



European Train the Trainer Programme for Responders

Lezione 6

Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

LIVELLO I

Vigile del Fuoco

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

La lezione è disponibile anche ai livelli II, III e IV.

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 fornisce ai soccorritori informazioni sull'impatto delle perdite di idrogeno, degli incendi e delle esplosioni sulla salute dell'uomo e sui danni alle strutture e apparecchiature.

Keywords

Incidente, idrogeno, radiazione termica, sovrappressione, criteri di valutazione del danno, dispositivi di protezione individuale

Indice

Sommario	3
Keywords	3
Indice	4
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. Definizioni principali	7
4. Pericoli per la salute dei rilasci di idrogeno	7
4.1 Idrogeno gassoso	8
4.2 Idrogeno liquefatto	8
5. Effetti dannosi della combustione di idrogeno sull'uomo	9
5.1 Effetto della temperatura dell'aria.....	9
5.2 Effetto del contatto diretto con fiamme di idrogeno	10
5.3 Effetti del flusso di calore radiativo da fiamme di idrogeno.....	10
5.4 Effetti della sovrappressione sull'uomo	10
6. Etichettatura dei sistemi ad idrogeno	10
7. Dispositivi di protezione individuale	13
8. Impatto sull'ambiente.....	14
Ringraziamenti.....	14
Bibliografia.....	14

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'interesse principale della sicurezza dell'idrogeno è la protezione della vita e della proprietà. Pertanto, è importante stabilire dei criteri per gli operatori, gli utenti, i membri del pubblico, nonché per i soccorritori che possono essere colpiti dalle conseguenze di un incidente su un sistema o infrastruttura FCH. I criteri di accettabilità per gli utenti e il personale coinvolto nell'esercizio, ispezione e manutenzione delle strutture e delle infrastrutture di FCH saranno simili, mentre per il pubblico in generale, che si trova nelle vicinanze di un incidente, l'approccio dovrebbe essere più conservativo. Secondo lo standard britannico BS 7974 (2004) i vigili del fuoco sono considerati come una categoria separata di persone coinvolte. Non sono presenti presso la struttura FCH quando si è verificato l'incidente e spesso arrivano sul luogo quando le condizioni sono le più pericolose e devono svolgere il loro intervento. Sono vulnerabili al possibile crollo degli edifici/strutture e alle conseguenze di un'onda d'urto. Inoltre, essendo dotati di speciali dispositivi di protezione individuale (PPE), possono resistere a livelli più elevati di radiazione termica e temperatura, nonché ad atmosfere asfissianti e

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

tossiche. Inoltre, è molto importante l'ubicazione di una persona all'interno dell'infrastruttura FCH al momento di un incidente. Infatti, gli effetti dell'incidente coinvolgente idrogeno possono essere immediati e avere un impatto diverso sulle persone, a seconda della loro vicinanza alla sorgente del danno. Le persone che si trovano all'interno hanno maggiori probabilità di essere colpite dall'onda d'urto rispetto a quelle posizionate all'aperto.

È oltre lo scopo del progetto HyResponder fornire criteri di valutazione del danno armonizzati o valori soglia per caratterizzare i potenziali impatti di fenomeni pericolosi. Tutte le parti interessate dovrebbero utilizzare gli standard applicabili al proprio paese.

Al termine di questa lezione, i Vigili del Fuoco saranno in grado di:

- Descrivere i principali rischi per la salute associati a rilasci non innescati, esplosioni fisiche (rottura di serbatoi compressi), incendi, deflagrazioni e detonazioni di idrogeno gassoso e liquefatto;
- Definire gli effetti dannosi relativi ai rilasci di idrogeno non innescati in spazi confinati:
 - il livello di rumore;
 - effetto della temperatura dell'idrogeno;
 - effetto della sovrappressione in caso di *pressure peaking phenomenon* (picco di pressione).
- Definire gli effetti dannosi della combustione dell'idrogeno sull'uomo:
 - effetto della temperatura dell'atmosfera di combustione;
 - esposizione al flusso di calore radiante;
 - effetto della sovrappressione.
- Riconoscere i principi e l'attuazione del quadro dei criteri di valutazione del danno per le persone e l'ambiente, i criteri di danno per le strutture e le attrezzature:
 - air temperature; temperatura dell'aria;
 - dose termica;
 - flusso di calore;
 - sovrappressione, ecc.
- Specificare i livelli di dose termica pericolosa e letale, 50% (LD50);
- Distinguere tra effetti dannosi diretti e indiretti della sovrappressione sull'uomo;
- Correlare in particolare i danni alle strutture, alle apparecchiature e all'ambiente causati da incendi/onde esplosive di idrogeno ai livelli di flusso di calore radiante e sovrappressione;
- Riconoscere i sistemi di etichettatura per lo stoccaggio di idrogeno gassoso e liquefatto su applicazioni di idrogeno e celle a combustibile;
- Elencare gli elementi dei dispositivi di protezione individuale che dovrebbero essere utilizzati non solo dai vigili del fuoco ma anche dal personale che lavora presso una struttura FCH;
- Delineare l'impatto dell'idrogeno sull'ambiente.

3. Definizioni principali

È importante che i vigili del fuoco siano in grado di valutare l'impatto degli incidenti dovuti all'idrogeno sulla sicurezza della vita e sul controllo dei danni. Sono disponibili diversi metodi per definire e valutare le conseguenze di un incidente a seconda della sua gravità, esposizione, durata e vulnerabilità del target in esame (cioè pubblico, occupanti, strutture, edifici, attrezzature, ecc.). Ci sono alcune definizioni utili utilizzate in questa lezione e le successive.

Area sensibile (Sensitive area) è l'istituzione, l'infrastruttura o l'attrezzatura contenente inventari di sostanze pericolose che possono diventare una sorgente di danno se coinvolti in un incidente di idrogeno [1].

I *Criteri di accettabilità* (Acceptance criteria) sono i criteri di riferimento rispetto ai quali viene valutata la progettazione sicura di un impianto/infrastruttura FCH [1].

Inabilitazione (Incapacitation) è una condizione in cui gli esseri umani non funzionano adeguatamente e sono incapaci di sfuggire a condizioni insostenibili [2].

Luogo di sicurezza (Place of safety) è un luogo predeterminato all'interno o all'esterno di una struttura/infrastruttura FCH, in cui le persone non sono in pericolo immediato a causa dell'effetto di rilascio di idrogeno, incendio o esplosione [1].

Gli *occupanti* sono le persone presenti all'interno del perimetro di una struttura/infrastruttura FCH, compreso il personale coinvolto nel suo funzionamento e manutenzione, nonché i clienti/visitatori [1].

Pubblico sono le persone presenti al di fuori del perimetro di una struttura/infrastruttura FCH.

Sopravvivenza (Survivability) è la massima esposizione che può essere ricevuta con una probabilità statistica trascurabile di morte/danno e senza compromissione della capacità di fuga di un individuo [1].

Tollerabilità (Tenability) è la massima esposizione ai pericoli derivanti da un incidente con idrogeno che può essere tollerata senza violare gli obiettivi di sicurezza [1].

Soglia limite (Threshold) è la massima intensità o dose per un dato pericolo che corrisponde a una specifica risposta fisiologica (per l'uomo) o strutturale (per strutture e apparecchiature) [1].

4. Pericoli per la salute dei rilasci di idrogeno

L'idrogeno è più leggero dell'aria ed è per questo che tende ad andare verso l'alto rapidamente e può essere diluito velocemente nell'aria durante i rilasci accidentali in un ambiente aperto. Se si verifica un rilascio accidentale in uno spazio confinato/al chiuso, questo può danneggiare le persone per asfissia. Inoltre, i rilasci di idrogeno negli spazi confinati comportano pericoli di esplosioni. Le miscele idrogeno-aria sono altamente infiammabili a causa dell'ampio intervallo di infiammabilità, ed in presenza di una sorgente di innesco l'idrogeno brucerà, producendo acqua e calore. La probabilità che l'idrogeno si inneschi dopo il suo rilascio è molto alta in

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

quanto ha una bassa energia di accensione minima: anche una scarica di elettricità statica è sufficiente per innescare l'idrogeno. Per i soccorritori, l'uso di indumenti protettivi per evitare scariche di elettricità statica non è necessario perché la scarica di elettricità statica è sufficiente per accendere l'idrogeno in casi rari. In caso di incendio, la fiamma dell'idrogeno è quasi invisibile alla luce del giorno e la sua temperatura può raggiungere i 2000 °C. Sebbene la fiamma dell'idrogeno irradia poco rispetto a quella dell'idrocarburo, c'è il rischio che il Vigile del Fuoco entri in contatto con la fiamma.

4.1 Idrogeno gassoso

L'idrogeno è un gas inodore, incolore e insapore, non rilevabile dai sensi umani. L'uso di odoranti (ad es. mercaptani) nei serbatoi di stoccaggio non è possibile in quanto possono avvelenare le celle a combustibile. L'idrogeno non è una sostanza cancerogena. Non si prevede che l'idrogeno causi mutagenicità¹, teratogenesi², embriotossicità³ o tossicità riproduttiva. Non ci sono prove di effetti avversi sulla pelle o sugli occhi esposti ad atmosfere di idrogeno. Tuttavia, i getti di idrogeno ad alta pressione possono tagliare la pelle [3]. L'idrogeno non può essere ingerito. Tuttavia, l'idrogeno inalato può provocare la formazione di una miscela infiammabile all'interno dei polmoni dell'essere umano.

Analogamente ad altri gas, un aumento della concentrazione di idrogeno porta a una riduzione dei livelli di ossigeno nell'aria, che a sua volta può portare all'*asfissia*. L'idrogeno è classificato come un semplice asfissiante; non ha un valore limite di soglia (TLV) [4]. Alte concentrazioni di idrogeno nell'aria, in spazi totalmente/parzialmente confinati, portano alla formazione di *atmosfere carenti di ossigeno*. Gli individui esposti a tali atmosfere possono manifestare i seguenti sintomi: mal di testa, vertigini, sonnolenza, incoscienza, nausea, vomito, compromissione di tutti i sensi, ecc. Una persona affetta può avere una pelle di colore blu e, in alcune circostanze, si può arrivare al decesso. Se viene inalato idrogeno e si osservano i sintomi di cui sopra, la persona deve essere portata all'aria aperta; l'ossigeno dovrebbe essere somministrato se la respirazione è faticosa, o la respirazione artificiale dovrebbe essere fornita se la persona non respira.

4.2 Idrogeno liquefatto

L'idrogeno liquefatto viene immagazzinato/ usato a temperature estremamente basse a causa del suo basso punto di ebollizione (-253 °C). I pericoli per la salute associati al rilascio di idrogeno liquefatto sono riportati di seguito.

¹ L'induzione di cambiamenti trasmissibili permanenti nella quantità o nella struttura del materiale genetico di cellule o organismi.

² Difetti alla nascita attraverso un effetto tossico su un embrione o un feto.

³ Effetti tossici sull'embrione di una sostanza che attraversa la barriera placentare.

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

- Il contatto con l'idrogeno liquido o i suoi schizzi sulla pelle o negli occhi può causare gravi ustioni da freddo dovute a *congelamento o ipotermia*.
- Le *ustioni criogeniche* possono anche derivare dal contatto di parti non protette del corpo umano con fluidi o superfici fredde.
- L'inalazione di vapori di idrogeno criogenico può causare *disturbi respiratori* e può provocare *asfissia*.
- Il contatto fisico diretto con l'LH₂, vapori freddi o apparecchiature fredde può causare gravi *danni ai tessuti*. Il contatto momentaneo con una piccola quantità di liquido potrebbe non rappresentare un grande pericolo di ustione perché potrebbe formarsi una pellicola protettiva di idrogeno gassoso in evaporazione. Il pericolo di congelamento si verifica quando vengono versate grandi quantità e l'esposizione è estesa nel tempo⁴.
- Il personale non dovrebbe toccare le parti metalliche fredde e dovrebbe indossare *indumenti protettivi*. Devono anche proteggere l'area interessata con una copertura allentata.
- *Problemi cardiaci* sono possibili quando la temperatura corporea interna scende a 27°C o meno, e il decesso può avvenire quando la temperatura corporea interna scende al di sotto di 15°C [5].
- *L'asfissia* è possibile se l'idrogeno liquido viene rilasciato e vaporizzato in spazi chiusi.

5. Effetti dannosi della combustione di idrogeno sull'uomo

L'inalazione di prodotti della combustione originati da combustibili convenzionali è una delle principali cause di infortunio e una conseguenza primaria di un incendio. È considerato meno grave nel caso dell'idrogeno perché l'unico prodotto della combustione è il vapore acqueo (non tossico, non velenoso). Tuttavia, gli incendi secondari possono produrre fumo o altri prodotti di combustione che presentano un rischio per la salute.

5.1 Effetto della temperatura dell'aria

Durante un incendio con idrogeno, l'aria circostante si riscalda notevolmente e ciò può colpire le persone che si trovano nelle vicinanze. Il contatto diretto con l'idrogeno in combustione o i gas caldi post-fiamma risultanti dalla combustione dell'idrogeno provoca gravi *ustioni termiche*. Un aumento della temperatura dell'aria può causare difficoltà a respirare o ustioni delle vie respiratorie. L'alta temperatura può anche portare a un collasso.

⁴ Effetto dell'azoto liquido:

<https://www.youtube.com/watch?v=F9dhZJQk80A&feature=youtu.be&t=291>

5.2 Effetto del contatto diretto con fiamme di idrogeno

L'impatto della fiamma dell'idrogeno sugli esseri umani è simile a quello delle fiamme di altri combustibili comuni. Il contatto diretto con l'idrogeno in combustione o i gas caldi post-fiamma risultanti dalla combustione dell'idrogeno provoca gravi ustioni [11].

5.3 Effetti del flusso di calore radiativo da fiamme di idrogeno

Una fiamma a idrogeno irradia molto meno calore rispetto a quella a idrocarburi ed è praticamente invisibile in pieno giorno. La lunghezza d'onda massima della sua emissione è di circa 311 nm, che fa parte dello spettro delle radiazioni vicino all'ultravioletto (UV) [11]. Ciò significa che le persone che si trovano vicino a una fiamma a idrogeno potrebbero non percepire la sua presenza fino a quando non sono in contatto con essa [11]. Senza un'adeguata attrezzatura di rilevamento, i primi segnali di una piccola fiamma potrebbero essere il rumore "sibilante" del gas che fuoriesce attraverso un orifizio e la comparsa di "increspature di calore" [11].

Si prega di notare che una fiamma a idrogeno irradia un minimo di radiazione infrarossa e praticamente nessuna radiazione visibile.

Per le persone che non sono a diretto contatto con le fiamme dell'idrogeno, esiste la possibilità di essere esposte a flussi di calore ad alta radiazione per un tempo sufficiente a provocare ustioni di primo, secondo o terzo grado.

5.4 Effetti della sovrappressione sull'uomo

Uno degli importanti effetti indiretti della sovrappressione deriva dai frammenti proiettati (noti anche come missili o proiettili). Il livello delle lesioni dipenderà dalle dimensioni e dal peso dei frammenti, dalla velocità dell'impatto e dalla posizione dell'impatto su un corpo umano [12]. La velocità di accelerazione del missile è il principale fattore che causa lesioni. La probabilità di una ferita da penetrazione aumenta con l'aumento della velocità, in particolare per missili di piccole dimensioni come i frammenti di vetro.

6. Etichettatura dei sistemi ad idrogeno

I pittogrammi per il trasporto commerciale dell'idrogeno sono mostrati in [Figura 1](#), in cui "1049" indica l'idrogeno gassoso, mentre "1966" indica l'idrogeno liquido [13].

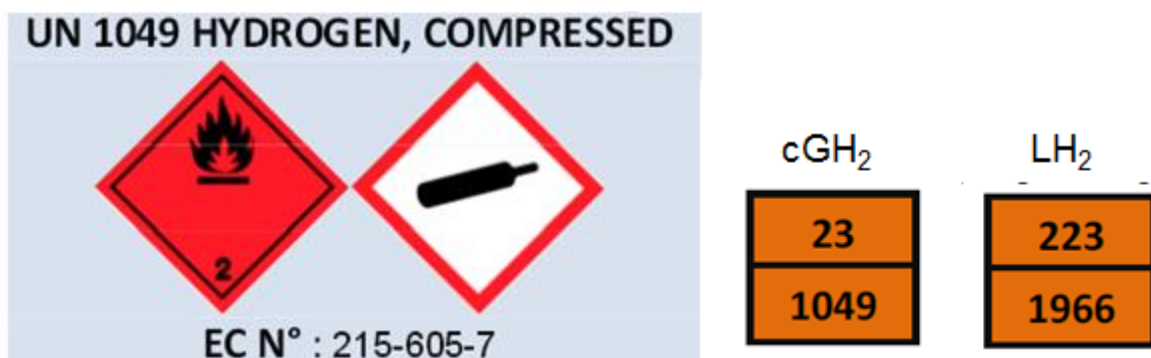


Figura 1. Esempi di pittogrammi usati nel trasporto di idrogeno.

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

Per i veicoli FC il regolamento UE n. 406/2010 consiglia di utilizzare rombi verdi in cornici bianche con le parole "H2 GAS" o "LIQUID H2" scritte in lettere bianche [14].

Le fasi principali nello sviluppo dei simboli per l'identificazione formale dei pericoli sono presentate nelle Figure 2 and 3. Questi colori sono utilizzati anche nelle informazioni di soccorso e per colorare i componenti dei veicoli (Rescue Sheets).

GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

SYMBOLS

- 1) FIRST ENERGY SOURCE: CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE:
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:
- 4) STORED AGGREGATE STATE:



Figura 2. Colori e simboli suggeriti dal CTIF per lo sviluppo di simboli standardizzati. Grigio: diesel; Rosso: benzina; Verde: gas; Azzurro: idrogeno; Arancione: alto voltaggio. Simboli: 1) Prima fonte di energia; 2) Seconda fonte di energia; 3) Densità relativa all'aria; 4) Stato di aggregazione nello stoccaggio.

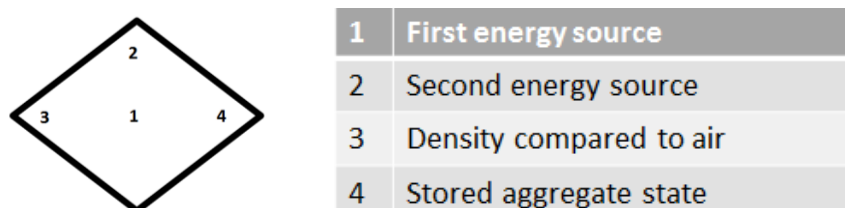


Figura 3. Forma a rombo suggerita dal CTIF per l'identificazione dei pericoli nei veicoli [15].

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

La Figura 4 mostra la versione più recente di un'etichetta per veicolo FC che indica due principali fonti di energia: idrogeno (al centro) ed elettricità nell'angolo in alto. Il simbolo nell'angolo sinistro indica che la prima fonte di energia (cioè l'idrogeno) è più leggera dell'aria; il simbolo nell'angolo destro indica che si tratta di gas compresso. ISO 17840-4 fornisce ai soccorritori informazioni preziose sui pericoli, visibili da una lunga distanza.



Figura 4. Un simbolo sviluppato dal CTIF per i veicoli FC alimentati da idrogeno gas compresso [15].

Gli esempi dei simboli suggeriti dal CTIF per altri tipi di veicoli, tradizionali ed ibridi sono mostrati in Figura 5.

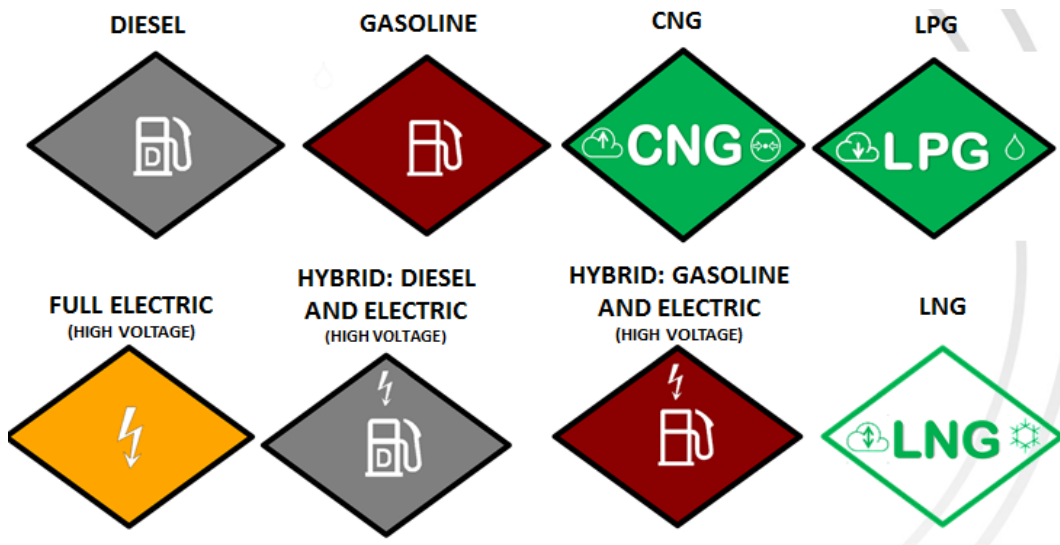


Figura 5. Simboli sviluppati dal CTIF per i differenti tipi di veicoli in base al combustibile/energia [15].



Figura 6. Metodi di identificazione usati negli USA [13].

7. Dispositivi di protezione individuale

Vanno menzionati due principali standard dell'UE per quanto riguarda i requisiti prestazionali dei PPE per i Vigili del Fuoco. La (NF) EN 469:2006-02 [16] contiene i requisiti per gli indumenti protettivi per i vigili del fuoco e (NF) EN 136: 1998 [17] quelli per i dispositivi di protezione delle vie respiratorie.

Il personale che esegue operazioni presso un impianto o un sistema a idrogeno può ridurre le possibili conseguenze di un incidente utilizzando dispositivi di protezione adeguati. Alcune delle condizioni per le quali il personale dovrebbe essere protetto includono l'esposizione a temperature criogeniche, temperature della fiamma, radiazione termica da una fiamma di idrogeno e atmosfere carenti di ossigeno di idrogeno o gas di spurgo inerti come azoto ed elio. La natura del lavoro determina il tipo di PPE da utilizzare. Alcune linee guida generali per i PPE sono state fornite nella ISO 15196 [11]. Queste linee guida non includono i PPE che dovrebbero essere considerati quando coinvolti in altre attività come lavorare su circuiti elettrici o eseguire un'operazione di pulizia o decontaminazione [11]. Le parti necessarie o obbligatorie dei PPE devono essere selezionate sulla base delle condizioni in loco.

- Se necessario, indossare una protezione per gli occhi (ad es. una visiera completa deve essere indossata quando si collegano e scollegano linee o componenti, o occhiali protettivi durante la manipolazione di LH₂).
- Indossare guanti adeguatamente isolati quando si maneggia qualsiasi cosa che venga a contatto con LH₂ o GH₂ freddo. I guanti dovrebbero adattarsi liberamente, rimuoversi facilmente e non avere polsini larghi.
- I pantaloni lunghi, preferibilmente senza risvolti, devono essere indossati con le gambe del pantalone tenute all'esterno di stivali o scarpe da lavoro.
- Indossare scarpe chiuse (non dovrebbero essere indossate scarpe aperte o porose).
- Indossare indumenti di cotone normale, cotone ignifugo o materiale antistatico. Evitare di indossare indumenti in nylon o altri materiali sintetici, seta o lana perché questi materiali possono produrre cariche di elettricità statica che possono incendiare miscele infiammabili. Il materiale sintetico (indumenti) può sciogliersi e aderire alla carne, causando maggiori danni da ustione. Tutti gli indumenti spruzzati o schizzati con idrogeno devono essere rimossi fino a quando non sono completamente privi di gas idrogeno.
- Devono essere evitati guanti lunghi, indumenti stretti o indumenti che trattengono o intrappolano (ad es. tasche) liquidi vicino al corpo.
- È necessario indossare protezioni per l'udito se l'impianto o il sistema a idrogeno coinvolge apparecchiature che creano rumori forti.

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

- È necessario indossare elmetti se l'impianto o il sistema a idrogeno comporta il pericolo di caduta di oggetti.
- Quando si lavora in uno spazio ristretto che può avere un'atmosfera carente di ossigeno, indossare un dispositivo di respirazione autonomo.
- Apparecchiature portatili di rilevamento dell'idrogeno e degli incendi dovrebbero essere utilizzate per rilevare fughe di idrogeno o incendi.
- I vigili del fuoco dovrebbero utilizzare termocamere e tubi flessibili, o monitori antincendio.
- Il personale dovrebbe assicurare la messa a terra prima di toccare o utilizzare uno strumento su un sistema a idrogeno se si ha il sospetto della presenza d'idrogeno nell'area.

8. Impatto sull'ambiente

L'idrogeno non contaminerà le acque sotterranee (è un gas in condizioni atmosferiche normali), né il rilascio di idrogeno contribuirà all'inquinamento atmosferico. L'idrogeno si trova nell'atmosfera terrestre a una concentrazione di 0,5 ppm (parti per milione) dal livello del suolo a 60 km di altitudine [1]. Le fonti di emissioni di idrogeno descritte da Schultz [18] includono:

- Combustione incompleta di combustibili fossili e biomasse (40%),
- Ossidazione atmosferica petrolchimica di idrocarburi metanici e non metanici (50%),
- Emissioni da vulcani, oceani e leguminose azotofissatrici (10%).

Il 75% delle emissioni di idrogeno viene rimosso dall'atmosfera mediante deposizione secca sui suoli mentre il restante 25% viene rimosso mediante ossidazione in atmosfera [18].

L'idrogeno quando viene utilizzato come carburante non crea “fumi”. Un veicolo FC ha zero emissioni allo scarico [19].

Ringraziamenti

Viene riconosciuto il progetto HyResponse in quanto il materiale presentato nella lezione è basato sulle lezioni del progetto HyResponse.

Bibliografia

1. Saffers, JB (2010). Principles of hydrogen safety engineering. PhD thesis. University of Ulster.
2. NFPA (2009). Life safety code.
3. Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4th edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, chapter 19.
4. NASA (1997). Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Guidelines for hydrogen system design, materials selection, operations, storage, and transportation. Technical report NSS 1740.16, Office of safety and mission assurance, Washington.

Lezione 6: Criteri di valutazione del danno a persone e patrimonio

5. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Available from: www.bookboon.com, free download e-book
6. Prasher, D (2000). Noise Pollution Health Effects Reduction (NOPHER): An European Commission Concerted Action Workplan. Noise Health, Issue 2, pp. 79-84. Available from: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [accessed 09.11.20].
7. Hydrogen Detection in Oil Refineries. A Gassonic. A General Monitors Company.
8. NIO Note D'Information Operationnelle (2013). 'Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques lies. In French and in English. Available from: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) Download from: http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf [accessed 25.11.20].
9. Friedrich, A. et al. (2012). Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets. International Journal of Hydrogen Energy. Vol.31, pp.17589-17598.
10. Drysdale, D (1985). An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, p. 146
11. ISO/TR 15916 (2004). Basic considerations for the safety of hydrogen systems. International Organization for Standardization. ISO Technical Committee 197 Hydrogen Technologies. International Organization for Standardization, Geneva.
12. Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K and Hashiguchi, K (2007). Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review. Vol. 44(1), pp. 1-3.
13. US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Available from: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [accessed on 11.11.20].
14. EU No 406/2010, Commission Regulation of 26 April 2010 implementing Regulation (EC) No 79/2009 of the European Parliament and of the Council on type-approval of hydrogen-powered motor vehicles. Official Journal of the European Union. Vol. 53, 18 May 2010. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [accessed on 09.11.20].
15. Esbroeck, T and Vollmacher, K (2015). ISO propulsion energy identification. Commission for Extrication and New Technologies. Unpublished.
16. (NF) EN 469:2006-02. European Standard. Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighters.
17. (NF) EN 136: 1998. European Standard. Respiratory protective devices. Full face masks. Requirements, testing, marking.
18. Schultz, MG, Market, F, Pilegaard, K (2004). Hydrogen and environment. RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. P.58-62
19. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Available from: <http://cafcp.org/> [accessed on 09.11.20].