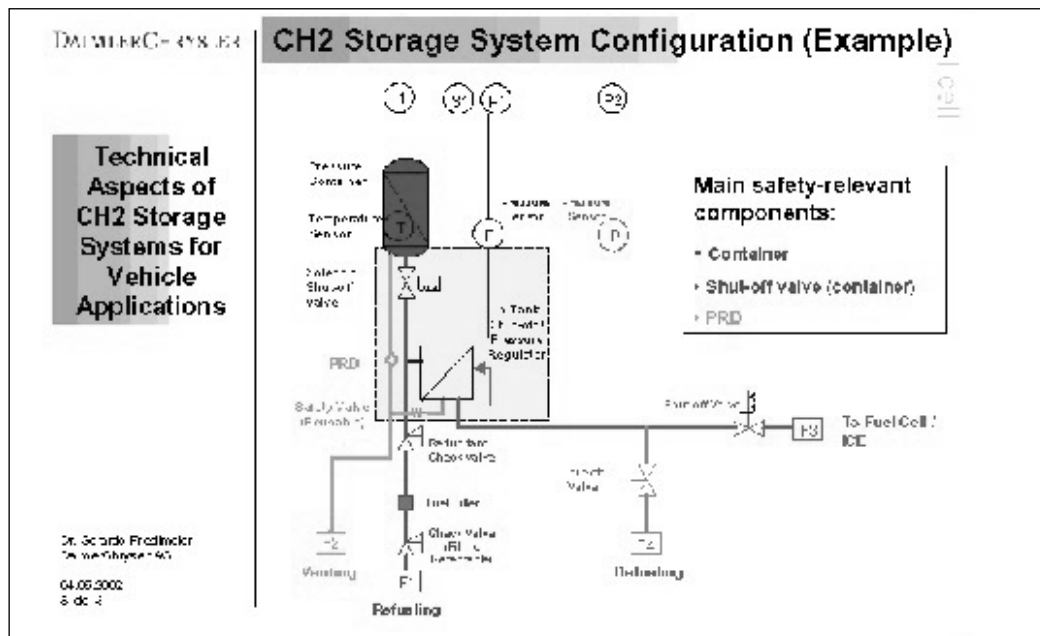


Fig. 8 – Dispositivi di sicurezza obbligatori previsti di un sistema idrogeno per autovettura (fonte D/C)

Fig. 8 – Safety device for compressed gaseous hydrogen system for vehicles

- Prova di crash con verifica del funzionamento delle elettrovalvole di stop
- Misura delle resistenze elettriche dei pneumatici per evitare cariche statiche e scintille
- Misura e controllo delle operazioni di riempimento (connettore).

**REGOLAMENTO ECE-ONU PER LE APPLICAZIONI VEICOLARI DI IDROGENO LIQUIDO**

Per la stesura di questo Regolamento non è stato possibile ricorrere a regolamenti simili preesistenti, pertanto esso è stato redatto sulle informazioni ed esperienze raccolte in ambito EIHP. Il problema più importante riguardante il serbatoio criogenico riguarda il sistema di evacuazione dell'idrogeno all'incremento naturale della temperatura, in quanto l'idrogeno deve essere mantenuto isolato dall'ambiente esterno (- 40 °C ÷ + 80 °C), alla temperatura di - 253 °C. Questo problema viene denominato in inglese "BOIL OFF", definite nel Regolamento con queste due precisazioni:

- **Boil Off System:** Sistema che in condizioni di funzionamento normale apre una valvola che poi si richiude per mantenere a - 253 °C il restante idrogeno, prima che entri in funzione la PRV Pressure Relief Device, ovvero la valvola di sicurezza tarata ad una specifica sovrappressione ammissibile.
- **Boil Off Management System:** Sistema che rende possibile il Boil-Off in normali condizioni di esercizio senza provocare danni o guasti al sistema.

Senza entrare in ulteriori dettagli, ricordiamo che particolari disposizioni sono previste per il serbatoio interno che contiene l'idrogeno liquido: esso è dotato di una "safety relief device" o SRV primaria tarata al 110% della MAWP "Maximum Available Working Pressure" e di una "safety relief device" o SRD secondaria tarata al 136% della MAWP. La MAWP è definita come la massima pressione di progetto calcolata sulla base delle sollecitazioni massime ammissibili dei materiali usati.

Le principali prove a cui deve essere sottoposto il serbatoio criogenico e i suoi componenti sono:

- Prova alla pressione del serbatoio interno: 1,3 (MAWP + 0,1)
- Compatibilità chimica all'H2
- Prove di corrosione di tutti gli elementi del serbatoio
- Resistenza all'invecchiamento all'ozono
- Prova allo scoppio: 3,25 (MAWP + 0,1) con aumento di volume minimo del 8% alla rottura
- Prove di perdite esterne per tutti i componenti
- Prove di perdite interne per tutti i componenti
- Prove di temperature per i PRD "Pressure Relief Device":
  - - 253 °C + 85 °C prima dello scambiatore di calore
  - - 40 °C + 85 °C dopo lo scambiatore di calore
- Prova di autonomia termica al fuoco: deve resistere a 590 °C per almeno 5 minuti poi deve scattare il PRD e il serbatoio non deve scoppiare.

Naturalmente è necessario rilevare che l'installazione su veicolo deve rispondere anche ai normali requisiti dei componenti auto come ad esempio le prove di crash su barriera e le prove di urto posteriore ecc... in assenza di prove di crash è ammesso per l'installazione del serbatoio di procedere per via di calcolo. Questo vale sia per una bombola ad alta pressione o per il serbatoio criogenico. Il calcolo ammesso deve rispettare le seguenti caratteristiche:

- Veicoli M1 e N1                    20 g nel senso di marcia  
    8 g nel senso trasversale
- Veicoli M2 e N2                    10 g nel senso di marcia  
    5 g nel senso trasversale
- Veicoli M3 e N3                    6,6 g nel senso di marcia

5 g nel senso trasversale

Il serbatoio criogenico inoltre deve essere sottoposto a controlli e riqualificazioni periodiche con una frequenza stabilita dal costruttore, che ne indica la durata o la vita utile. Naturalmente il controllo non riguarda soltanto il serbatoio ma anche i suoi dispositivi di sicurezza che sono i seguenti:

- PRD Pressure Relief Device
- SRD Safety Relief Device
- Automatic valve or Shut off valve (elettrovalvola di stop) all'uscita del serbatoio
- Connettore di rifornimento
- Valvole di non ritorno
- Regolatore di pressione
- Tubi flessibili
- Scambiatore di calore
- Sensori di temperatura, pressione e flusso per il montaggio in continua

**ATTIVITÀ DI STANDARDIZZAZIONE PRESSO ISO "INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION"**

Da alcuni anni anche l'ISO ha iniziato ad occuparsi di standard per l'utilizzo dell'idrogeno nei veicoli stradali, affrontando i problemi inerenti alla sicurezza e alla operabilità sia degli impianti di bordo che delle stazioni di rifornimento.

Nella fig. 9 è rappresentato lo schema dei Gruppi di Lavoro internazionali che hanno il compito di redigere le norme sull'idrogeno. Gli standard ISO hanno sostanzialmente il compito di dare delle linee guida alla progettazione dei componenti e alla loro installazione nel veicolo e non hanno carattere cogente di legge. Tuttavia molti Paesi possono richiedere il rispetto degli standard ISO per la fornitura indicata nella loro richiesta d'offerta (tender).

Nell'ambito della organizzazione ISO sono stati istituiti due Comitati Tecnici: ISO/TC 197 dedicato alle tecnologie dell'idrogeno in generale, e ISO/TC 22 dedicato ai veicoli stradali alimentati a combustibili gassosi incluso l'idrogeno. I due Comitati sono legati in comune collaborazione anche con il Comitato Tecnico ISO/TC 58, dedicato alle tecnologie dei gas compressi che si occupa principalmente di metano. Quest'ultimo ha il compito di fornire gli standard relativi alla costruzione, all'utilizzo e alla revisione delle bombole ad alta pressione per metano. La tabella 6 rappresenta i Comitati Tecnici ISO con le loro rispettive sottomissioni, che sono incaricate di redigere gli standard sull'idrogeno, ciascuno secondo specifiche competenze.

Ricordiamo inoltre che anche la IEC International Electrotechnical Commission (IEC) collabora attivamente con i

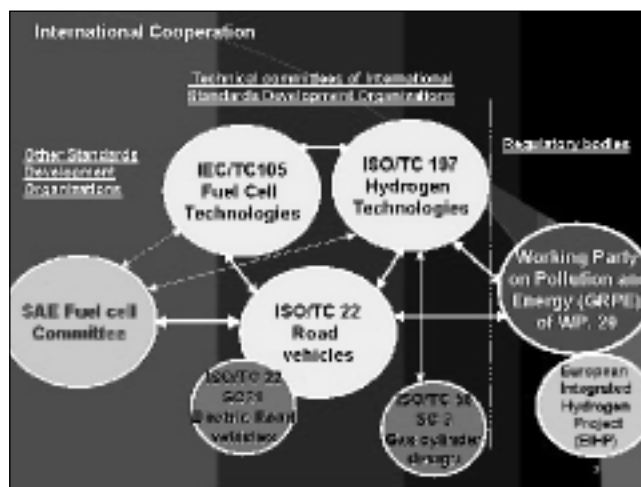


Fig. 9 – Schema dei Gruppi di Lavoro internazionali

Fig. 9 – International Working Group schema

ISO/TC22/SC25	Standard relativi a sistemi e componenti per veicoli stradali alimentati con combustibili gassosi (metano, GPL, idrogeno). Sono stati emessi gli standard relativi al solo metano: ISO 15500-(1)[20] e ISO 15501-(1)[2]
ISO/TC58/SC3	Standard di progettazione delle bombole di gas compresso. E' stato emesso lo standard ISO 11439 relativo alle bombole di metano, articolato nei 4 tipi (CNG-1, CNG-2, CNG-3, CNG-4). Questo standard è stato preso come base per la stesura dell'equivalente standard per l'idrogeno compresso.
ISO/TC50/SC4	Standard operative per la gestione delle bombole per gas compressi. E' stato emesso lo standard ISO/DIS 19078 relativo alle modalità di ispezione delle bombole di metano in esercizio. Questo standard servirà di base anche per le bombole di H2.
ISO/TC 197	E' suddiviso in 10 gruppi di lavoro tutti dedicati all'idrogeno. Quelli di interesse dei veicoli stradali sono: WG 1 Serbatoi criogenici per idrogeno liquido WG 2 Serbatoi criogenici per trasporto multimodale dell'idrogeno liquido WG 5 Stazioni di rifornimento per veicoli WG 6 Bombole per idrogeno compresso WG 7 Considerazioni di base sulla sicurezza dei sistemi idrogeno (ISO/PDTR 15916)
ISO/TC 22/SC21	Standard per veicoli elettrici inclusi i sistemi di trazione a celle a combustibile ad idrogeno.
ISO/TC 220	Standard per serbatoi criogenici per l'impiego industriale dell'idrogeno. Gli standard elaborati in questo Comitato vengono ripresi dal TC 197 che ha il compito di redigere quelli specifici per i veicoli stradali.

Gruppi di Lavoro ISO, redigendo, attraverso il Comitato IEC/TC 105, gli standard relativi alle celle a combustibile, sia per gli impieghi stazionari che veicolari.

**NORMATIVE DEGLI IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE E DI RIFORNIMENTO DEI VEICOLI STRADALI**

I Paesi, maggiormente interessati all'idrogeno come combustibile del futuro (USA, Canada, Germania, ...) stanno elaborando norme e standard per raggiungere un elevato grado di sicurezza in tutti gli impianti che dovranno essere costruiti per la produzione, la distribuzione, lo stoccaggio dell'idrogeno e il rifornimento dei veicoli stradali. Ricordiamo che le norme attualmente applicate al metano sono state prese come riferimento per la stesura delle analoghe norme sull'idrogeno.

Per quanto riguarda le stazioni di rifornimento è in fase di stesura uno standard che definisce le distanze di sicurezza tra i vari elementi della stazione. La fig. 10 rappresenta uno studio elaborato da Advanced Energy System che fa parte del Gas Technology Institute (USA), per una stazione di rifornimento di idrogeno aperta al pubblico. Questa stazione consente di rifornire anche veicoli a benzina e veicoli bi-fuel benzina/idrogeno, prevedendo quindi che lo sviluppo dei veicoli ad idrogeno inizierà con i veicoli tradizionali con motore a combustione interna convertiti in bi-fuel benzina ed idrogeno.

Riportiamo qui di seguito, a titolo informativo, l'attività di stesura delle norme in corso negli USA suddivisi nei vari elementi della catena di produzione e trasporto dell'idrogeno:

**GENERAZIONE DELL'IDROGENO**

- **UL STP 2264 (Underwriters Labs):** Sistemi generatori con reformer di idrogeno gassoso.
- **ISO/TC 197-8:** Generatori di idrogeno per elettrolisi dell'acqua.
- **UL STP 2264:** Sistemi generatori di idrogeno per elettrolisi dell'acqua.

Tab. 6 – I principali Gruppi di Lavoro ISO dedicati all'idrogeno per veicoli stradali

Table 6 – Main ISO Working Group dedicated to hydrogen for vehicles

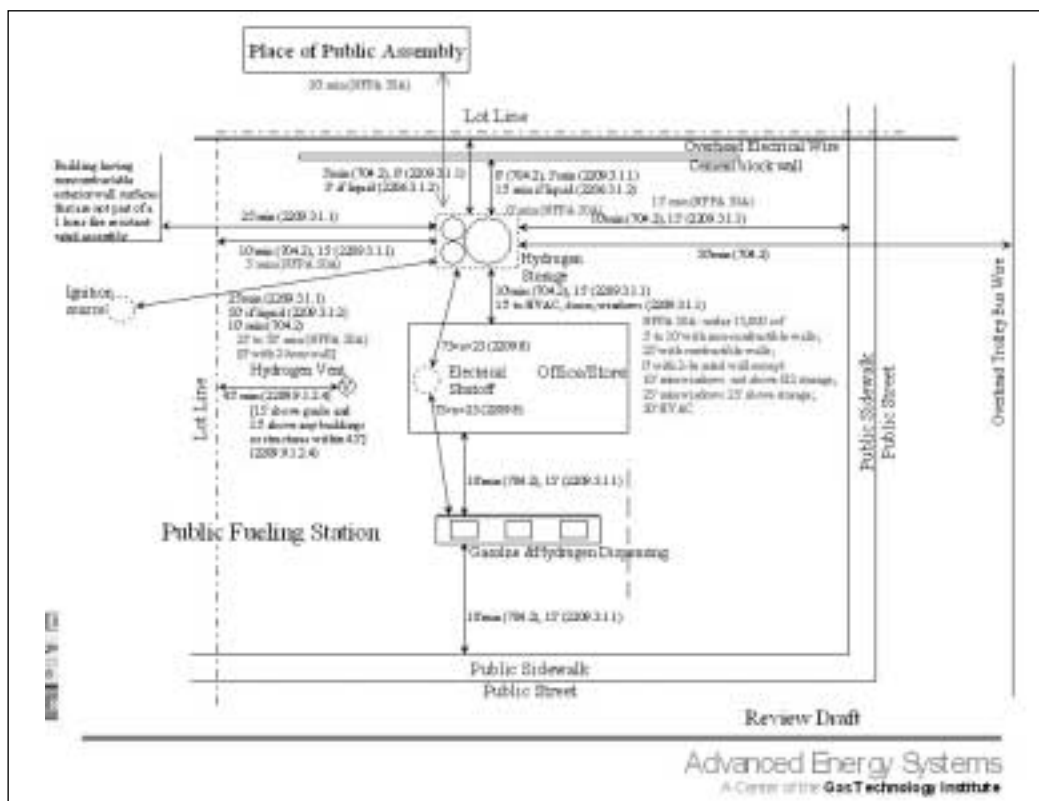


Fig. 10 – Studio per una stazione di rifornimento idrogeno aperta al pubblico [fonte: Advanced Energy System (USA)]

Fig. 10 – Layout study of hydrogen fueling station open to the public

TRASPORTO DELL'IDROGENO

- ASME B 31.8: Sistemi di trasporto e distribuzione dell'idrogeno gassoso.
- ISO/TC 197-2: Contenitore di idrogeno liquido per trasporto multimodale.

Nota: Negli USA gli idrogenodotti hanno una lunghezza complessiva di 700 miglia mentre i metanodotti di 2.000.000 miglia.

STOCCAGGIO DELL'IDROGENO

- NFPA (National Fire Protection Ass.) 50A: Stoccaggio dell'idrogeno gassoso
- NFPA 50-B: Stoccaggio dell'idrogeno liquido
- ISO/TC 197-....: Stoccaggio dell'idrogeno con metal Hydride

COMPONENTI PER STAZIONI DI RIFORNIMENTO

- ASME/DOT (American Society of Mechan. Eng.): Valvo-

le di sicurezza (PRD)

- ASME B-31.3: Tubazioni per impianti di generazione
- CGA G-5 (Compressed Gas Association): Tubazioni e raccordi
- SAE J-2600 (Society of Automotive Engin.): Connettori per stazioni di rifornimento veicoli
- ANSI/IAS NGV4 (American National Standard Ist.): Modifica delle norme NGV (metano) per tener conto delle caratteristiche dell'idrogeno

QUALITA' DEL COMBUSTIBILE IDROGENO

- ISO 14687: Specifiche di prodotto con combustibile H<sub>2</sub>
- CGA G-5.3 e SAE: Specifiche di prodotto con combustibile H<sub>2</sub> per le celle a combustibile

PROTEZIONE DEL PERSONALE

- 29 CFR 1910: Sicurezza dei posti di lavoro
- DOT (Deport Of Transport): Linee guida per l'emergenza in caso di incidenti e per le protezioni da adottare

ABSTRACT

TECHNOLOGIES AND STANDARDS FOR SYSTEMS AND VEHICLES USING HYDROGEN AS FUEL

KEYWORDS:

hydrogen, standards, ecology, fuel, road vehicle

Recently many industrial observers, as well many public administrations have focused the hydrogen as "energy carrier", able to transfer energy from the primary sources to the various applications public and private. The hydrogen moreover seems to be the merging point of many energy flows, including those coming from renewable sources. The road vehicles, one of the major air pollution causes in urban areas, will take advantage from the hydrogen fuel to become the "zero emission vehicles" or ZEV. This performance is achievable with hydrogen fuel in combination with fuel cell and traction electric motor, but even the well known internal combustion engine feeded with hydrogen will reach interesting ecologic results. The total absence of the carbon in hydrogen fuel is a great advantage for the complete elimination of many pollutants as unburned hydrocarbons, particulate emissions and CO<sub>2</sub>. On the other side the absence of the carbon makes hydrogen energy density very low, then its storage onboard of the vehicle is very difficult.

The first chapter of the paper is dedicated to surveying the fuels normally used in the road vehicles: gasoline, LPG, and NG natural gas (methane), compared with the new fuel: hydrogen.

The combustion characteristics of the various fuels are analyzed in order to take into account the safety problems (i.e. fire risk) and the performances when they are used in the internal combustion engine.

Basically the hydrogen is a good fuel, probably the best one, but it requires a dedicated engine, redesigned in its mechanical structure and in its control strategies to burn properly mixture air/hydrogen.

As far the vehicle is concerned, the major problems arise on board of the vehicles. The energetic ratios in KWh/Kg and in KWh/liter are given in a table for a useful comparison with the other fuels.

The hydrogen can be stored in compressed form 200 [ 700 bar CGH<sub>2</sub> in high pressure cylinder, or in liquid form - 252 °C LH<sub>2</sub> in a cryogenic container. This last tank is the more complicate of any other tank for any other fuel, but it can give a convenient range, even if its thermal autonomy (see chapter 2) or boil-off performance reduces quite enough this range. In fact, even if the vehicle is not in use, a fuel venting is necessary as to maintain cool the whole tank and its integrity. A

thermal autonomy of a week can be normally achieved.

Many other technologies are investigated in the research laboratories to store properly the hydrogen in the vehicles (see table in the chapter 2), but so far only two technologies seem to be adequate for this: liquid form and gaseous compressed form. The last form probably is the most promising due to the great experience done on methane composite cylinders at high operating pressure. Recently pressures up to 700 bar are reached with a very good safety factor.

The research activity is rapidly increased, many prototype-vehicles are already tested on the road in a small fleets by the major car manufacturers, which want to extend their tests in larger fleets, operated by private and public owners. For this reason is very important in having the suitable Standards and Regulations in order to obtain a "type approval" for hydrogen vehicles. Three different topics are required: compressed gas hydrogen (CGH<sub>2</sub>) system, liquefied hydrogen (LH<sub>2</sub>) system and fuel cells for vehicles.

In the 1998 a European Integrated Hydrogen Project (EIHP) was established in the European Community DG XII in order to enhance the safety of hydrogen vehicles and to facilitate the approval of hydrogen vehicles. A second phase of EIHP followed the first one with the goal of preparing a draft Regulations for the approval of hydrogen fuelled road vehicles. These draft regulations shall be developed to such a level that they can be harmonized on a global level, initially between the EU and North America. The development of procedures for periodic vehicle inspections (roadworthiness) was also approached.

More recently an "Ad hoc Working Group" in the WP29/GRPE in Geneva (ECE-ONU Organization) was established with the goal to prepare two Regulations: one dedicated to CGH<sub>2</sub> system and one dedicated to LH<sub>2</sub> system, starting from the documents prepared by EIHP. These draft Regulations have been presented during the session of GRPE on May 2003 and are expected for final approval for 2005. Meanwhile a third Regulation, dedicated to fuel cell will be drafted at 2003/2004 and will be presented in the January session of GRPE on 2004.

The chapter 4 is dedicated to a brief explanation of the concepts and the guide lines adopted in drafting these two Regulations, as well the tests which can be carried out in order to obtain the Type approval of each component and its installation on the vehicle.

The Chapter 5 describes all other International Organizations in ISO, that are involved in studying and preparing the ISO Standards on hydrogen components for stationary applications (filling stations) as well vehicles connectors.