



Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
CORPO NAZIONALE DEI VIGILI DEL FUOCO
Direzione Centrale Prevenzione e Sicurezza Tecnica

Transizione energetica, Sostenibilità e Prevenzione Incendi
Utilizzo dell'Idrogeno: quali problematiche di sicurezza
APPLICAZIONI PRATICHE

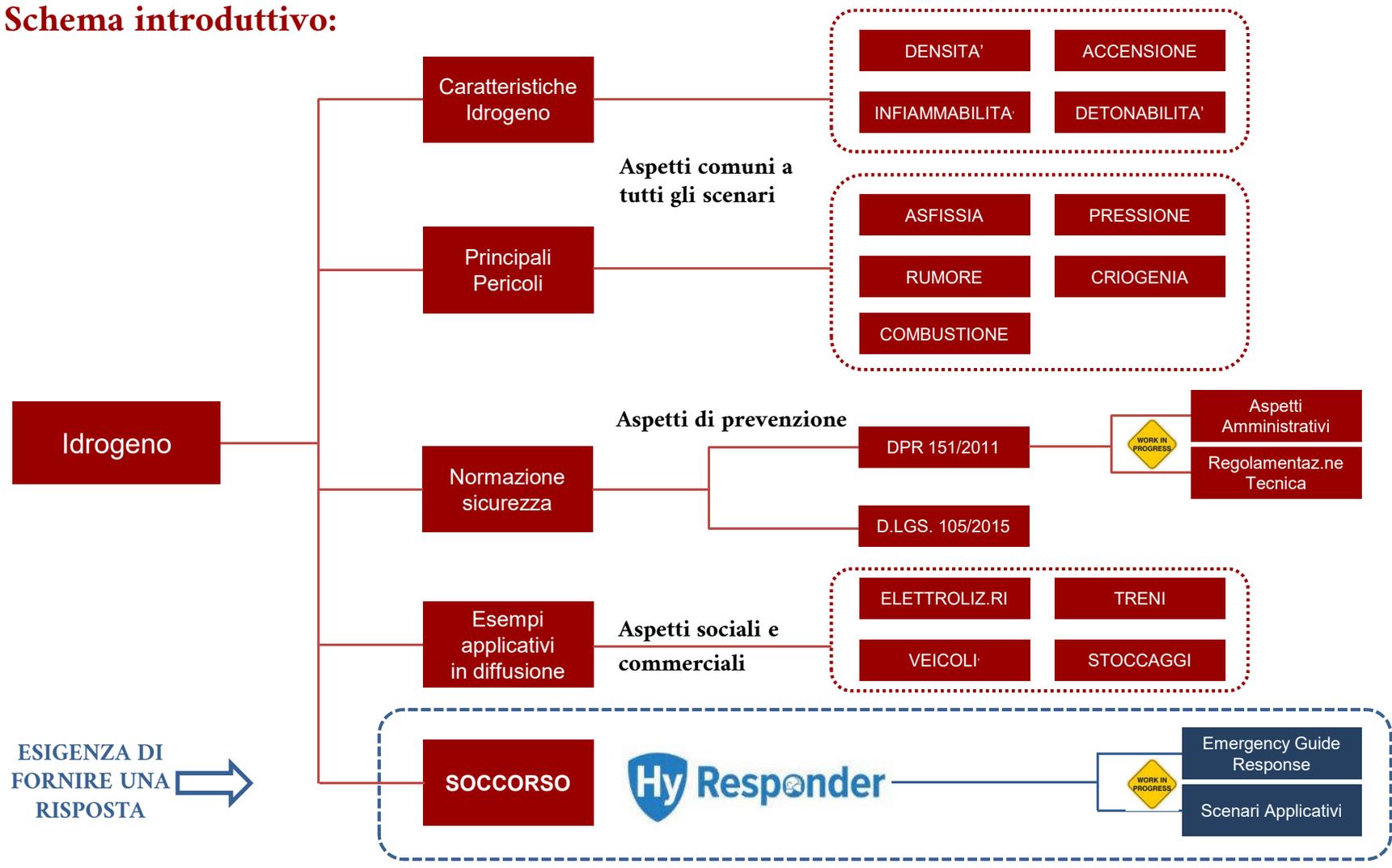
Montelibretti, 15 novembre 2022



Jacopo Moretti

Inquadramento generale

Schema introduttivo:





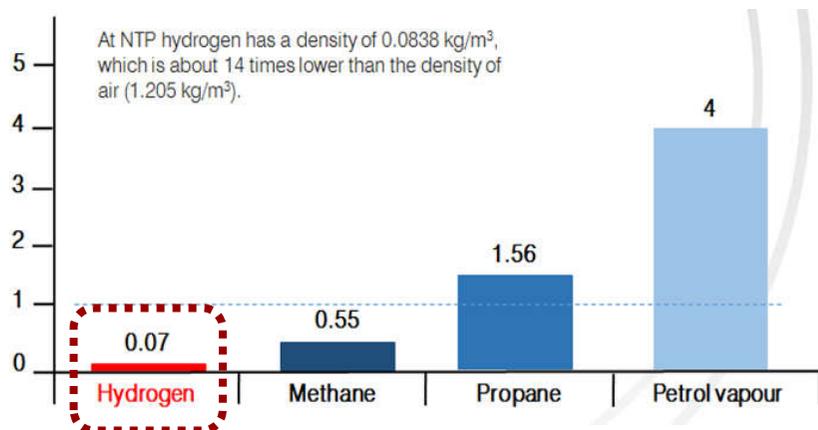
- **Nell'ambito dei progetti Europei «HyResponse» e «HyResponder» è stata prodotta una Guida alle risposte alle emergenze relative ad applicazioni di idrogeno**
- Questa Guida è destinata all'uso da parte del personale di pronto intervento ed include:
 - **Conoscenze accademiche relative all'Idrogeno** (proprietà fisiche, principali applicazioni e pericoli ad esso collegati).
 - **Possibili scenari di intervento**, ovvero schede tattiche operative che hanno l'obiettivo di guidare i soccorritori su come operare e cosa valutare in situazioni riguardanti scenari che coinvolgono H₂.
- **Tutti gli scenari che coinvolgono idrogeno seguono le stesse sequenze, «passo dopo passo» sul campo dell'incidente e si traducono in due possibilità:**
 - 1. Tattica offensiva: (o agendo su fonti di pericolo)**

Questa tattica mira ad agire molto rapidamente sull'origine dell'incidente per evitare che produca i suoi effetti.
 - 2. Tattica difensiva: (o agendo sul flusso di pericolo e sui target)**

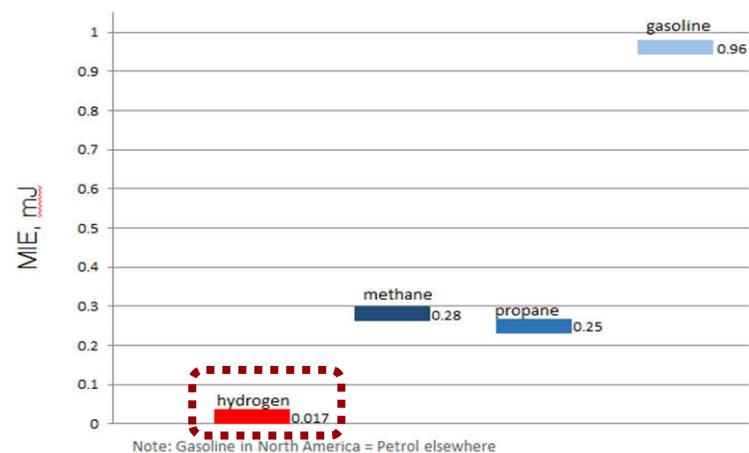
Questa tattica mira ad agire sull'area più vicina all'incidente impedendo che i suoi effetti raggiungano un'area che non era stata interessata in precedenza.



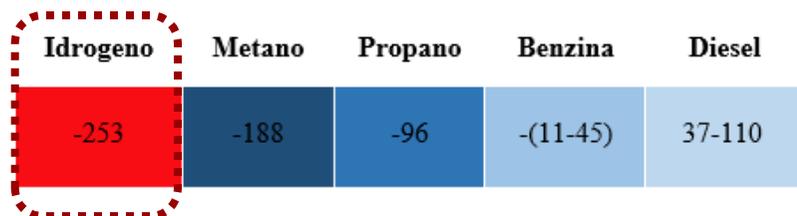
Densità relative all'aria



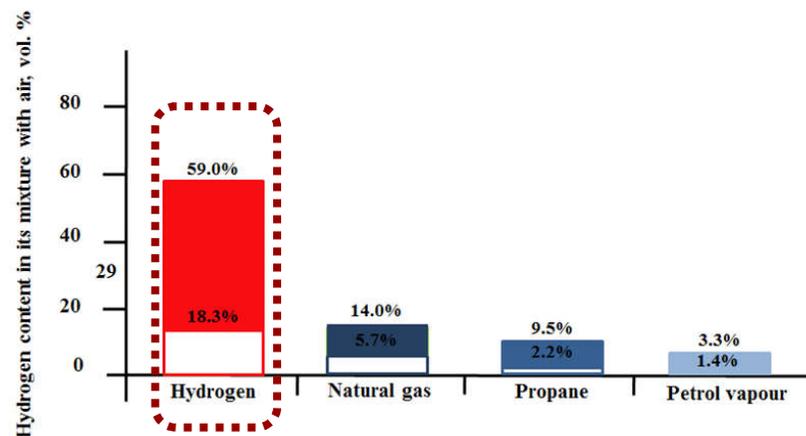
Energia minima di accensione [mJ]



Punto di infiammabilità [°C]



Range di detonabilità [vol %]





Proprietà dell'idrogeno confrontate con altri combustibili

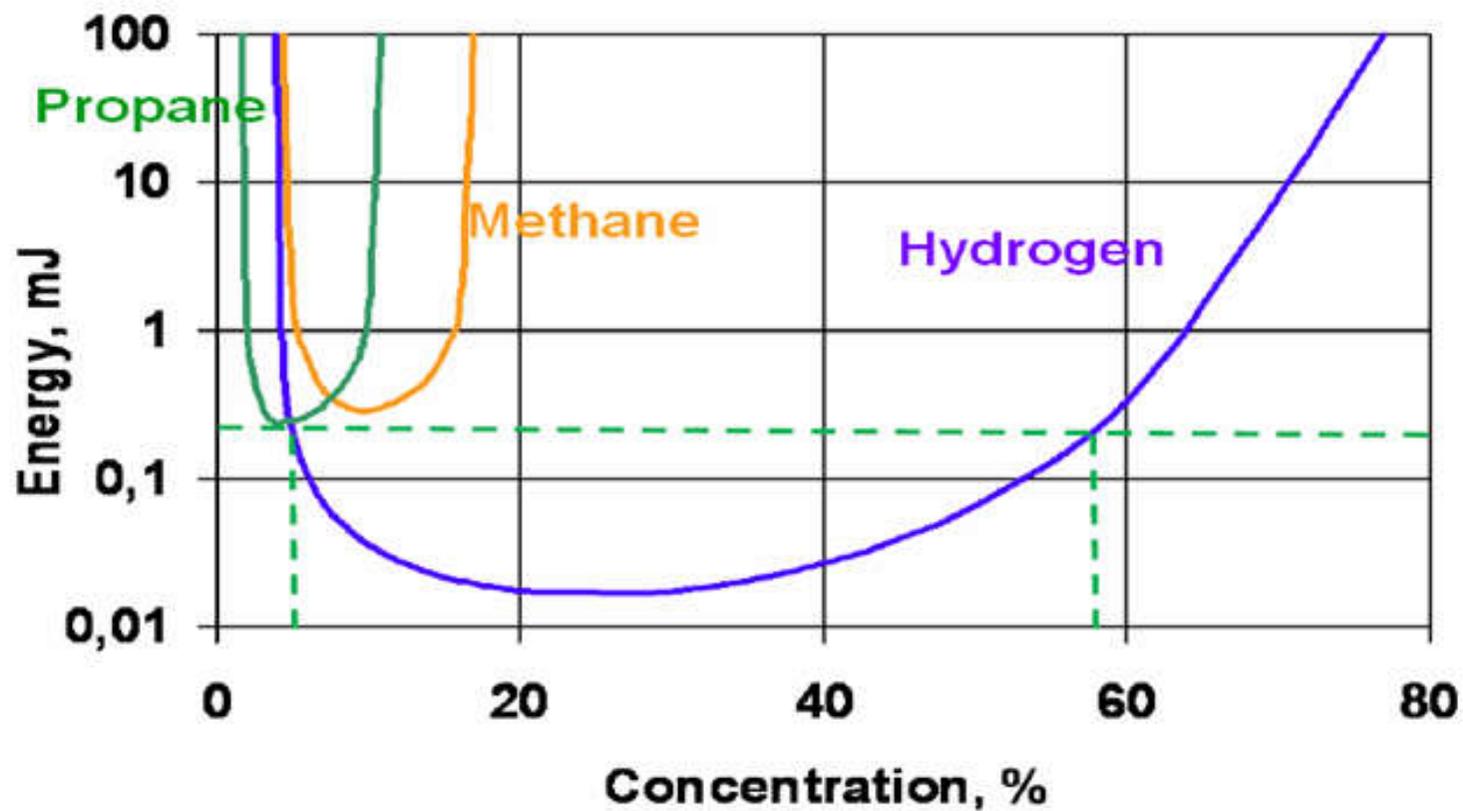
	Idrogeno	Gas Naturale	Benzina
Colore	No	No	Si
Tossicità	Nessuna	In parte	Alta
Odore	Inodore	Mercaptani	Si
Galleggiabilità rispetto all'aria	14 volte più leggero	2 volte più leggero	3,75 volte più pesante
Energia per unità di massa	2,8 volte più della benzina	1,2 volte più della benzina	43 MJ/kg
Energia per unità di volume	4 volte meno della benzina	1,5 volte meno della benzina	120 MJ/gallone

Confronto tra i principali indici di infiammabilità ed esplosione

	Idrogeno	Gas naturale	Vapori di benzina
Limiti di infiammabilità in aria (LFL-UFL), vol. %	4,1-75 ←	5,3-15	0,8-8,1
Limiti di detonabilità in aria (LDL-UDL), vol. %	18,3-59 ←	5,7-14	1,4-3,3
Concentrazione stechiometrica in aria, vol. %	29,59	9	2
Temperatura di fiamma (°C)	2130	1961	1977

1 Riepilogo principali caratteristiche dell'Idrogeno

Energia di accensione in funzione della concentrazione del combustibile (idrogeno, propano o metano) in aria



Principali pericoli dell'idrogeno comuni a tutti gli scenari

- **ASFISSIA:** l'idrogeno, quando rilasciato in aree chiuse/confinate, **può sostituire l'ossigeno nell'atmosfera e quindi causare asfissia per esaurimento dell'ossigeno (anossia)**. Gli effetti iniziano a presentarsi se il contenuto di ossigeno nell'aria è inferiore al 18%. (Il livello normale di ossigeno nell'aria è del 20-21%).
- **PRESSIONE:** l'idrogeno gassoso viene immagazzinato in serbatoi pressurizzati fino a 700 bar. La rottura di serbatoi o tubi flessibili in pressione può causare gravi lesioni. **Il cambiamento di fase da liquido a gas fa aumentare il volume occupato da 1 a 845**. Di conseguenza, la pressione in uno spazio confinato aumenterà molto rapidamente.
- **RUMORE:** a causa dell'elevata pressione necessaria per lo stoccaggio (350-700 bar), **una fuga di idrogeno gassoso produce un rumore che può raggiungere i 130-140dB** (il danno all'udito può verificarsi sopra i 90 dB e il dolore può essere avvertito a partire da 120 dB).
- **CRIOGENIA:** a pressione ambiente, **l'idrogeno liquido** deve essere mantenuto a 20,3°K (-252,85°C). Questa è una temperatura estremamente bassa. **Il contatto diretto della pelle con idrogeno liquido o gassoso freddo provoca ustioni da freddo istantanee**.
- **COMBUSTIONE:** l'idrogeno non emette **né luce visibile durante il giorno né fumo** a meno che alcuni materiali o particelle non vengano trascinati e bruciati insieme alla miscela combustibile. **Rispetto agli idrocarburi, le fiamme dell'idrogeno irradiano molto meno calore**.



Le potenziali attività che impiegano idrogeno presenti nell'allegato I al D.P.R. 151/2011 sono le seguenti:

Attività Allegato I D.P.R. 151/2011		Commenti
1.1.C	Stabilimenti ed impianti ove si producono e/o impiegano gas infiammabili e/o comburenti con quantità globali in ciclo superiori a 25 Nm ³ /h	Attività principale a cui possono essere ricondotti gli elettrolizzatori. Da verificare se per le taglie in commercio la portata in uscita è normalmente superiore a 25 Nm ³ /h. È inoltre da tenere in considerazione il sottoprodotto O ₂ comburente.
2.1.B	Impianti di compressione o di decompressione dei gas infiammabili e/o comburenti con potenzialità > 50 Nmc/h e fino a 2,4 Mpa	I compressori sono normalmente presenti per il riempimento degli stoccaggi. Da verificare in funzione della pressione e della portata a cui viene prodotto H ₂ dagli elettrolizzatori. In generale l'idrogeno viene prodotto a pressioni nel range 10-30 barg.
2.2.C	Impianti di compressione o di decompressione dei gas infiammabili e/o comburenti con potenzialità > 50 Nmc/h.	
3.2.B	Depositi di gas infiammabili compressi in recipienti mobili con capacità geometrica complessiva da 0,75 a 10 mc.	Bombole, pacchi bombole o carri bombolai, se presenti come stoccaggio temporaneo o per rivendita.
3.3.C	Depositi di gas infiammabili compressi in recipienti mobili con capacità geometrica complessiva > 10 mc	
3.4.C	Impianti di riempimento di gas infiammabili compressi in recipienti mobili con capacità geometrica complessiva > 0,75 mc	Riempimento di bombole, pacchi bombole o carri bombolai
4.1.B	Depositi di gas infiammabili compressi, in serbatoi fissi di capacità geometrica complessiva da 0,75 a 2 mc	Buffer tank
4.2.C	Depositi di gas infiammabili compressi, in serbatoi fissi di capacità geometrica complessiva > 2 mc	Serbatoi di stoccaggio
6.1.A	Reti di trasporto e di distribuzione di gas infiammabili, compresi quelli di origine petrolifera o chimica, di densità relativa < 0,8 e pressione da 0,5 a 2,4 Mpa	Idrogenodotti o invio in rete gas metano con blending
6.2.B	Reti di trasporto e di distribuzione di gas infiammabili, compresi quelli di origine petrolifera o chimica, con pressione > 2,4 Mpa	
13.4.C	Impianti fissi di distribuzione carburanti gassosi e di tipo misto (liquidi e gassosi).	Attività già coperta dal campo di applicazione del D.M. 23 ottobre 2018

L'attività soggetta al D.P.R. 151/2011 che sarà, a breve termine, più diffusa sul territorio nazionale è rappresentata dagli elettrolizzatori :

- 1.1.C “Stabilimenti ed impianti ove si producono e/o impiegano gas infiammabili e/o comburenti con quantità globali in ciclo superiori a 25 Nm³/h”

Nel caso in esame ci si trova infatti ad avere a che fare con impianti dove si **producono gas infiammabili** (idrogeno). In questo caso, quindi, sono assoggettabili tutti gli elettrolizzatori che producono **più di 25 Nm³/h di idrogeno**.

**ALLEGATO 1 del DPR
151/2011**

Punto 1: «Stabilimenti ed impianti ove si producono e/o impiegano gas infiammabili e/o comburenti con quantità globali in ciclo superiori a 25 Nm³/h»

Cat. A

Cat. B

Cat. C

-

-

Per gli elettrolizzatori il **parametro che lega la potenza assorbita e la produzione oraria di idrogeno è l'efficienza degli elettrolizzatori** [kWh/kg] o [kWh/Nm³].

Allo stato attuale l'efficienza "media" degli elettrolizzatori è di circa **5 kWh/Nm³** (elettrolizzatori più efficienti arrivano a 4,5 kWh/Nm³), indipendentemente dalla portata e dalla pressione di uscita dell'elettrolizzatore.

Assumendo come riferimento 5 kWh/Nm³, la soglia di assoggettabilità per l'attività 1.1.C, pari a 25 Nm³/h, corrisponderebbe quindi a :



$$25 \text{ Nm}^3/\text{h} * 5 \text{ kWh/Nm}^3 = 125 \text{ kW}$$



Portata di idrogeno
in uscita
dall'elettrolizzatore

125 kW è dunque la potenza elettrica dell'elettrolizzatore oltre la quale diventerebbe attività soggetta di cui al punto 1.1.C del DPR 151/2011

Potenza elettrica
assorbita
dall'elettrolizzatore

In base al D. Lgs. 105/2015, gli stabilimenti dove sono presenti sostanze pericolose così come definite all'art. 3 del decreto, sono classificati in Stabilimenti di Soglia Inferiore o di Soglia Superiore, in base alle quantità di sostanze pericolose presenti al loro interno.

Nel caso in esame la sostanza di riferimento è costituita dall'idrogeno (parte 2 dell'allegato 1, riga 15), con le seguenti soglie:

- **Soglia Inferiore: 5 tonnellate;**
- **Soglia Superiore: 50 tonnellate.**

Considerato il peso specifico dell'idrogeno, che è pari a $0,084 \text{ kg/m}^3$, a pressione atmosferica queste soglie corrispondono a volumi di circa 60.000-600.000 m^3 ; **in caso di compressione a 300 barg, corrisponderebbero a circa 200 m^3 geometrici di stoccaggio (soglia inferiore) e 2.000 m^3 geometrici di stoccaggio (soglia superiore).**



- Realizzato da **Shell in Germania il più grande impianto europeo di produzione di H₂**
- Elettrolizzatore di **10 MW** e produrrà circa **2.000 Nm³/h di idrogeno**
- L'impianto ha richiesto finora un **investimento di 16 milioni di euro**



5 ESEMPIO 1 Scenario di soccorso – Caso 2A

Analisi globale della situazione

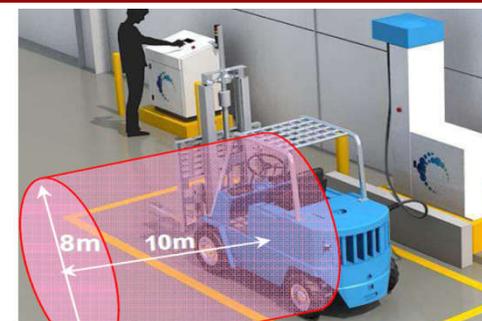


Perdita sulla linea di alimentazione di H₂ di una stazione di carrelli elevatori in un'area di stoccaggio

- **Contesto:** luogo chiuso
- **Persone presenti:** raccolta di informazioni
- **Dinamica incidente:** é stato udito un forte rumore, si può udire un rilascio di H₂ (esempio)
- **Valutazione tecnica:** utilizzare gli strumenti quali termocamera e rilevatori di H₂, valutare eventuali stoccaggi presenti e loro stato. Valutare il rischio di jet-fire ed esplosione

Intervento

- Localizzare le aree di pericolo, i dispositivi di arresto di emergenza, le valvole di intercettazione
- Localizzare eventuali feriti per l'eventuale estrazione
- Dotarsi di una manichetta antincendio per proteggere la squadra di intervento in caso di innesco
- Procedere con l'intervento intervenendo sui dispositivi di arresto di emergenza e sulla valvola di intercettazione di H₂



Area di pericolo per un carrello elevatore durante il rilascio di H₂ da TPRD (su ciascun lato per 1 minuto).

Analisi globale della situazione



Singola auto in fiamme in un campo aperto (2b)

- **Contesto:** luogo aperto
- **Persone presenti:** valutare se qualcuno è minacciato
- **Tipo di veicolo coinvolto:** assicurarsi la tipologia di alimentazione del veicolo
- **Valutazione tecnica:**
 1. individuare la posizione del TPRD;
 2. valutare la possibile durata del rilascio (potrebbe essere inferiore a 2 minuti);
 3. valutare i danni di un possibile jet-fire.

Intervento

- Fare attenzione alla posizione del veicolo al fine di definire le aree di maggior pericolo per i soccorritori
- Localizzare eventuale feriti per l'eventuale estrazione
- Dotarsi di una manichetta antincendio per proteggere la squadra di intervento
- Valutare di lasciare l'H₂ fuoriuscire in modo sicuro fino a quando il serbatoio non è vuoto



(In rosso) angoli vietati per l'avvicinamento al veicolo FCH su ruote in un incendio



Analisi globale della situazione

Pressione nel serbatoio, MPa	Diametro TPRD, mm	Lunghezza di fiamma, m	SD (nessun danno), m	SD (soglia del dolore), m	SD (ustioni di 3 rd grado), m
35	2	5	18	16	10
35	3	8	27	23	16
35	4	10	36	26	18
35	5	13	46	39	26
35	6	16	55	47	31
70	2	7	23	20	13
70	3	10	35	30	20
→ 70	4	13	→ 46	40	27
70	5	17	58	50	33
70	6	20	70	60	40

Lunghezze di fiamma e distanze di sicurezza (SD) per jet fires da serbatoi di idrogeno

Analisi globale della situazione



Incendio a bordo di un treno H₂ tra due vagoni zona rurale (3b)

- **Contesto:** luogo aperto
- **Persone presenti:** raccolta di informazioni circa feriti
- **Dinamica incidente:** treno fermo in aperta campagna, passeggeri fuori dal treno
- **Valutazione tecnica:** individuare l'esatta posizione dell'incidente, dove sono i serbatoi di H₂, capire se è presente un rilascio

Intervento

- Localizzare le aree di pericolo, valutando anche direzione e velocità del vento
- Localizzare eventuale feriti per l'eventuale estrazione
- Dotarsi di una manichetta antincendio per procedere con l'estinzione dell'incendio e/o raffreddare i serbatoi di H₂

7.2.5. Trains

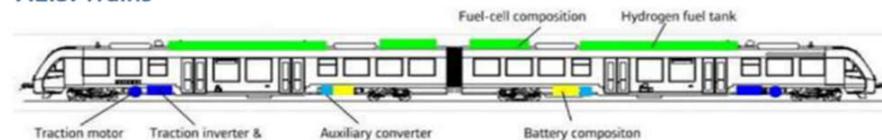


Figure 24: Hydrogen train presentation (iLint) source: Alstom



MINISTERO
DELL'INTERNO



Grazie per l'attenzione