



FEDERCHIMICA  
ASSOGASTECNICI  
GRUPPO IDROGENO VETTORE  
ENERGETICO

# Le problematiche di sicurezza nell'impiego dell'idrogeno nell'industria

*Relatori*

*Ing. Andrea Fieschi*

*Ing. Pasquale Colacino*



EIGA : European Industrial Gases Association - AISBL

## SAC, Safety Advisory Council

The Safety Advisory Council was created out of the Safety Advisory Group in 2010, but its aims and objectives remain the same and are at the core of EIGA's mission:

- To strive to improve the safety performance of the European industrial and medical gases industry through its Member Companies and Associations;
- To improve the safe handling and use of industrial and medical gases at customers' sites, taking into account that there are more and more public uses of industrial, food and medical gases;
- To monitor proposed EU legislation in the field of occupational safety and health and to consider the regulatory consequences for the industry;
- To determine the need for member information in the field of occupational safety and health and promote the issue of relevant publications.

Assogastecnici fa parte di EIGA, dove vengono sviluppate tutte le principali **guide tecniche** di sicurezza di settore



FEDERCHIMICA  
ASSOGASTECNICI  
GRUPPO IDROGENO VETTORE  
ENERGETICO

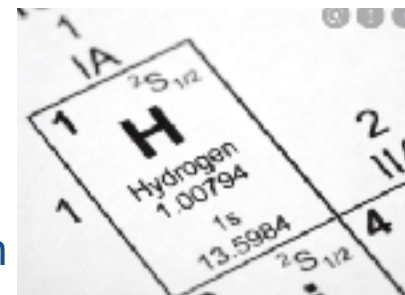
# I principali documenti EI GA sull'idrogeno

- **DOC 171 / 12 - Storage of Hydrogen in Systems Located Underground**
- **DOC 121 / 14 - Hydrogen Pipeline Systems**
- **DOC 210 / 17 - Hydrogen Pressure Swing Adsorber (PSA) Mechanical Integrity Requirements**
- **DOC 211 / 17 - Hydrogen Vent Systems for Customer Applications**
- **DOC 23.07 / 18 - Hydrogen**
- **DOC 122 / 18 - Environmental Impacts of Hydrogen Plants**
- **DOC 215 / 18 - HYCO Plant Gas Leak Detection and Response Practices**
- **DOC 6 / 19 - Safety in Storage, Handling and Distribution of Liquid Hydrogen**
- **DOC 100 / 20 - Hydrogen Cylinders and Transport Vessels**
- **DOC 185 / 20 - Safe Start Up and Shutdown Practices for Steam Reformers**
- **DOC 15 / 21 - Gaseous Hydrogen Installations**
- **DOC 102 / 21 - Safety Audit / Assessment Tool – Hydrogen Compression, Purification and Cylinder Filling**
- **DOC 155 / 21 - Best Available Techniques for Hydrogen Production by Steam Methane Reforming**

# Dal DOC 23.07

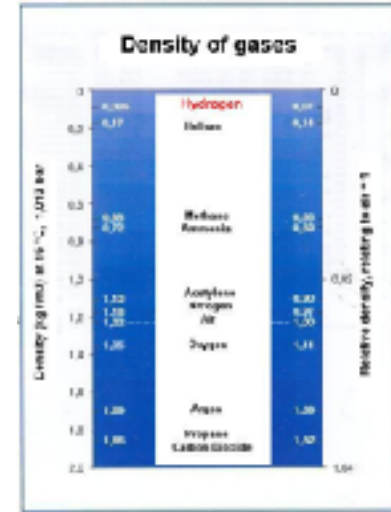
## Che cos'è l'idrogeno?

- La formula chimica è  $H_2$ .
- È un gas incolore, inodore e insapore. Non è tossico ma non sostiene la vita e agisce come un **asfissiante**. È l'elemento (e gas) più leggero conosciuto.
- L'idrogeno è altamente infiammabile e la maggior parte delle miscele di idrogeno e aria brucerà o addirittura esploderà in particolari condizioni. Si accende più facilmente di qualsiasi altro gas comune e una perdita ad alta pressione può anche accendersi spontaneamente. Brucia con una fiamma calda e quasi invisibile. Gli incendi da idrogeno sono difficili da spegnere. Se si spegne una fiamma a idrogeno e non si interrompe il flusso di idrogeno, il gas che fuoriesce può essere riacceso, a volte in modo esplosivo.



# Proprietà dell'idrogeno

- L'idrogeno è il gas più leggero conosciuto (peso specifico relativo= 0,0695, aria = 1) e diffonde rapidamente nell'aria.
- Il suo peso specifico è 0,0899 g/l (è 14,4 volte più leggero dell'aria).
- L'idrogeno liquido ha un peso specifico di 70,99 g/l.
- Il punto di ebollizione è -252,77 °C.
- Tra tutti i combustibili e carburanti, l'idrogeno possiede la maggiore **densità energetica**: 1 kg di idrogeno contiene la stessa energia di 2,1 kg di gas naturale o di 2,8 kg di benzina.
- In rapporto al volume, la densità energetica di idrogeno liquido è circa 1/4 di quella della benzina e circa 1/3 di quella del gas naturale.
- A temperatura ambiente l'idrogeno è chimicamente poco reattivo a causa dell'elevata stabilità della molecola  $H_2$  che la costituisce.
- L'idrogeno è estremamente infiammabile nell'aria (**limiti di infiammabilità dal 4% al 75% in volume**). L'energia necessaria per accenderlo è estremamente piccola, ad esempio per elettricità statica o attrito del flusso.



# Proprietà dell'idrogeno

- L'idrogeno brucia nell'aria con una fiamma molto calda e quasi invisibile, che emette pochissimo calore radiante e, quindi, dà un avvertimento limitato della sua presenza.
- L'accensione di miscele infiammabili idrogeno-aria avviene con un apporto energetico molto basso, circa un decimo di quello di una miscela benzina-aria. Una scintilla invisibile e/o una carica elettrostatica possono causare un'accensione.



**Nota:** il limite per rischio di asfissia con idrogeno è  $H_2 > 17\%$ , ma il limite per rischio incendio/esplosione è  $H_2 > 4\%$ .

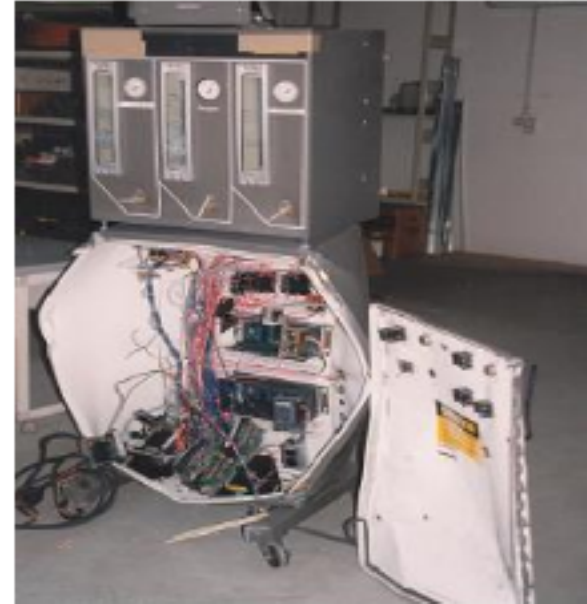
Quindi prima che si crei una atmosfera sott'ossigenata pericolosa, con molta probabilità è già avvenuta una esplosione!



FEDERCHIMICA  
ASSOGASTECNICI  
GRUPPO IDROGENO VEITORE  
ENERGETICO

# Proprietà dell'idrogeno

- Energia minima di accensione a scintilla in aria 0,0000019 joule (19  $\mu\text{J}$ )
- Energia minima di accensione a scintilla in ossigeno 0,0000017 joule (17  $\mu\text{J}$ )
- L'idrogeno può bruciare in due modalità. Una modalità di combustione è chiamata **deflagrazione**, in cui la fiamma viaggia attraverso la miscela a velocità **subsoniche**. Un'altra modalità di combustione è chiamata **detonazione**, in cui la fiamma e l'onda d'urto che la accompagna viaggiano attraverso la miscela a velocità **supersonica**.
- Una **deflagrazione** si verifica quando si accende una miscela idrogeno-aria **non confinata**. Una condizione non confinata significa all'aperto in un'area ben ventilata dove non ci sono ostacoli come edifici o muri. La velocità della fiamma può aumentare notevolmente con il confinamento. Una **detonazione** può essere costituita da una normale deflagrazione che è stata innescata in una miscela **confinata o parzialmente confinata**.



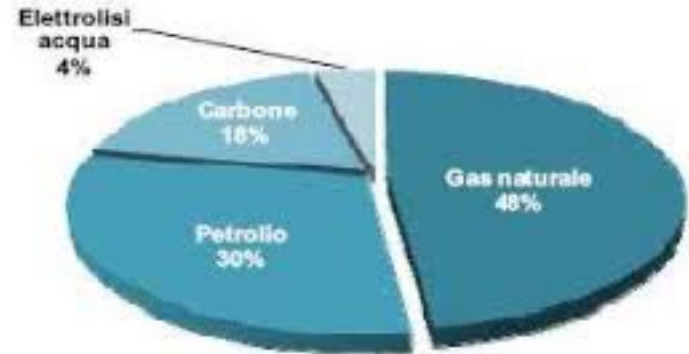
# Origine dell'idrogeno

- L'idrogeno è il più diffuso elemento nell'universo, ma sulla terra è combinato con altri elementi.
- L'idrogeno è presente nell'atmosfera solo in piccolissima concentrazione perché, data la sua leggerezza, tende a sfuggire al campo gravitazionale e a disperdersi nello spazio. È invece relativamente abbondante in forma combinata, soprattutto come **acqua** ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e come **composti organici** (idrocarburi, biomasse, ecc.). Esempi sono il gas metano ( $\text{CH}_4$ ) e i vegetali formati da combinazioni organiche più complesse.



# Origine dell'idrogeno

- **L'idrogeno si ricava da queste sorgenti mediante processi chimici che richiedono apporto di energia.**
- Scientificamente, l'idrogeno può essere considerato una fonte energetica secondaria e, in questo senso, un possibile mezzo per lo stoccaggio di energia.
- L'energia per la sua preparazione non deve per forza derivare da fonti fossili, bensì anche dall'energia nucleare, eolica, solare e idrica.
- A livello mondiale, più di 500 miliardi di metri cubi di idrogeno vengono attualmente prodotti, immagazzinati, trasportati e utilizzati, prevalentemente nell'industria petrolchimica. La stragrande maggioranza deriva da fonti fossili (gas naturale, petrolio) o deriva per via elettrolitica come sottoprodotto dagli impianti cloro-soda; circa 190 miliardi di metri cubi sono un prodotto secondario dei processi industriali di raffinazione del petrolio.



**Contributo delle varie fonti alla produzione di idrogeno**



# Metodi di produzione dell'idrogeno

## Elettrolisi

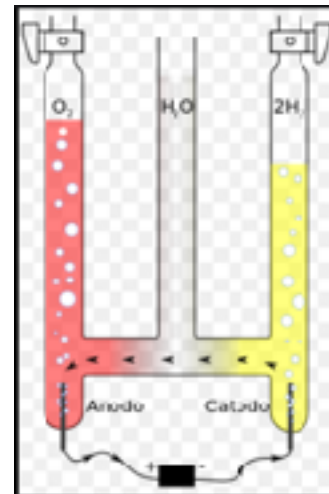
Tra i vari metodi che consentono di ricavare idrogeno dall'acqua, l'elettrolisi è l'unico di rilevanza pratica, oggi e probabilmente anche nell'immediato futuro. L'elettrolisi, nella sua forma convenzionale, è usata da oltre 80 anni per produrre idrogeno per il mercato.

La produzione di idrogeno per **elettrolisi** richiede l'impiego di **energia elettrica** e l'energia necessaria per scomporre l'acqua nei suoi due elementi H e O, è essenzialmente quella "immagazzinata" nell'idrogeno stesso.

La produzione di grandi quantità è pertanto economica solo in quei paesi dove l'elettricità può essere generata a costi convenienti, per esempio in Egitto, Islanda e Norvegia, dove la maggior parte dell'energia elettrica viene generata in centrali idroelettriche.

In futuro, lo sviluppo di grandi quantità di energia elettrica da processi di fusione nucleare o da impianti fotovoltaici, eolici o solari potranno costituire una sorgente conveniente per l'attività secondaria di scissione dell'acqua.

Quindi, per produrre idrogeno si deve investire energia elettrica. Per produrre energia utile da idrogeno, questo deve essere nuovamente legato ad un altro elemento, ed è questo che avviene in una cella a combustione.



# Metodi di produzione dell'idrogeno

## Reforming a vapore

Il reforming a vapore consiste nella trasformazione catalitica endotermica di idrocarburi leggeri (metano, benzina, ecc.) con l'uso di vapore acqueo. Su scala industriale, questi processi avvengono normalmente a temperature di 850 °C e pressioni di circa 2,5 bar e gli impianti di reforming a vapore possono avere produzioni fino a circa 100.000 metri cubi di idrogeno all'ora.

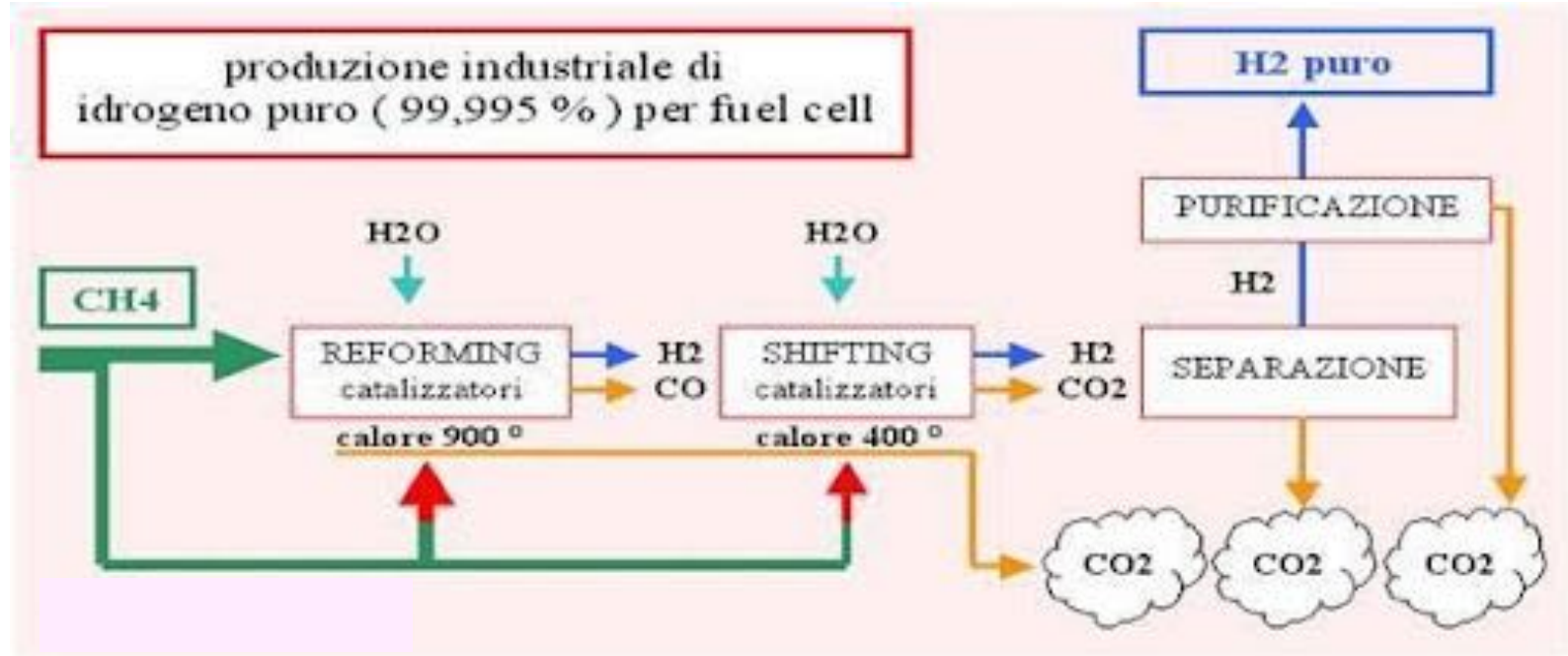
Dal processo di trasformazione risultano idrogeno e biossido di carbonio, nonché metano e monossido di carbonio. Con l'impiego di vapore acqueo, nella cosiddetta reazione "shift", la maggior parte del monossido di carbonio viene trasformata in biossido di carbonio ed idrogeno. Il biossido di carbonio e altre sostanze indesiderate vengono successivamente rimosse dalla miscela di gas per assorbimento o con l'ausilio di membrane. Il gas residuo contiene materie combustibili ( $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ) nella misura di circa il 60% e, insieme con una frazione del gas utile, viene usato per il riscaldamento del reformer.

## Piccoli reformer

Per la produzione di idrogeno direttamente in combinazione con celle a combustibile sono allo studio piccoli reformer (reforming a vapore, ossidazione parziale). Questi sistemi sono destinati soprattutto ad applicazioni mobili in veicoli e in piccoli sistemi fissi. Con questo sistema si spera di poter sfruttare la maggiore densità energetica e il più semplice impiego dei convenzionali carburanti liquidi in celle a combustibile. Di particolare interesse sono il reforming e l'ossidazione parziale di metanolo e di benzina.

# Metodi di produzione dell'idrogeno

## Reforming a vapore del metano



# Metodi di produzione dell'idrogeno

## Ossidazione parziale

Ossidazione parziale è detta la trasformazione termica di idrocarburi pesanti (per esempio residui di oli pesanti dell'industria petrolchimica) con l'ausilio di ossigeno e, parzialmente, anche di vapore acqueo. Con idonee quantità di ossigeno e di vapore acqueo, la gassificazione può avvenire senza energia fornita dall'esterno.

Il metodo dell'ossidazione parziale funziona anche con il carbone. In questo caso, il carbone finemente triturato viene miscelato con acqua per ottenere una sospensione con un contenuto solido del 50-70%. Il metodo conviene economicamente però solo in paesi come Sudafrica e Cina, grandi produttori di carbone.

Se, a medio e a lungo termine, l'idrogeno dovesse acquisire notevole importanza nel settore energetico, la sua produzione tramite reforming convenzionale, o ossidazione parziale di gas naturale, petrolio o carbone, è poco consigliabile dal punto di vista ambientale, perché non riduce le emissioni complessive di CO<sub>2</sub> nell'ambiente.

# Metodi di produzione dell'idrogeno

## Metodi avanzati

Alcuni metodi moderni consentono la produzione di idrogeno anche **senza emissioni di CO<sub>2</sub>, se l'energia elettrica necessaria viene prodotta da fonti rinnovabili**. Fin dagli anni Ottanta, la KVAERNER ENGINEERING S.A. norvegese sta sviluppando il cosiddetto processo PLAM che, ad una temperatura di 1600 °C, consente la decomposizione di idrocarburi in carbonio puro e idrogeno. Il processo, che non causa gravi emissioni, richiede, oltre all'energia primaria (petrolio, gas naturale), solo energia elettrica e acqua per il raffreddamento.

## Idrogeno da biomassa

Non esistono ancora metodi che consentono la produzione economica di idrogeno direttamente da biomassa. I vari metodi sui quali si concentra la ricerca si trovano in differenti stadi di sviluppo. Alcuni metodi prevedono l'uso di biomassa solida, per esempio sotto forma di pellets, mentre altri si basano sulla fermentazione di liquami e altre materie biologiche. I metodi più promettenti sono la gassificazione e la fermentazione di biomassa dai quali si ricava biogas.

# Stoccaggio dell'idrogeno

Lo stoccaggio di idrogeno avviene sostanzialmente in due forme:

- sotto **forma liquida**, in contenitori criogenici mantenuti ad una temperatura prossima alla sua temperatura di ebollizione ( $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- sotto **forma gassosa**, in contenitori a pressione.

Lo stoccaggio in forma liquida richiede l'impiego di contenitori isolati sotto vuoto. Essi, tuttavia, non possono comunque annullare completamente le possibili perdite di calorie, che si traducono inevitabilmente nella perdita continua, per evaporazione, di piccoli quantitativi di gas.

Questo tipo di stoccaggio è pertanto utile per il trasporto, in tempi e distanze ragionevoli, di grandi quantitativi di gas, o per lo stoccaggio provvisorio di grandi quantitativi continuamente soggetti a travaso per la distribuzione successiva o per il loro diretto utilizzo finale.





# Stoccaggio dell'idrogeno

Lo stoccaggio in contenitori a pressione viene utilizzato sia per la distribuzione capillare di piccole quantità di gas (bombole, pacchi bombole) sia per il trasporto (tubi).

In generale, lo stoccaggio in pressione ricorre a bombole costruite con acciai speciali (in grado di non essere permeabili al gas e infragiliti dalla sua azione permeante) che possono mantenere pressioni di esercizio dai 200 ai 300 bar, in funzione della lavorazione del materiale e dello spessore del contenitore.

Più recentemente, la ricerca ha messo a punto contenitori in materiali parzialmente o totalmente compositi (cioè caratterizzati da un più sottile e leggero contenitore metallico interno, rivestito esternamente da materiale plastico ultrasensistente) che possono raggiungere pressioni di stoccaggio dell'ordine dei 700 bar, consentendo l'immagazzinamento di maggiori quantitativi di gas.

Sono anche allo studio contenitori caratterizzati dalla presenza di materiali in grado di adsorbire l'idrogeno, che consentirebbero uno



FEDERCHIMICA  
ASSOGASTECNICI  
GRUPPO IDROGENO VEITORE  
ENERGETICO



# Trasporto dell'idrogeno

Il trasporto dell'idrogeno può sostanzialmente avvenire secondo tre modalità:

- trasporto di contenitori in pressione (bombole, pacchi di bombole, tubi)
- trasporto in contenitori criogenici (cisterne)
- trasporto in tubazioni (a bassa pressione)

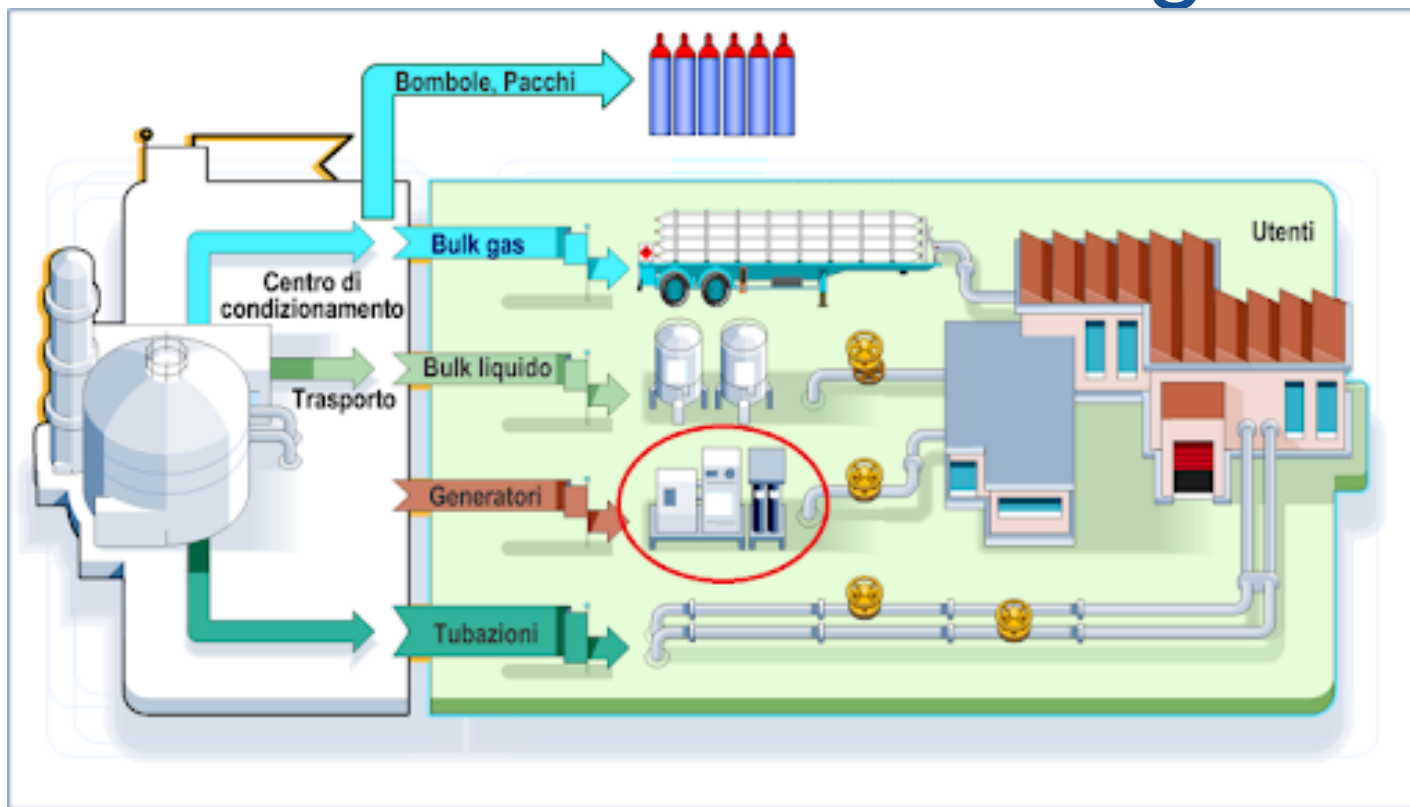
Nei primi due casi il trasporto avviene principalmente su strada o per ferrovia, quando possibile.

E' chiaro che una futura "civiltà dell'idrogeno" non potrà basarsi sul trasporto stradale o ferroviario di quantitativi così ingenti di gas.

In questo caso, la distribuzione con tubazioni potrà essere la migliore alternativa per la soddisfazione di esigenze legate alla mobilità o al riscaldamento.



# Distribuzione dell'idrogeno



# Impieghi dell'idrogeno

## IMPIEGHI INDUSTRIALI

Grandi quantità di idrogeno sono necessarie per applicazioni industriali, come nel processo Haber-Bosch per la produzione di ammoniaca, nell'idrogenazione dei grassi e degli oli, e nella produzione del metanolo.

Tra gli altri processi nei quali viene utilizzato l'idrogeno si distinguono:

- idrodealchilazione, idrodesolforazione, idroraffinazione.
- nelle saldature, come combustibile per razzi e per la riduzione dei minerali metallici.
- l'idrogeno liquido è usato nella ricerca criogenica, che comprende gli studi sulla superconduttività.

La maggior parte dell'idrogeno è per applicazioni di larga scala, dove viene autoprodotta e utilizzata in loco (raffinerie, ammoniaca, metanolo)



# Impieghi dell'idrogeno

## IMPIEGHI INDUSTRIALI (continua...)

In altri settori, gli impieghi sono di portata inferiore e vengono tipicamente gestiti dall'industria dei gas tecnici.

- raffinerie petrolchimiche
- industria metallurgica
- industria alimentare
- industria del vetro
- industria elettronica

In processi specifici:

- idrogenazione degli olii e dei grassi (industria alimentare)
- trattamenti termici (industria metallurgica)
- raffreddamento alternatori
- industria del vetro.



# Impieghi dell'idrogeno

## IMPIEGHI ENERGETICI

Gli impieghi energetici dell'idrogeno sono:

- stoccaggio temporaneo di energia
- combustione per produrre energia termica
- celle a combustibile per produrre energia elettrica

Le celle a combustibile presentano mediamente oggi un'efficienza di conversione che varia dal 40% al 60%, che necessita di ulteriori miglioramenti per poter essere applicata efficacemente su larga scala.

# Precauzioni d'uso

- Quando ci si avvicina a una perdita di idrogeno, occorre tenere davanti a sé del materiale facilmente infiammabile come un giornale arrotolato o una scopa di paglia (il getto di idrogeno è invisibile).
- Per estinguere un incendio da idrogeno, spegnere la fonte di alimentazione, a condizione che ciò possa essere fatto in sicurezza. Se non è possibile interrompere l'erogazione dell'idrogeno, raffreddare l'impianto o l'apparecchiatura bagnandola con acqua fino a quando la fiamma non si è estinta.
- Non rilasciare o scaricare mai idrogeno in edifici o spazi ristretti.
- Assicurarsi che gli edifici in cui viene immagazzinato o manipolato l'idrogeno abbiano un'adeguata ventilazione per prevenire la formazione di un'atmosfera esplosiva, specialmente nel soffitto. Tenere libere tutte le aperture di ventilazione e non ostruirle per nessun motivo.
- Non fumare o portare fiammiferi e accendini in un'area in cui l'idrogeno viene prodotto, immagazzinato o utilizzato.
- Non portare in nessuna installazione di idrogeno apparecchiature elettriche non autorizzate come torce, radio o utensili elettrici. Utilizzare solo apparecchi di illuminazione approvati e marcati Ex (direttiva ATEX) di categoria adeguata per le zone identificate.
- Non eseguire alcun lavoro a caldo come taglio, molatura, saldatura o brasatura su un impianto a idrogeno. Quando è necessario un lavoro a caldo, ottenere il relativo permesso.



# Precauzioni d'uso

- Non manomettere o danneggiare i sistemi di messa a terra; sono previsti per impedire l'accumulo di cariche elettrostatiche che potrebbero fungere da fonte di ignizione.
- Prima di aprire impianti e/o attrezzature su un impianto a idrogeno per manutenzione o per qualsiasi altro scopo, ottenere un permesso di lavoro. Questo permesso richiederà che tutti i tubi e i serbatoi vengano bonificati con azoto prima dell'inizio dei lavori. La percentuale di  $O_2$  deve essere inferiore all'1%.
- Prima di immettere idrogeno in un sistema (impianto, serbatoio, ecc) bonificarlo con azoto per assicurarsi che non si possa sviluppare una miscela infiammabile. Per il sistema a idrogeno liquido, è necessario uno spurgo con elio dopo o prima dello spurgo con azoto. La percentuale residua di idrogeno deve essere inferiore all'1%.
- Le installazioni o apparecchiature contenenti idrogeno devono sempre lavorare in sovra-pressione, per evitare l'ingresso di aria.
- Prima dello start-up di un impianto o di un'apparecchiatura occorre verificare tutte le tenute (flussando prima con azoto e poi con idrogeno, alla pressione di esercizio).



# Precauzioni d'uso

- Non scaricare mai l'idrogeno da una fonte ad alta pressione, come una bombola, per rimuovere i contaminanti. Utilizzare sempre una fonte esterna di azoto o aria per questo scopo (capita ad esempio per pulire l'attacco del riduttore alla bombola).
- Si raccomanda di monitorare in modo permanente o periodico i sistemi a idrogeno (recipienti a pressione e tubazioni) utilizzando rilevatori di atmosfera esplosiva al fine di identificare le perdite il prima possibile e intraprendere le azioni correttive necessarie.





# Localizzazione delle installazioni

## (dal DOC 15 – Installazioni di idrogeno gassoso)

- La scelta del sito dell'impianto e la disposizione delle attrezzature dell'impianto deve considerare la tipologia di strutture industriali, le residenze situate nell'area circostante e l'utilizzo in loco di materiali infiammabili. La distanza tra le apparecchiature deve prendere in considerazione i vincoli associati al sistema di protezione antincendio dell'impianto, i requisiti di manutenzione e la classificazione pericolosa delle apparecchiature elettriche.
- Gli impianti a idrogeno possono essere installati con idonei sistemi di sicurezza all'aperto, sotto pensiline o all'interno di edifici e devono essere posizionati in modo da essere facilmente accessibili ai mezzi di distribuzione, ai servizi antincendio e fornire facili mezzi di fuga del personale in caso di emergenza.
- E' vietato costruire depositi in locali sotterranei.
- Non devono essere posizionati al di sotto delle linee elettriche ad alta tensione.
- Si deve prestare attenzione alla loro ubicazione rispetto a fonti di combustibile, come condutture o depositi alla rinfusa contenenti altri gas o liquidi infiammabili, o altre potenziali sostanze pericolose che potrebbero compromettere l'integrità dell'impianto.
- Per le distanze di sicurezza tipiche vedere la Tabella 1 (slides successive).
- L'installazione deve essere visibile ed accessibile per controlli

# Localizzazione delle installazioni

## (dal DOC 15 – Installazioni di idrogeno gassoso)

- Si deve tener conto della vicinanza di altri processi o edifici contenenti apparecchiature di processo, dove esiste un potenziale rischio di incendio o esplosione. In questi casi possono essere necessarie precauzioni, come maggiori distanze di separazione o pareti di protezione adeguatamente progettate. Le distanze di sicurezza possono essere ridotte ad esempio mediante l'utilizzo di pareti tagliafuoco adeguatamente progettate. Le pareti tagliafuoco non devono limitare la ventilazione dell'aria dell'impianto (ad esempio solo su due lati dell'impianto).
- Devono essere prese precauzioni, come barriere o recinzioni di sicurezza, per proteggere da danni durante la manovra di qualsiasi unità di alimentazione di idrogeno e da manomissioni non autorizzate.
- L'area entro 3 metri da qualsiasi installazione di idrogeno deve essere mantenuta libera da erbacce e vegetazione. Se vengono utilizzati diserbanti, non devono essere utilizzati prodotti chimici che sono una potenziale fonte di pericolo di incendio.

# Distanze di sicurezza consigliate da EI GA

Table 1 – Typical minimum horizontal safety distances for hydrogen stations

Typical type of outdoor exposure	Distance in metres of hydrogen from
1. Open flames and other ignition sources (Incl. electrical)	5
2. Site boundary and areas where people are likely to congregate such as car parks, canteens, etc.	8
3. Wooden buildings or structures	8
4. Wall opening in offices, workshops, etc.	5
5. Bulk flammable liquids and LPG storage above ground in accordance with national codes, where they exist, for the particular substance. Otherwise	8
6. Bulk flammable liquid and LPG below ground	
6.1 Tank (horizontal distance from shell)	3
6.2 Vent or connections	5
7. Flammable gas cylinder storage, other than hydrogen	5
8. Gaseous oxygen storage (cylinders)	5
9. Liquid oxygen storage (not greater than 125 000 litre tank capacity) <sup>21</sup>	8 <sup>1)</sup>
10. Non-flammable cryogenic liquid storage, other than oxygen, for example argon, nitrogen <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>
11. Stocks of combustible material, for example timber	8
12. Air compressor, ventilator intakes, etc.	15

<sup>1)</sup> Where satisfactory arrangements are made to divert liquid spillage away from the hydrogen system, these distances may be reduced.

<sup>2)</sup> For tank capacities greater than 125 000 litres see EIGA Document 127, Bulk Liquid Oxygen, Nitrogen and Argon Storage Systems at Production Sites [21].



# Layout delle installazioni

- Il layout delle installazioni deve considerare come minimo:
  - L'operatività dell'utente;
  - La manutenzione;
  - L'ubicazione degli sfiati;
  - L'accesso veicolare e accesso sicuro del personale; e
  - Le distanze di sicurezza e le zone di pericolo.
- Le perdite di idrogeno da tubi, recipienti e apparecchiature possono provocare una fiamma a getto se l'idrogeno si accende (ad esempio per attrito o elettricità statica). La lunghezza della fiamma del getto dipende dalla pressione dell'idrogeno e dalle dimensioni della perdita.
- La disposizione delle apparecchiature deve considerare le vie di fuga in modo tale che non siano influenzate da potenziali incendi. Ciò può essere ottenuto, se necessario, utilizzando ad esempio pareti tagliafuoco.
- La disposizione delle apparecchiature deve inoltre considerare la possibilità che le fiamme di potenziali perdite possano colpire altre apparecchiature, per evitare l'escalation di un incidente.

# Requisiti di ventilazione

- La ventilazione dei locali edifici deve essere garantita per mantenere le atmosfere al di sotto del LEL in caso di perdite minori. La ventilazione naturale è preferita e dovrebbe essere progettata per ottenere un certo numero di ricambi d'aria all'ora (tipicamente nell'intervallo di **6-12 ricambi d'aria all'ora** a seconda delle dimensioni del locale). La progettazione della ventilazione dovrebbe considerare:
  - area delle aperture per la ventilazione naturale (ad esempio  $\text{m}^2$  per  $\text{m}^3$ ); e
  - la ventilazione forzata deve essere utilizzata laddove la ventilazione calcolata non può essere ottenuta con la ventilazione naturale.
- La progettazione della ventilazione deve considerare i potenziali spazi ristretti causati dalle apparecchiature.
- L'edificio dovrebbe avere una buona ventilazione naturale sia in basso che in alto. L'apertura di uscita deve essere situata nel punto più alto della stanza nelle pareti esterne o nel tetto.
- Laddove possibile è preferibile la ventilazione naturale. Aree ristrette o strumenti sensibili possono richiedere una ventilazione forzata, ad esempio per dissipare il calore, questo è normalmente un funzionamento continuo.

# Requisiti di ventilazione

- La ventilazione forzata può essere installata come risposta a situazioni di emergenza come perdite significative. La ventilazione forzata è tipicamente innescata dal monitoraggio atmosferico (ad esempio **25%** di LEL). Devono essere eseguiti regolarmente la manutenzione e il test della ventilazione, compresa la calibrazione di eventuali monitor atmosferici.
- La ventilazione dell'edificio deve essere in grado di dissipare il carico termico delle apparecchiature in estate.
- Laddove l'aria viene utilizzata per il riscaldamento o il raffreddamento, è preferibile utilizzare un sistema a passaggio unico in cui l'aria viene fatta passare attraverso l'edificio per riscaldare o raffreddare secondo necessità. Considerare la posizione degli ingressi e delle uscite di sfiato e posizionarli lontano da potenziali pericoli. Il monitoraggio atmosferico dell'ingresso e/o dell'uscita dell'aria di sfiato dovrebbe essere considerato per monitorare il rischio di contaminazione.

# Requisiti di ventilazione

- Laddove è richiesto il riscaldamento o l'aria condizionata, dovrebbe essere preferibilmente fatto tramite mezzi indiretti come vapore, acqua calda/fredda o aria calda/fredda. Laddove si utilizzino sistemi di ricircolo, si deve tenere in considerazione la possibilità di contaminazione da idrogeno e devono essere prese adeguate precauzioni. Le fonti di calore, come le caldaie a gas naturale/GPL, devono essere ubicate a distanza dagli edifici tenendo conto delle distanze di sicurezza.
- È possibile utilizzare il riscaldamento elettrico, ma deve essere conforme alla classificazione dell'area elettrica (ATEX). Non devono essere utilizzati riscaldatori per edifici a fiamma aperta diretta.

# Tubazioni

- Le tubazioni per l'idrogeno devono essere chiaramente contrassegnate mediante codifica a colori e/o etichette.
- Devono essere fornite di valvole di isolamento in modo che la fonte di idrogeno possa essere chiusa in sicurezza in caso di emergenza. Le tubazioni del gas infiammabile che entrano o escono da un edificio di processo dovrebbero poter essere isolate all'esterno dell'edificio, ad esempio con un sistema di block and bleed.
- La progettazione delle linee di sfiato dell'idrogeno deve ridurre al minimo il rischio associato alla potenziale accensione (detonazione vs deflagrazione) considerando il rapporto lunghezza/diametro. Il design meccanico deve essere in grado di resistere all'accensione all'interno della linea di sfiato a meno che l'accensione all'interno dello sfiato non sia impedita, ad esempio, mediante uno spurgo di azoto o un dispositivo antifiamma.
- I flussi dagli sfiati e dalle apparecchiature di sicurezza devono essere convogliati in un luogo sicuro dove non generano un pericolo per le persone o le strutture vicine, lontano da aree del personale, linee elettriche e altre fonti di accensione, prese d'aria, aperture di edifici e sporgenze. Le leghe di rame o l'acciaio inossidabile sono materiali preferiti per ridurre al minimo la possibilità di accensione dovuta alle particelle di corrosione atmosferica.



# Tubazioni

- Gli sfiati sono in genere convogliati individualmente. Laddove gli sfiati sono collegati tra loro, il progetto deve considerare il potenziale rischio di flusso mal diretto, vicoli ciechi e più sfiati che funzionano contemporaneamente. Gli sfiati non devono scaricare dove può verificarsi l'accumulo di idrogeno, ad esempio sotto le grondaie degli edifici. Le zone di pericolo intorno alle prese d'aria devono essere valutate così come la vicinanza ad altre prese d'aria (ad esempio l'ossigeno).
- Il design e la posizione dello sfiato devono considerare il potenziale rischio di accensione involontaria (calore radiante, dimensione della fiamma, spurgo di gas inerte).
- I sistemi di vent a caldo (con fiamma) possono essere utilizzati se progettati come tali.
- Laddove sia necessario far passare le condutture dell'idrogeno nello stesso condotto o cavidotto utilizzati per i cavi elettrici, tutti i giunti nelle tubazioni dell'idrogeno nel condotto/cavidotto devono essere saldati o brasati. Una distanza minima di separazione dai cavi elettrici e da qualsiasi altra tubazione deve essere determinata dalla valutazione dei rischi o da norme/regolamenti locali. **La tubazione dell'idrogeno dovrebbe essere collocata a un'altezza maggiore rispetto ad altre condutture.**

# Materiali per idrogeno

- Tutti i materiali utilizzati devono essere idonei all'impiego con idrogeno e alle pressioni e temperature coinvolte.
- I meccanismi di guasto come l'infragilimento da idrogeno, l'attacco ad alta temperatura e la tensocorrosione non sono normalmente presenti nelle installazioni di idrogeno gassoso, ma potrebbero dover essere considerati a seconda delle temperature di servizio, delle pressioni e degli ambienti. Bisogna fare molta attenzione nella scelta dei materiali ferrosi per l'impiego con l'idrogeno.
- Non devono essere utilizzati tubi e raccordi in ghisa. Si sconsiglia l'uso di qualsiasi ghisa a causa della permeabilità all'idrogeno e della possibilità di porosità nella **ghisa**.
- Tubi e raccordi devono essere progettati secondo PED insieme a standard riconosciuti come EN13480, tubazioni industriali metalliche, ASME B31.3, tubazioni di processo o ASME B31.12, tubazioni e tubazioni dell'idrogeno.
- Laddove è probabile che l'ammoniaca sia presente come impurità o come contaminante atmosferico, le leghe a base di rame/stagno/zinco non devono essere utilizzate per tubi o raccordi poiché questi materiali sono suscettibili all'attacco dell'ammoniaca. Si dovrebbe anche prendere in considerazione la possibilità che siano presenti altri contaminanti e prendere adeguate precauzioni.
- La selezione e la progettazione del materiale devono considerare (ove richiesto) i meccanismi di fatica (in particolare per le connessioni flessibili) e i cicli di pressione.

# Raccordi

- L'uso di giunti saldati o brasati (la saldatura dolce non è consigliata) è raccomandato ove possibile. Laddove si ritengano necessari giunti fragili (filettati, flangiati, ecc.), questi dovrebbero essere ridotti al minimo poiché sono una potenziale fonte di perdite. Devono essere prese in considerazione le potenziali perdite alle connessioni dovute alla permeabilità dell'idrogeno a tutte le pressioni.
- I raccordi a compressione non sono consigliati sulle linee di processo a causa del rischio di perdite. Tuttavia possono essere utilizzati per strumenti di piccolo diametro e linee di campionamento/valvole, e anche dove la produzione (saldatura) è problematica, ad esempio in caso di alta pressione e grandi spessori di parete. Laddove vengono utilizzati raccordi a compressione, i raccordi devono essere adatti al fluido/pressione e installati secondo le indicazioni del produttore, inclusa la conformità alle procedure di serraggio.
- La continuità elettrica deve essere mantenuta in tutto il sistema.
- Laddove sono richiesti collegamenti flessibili, possono essere utilizzati tubi o pigtails (tubi a spirale), entrambi devono essere conformi alla PED.

# Tubi di riempimento

- L'estremità libera dei raccordi dei tubi di riempimento, se filettati, deve avere una filettatura sinistrorsa.
- I tubi di riempimento devono essere elettricamente continui. In caso contrario, deve essere fornita una messa a terra sufficiente sia a monte che a valle dei tubi di riempimento. Il materiale di costruzione deve fornire la migliore resistenza possibile alla permeazione.
- **Laddove sono montati manicotti esterni**, questi devono essere opportunamente forati per evitare il gonfiaggio.
- Ogni tubo deve essere sottoposto a prova di resistenza dal produttore e deve essere rilasciato un certificato a tal fine. Il tubo deve avere un mezzo per identificare la sua data di fabbricazione, la pressione di progetto e la temperatura di progetto. Devono essere installati dispositivi di sicurezza per trattenere la manichetta in caso di guasto (cavo anti-frusta o anti brandeggio).
- I tubi devono essere regolarmente ispezionati sulla base della valutazione del rischio (e della legislazione nazionale ove applicabile). I tubi flessibili devono essere ritirati dall'uso se vengono rilevati segni di usura che compromettono l'integrità o dopo un periodo di tempo specificato (ad esempio 10.000 cicli). Le registrazioni delle ispezioni devono essere conservate e la frequenza delle ispezioni deve essere adeguata di conseguenza.

# Strumentazione

- Gli strumenti e gli indicatori devono essere progettati e posizionati in modo tale che, in caso di perdita o rottura e possibile incendio successivo, il rischio per il personale sia ridotto al minimo. Si raccomanda l'uso di vetri di sicurezza e sfiato posteriore sui manometri (la cosiddetta costruzione «**solid front**»)
- Alcuni strumenti possono utilizzare sistemi di rilevamento, che normalmente non sono compatibili con le precauzioni di sicurezza dell'idrogeno, ad esempio gascromatografi, rilevatori a ionizzazione di fiamma. In questi casi, devono essere prese adeguate precauzioni per limitare le quantità di idrogeno, all'interno degli strumenti di analisi, a limiti accettabili, ad esempio mediante dispositivi di limitazione del flusso come valvole o orifizio di eccesso di flusso, e spurgo e sfiato di gas inerte verso l'esterno.
- Tutte le valvole automatiche devono assumere una posizione di sicurezza in caso di perdita di potenza o aria/gas strumentali che guidi il processo in una direzione sicura.
- Tutti i comandi che richiedono la regolare attenzione dell'operatore devono essere ergonomicamente accessibili.

# Sistemi di controllo sicurezza

- I sistemi di controllo e la strumentazione non devono introdurre un pericolo, altrimenti non presente, né per lo stabilimento né per il personale.
  - Le apparecchiature e i sistemi di controllo elettrici situati all'interno di aree classificate pericolose e posizionatori elettrici utilizzati con valvole automatiche per il servizio di gas infiammabili devono essere conformi ai requisiti della Direttiva ATEX 2014/34/UE. I sistemi di alimentazione (sistemi superiori a 24 V) richiedono l'uso di armadietti spurgati o antideflagranti.
  - I centri di acquisizione dati e altre strutture simili per il controllo computerizzato o elettronico avanzato devono essere situati al di fuori delle aree classificate, ove possibile.
  - Il progetto di un sistema di controllo deve prevedere la possibilità di allertare il personale operativo di eventi indesiderati e fornire i mezzi per intraprendere azioni correttive. I sistemi di allarme di emergenza per la sicurezza del personale e la protezione antincendio possono includere:
    - stazioni di allarme antincendio e di emergenza attivate manualmente;
    - impianti sprinkler e/o a diluvio;
    - monitor dell'atmosfera per edifici e recinzioni per avvertire di potenziali incendi e atmosfere esplosive;
- NOTA** Il monitoraggio dell'ossigeno può essere richiesto quando viene utilizzato gas inerte (ad esempio azoto) per lo spurgo o l'aria strumentale.
- allarmi rivelazione incendio e fumo; e
  - spegnimento automatico della fornitura di idrogeno.

# Sistemi di controllo sicurezza

- Oltre alla sua funzione di regolazione del sistema di processo, comunicazione e registrazione dei dati, un sistema di controllo deve essere **affidabile** e sempre **disponibile** per funzioni di allarme, arresto, isolamento e soccorso, che garantiranno l'integrità della struttura e il suo funzionamento sicuro in tutte le condizioni prevedibili.
- I sistemi di sicurezza devono essere valutati e progettati secondo standard adeguati. I requisiti funzionali e i requisiti di integrità della sicurezza possono essere determinati da studi quali HAZOP, analisi dei livelli di protezione (LOPA) o grafici del rischio. Tali valutazioni possono richiedere l'implementazione di un sistema strutturato di sicurezza. Un sistema strutturato di sicurezza (SIS) esegue funzioni di controllo specifiche per garantire la sicurezza o mantenere il funzionamento sicuro di un processo quando si verificano condizioni inaccettabili o pericolose.

# Identificazione delle aree

- L'estensione delle zone di pericolo deve essere indicata da avvisi permanenti nella lingua italiana, in particolare nei punti di accesso, o da linee distintive dipinte a terra. Gli avvisi devono indicare la natura del pericolo, ad esempio:

IDROGENO – GAS INFIAMMABILE

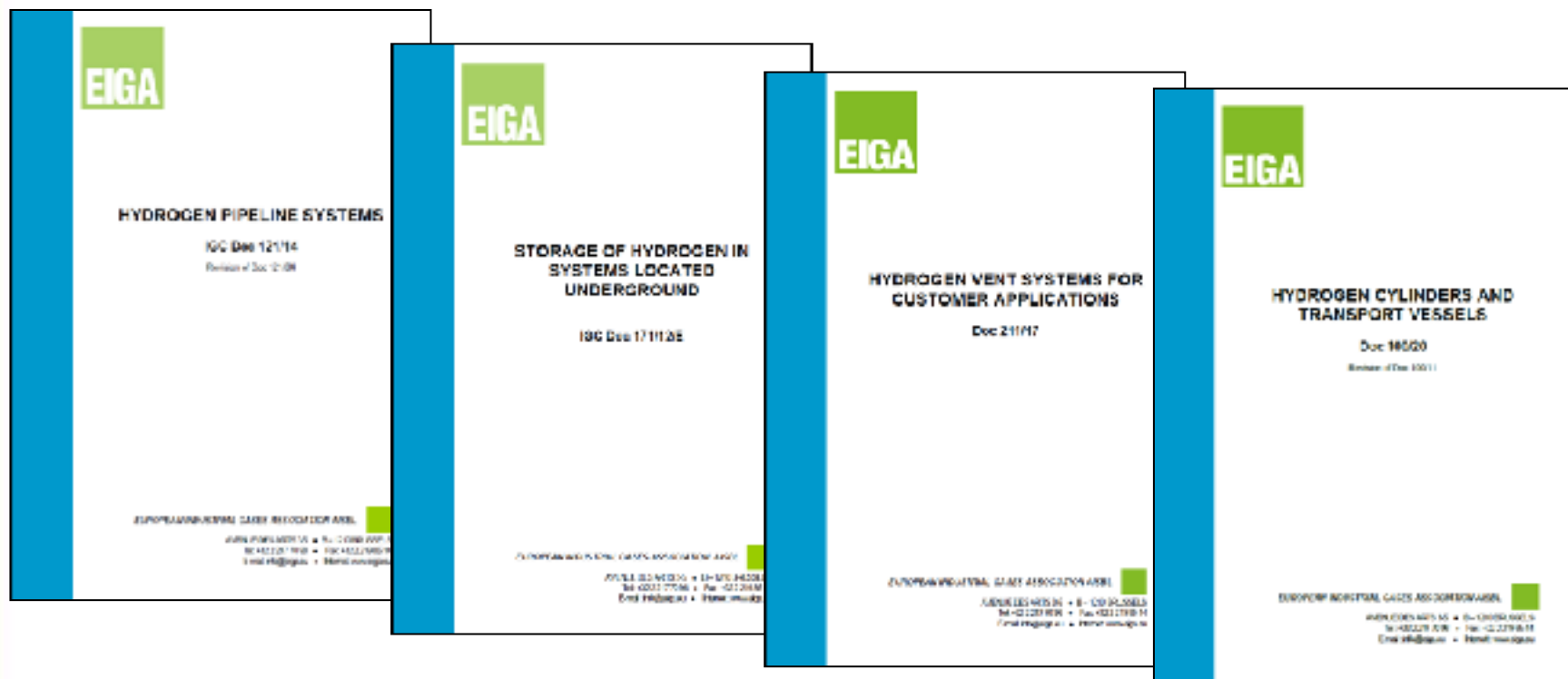
VIETATO FUMARE – NESSUNA FIAMMA LIBERA

- Solo il personale autorizzato può entrare in queste zone. Tale personale deve essere a conoscenza dei rischi che si possono incontrare e delle relative procedure di emergenza.
- Qualsiasi lavoro diverso da quello direttamente connesso con il funzionamento della stazione deve essere coperto da un sistema di permessi di lavoro in sicurezza (vedere EIGA Doc 40) Sistemi di permessi di lavoro.





# Altri documenti fondamentali





Via Giovanni da Procida, 11  
20149 – MILANO  
  
+39 02 34565 365  
+39 02 34565 242  
agt@federchimica.it



Largo Arenula, 34  
00186 – Roma  
  
+39 06 542731  
ist@federchimica.it



1, Avenue de la Joyeuse Entrée, Bte 1  
1040 – Bruxelles  
  
+32 2 2803292  
delegazione@federchimica.eu