



European Train the Trainer Programme for Responders

Lezione 3

Stoccaggio dell'idrogeno

Livello I

Firefighter

Le informazioni contenute in questa lezione sono rivolte al livello **Vigile del Fuoco** e successivi.

La lezione è disponibile anche ai livelli I-III.

La lezione fa parte del materiale didattico per i livelli I – IV : Vigile del Fuoco, Capo Squadra, Funzionario di Guardia e Specialista. L'introduzione della lezione riporta le competenze e aspettative di apprendimento

Nota: il materiale è proprietà del Consorzio HyResponder e dovrebbe essere riconosciuto conformemente; gli output del progetto HyResponse sono stati utilizzati come materiale di riferimento



Dichiarazione di limitazione di responsabilità

Nonostante l'attenzione prestata durante la preparazione di questo documento, si applica la seguente dichiarazione di limitazione delle responsabilità: le informazioni in questo documento vengono fornite così come sono e non viene fornita alcuna garanzia che le informazioni siano adatte ad uno scopo particolare. L'utente utilizza le informazioni a suo esclusivo rischio e responsabilità.

Il documento riflette solo le opinioni degli autori. La FCH JU e l'Unione Europea non sono responsabili per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni ivi contenute.

Disclaimer

Despite the care that was taken while preparing this document the following disclaimer applies: the information in this document is provided as is and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The user thereof employs the information at his/her sole risk and liability.

The document reflects only the authors' views. The FCH JU and the European Union are not liable for any use that may be made of the information contained therein.

Ringraziamenti

Il progetto è stato finanziato dal Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) con il grant agreement N. 875089. Il JU riceve supporto dal programma di ricerca ed innovazione European Union's Horizon 2020 ed il Regno Unito, Francia, Austria, Belgio, Spagna, Germania, Italia, Repubblica Ceca, Svizzera, Norvegia.

Acknowledgements

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (now Clean Hydrogen Partnership) under Grant Agreement No 875089. This Joint Undertaking receives support from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation program, Hydrogen Europe and Hydrogen Europe Research.

Sommario

Questa lezione introduce le differenti opzioni di stoccaggio dell'idrogeno: compresso, liquefatto e in materiali solidi, nonché i pericoli e i problemi di sicurezza ad essi associati. In particolare, viene introdotta la rottura catastrofica dei contenitori di stoccaggio insieme agli strumenti online che possono essere utilizzati.

I materiali qui presentati si basano sulle lezioni originali di HyResponse.

Keywords

Stoccaggio dell'idrogeno, idrogeno compresso, contenitore di stoccaggio, idrogeno liquefatto, materiali per lo stoccaggio dell'idrogeno, prevenzione di esplosione, leak-no-burst

Indice

Sommario	3
Keywords	3
1. Target audience.....	5
1.1 Descrizione del ruolo: Vigile del Fuoco	5
1.2 Livello di competenza: Vigile del Fuoco	5
1.3 Prerequisiti per l'apprendimento: Vigile del Fuoco.....	5
2. Introduzione ed obiettivi	5
3. Opzioni di stoccaggio dell'idrogeno.....	6
4. Stoccaggio dell'idrogeno gassoso	8
4.1 Tipi di contenitori per lo stoccaggio di cGH ₂	8
4.2 Stoccaggio dell'idrogeno a bordo	9
4.3 Dispositivi di depressurizzazione.....	10
5. Conseguenze della rottura catastrofica di serbatoi di stoccaggio dell'idrogeno ad alta pressione (onda d'urto, fireballs, proiettili).....	10
5.1 Rischi e problemi di sicurezza associati al cGH ₂ : riepilogo.....	10
6. Tecnologia Leak-no-burst	11
6.1 Nuovo trend nel 2020	12
7. Utilizzo di e-Laboratory.....	13
Bibliografia	13

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

1. Target audience

Le informazioni contenute in questa lezione sono indirizzate al Livello 1: Vigile del Fuoco. Le lezioni sono anche disponibili per i livelli II, III e IV: Capo Squadra, Funzionario di Guardia e Specialista.

La descrizione del ruolo, livello di competenza e aspettative di apprendimento per il Vigile del Fuoco sono descritte di seguito.

1.1 Descrizione del ruolo: Vigile del Fuoco

Un vigile del fuoco si occupa e dovrebbe essere in grado di eseguire operazioni in sicurezza con dispositivi di protezione individuale (PPE), compresi respiratori (BA), utilizzando le attrezzature fornite, come veicoli, scale, manichette, estintori, strumenti di comunicazione e di soccorso, in qualsiasi condizione climatica in aree e situazioni di emergenza che ci si può realisticamente aspettare.

1.2 Livello di competenza: Vigile del Fuoco

Formazione nell'uso sicuro e corretto di PPE, BA e altre attrezzature che si prevede saranno utilizzate durante le operazioni di primo intervento. I soccorritori devono essere supportati da conoscenze e pratiche adeguate. I comportamenti che proteggeranno loro e gli altri colleghi dovrebbero essere descritti dalle procedure operative standard (SOP). È richiesta la capacità pratica di valutare dinamicamente il rischio per la propria sicurezza e degli altri.

1.3 Prerequisiti per l'apprendimento: Vigile del Fuoco

EQF 2 Conoscenza concreta di base del campo di lavoro o di studio. Abilità cognitive e pratiche di base necessarie per l'utilizzo di informazioni rilevanti al fine di svolgere compiti e risolvere problemi di routine utilizzando regole e strumenti semplici. Lavorare o studiare sotto supervisione con una certa autonomia.

2. Introduzione ed obiettivi

L'idrogeno viene tipicamente immagazzinato e trasportato in due forme: come gas idrogeno compresso o come liquido criogenico. Il modo più comune per stoccare l'idrogeno è in cilindri/serbatoi metallici o compositi di diverse dimensioni e capacità. A volte possono essere collegati in gruppo o raccolti in uno stock per il trasporto. A causa delle ridotte dimensioni delle sue molecole, l'idrogeno tende a fuoriuscire facilmente attraverso alcuni materiali, crepe o giunti scadenti dei serbatoi di stoccaggio, al contrario di altri gas comuni a pressioni equivalenti. Sebbene l'idrogeno sia generalmente non corrosivo e non reagisca con i materiali utilizzati per i contenitori di stoccaggio, a determinate condizioni di temperatura e pressione può diffondersi nei reticoli metallici causando un fenomeno noto come "*infragilimento da idrogeno*". Inoltre, nel caso di incendi, i materiali compositi utilizzati per i serbatoi di stoccaggio possono degradarsi e può verificarsi una perdita di contenimento dell'idrogeno. Nel peggiore dei casi, ciò può portare a una rottura catastrofica del serbatoio di stoccaggio

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

dell'idrogeno, generando un'onda d'urto seguita da una *fireball* e proiezione di frammenti/missili volanti. Per questo motivo, i sistemi di stoccaggio dell'idrogeno devono essere progettati e mantenuti secondo elevati standard di sicurezza per garantire l'integrità del contenitore.

La presente lezione offre una panoramica delle opzioni di stoccaggio dell'idrogeno e affronta anche i principali problemi tecnici e di sicurezza ad essi associati. La lezione tratta anche l'interazione dell'idrogeno con diversi tipi di materiali e la permeazione dell'idrogeno, che sono estremamente rilevanti per le tecnologie di stoccaggio dell'idrogeno. È importante notare che il tema dello stoccaggio dell'idrogeno è vasto; quindi, questa lezione è principalmente focalizzata sui sistemi di stoccaggio dell'idrogeno ad alta pressione, liquefatto e solido, con una particolare attenzione alla tecnologia di stoccaggio ad alta pressione, in quanto più comune. I fenomeni quali rilasci dell'idrogeno, incendi ed esplosioni saranno discussi nelle lezioni successive.

3. Opzioni di stoccaggio dell'idrogeno

Lo stoccaggio dell'idrogeno è una tecnologia che rende possibile l'intera gamma di applicazioni di celle a combustibile ad idrogeno (FCH), dai veicoli alla produzione di energia fissa e mobile [1]. Non esiste una soluzione universale per lo stoccaggio dell'idrogeno. Al contrario, la soluzione deve essere accuratamente selezionata per soddisfare i requisiti di sistema specifici per l'applicazione. Ad esempio, il volume e il peso sono fattori critici per le auto FC, mentre il peso può essere un attributo desiderabile per i carrelli elevatori FC o le applicazioni marittime. Per le applicazioni spaziali la NASA utilizza da anni l'idrogeno liquido [2].

L'idrogeno è il gas più leggero con una densità di 0,09 g/L a 288 K e 1 bar. Come risulta dalla [Tabella 1](#) ha un contenuto energetico per massa molto elevato rispetto ad altri combustibili (circa tre volte più della benzina). Tuttavia, a causa della sua bassa densità, l'idrogeno ha un contenuto energetico per unità di volume molto basso (circa quattro volte inferiore alla benzina). Di conseguenza, lo stoccaggio dell'idrogeno, in particolare entro i limiti di dimensioni e peso di un veicolo, rappresenta una sfida considerevole [3]. Studi e ricerche sono tuttora in corso per sviluppare una tecnologia di stoccaggio dell'idrogeno sicura, affidabile, compatta, leggera ed economica.

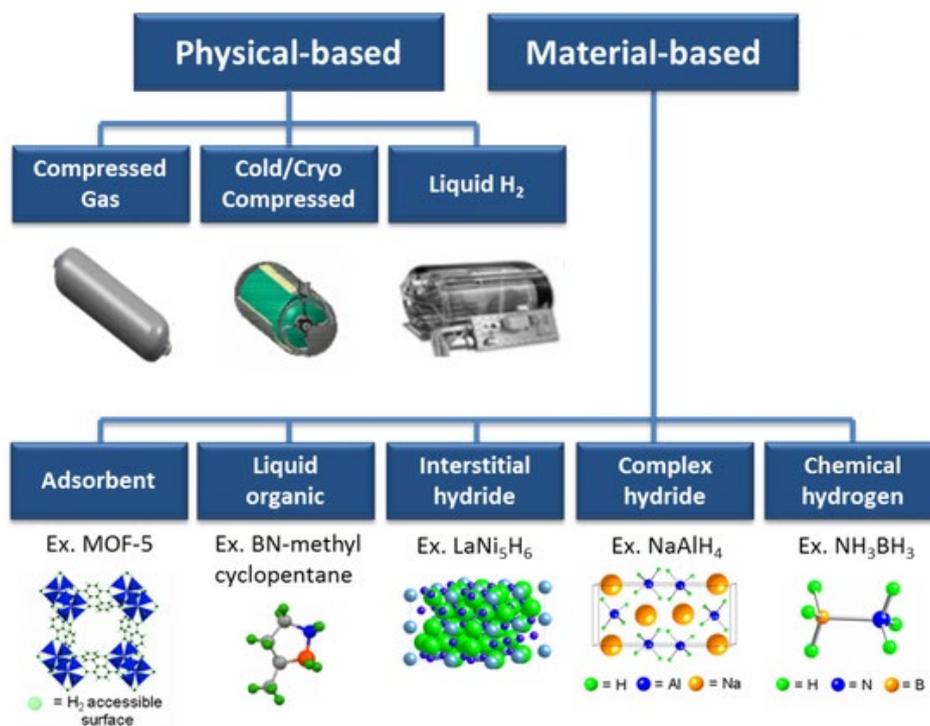
Le *capacità volumetriche* e *gravimetriche* (densità) sono due termini spesso utilizzati quando si descrivono gli approcci allo stoccaggio del gas. Nel caso dell'idrogeno, le attività di ricerca sono orientate all'aumento di entrambe le capacità, ovvero sono auspicabili capacità più elevate sia volumetriche che gravimetriche. Come mostrato nella [Tabella 1](#), c'è più energia in 1 kg di idrogeno che in 1 kg di benzina. Tuttavia, è anche evidente che la stessa massa di idrogeno occupa un volume maggiore. L'idrogeno non è un liquido a temperatura ambiente e, quindi, per immagazzinare le quantità sufficienti per una certa autonomia su un veicolo (sopra i 500 km) è necessario comprimerlo a pressioni molto elevate (ad esempio a 700 bar per applicazioni automobilistiche), o raffreddarlo notevolmente per ottenere una forma liquida. Questi estremi

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

di pressione e temperatura presentano dei problemi di sicurezza per i materiali utilizzati ed in caso di perdita di contenimento.

Tabella 1. Contenuto energetico per massa e volume dell'idrogeno e altri combustibili comuni [4]

	Idrogeno	Gas Naturale	Benzina
Contenuto energetico per unità di massa	2.8 volte più della benzina	~1.2 volte più della benzina	43 MJ/kg
Contenuto energetico per unità di volume	4 volte meno della benzina	1.5 volte meno della benzina	120 MJ/Gallone



Fonte: US Department of Energy (DoE): <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

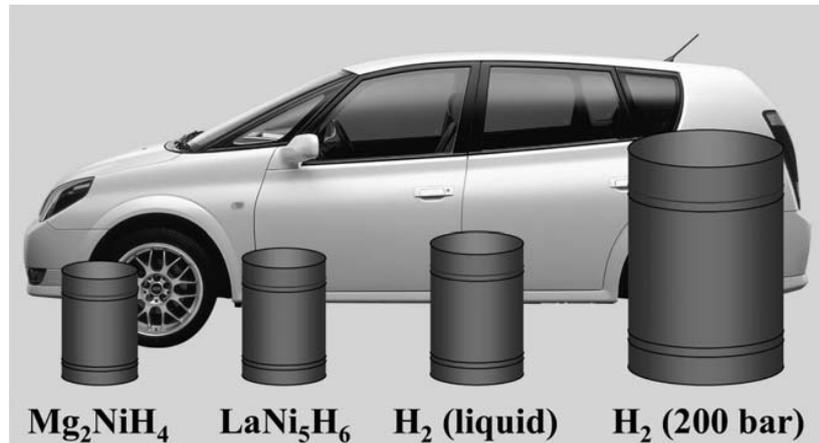
Figura 1. Panoramica delle tecnologie di stoccaggio dell'idrogeno - Fisico: gas compresso, crio-compresso, liquido; Materiali: adsorbente, liquido organico, idruro interstiziale, idruro complesso, idrogeno chimico.

L'idrogeno può essere immagazzinato *fisicamente* come gas compresso (cGH₂) o come liquido criogenico (LH₂). I sistemi di stoccaggio dell'idrogeno gassoso richiedono tipicamente recipienti a gas compresso resistenti fino a 700 bar di pressione. Lo stoccaggio dell'idrogeno allo stato liquido richiede temperature estremamente basse perché il suo punto di ebollizione a 1 atm di pressione è di -253°C. L'LH₂ è comunemente impiegato per lo stoccaggio stazionario e il trasporto di idrogeno (fare riferimento alla lezione "Introduzione alle applicazioni FCH e sicurezza dell'idrogeno"). L'idrogeno può anche essere immagazzinato nei *materiali*: sulle

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

superfici dei solidi (per adsorbimento) o all'interno dei solidi (per assorbimento) [1]. Una panoramica delle opzioni di stoccaggio dell'idrogeno è fornita in [Figura 1](#).

La [Figura 2](#) (fonte [5, 6]) illustra le densità volumetriche raggiunte o previste per le varie opzioni di stoccaggio nelle applicazioni a bordo dei veicoli. Il DOE degli Stati Uniti ha fissato obiettivi nel suo programma di ricerca [7] per ciascuno dei parametri in modo che la ricerca possa essere interrotta se sembra che uno degli obiettivi non possa essere raggiunto.



Fonte: Risø Energy Report 3, 2004.

Figura 2. Il volume occupato da 4 kg di idrogeno immagazzinato in modi diversi, rispetto alle dimensioni di un'auto.

4. Stoccaggio dell'idrogeno gassoso

Attualmente, il modo più comune di immagazzinare l'idrogeno è come gas compresso in cilindri metallici e compositi a diverse pressioni. Come è stato mostrato nelle lezioni precedenti, molte applicazioni FC utilizzano l'idrogeno a pressioni più elevate.

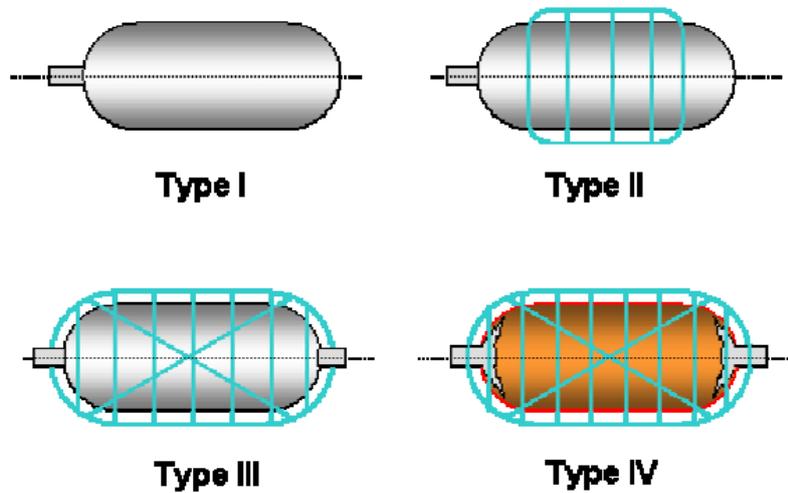
4.1 Tipi di contenitori per lo stoccaggio di cGH₂

A causa di una serie di proprietà uniche dell'idrogeno (vedere la lezione "Proprietà dell'idrogeno rilevanti per la sicurezza") l'idrogeno deve essere compatibile con i materiali di cui sono fatte le pareti dei serbatoi di stoccaggio. Sono stati sviluppati e utilizzati quattro tipi di contenitori per il trasporto e lo stoccaggio dell'idrogeno:

- Tipo I: contenitore metallico senza saldatura in metallo
- Tipo II: contenitore metallico senza giunture fasciato da un telaio in fibra di resina composita
- Tipo III: rivestimento metallico completamente fasciato con composito in fibra di resina
- Tipo IV: rivestimento polimerico completamente fasciato con composito in fibra di resina.

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

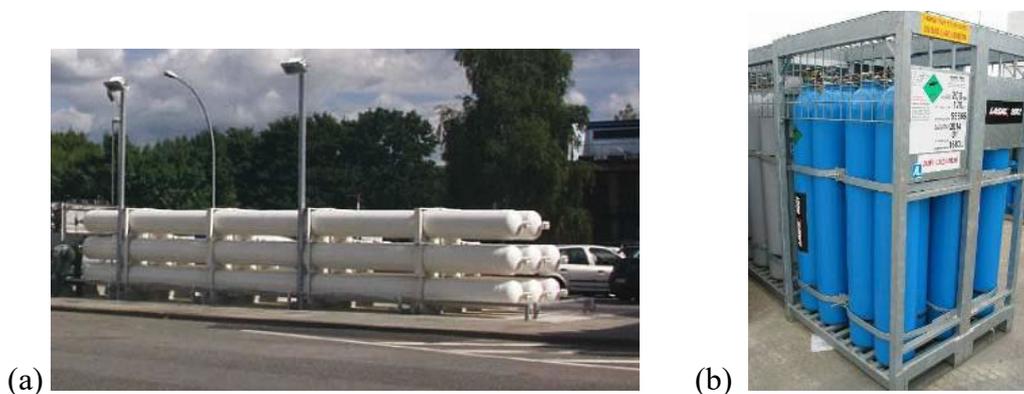
Nel 2014 è stato prodotto il primo prototipo di serbatoio di tipo V. È un contenitore completamente composito senza rivestimento [8]. Le rappresentazioni schematiche dei tipi di contenitori utilizzati per il cGH₂ sono mostrate nella Figura 3.



Fonte: Barthelemy, 2009 [10].

Figura 3. Tipi di serbatoi di idrogeno utilizzati per lo stoccaggio di idrogeno gassoso compresso

Gli esempi di serbatoi di stoccaggio che possono essere trovati nelle applicazioni fisse includono: un gruppo o uno stock di cilindri, gruppo di tubi fissi o cisterne tubolari utilizzate per fornire idrogeno alle stazioni di rifornimento (Figura 4).



Fonte: AirLiquide Image Bank

Figura 4. Esempi di contenitori per lo stoccaggio dell'idrogeno in applicazioni stazionarie: (a) gruppo fisso di cilindri, (b) stock di cilindri.

4.2 Stoccaggio dell'idrogeno a bordo

Come accennato in precedenza, i contenitori più adatti per lo stoccaggio di idrogeno a bordo di veicoli sono il Tipo III e il Tipo IV. Queste tecnologie sono ampiamente utilizzate anche per lo stoccaggio di altri gas (es. gas naturale o aria), ma la differenza principale è la necessità di pressioni molto più elevate per lo stoccaggio dell'idrogeno a bordo: da 35 a 70 MPa per

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

l'idrogeno rispetto ai 20 MPa per il gas naturale. I sistemi di stoccaggio dell'idrogeno installati a bordo devono svolgere le seguenti funzioni:

- ricevere l'idrogeno durante il rifornimento;
- contenere l'idrogeno fin quando necessario;
- rilasciare l'idrogeno al sistema FC per alimentare il veicolo.

Gli odierni veicoli per passeggeri a celle a combustibile (FCV) immagazzinano tipicamente fino a 6 kg di idrogeno a bordo necessari per fornire un'autonomia di guida di 400-500 km [4]. Gli autobus alimentati a idrogeno presentano diversi serbatoi sul tetto, analogamente agli autobus a metano, ed il gruppo di celle a combustibile si trova solitamente nel vano motore posteriore. A bordo di un autobus FC possono essere immagazzinati fino a 50 kg di idrogeno.

4.3 Dispositivi di depressurizzazione

La principale componente per la sicurezza dei sistemi di stoccaggio dell'idrogeno (sia per applicazioni automobilistiche che stazionarie) sono i *dispositivi di limitazione della pressione / depressurizzazione (pressure relief device, PRD)*, con la seguente definizione: un PRD è un dispositivo di sicurezza che protegge da una rottura del serbatoio di stoccaggio rilasciando una parte o l'intero contenuto del serbatoio in caso di alte temperature, alte pressioni o una combinazione di entrambi [9]. In caso di incendio, il *dispositivo di depressurizzazione ad attivazione termica (Thermally Activated Pressure Relief Device, TPRD)* fornisce un rilascio controllato dell'idrogeno gassoso GH_2 da un contenitore di stoccaggio ad alta pressione prima che le sue pareti siano indebolite dalle alte temperature, portando ad una rottura catastrofica. Le TPRD scaricano rapidamente l'intero contenuto del contenitore. Non si richiudono né consentono la ri-pressurizzazione del contenitore per i sistemi ad idrogeno.

5. Conseguenze della rottura catastrofica di serbatoi di stoccaggio dell'idrogeno ad alta pressione (onda d'urto, fireballs, proiettili)

Cosa succede se la TRPD non si attiva in caso di incendio? Gli studi effettuati presso il Southwest Research Institute, USA [10, 11] hanno dimostrato che si verificherà la rottura catastrofica del serbatoio.

5.1 Rischi e problemi di sicurezza associati al cGH_2 : riepilogo

I potenziali pericoli associati ad un serbatoio di idrogeno compresso a bordo di un veicolo includono:

- Difficoltà nell'identificazione del rilascio di idrogeno poiché il gas è inodore, incolore e insapore. Le sostanze odoranti non possono essere aggiunte all'idrogeno.

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

- L'idrogeno può causare l'*infragilimento* dei metalli. Ciò può comportare la diminuzione della resistenza del materiale e, di conseguenza, la rottura del contenitore, con conseguente perdita di idrogeno.
- Accumulo di idrogeno, per un lungo periodo di tempo, in locali quali garage o officine meccaniche, vani passeggeri dei veicoli. L'*asfissia* potrebbe verificarsi a causa della sostituzione dell'aria con l'idrogeno.
- Formazione di miscele infiammabili idrogeno-ossigeno o idrogeno-aria. L'immissione di miscele infiammabili in un sistema di ventilazione dell'edificio può portare a una deflagrazione o addirittura a una detonazione.
- I getti di idrogeno ad alta pressione possono tagliare la pelle [12].
- Un'onda d'urto e il suo impulso possono portare a: danni al timpano delle persone, rottura del serbatoio, frammenti volanti, vetri rotti, ecc.
- Il "*Pressure peaking phenomenon*" può portare al crollo del garage in un solo secondo (l'argomento sarà trattato nelle lezioni successive).
- L'idrogeno può innescarsi facilmente poiché il suo MIE è 0,017 mJ (10 volte inferiore rispetto ad altri combustibili). Una scintilla statica può accendere l'idrogeno rilasciato.
- Quando l'idrogeno puro sta bruciando, le sue fiamme sono invisibili alla luce del giorno.
- L'idrogeno brucia rapidamente e non produce fumo.
- Un incendio esterno, calore o radiazione termica possono causare la rottura meccanica di un serbatoio a causa della decomposizione termica dei materiali polimerici e compositi. Il valore attuale della resistenza al fuoco (disponibile al pubblico) è di circa 12 minuti prima che possa verificarsi la rottura catastrofica.
- In caso di malfunzionamento della TPRD, è possibile lo scenario peggiore della rottura catastrofica del serbatoio di stoccaggio dell'idrogeno, che produce una *fireball*, esplosione con onda d'urto e proiezione di frammenti in fiamme.

6. Tecnologia Leak-no-burst

I contenitori compositi per lo stoccaggio a bordo di veicoli di idrogeno ad alta pressione sono stati prodotti ed utilizzati per applicazioni stradali, ferroviarie, marittime e aeronautiche in molti paesi del mondo. Il punto più debole dei contenitori compositi è la loro reazione al fuoco. Ad esempio, in un incendio localizzato la TPRD potrebbe non essere avviata, come dimostrato da incidenti con veicoli a gas naturale compresso negli Stati Uniti. Inoltre, la TPRD potrebbe essere bloccata dall'esposizione alle fiamme in un incidente, ecc. Questi potenziali difetti ingegneristici nella sicurezza dell'idrogeno possono diventare estremamente critici per la protezione di persone o cose, a causa delle conseguenze devastanti della rottura del serbatoio, ad esempio onde d'urto, fireball e proiettili.

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

6.1 Nuovo trend nel 2020

Negli ultimi 10 anni, i grandi serbatoi a pressione ricoperti con compositi sono stati una soluzione praticabile per l'integrazione del sistema di stoccaggio dell'idrogeno nell'architettura del veicolo sviluppata principalmente per i motori a combustione. Con la rapida diffusione dei veicoli a batteria elettrica (BEV) in tutto il mondo, le case automobilistiche hanno la necessità di adattare la stessa architettura del veicolo ai design di sistemi di stoccaggio con serbatoi conformabili. L'integrazione di entrambi i sistemi energetici nella stessa carrozzeria consentirebbe economie di scala, semplificando e riducendo i processi di ingegneria e produzione, consentendo una produzione flessibile capace di tamponare le fluttuazioni della domanda senza compromettere le aspettative dei clienti in termini di spazio, prestazioni, sicurezza o costi. Di conseguenza, i nuovi design delle case automobilistiche ambiscono ad utilizzare la stessa architettura per i veicoli BEV e FCEV (Figura 5) tramite serbatoi a forma di "scatola" – “*box-shape tanks*”, che aumenterebbero anche l'autonomia dei veicoli sfruttando gli spazi vuoti che rimarrebbero se si usassero serbatoi cilindrici.

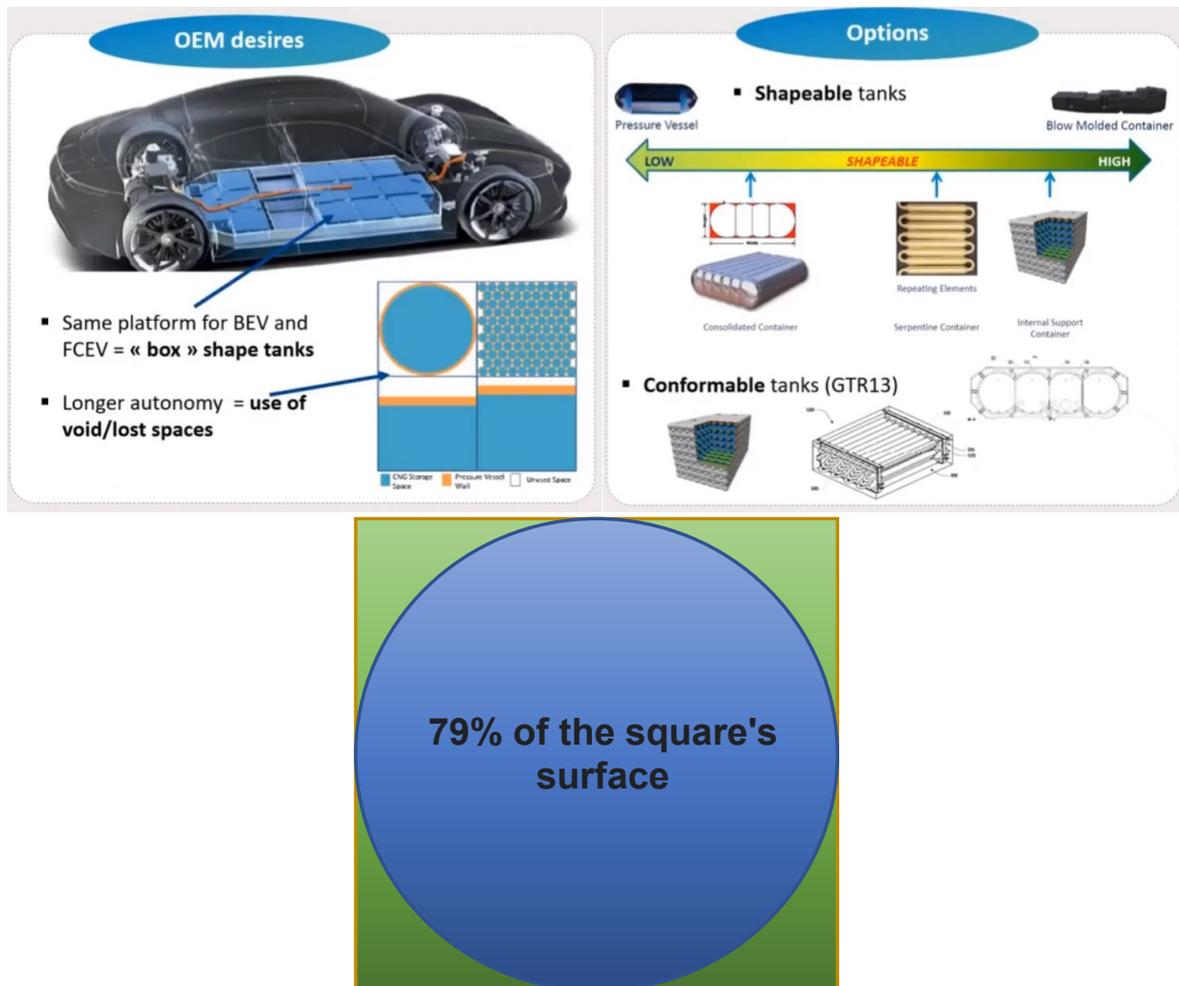


Figura 5. Nuovo trend per l'integrazione e i design dei recipienti di gas compresso. Opzioni - Contenitori in ordine crescente per livello di modellabilità: vessel pressurizzato, container consolidato, container a serpentina con elementi ripetuti, container con supporto interno, contenitore stampato per soffiaggio. - Tank adattabili (GTR13).

7. Utilizzo di e-Laboratory

La piattaforma e-Laboratory per la sicurezza dell'idrogeno è stata introdotta nella Lezione 1. Numerosi strumenti sono particolarmente utili per le applicazioni di stoccaggio. Questi includono il modello di calcolo del rilascio non-stazionario da un serbatoio di stoccaggio, il tempo alla rottura del serbatoio e i modelli per le *fireball*.

Bibliografia

1. DoE. Hydrogen storage (2015). Available from: <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> [accessed on 06.11.20].
2. NASA. Summary: space applications of hydrogen and fuel cells. Available from: http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen_2009.html [accessed on 06.11.20].
3. Introduction to Hydrogen for Code Officials, U.S. Department of Energy, Washington DC. Available from: http://www.hydrogen.energy.gov/training/code_official_training/ [accessed on 06.11.20].
4. US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Available from: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [accessed on 06.11.20].
5. Risø Energy Report 3: Hydrogen and its competitors (2004). Edited by Larsen, H, Feidenhans, R and Petersen, LS. Risø National Laboratory. ISBN 87-550-3349-0.
6. Zuettel, A (2013). Hydrogen: production, storage, applications and safety. H2FC European Technical School on Hydrogen and Fuel Cells. 23-27 September 2013, Crete, Greece.
7. DoE targets for on-board hydrogen storage systems for light-duty vehicles (2009). Published on DOE/EERE website. Available from: http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/targets_onboard_hydro_storage.pdf [accessed on 06.11.20].
8. Mafeld, A. (2015). CPVs: Regional trends in the global market. JEC Asia: Composite Pressure Vessels Forum. Singapore, October 22, 2015.
9. Sunderland, P (2010a). Hydrogen vehicles and safety regulations in the U.S. Teaching materials of the 8th ISCARW, Belfast, UK, June 2010.
10. Zalosh, R (2007). Blast waves and fireballs generated by hydrogen fuel tank rupture during fire exposure. Proceedings on the 5th Seminar on Fire and Explosion Hazard, Edinburgh, UK, 23-27 April 2007, pp. 2154-2161.
11. Weyandt, N (2006). Vehicle bonfire to induce catastrophic failure of a 5000-psig hydrogen cylinder installed on a typical SUV, Motor Vehicle Fire Research Institute. Report. December, 2006. Available from: www.mvfri.org [accessed 06.11.20].

Lezione 3: Stoccaggio dell'idrogeno

12. Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4th edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, chapter 19.