

SINOSSI CRITICA DELLE DISTANZE DI SICUREZZA PER STAZIONI DI RIFORNIMENTO DI IDROGENO E METANO

N. Grasso, A. Marangon, M. Carcassi, F. Fineschi

Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Ingegneria meccanica, nucleare e della produzione
Via Diotisalvi 2, 56126 Pisa (Italia)

SOMMARIO

La prospettiva di impiegare un combustibile da trasporto pulito ed ampiamente disponibile ha incoraggiato non poco la ricerca scientifica verso lo studio dell'idrogeno. Tuttavia, la possibilità di utilizzare l'idrogeno come combustibile nelle auto ed in altri veicoli comporta la necessità di realizzare una infrastruttura sufficiente e quindi di costruire adeguate stazioni di rifornimento. La mancanza, in Italia, di una normativa riguardante l'idrogeno spinge necessariamente verso il confronto con il gas naturale, caratterizzato da proprietà fisiche e chimiche abbastanza simili e anch'esso impiegato come combustibile da trasporto. Il presente lavoro riporta brevemente i risultati di uno studio delle normative italiane ed internazionali in vigore per le stazioni di rifornimento di gas naturale e delle normative internazionali specifiche per l'idrogeno e per le stazioni di rifornimento di idrogeno: l'attenzione è stata rivolta in particolare alle distanze di sicurezza che le suddette norme richiedono di garantire in un possibile *layout* di stazione; queste distanze sono state catalogate in tabelle per essere confrontate e per permettere di individuare le caratteristiche di una possibile stazione di rifornimento di idrogeno gassoso che possa essere costruita ed accettata anche in Italia.

1. INTRODUZIONE

L'idrogeno come combustibile per autotrazione possiede diverse caratteristiche desiderabili: l'idrogeno può essere convertito in energia o per via termica (per esempio in un motore a combustione interna) o per via elettrochimica (per esempio in una *fuel cell*) e, a differenza dei combustibili fossili come la benzina, quando convertito, produce acqua e, di per sé, nessuna emissione tossica, nociva o pericolosa.

A parità di massa, l'idrogeno come combustibile ha tre volte il contenuto energetico dei combustibili comuni come la benzina (120 MJ/kg contro 44.5 MJ/kg). Quando utilizzato in autoveicoli alimentati a *fuel cell*, può fornire due o tre volte l'efficienza di conversione energetica dei motori a combustione interna convenzionali alimentati a benzina. I veicoli a *fuel cell* lavorano senza fare rumore e non producono emissioni diverse da acqua; possono, quindi, essere considerati i veri veicoli ad "emissione zero".

Le tecnologie di produzione dell'idrogeno sono ben note: si sa che dovremo obbligatoriamente spendere più energia "viva" e "potenziale" di quella che si riuscirà ad immagazzinare sotto forma di molecole di idrogeno (niente è gratuito nell'utilizzo della natura!), così come dovremo privilegiare i processi che non rilasciano in atmosfera biossido di carbonio o altri gas ancora più critici per l'effetto serra (per esempio, metano), per non eliminare uno dei vantaggi più significativi dell'uso dell'idrogeno. Avremo comunque la possibilità di produrlo là dove i problemi di inquinamento sono minori, per utilizzarne invece le potenzialità energetiche là dove questi problemi sono maggiori. Certo è che le enormi quantità di idrogeno necessarie perché la sua utilizzazione sia davvero significativa, ridisegneranno la strategia energetica mondiale e stimoleranno lo sviluppo di fonti energetiche primarie oggi trascurate o cadute in disgrazia, come il sole o il nucleare a fissione.

Uno dei maggiori ostacoli alla diffusione dell'idrogeno come combustibile per autotrazione è la mancanza dell'infrastruttura di rifornimento necessaria per renderlo facilmente disponibile all'utenza, come accade oggi per la benzina.

Nel caso particolare dell'Italia, si aggiunge, l'ostacolo della mancanza di una normativa specifica che possa consentire la progettazione, l'installazione, il collaudo e l'esercizio di una stazione di rifornimento di idrogeno.

Il presente lavoro è quindi motivato dall'opportunità di sviluppare le basi per la standardizzazione di tali impianti e per far fronte alle carenze, oggi esistenti in Italia, in materia di normative, anche per permettere una seria e diffusa sperimentazione.

La definizione di una normativa specifica riguardante l'idrogeno parte necessariamente da un'analisi critica di quella esistente per il gas naturale, che è caratterizzato da proprietà fisiche e chimiche abbastanza simili ed è anch'esso impiegato come combustibile per il trasporto.

A questo scopo è stato eseguito uno studio sinottico delle normative italiane ed internazionali in vigore per le stazioni di rifornimento di gas naturale e di quelle internazionali specifiche per l'idrogeno.

L'attenzione è stata rivolta, in particolare, alle distanze di sicurezza determinate da tali norme per procedere ad una classificazione delle aree a rischio di esplosione in una stazione di rifornimento di idrogeno gassoso, al fine di facilitare la corretta scelta, disposizione ed installazione degli edifici, delle apparecchiature, dei componenti e delle infrastrutture. La forma e l'estensione delle zone differiscono in relazione alle guide e raccomandazioni internazionali e nazionali prescelte. La pratica classificazione dei luoghi implica una conoscenza del comportamento dei gas infiammabili quando vengono emessi o rilasciati ed una valida valutazione tecnica basata sull'esperienza del comportamento delle singole apparecchiature dell'impianto in specifiche condizioni.

L'esperienza ha mostrato come spesso l'introduzione e l'affermazione di una nuova tecnologia non passa necessariamente attraverso cambiamenti radicali, ma può essere favorita da leggere modifiche alla "situazione presente"; così le infrastrutture già esistenti per il gas naturale possono costituire il punto di partenza per una transizione graduale, ma allo stesso tempo veloce, verso l'utilizzazione dell'idrogeno come combustibile, anche al di là dell'impiego nell'autotrazione.

Dal punto di vista chimico-fisico, le caratteristiche dei due gas sono abbastanza simili; entrambi presentano una densità relativa all'aria minore di uno, quindi un comportamento analogo in caso di rilascio, ed entrambi sono considerati gas altamente infiammabili; il gas naturale presenta inoltre il più elevato rapporto idrogeno-carbonio di tutti i combustibili fossili.

È bene tuttavia tenere presente che a fronte delle analogie sopra riportate, i due gas possiedono comunque delle caratteristiche peculiari: per esempio, le dimensioni ridotte della molecola di idrogeno fanno sì che, per la sua maggiore diffusività e minore viscosità, questo gas presenti particolari problemi di tenuta, meno sentiti in caso di impiego di gas naturale.

L'idrogeno possiede il campo di infiammabilità più ampio tra tutti i combustibili gassosi (4÷75% in volume) e richiede un'energia di ignizione di un ordine di grandezza inferiore rispetto al gas naturale, quindi può bruciare facilmente in caso di rilascio. Ma proprio perché l'idrogeno prende più facilmente fuoco, tende anche a bruciare a più basse concentrazioni, quando è minore la probabilità che si abbiano detonazioni, che, a differenza delle deflagrazioni, sono accompagnate anche da potenti onde d'urto. Inoltre, altre proprietà, quali la maggiore "spinta di galleggiamento" e l'elevata diffusività in aria, (1) ne garantiscono una più rapida dispersione in atmosfera, riducendo così il periodo di tempo durante il quale la miscela gas-aria si trova in concentrazione infiammabile, e (2) forzano la fiamma a propagare solo verso l'alto fino a concentrazioni intorno al 8.5%, per cui la deflagrazione a bassa concentrazione è molto spesso incompleta e, quindi, le sovrapressioni generate sono ben più basse di quelle attese. Quindi, se da un lato l'estrema infiammabilità è uno svantaggio nell'uso dell'idrogeno, dall'altro può essere anche opportunamente sfruttata per mitigare le conseguenze della sua combustione.

Per qualunque tecnologia le soluzioni devono essere pensate in relazione alle caratteristiche di ciò che si utilizza, dei suoi pregi, ma anche dei limiti e delle difficoltà di applicazione che lo contraddistinguono, perché caratteristiche che tradizionalmente e a buona ragione sono considerate pericolose possono anche presentare aspetti vantaggiosi.

2. COMPONENTI PRINCIPALI DI UNA STAZIONE DI RIFORNIMENTO

Il tipo di impianto preso a riferimento è costituito da una stazione di rifornimento di idrogeno gassoso. È infatti opinione diffusa e consolidata, per diversi motivi, che la penetrazione dell'idrogeno come combustibile per autotrazione farà il suo primo passo concreto attraverso la realizzazione di flotte di autobus urbani alimentate ad idrogeno gassoso.

È più facile, infatti, pensare ad un singolo impianto dove concentrare il rifornimento di una flotta di autobus, senza necessariamente dover realizzare fin da subito una rete di distribuzione, per esempio mediante idrogenodotti; in questo caso potrebbero essere utilizzate inizialmente le infrastrutture di trasporto del gas naturale dal quale potrebbe essere ottenuto l'idrogeno, per esempio mediante *steam reforming*, in prossimità del punto di rifornimento.

Un autobus può utilmente impiegare sistemi di stoccaggio a bassa densità energetica, quali sono le bombole di idrogeno compresso, mentre gli altri autoveicoli, di autonomia comparabile con quelli tradizionali, richiedono sistemi ad alta densità, come sono quelli ad idrogeno liquefatto: un autobus non ha l'autonomia richiesta normalmente ad un'autovettura, non ha problemi di ingombro e quindi non ha la necessità di rinunciare, per esempio, ad una parte consistente del proprio vano bagaglio per alloggiare il sistema di stoccaggio, che in questo caso può essere agevolmente posizionato al di sopra del padiglione.

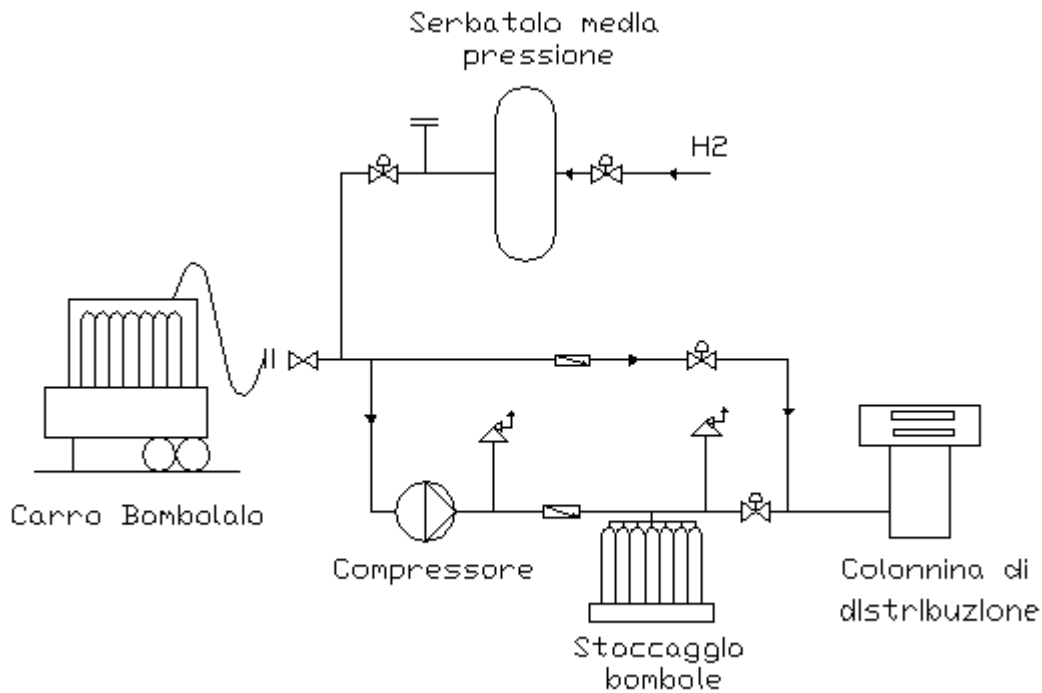


Fig. 1 - Schema di una stazione di rifornimento di idrogeno gassoso

Inoltre, un serbatoio di gas compresso permette un accumulo meno critico di idrogeno a bordo, in termini di contenuto energetico.

Infine dal punto di vista pratico è possibile sfruttare l'esperienza tecnologica acquisita e consolidata nella gestione dell'autobus a gas naturale senza la necessità di predisporre prototipi sperimentali, non solo in termini di veicolo nel suo insieme, ma anche in termini di struttura di rifornimento.

Lo schema di stazione adottato si ispira quindi ad un impianto per la distribuzione di gas naturale in serbatoi per gas compresso di autoveicoli, figura 1. Detti serbatoi durante l'esercizio sono collegati in modo fisso all'autoveicolo.

La stazione comprende gli stabilimenti ed i dispositivi tecnici che servono al suo esercizio, come ad esempio:

- tubazioni
- un locale compressore
- serbatoi in pressione
- un box per carro bombolaio
- un locale contenente i recipienti di accumulo in pressione
- dispositivi di misurazione, controllo e regolazione
- uno o più apparecchi distributori automatici per il rifornimento degli autoveicoli, per esempio costituiti da colonnina di distribuzione, tubo flessibile, attacco alla cisterna
- dispositivi di sicurezza
- valvolame

L'impianto può essere alimentato sia da condotta che da carro bombolaio. Il compressore comprime l'idrogeno proveniente dall'alimentazione alla sovrappressione necessaria per il rifornimento del serbatoio dell'autoveicolo. I dispositivi di distribuzione sono le parti della stazione attraverso le quali il gas passa agli autoveicoli da rifornire e comprendono, per esempio, colonnine di distribuzione, eventuale misurazione della quantità di gas, tubazioni flessibili e accoppiamento di rifornimento; le colonnine sono dispositivi di distribuzione fissi circondati da una protezione che non deve venire aperta per l'uso.

Si considerano solo i sistemi ubicati all'aperto o comunque quei sistemi che possono ritenersi tali.

3. LE NORMATIVE SELEZIONATE

Le Norme, Standard e Direttive relative all'uso di idrogeno e gas naturale, più utili ai fini della progettazione, della costruzione e dell'esercizio di una stazione di rifornimento di idrogeno gassoso, sono:

- Italia: Decreto Ministeriale 24 Novembre 1984, *Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8* (G.U. 15/01/85) [1]
Norma CEI 31-35, *Guida all'applicazione della Norma CEI EN 60079-10 (CEI 31-30), classificazione dei luoghi pericolosi* (2001) [2]
- Europa: IGC 15/96/E, *Gaseous Hydrogen Stations* (1997) [3]
EN 60079-10, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 10: Classification of hazardous areas* (1996) [4]
VdTÜV, *Direttiva per la progettazione, la costruzione, l'installazione, il collaudo, la messa in funzione e l'esercizio di stazioni di rifornimento di gas naturale* (1999) [5]
- Stati Uniti: NFPA 50A, *Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites*, (1999) [6]
OSHA 29 CFR 1910.103, *Hydrogen* (1996) [7]
NFPA 52, *Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel Systems Code* (1998) [8]
NFPA 497, *Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas* (1997) [9]

Le distanze di sicurezza proposte in questi documenti selezionati perseguono due distinti obiettivi:

- classificare l'area circostante il sistema che tratta idrogeno o gas naturale al fine di selezionare l'appropriata apparecchiatura elettrica da utilizzare in tale area
- proteggere impianti ed edifici in prossimità di tali sistemi e proteggere le attività che sono connesse con lo stabilimento di cui fa parte quel sistema o che coinvolgono la vita sociale che si svolge nelle sue vicinanze

La classificazione delle aree ha lo scopo principale di prevenire gli incendi e/o le esplosioni causate da sorgenti di natura elettrica (archi, scintille o superfici calde) in atmosfere dove siano presenti gas o vapori infiammabili in miscela con l'aria, oppure dove siano disperse o in sospensione polveri combustibili o fibre facilmente infiammabili; le aree dove sono presenti dette atmosfere si dicono "aree pericolose". L'importanza della classificazione delle aree pericolose consiste nel fatto che nella maggior parte delle situazioni pratiche, in cui si usano gas infiammabili è difficile garantire che non vi possa mai essere la presenza di un'atmosfera esplosiva ed è altrettanto difficile garantire che un manufatto elettrico non costituisca mai una sorgente di ignizione. Naturalmente in situazioni in cui sussista un'alta probabilità di presenza di atmosfera esplosiva ci si affida all'uso di sistemi che abbiano bassa probabilità di costituire sorgenti di ignizione e, al contrario, dove la probabilità di presenza di atmosfera esplosiva sia ridotta, si possono impiegare sistemi realizzati secondo criteri meno severi. Sono per esempio aree pericolose quelle intorno ai componenti di una ipotetica stazione di rifornimento di idrogeno o gas naturale dove non è possibile escludere a priori la presenza di miscele gas-aria a causa di punti a tenuta non ermetica, per esempio in corrispondenza di attacchi, valvole, flange, e di punti dove per servizio è previsto l'attacco e il distacco di tubazioni.

La classificazione di un'area segue due metodologie principali: la metodologia tradizionale statunitense, i cui principi sono contenuti nell'articolo n. 500 di NFPA 70, *National Electrical Code* (N.E.C.) [10], e la metodologia europea, dedicata esclusivamente a gas e vapori infiammabili, contenuta nella Norma EN 60079-10 [4] e recepita negli Stati Uniti attraverso l'articolo n. 505 di NFPA 70.

La metodologia americana descrive le caratteristiche di una specifica area attraverso la combinazione di tre fattori:

- la Classe, che definisce il tipo di sostanza presente nell'atmosfera (un gas o un vapore, polveri, fibre)
- il Gruppo, che ne definisce le proprietà di infiammabilità ed esplosività
- la Divisione, che definisce il grado di rischio in relazione alla concentrazione di sostanza attesa in atmosfera

La metodologia europea invece utilizza solo due fattori:

- il Gruppo, che definisce le proprietà di infiammabilità ed esplosività di un gas o vapore infiammabile
- la Zona, che, analogamente alla Divisione, definisce il grado di rischio in relazione alla concentrazione di sostanza attesa in atmosfera

Tab. 1 - Tipologie di distanza in D.M. 24 Novembre 1984 per gas naturale

Distanza di protezione	fascia libera di terreno che intercorre tra il componente in questione e la recinzione dell'area in cui esso è localizzato
Distanza di sicurezza interna	distanza che intercorre fra il componente in questione e gli altri elementi pericolosi dell'impianto
Distanza di sicurezza esterna	distanza che intercorre fra il componente in questione ed il perimetro del più vicino fabbricato esterno allo stabilimento o confine di aree edificabili; nel computo di questa distanza, quando è riferita ad aree edificabili ed i regolamenti edilizi locali vietino la costruzione sul confine, è consentito comprendere anche la prescritta distanza di rispetto

La differenza più rilevante consiste nel fatto che la metodologia americana classifica un'area pericolosa come Divisione 1 o Divisione 2, mentre il metodo europeo classifica un'area pericolosa come Zona 0, Zona 1 o Zona 2: dal punto di vista tecnico i tipi di rilasci risultano così suddivisi in tre piuttosto che in due categorie di rischio con il risultato che, rispetto alla Divisione 1, le apparecchiature elettriche devono rispondere a requisiti più severi in Zona 0 e leggermente meno stringenti in Zona 1. La distanza assegnata ad un'area classificata ne rappresenta l'estensione e viene calcolata in modo da avere lungo il suo confine una concentrazione in volume di gas pari ad una assegnata frazione del limite inferiore di infiammabilità relativo.

La distanza di sicurezza vera e propria è invece definita nei confronti di oggetti esterni che devono essere protetti dalle ripercussioni di una eventuale fuoriuscita di gas da un sistema dell'impianto nel caso in cui quel sistema si scosti da un esercizio conforme alla sua destinazione d'uso; per distanze superiori al valore della distanza di sicurezza proposta vengono normalmente esclusi i pericoli dovuti alla formazione di una miscela infiammabile. I suddetti oggetti esterni possono essere legati ad attività condotte all'interno dello stabilimento oppure coinvolgere le attività e la vita sociale che si svolge al suo esterno. Le attività svolte entro un impianto che utilizzi idrogeno o gas naturale, in particolare una stazione di rifornimento, sono generalmente legate all'utilizzo di altre sostanze infiammabili nelle vicinanze; la distanza di sicurezza è in questo caso finalizzata ad impedire che la combustione del gas fuoriuscito coinvolga tali attività con la possibilità di dare origine ad un pericoloso "effetto domino". Le attività svolte all'esterno dell'impianto sono invece legate alla vita di tutti i giorni e possono quindi comprendere le vie di comunicazione, gli edifici destinati alla collettività come scuole, ospedali, impianti sportivi e più in generale i centri abitati limitrofi.

4. ITALIA

Dato che in Italia non esiste una normativa sul gas idrogeno, l'attenzione è stata rivolta esclusivamente al gas naturale: la normativa di riferimento è rappresentata, per le applicazioni in autotrazione, dal Decreto Ministeriale del 24 Novembre 1984, pubblicato in Gazzetta Ufficiale, Supplemento Ordinario n.12 del 15/01/85 ed intitolato *Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0.8* [1].

4.1 Decreto Ministeriale 24 Novembre 1984 per il gas naturale

Il Decreto affronta in modo completo gli aspetti ed i problemi connessi con l'utilizzazione del gas naturale, dagli impianti di trasporto e distribuzione (Parte Prima) ai depositi per l'accumulo (Parte Seconda), agli impianti di distribuzione per autotrazione (Parte Terza).

Per quanto attiene le distanze di sicurezza, il Decreto distingue tre tipologie di distanza, la cui definizione è contenuta in tabella 1.

Come risulta dalle definizioni, tali distanze non coinvolgono la classificazione delle aree circostanti i sistemi ma sono propriamente "distanze di protezione", nei confronti dell'impianto, per prevenire eventuali effetti domino qualora la miscela infiammabile gas naturale-aria dovesse coinvolgere altri sistemi di stoccaggio presenti oppure altri componenti critici, e nei confronti di attività che si svolgono all'esterno dell'impianto o che coinvolgono la vita sociale. Per quanto riguarda la classificazione delle aree il riferimento è costituito dalla Norma CEI EN 60079-10 [4].

Nella Parte Terza del Decreto, *Impianti di distribuzione di gas naturale per autotrazione*, viene affrontata la regolamentazione di impianti di distribuzione alimentati sia da condotta che da carro-bombolaio. Le

Tab. 2 - Distanze di sicurezza per impianti di distribuzione di gas naturale per autotrazione

Tipo di esposizione	Distanze di sicurezza per impianti di distribuzione di gas naturale per autotrazione				
	Locale compressori ⁽¹⁾	Locale recipienti di accumulo ⁽¹⁾	Distributori automatici per il rifornimento	Box carro-bombolaio ⁽¹⁾	Dispositivo di misura del gas
1) Distanza di protezione: fascia libera di terreno	5 / 10 m	5 / 10 m	10 m	5 / 10 m	0 m
2) Distanza di sicurezza interna - distanza reciproca tra i componenti - distanza da stazione di compressione/decompressione - fabbricati interni, cioè destinati ad uffici e servizi inerenti - l'attività del complesso - distanza da ogni altro elemento con pericolo di incendio o esplosione in normali condizioni di funzionamento	0 / 10 m	0 / 10 m	8 m	0 / 10 m	0 / 10 m
3) Distanza di sicurezza esterna ⁽²⁾ : il più vicino fabbricato esterno o confine di aree edificabili ⁽³⁾	20 m	20 m	20 m	20 m	10 m
4) Abitazione del gestore o posti di ristoro.	20 m	20 m	20 m	20 m	
5) Linee elettriche aeree, proiezione in pianta ⁽⁵⁾	15 m	15 m	15 m	15 m	15 m
6) Cabina di trasformazione elettrica	7.50 m	7.50 m	7.50 m	7.50 m	7.50 m

⁽¹⁾ Le distanze sono diverse a seconda del grado di sicurezza degli elementi: il primo numero si riferisce ad elementi con sicurezza di 1° grado, il secondo a quelli con sicurezza di 2° grado; un elemento con sicurezza di 1° grado garantisce il contenimento di schegge e di altri materiali proiettati in caso di scoppio, sia lateralmente che verso l'alto, un elemento con sicurezza di 2° grado garantisce tale contenimento solo lateralmente. Quando è riportata una sola distanza significa che è la stessa indipendentemente dal grado di sicurezza.

⁽²⁾ Nel computo delle distanze di sicurezza esterna possono comprendersi anche le larghezze di strade, fiumi, torrenti e canali.

⁽³⁾ La distanza di sicurezza esterna deve essere aumentata del 100% se rispetto ad edifici destinati alla collettività nonché a luoghi in cui suole verificarsi affluenza di persone quali fermate di linee di trasporto pubblico, aree per fiere, mercati e simili.

⁽⁴⁾ I piazzali dell'impianto non devono comunque essere attraversati da linee elettriche aeree ad alta tensione.

distanze da rispettare seguono la tipologia contenuta in tabella 1; i valori numerici di tali distanze sono contenuti in tabella 2: i sistemi di gas naturale considerati sono costituiti da quei sistemi che fanno parte della stazione e sono coinvolti nel trasferimento del gas al veicolo.

E' consentita la costruzione di impianti di distribuzione di gas naturale per autotrazione installati nell'ambito di stazioni di distribuzione stradale di altri carburanti, a condizione che siano rispettate le distanze di sicurezza riportate in tabella 3.

Da un'analisi più approfondita, che coinvolga un confronto delle distanze proposte per i soli sistemi di accumulo di un impianto di stoccaggio di 3^a categoria (capacità $\leq 5000 \text{ m}^3$) in bombole o altri recipienti mobili (Parte Seconda) con quelle proposte in Parte Terza, si potrebbe notare che sostanzialmente tali distanze sono uguali e quindi si potrebbe concludere il Decreto [1] considera implicitamente un qualsiasi sistema di una stazione di rifornimento come un sistema di stoccaggio di 3^a categoria. La limitazione ai depositi di 3^a categoria è giustificata da un comma del Decreto che così dice “se il locale dei recipienti di stoccaggio deve contenere recipienti con capacità di accumulo superiore a 3000 m^3 , il locale stesso deve essere suddiviso in box, all'interno di ciascuno dei quali, non deve essere accumulata una quantità di gas superiore a 3000 m^3 ”; ad ognuno dei box si applicano quindi le relative distanze di protezione e di sicurezza interna.

Per le distanze di sicurezza esterna sussiste una piccola differenza nell'entità dell'incremento di tale distanza se è riferita ad edifici destinati alla collettività: per gli impianti di distribuzione per autotrazione tale incremento è del 100%, ovvero il doppio di quello previsto per gli impianti di stoccaggio. Questa diversità potrebbe essere conseguenza diretta di una combinazione dei seguenti fattori:

- in un impianto di distribuzione di gas naturale la finalità principale è il trasferimento del gas da un generico contenitore di stoccaggio al veicolo: ciò comporta la presenza di componenti, come compressore, valvole, flange e collegamenti smontabili, che costituiscono di per sé potenziali sorgenti di emissione; questo fatto è considerato improbabile in un impianto dove lo scopo è quello di semplice stoccaggio del gas e dove sono rare le operazioni di trasferimento
- negli impianti di distribuzione stradale di gas naturale compresso si ha libero accesso di utenti alla zona di rifornimento; gli utenti sono persone esterne, non ben addestrate alle procedure da seguire per minimizzare il rischio di incidente con gas infiammabile (per esempio, il divieto di fumare, lo spegnimento del motore, ecc.), fatto questo che potrebbe aumentare la probabilità di incidente
- è più probabile che in prossimità di centri abitati o lungo le principali vie di collegamento stradale sorga un distributore di carburante piuttosto che un impianto di stoccaggio

5. EUROPA

5.1 Documento IGC 15/96/E per idrogeno gassoso

Il documento IGC 15/96/E, *Gaseous Hydrogen Stations* [3], costituisce un cosiddetto “Code of Practice” preparato come guida per i progettisti e gli esercenti di stazioni di rifornimento di idrogeno gassoso e fornisce le disposizioni per garantirne un esercizio sicuro sulla base delle migliori pratiche industriali disponibili.

Il documento affronta alcuni dei problemi specifici connessi con le operazioni tipiche di una stazione di rifornimento di idrogeno gassoso, come la compressione, la purificazione, il riempimento di contenitori e lo stoccaggio sul sito dell'utente; non tratta invece la produzione, il trasporto e la distribuzione finale e nemmeno gli aspetti di sicurezza per l'utilizzo del gas in processi tecnici o chimici.

I sistemi idrogeno non devono essere ubicati in nessun caso sotto linee aeree di alta tensione né nelle vicinanze di tubazioni o stoccaggi di altri gas o liquidi infiammabili oppure altre sostanze che potrebbero mettere a rischio l'integrità dell'installazione; in caso di vicinanza ad altre installazioni pericolose, che presentino rischio di incendio e/o esplosione, si devono prendere opportune misure di salvaguardia come, ad esempio, aumentare le distanze di sicurezza minime richieste.

Tab. 3 - Distanze di sicurezza per sistemi che trattano gas naturale in impianti misti di distribuzione di carburante

Tipo di esposizione	Distanze di sicurezza per impianti misti di distribuzione di carburante	
	Componenti che trattano gas naturale	Apparecchi di distribuzione di gas naturale
Serbatoi di benzina e gasolio	10 m	10 m
Serbatoi di GPL	20 m	20 m
Apparecchi erogatori di benzina o gasolio		8 m
Apparecchi erogatori di GPL		10 m

Tab 4 - Distanze minime in orizzontale per sistemi di idrogeno gassoso, IGC 15/96/E

Tipo di esposizione	Distanza dal sistema ad idrogeno
1) Fiamme libere ed altre sorgenti di ignizione (incluse quelle elettriche)	5 m
2) Area che deve essere tenuta priva di vegetazione e/o materiale che può bruciare con facilità	3 m
3) Confine esterno ed aree dove le persone sono solite raggrupparsi	8 m
4) Strutture od edifici di legno	8 m
5) Aperture di uffici, negozi, ecc.	5 m
6) Depositi di liquidi infiammabili o di GPL sopra terra ⁽¹⁾	8 m
7) Depositi di liquidi infiammabili o di GPL sotto il livello del terreno: - Tuniche (distanza orizzontale dal guscio) - <i>Venting</i> o connessioni	3 m 5 m
8) Depositi di cilindri di gas infiammabili diversi dall'idrogeno	5 m
9) Depositi di ossigeno gassoso in cilindri	5 m
10) Depositi di ossigeno liquido di capacità non superiore a 125 m ³ a tanica ^(2,3)	8 m
11) Depositi di liquidi criogenici non infiammabili, diversi dall'ossigeno, es. argon, azoto ⁽²⁾	5 m
12) Mucchi di materiale solido combustibile, per esempio legname	8 m

⁽¹⁾ Ove esistono hanno la priorità i *National Codes*.

⁽²⁾ Ove siano fatte opere sufficienti per deviare gli spillamenti di liquidi lontano dal sistema idrogeno, le distanze possono essere ridotte.

⁽³⁾ Per taniche di capacità maggiore di 125.000 litri, vedere Documento IGC 3/75.

I sistemi di idrogeno gassoso infatti devono essere circondati da *Hazard Zones*, che sono individuate mediante distanze di sicurezza (tab. 4) misurate a partire da tutti quei punti, proiettati in pianta, dai quali, durante il funzionamento, si possono verificare fuoriuscite di idrogeno; in particolare, quando i sistemi sono installati in edifici, tali distanze sono misurate a partire dalle aperture presenti nelle pareti esterne, come porte e/o finestre. Le tubazioni che contengono valvole, flange o collegamenti smontabili devono essere considerate potenziali sorgenti di emissione, ma solo nel punto di connessione.

E' importante osservare che IGC impone in modo esplicito che tutte le apparecchiature elettriche presenti all'interno degli edifici dove sussiste una probabilità di rilascio di idrogeno e quelle installate entro le distanze di sicurezza specificate in tabella 4 alla voce 1, devono essere di tipo approvato dai codici elettrici nazionali e come tali non devono essere considerate sorgenti di ignizione; a tal fine si possono sfruttare tutte le note metodologie di protezione, come immersione in olio, riempimento con polvere o sicurezza intrinseca, normalmente utilizzate per impedire la formazione di scintille, archi elettrici o la presenza di temperature elevate; il tipo di apparecchiatura dipenderà poi dalla classificazione dell'area. Al di fuori della *Hazard Zone* invece si possono utilizzare le apparecchiature elettriche convenzionali. Quindi, le *Hazard Zones* individuate dalla voce 1 in tabella 4 costituiscono di per sé le aree di classificazione elettrica che gli altri Documenti identificano come Zona o Divisione; le altre voci sono più propriamente distanze di sicurezza.

5.2 Direttiva VdTÜV per gas naturale

In ambito europeo, la Germania costituisce un punto di riferimento importante perché in questo Paese sono stati effettivamente realizzati degli impianti di distribuzione di idrogeno per autotrazione: a Monaco, per il rifornimento sia di idrogeno gassoso che di idrogeno liquido, e ad Amburgo, unicamente per idrogeno gassoso, in posizione adiacente ad una analoga stazione di rifornimento di gas naturale.

Come in Italia, anche in Germania non esiste una Normativa specifica per l'idrogeno: per esempio la stazione di Amburgo è stata progettata in modo equivalente a quella per gas naturale. Come riferimento sono stati utilizzati i requisiti contenuti nella *Direttiva per la progettazione, la costruzione, l'installazione, il collaudo, la messa in funzione e l'esercizio di stazioni di rifornimento di gas naturale* [5] che è stata redatta congiuntamente da DVGW, e dall'Unione degli Enti di sorveglianza tecnica, VdTÜV (Verband der Technischen Überwachungsvereine).

La Direttiva si applica alla progettazione, alla costruzione, all'equipaggiamento, all'installazione, al collaudo, alla messa in funzione e alla gestione di stazioni di rifornimento di gas naturale e relative componenti d'impianto, che prelevano il gas naturale dalla rete pubblica di erogazione da cui sono

Tab. 5 - Aree pericolose e distanze di sicurezza in accordo alla Direttiva VdTÜV per gas naturale

Componente	Installazione	Classificazione dell'area e sua estensione			Distanza di sicurezza
Compressore (3)	In un locale	All'interno del locale	Zona 1		
		(1)	Zona 2	20 cm	
		(2)	Zona 2	2 m	
	Con protezione	All'interno	Zona 1		
		(1)	Zona 2	20 cm	
	(2)	Zona 2	2 m		
All'aperto		Zona 2	3 m	5 m (4)	
Serbatoio gas	In un locale	All'interno	Zona 2		
		All'esterno	No area protetta		
	All'interno di pareti protettive	All'interno delle pareti	Zona 2		
		Al di sopra delle pareti	Zona 2		
		Al di fuori delle pareti	No Zona		
All'aperto		Zona 2	3 m	5 m (4)	
Dispositivo di distribuzione	Colonnina di distribuzione	All'interno della protezione	Zona 1		5 m (4)
		All'esterno della protezione	Zona 2	20 cm	
	Accoppiamento di riempimento	Campo d'azione = lunghezza tubo flessibile (3-5 m) + 1 m			

(1) All'esterno del locale a monte dell'apertura quando nella protezione è presente un apparecchio di allarme gas collegato con una disattivazione di emergenza

(2) Senza apparecchio di allarme gas con disattivazione di emergenza

(3) I compressori possono venire installati all'interno di aree a rischio di esplosione di serbatoi del gas se idonei alle relative zone a rischio di esplosione.

(4) Tale distanza di sicurezza può essere ridotta, se sono previste apposite costruzioni protettive tra la sorgente di pericolo ed i bersagli.

alimentate, lo comprimono e lo distribuiscono nell'apposito serbatoio allo scopo di utilizzarlo come carburante per l'azionamento di un veicolo. L'ambito di validità comprende l'intero impianto, dal dispositivo di chiusura principale della stazione di rifornimento fino all'accoppiamento di riempimento, inclusi gli stabilimenti aziendali. L'obbiettivo è quello di definire i requisiti che garantiscano la sicurezza di esercizio, nonché il regolare rifornimento, in modo da ridurre le probabilità di infortunio e le ripercussioni sulla rete pubblica di erogazione del gas; sono in pratica fornite regole tecniche finalizzate all'ottenimento delle informazioni necessarie per una gestione sicura della stazione.

Per i vari tipi di installazione sono fornite l'ubicazione dei componenti, la classificazione e l'estensione delle aree pericolose da applicare intorno ad essi, nonché la distanza di sicurezza nei confronti di oggetti esterni all'impianto. In tabella 5 sono fornite tutte le aree protette e le distanze di sicurezza applicabili per i vari componenti, in base a quanto indicato in appendice alla Direttiva.

Le aree pericolose intorno ai vari componenti sono le cosiddette aree a rischio di esplosione, cioè quelle aree dove, a causa di punti non ermetici o per ragioni di servizio o manutenzione non è possibile escludere la presenza di gas naturale o miscele di gas-aria. La metodologia di riferimento è quella europea di classificazione in Zone: la classificazione comporta solo Zona 1 e Zona 2 ma non fa alcun riferimento alla possibile presenza di una Zona 0, quindi sottintende implicitamente che non è ammessa la presenza continua o per lunghi periodi di tempo di un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas. La distanza di sicurezza è invece definita nei confronti di oggetti esterni ed è la distanza tra l'impianto ed un oggetto al di fuori di esso che deve essere protetto dalle ripercussioni di una eventuale fuoriuscita di gas in caso di scostamento da un esercizio conforme alla destinazione d'uso. Viene chiaramente specificato che al di fuori della distanza di sicurezza è possibile escludere pericoli dovuti al subentrare di un'atmosfera soggetta al rischio di esplosione.

Dagli schemi presenti nelle Appendici della Direttiva [5] risulta chiaro che quando tutti i componenti sono installati all'aperto, le distanze reciproche tra di essi possono essere minori della distanza di sicurezza, che infatti è riferita ad oggetti esterni all'impianto; in questo caso le aree a rischio di esplosione applicabili ad ognuno di essi si vanno a sovrapporre e sono comunque misurate a partire dal contorno esterno dei vari componenti. Quando, invece, i componenti sono installati al chiuso, la distanza di sicurezza perde il suo significato e rimangono solo le aree a rischio di esplosione.

5.3 Norma EN 60079-10 per gas e vapori infiammabili

La Norma EN 60079-10, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas* (1996) [4], recepita in Italia come Norma CEI EN 60079-10 (CEI 31-30), e la relativa Guida italiana CEI 31-35, *Guida all'applicazione della Norma CEI EN 60079-10 Classificazione dei luoghi pericolosi* (2001) [2] riportano la metodologia adottata in Europa per la classificazione delle aree pericolose ed il calcolo della loro estensione.

Tale metodologia consente di analizzare e classificare quelle aree in cui sussiste il rischio di formazione di atmosfere esplosive per la presenza di gas o vapori infiammabili in miscela con l'aria, allo scopo di compiere la corretta scelta ed installazione delle apparecchiature elettriche da impiegarsi in tali luoghi. La metodologia non si applica a guasti catastrofici che non sono compresi nel concetto di anomalità trattato dalla Norma, cioè eventi comunque ragionevolmente prevedibili in sede di progetto; per guasto catastrofico si intende per esempio la rottura di un recipiente in pressione o di una tubazione. Questo approccio richiede considerazioni dettagliate sul comportamento di ciascun componente di processo che potrebbe costituire una sorgente di emissione e la conoscenza del comportamento dei gas e dei vapori infiammabili nel caso venissero emessi dal loro contenitore con modalità tali da poter originare un'atmosfera esplosiva.

La Norma [4] considera in particolare le "emissioni strutturali", intendendo con questo termine tutte quelle emissioni che possono avvenire durante l'attività dell'impianto dai punti di discontinuità dei componenti del sistema contenente la sostanza infiammabile, quali ad esempio le flange sulle tubazioni, le giunzioni tra parti di apparecchi e macchine, gli sfiati di valvole di sicurezza e simili.

Una volta individuate le possibili sorgenti di emissione occorre valutare la probabilità di formazione di atmosfera esplosiva in accordo con le definizioni di Zona date dalla Norma e qui di seguito riportate:

- Zona 0: luogo dove è presente continuamente o per lunghi periodi un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas
- Zona 1: luogo dove è possibile sia presente durante il funzionamento normale un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas
- Zona 2: luogo dove non è possibile sia presente un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas durante il funzionamento normale o, se ciò avviene, è possibile sia presente solo poco frequentemente e per breve periodo

La probabilità che sia presente un'atmosfera esplosiva, e di conseguenza il tipo di Zona, dipende principalmente dal grado di emissione e dalla ventilazione. È necessario quindi stimare il grado di emissione, ovvero determinare la possibile frequenza e durata dell'eventuale fuoriuscita. Il tipo di Zona è strettamente correlato al grado dell'emissione da un legame causa-effetto. L'elemento che può alterare questa corrispondenza biunivoca è la ventilazione, ed in particolare la sua disponibilità e il suo grado.

La ventilazione è il movimento dell'aria che provoca intorno alla sorgente di emissione il ricambio dell'atmosfera con aria fresca favorendo la dispersione dei gas o vapori rilasciati. La disponibilità della ventilazione è un parametro che qualitativamente indica la facilità con cui avviene il suddetto ricambio di aria nell'ambiente in cui si ha rilascio di gas infiammabile e ha influenza quindi sulla presenza o formazione di un'atmosfera esplosiva e di conseguenza sul tipo di Zona. Il grado della ventilazione è invece la quantità di aria di ventilazione che investe la sorgente di emissione in rapporto alla quantità di sostanze infiammabili emesse nell'ambiente. Nella Guida CEI 31-35 [2] è illustrato un metodo per la valutazione del grado di ventilazione richiesto per controllare mediante la ventilazione l'estensione e la persistenza di un'atmosfera esplosiva; il metodo prevede l'utilizzo di fattori correttivi a favore della sicurezza e richiede per prima cosa la conoscenza della massima portata di emissione della sorgente.

Una volta stabilito il tipo di Zona che circonda la sorgente di emissione, si deve procedere alla valutazione della sua estensione. La determinazione delle dimensioni della Zona può essere condotta attraverso le formule disponibili nella Guida CEI 31-35, Appendice GB, che permettono di calcolare la distanza " d_z " dalla sorgente di emissione a partire dalla quale la concentrazione di gas infiammabili nell'aria è inferiore ad una certa percentuale del limite inferiore di infiammabilità, stabilita dall'esperto che applica la metodologia. I valori che si ricavano, seguendo il procedimento consigliato nella Guida, sono cautelativi e quindi adatti allo scopo della classificazione dei luoghi pericolosi. Le formule riportate nella Norma per il calcolo di tale estensione, non consentono di ricavare a priori la forma della zona, in quanto la distanza " d_z " dalla sorgente di emissione serve normalmente a definire le dimensioni della zona nella direzione di più probabile diffusione o dispersione del gas e questa potrebbe non essere nota. Quando la direzione di emissione non è nota, si deve supporre che essa possa avvenire in tutte le direzioni, per cui la distanza " d_z " deve essere assunta come il raggio di un'area di forma sferica e la sorgente di emissione deve essere considerata puntiforme.

In conclusione, il procedimento di classificazione di un'area pericolosa e di determinazione della sua estensione può essere sinteticamente riassunto nei passi seguenti:

- a) si individuano le sorgenti di emissione e si verifica se esiste la possibilità di eliminarle o limitarne quanto più possibile la quantità
- b) per ogni sorgente di emissione, si determina la possibilità di rilasciare sostanze infiammabili (grado di emissione) e si verifica la possibilità di eliminare o limitare quanto più possibile le emissioni che potrebbero dare luogo a Zona 0 e/o Zona 1 o almeno ridurne le portate
- c) si analizzano le influenze di tutte le emissioni sulla classificazione del luogo tenendo in particolare considerazione le parti di impianto con elevata concentrazione di sorgenti di emissione che potrebbero dar luogo ad emissioni contemporanee ed influenzarsi reciprocamente
- d) per ogni sorgente e grado di emissione, si calcola la portata di emissione in condizioni cautelative
- e) per ogni area si definiscono i valori di riferimento della temperatura ambiente e le caratteristiche della ventilazione (grado e disponibilità)
- f) per ogni sorgente e grado di emissione, si determina il tipo di Zona pericolosa entrando nella Tabella B.1 della Norma con i dati ricavati al passo e); la suddetta tabella permette di individuare il tipo di Zona in relazione a grado di emissione e grado e disponibilità della ventilazione
- g) per ogni sorgente e grado di emissione, si calcola la distanza pericolosa, d_z
- h) la classificazione del luogo pericoloso si ottiene dall'involuppo delle singole Zone pericolose determinate come indicato nei punti precedenti

Valutazioni di sensibilità della Norma

Al fine di permettere un confronto con i valori di estensione delle aree classificate presentati nei vari Standard, si è applicata la metodologia della Guida CEI 31-35 [2] al caso di emissione strutturale dalla valvola di intercettazione di una bombola del sistema di stoccaggio di alta pressione della stazione di rifornimento; la Guida consiglia di considerare le emissioni strutturali come emissioni di grado continuo, ovvero emissioni, per definizione, continue o che possono avvenire per lunghi periodi. Il calcolo è stato ripetuto ipotizzando un foro nella bombola, quindi un guasto catastrofico, al fine di evidenziare la non applicabilità della Norma [4] ad un tale tipo di evento; in questo caso l'emissione è considerata di grado secondo in quanto non prevista durante il normale funzionamento.

Dati ambientali:

- ubicazione del sistema: sotto tettoia (ipotesi)
- velocità minima dell'aria: $w = 0.5 \text{ m/s}$
- temperatura massima ambiente: $T_a = 45 \text{ °C}$
- pressione atmosferica: $P_a = 101300 \text{ Pa}$
- ricambi d'aria con $w = 0.5 \text{ m/s}$: $C = 0.03 \text{ s}^{-1}$
- disponibilità ventilazione: buona (sistema di stoccaggio di alta pressione collocato sotto tettoia, quindi aperto dai due lati opposti per l'intera sua altezza e disponibilità di continua ventilazione naturale)
- fattore di efficacia: $f = 2$ (si considera la tettoia come un piccolo impedimento alla libera circolazione dell'aria)

La disponibilità della ventilazione è Buona quando la ventilazione considerata è presente in pratica con continuità; possono essere ammesse, a volte, brevissime interruzioni. Con ventilazione naturale all'aperto, la disponibilità è generalmente Buona se si assume la velocità del vento pari a 0.5 m/sec , che rappresenta per convenzione lo stato di calma di vento. Il fattore di efficacia della ventilazione $f = 2$ indica ambiente aperto con presenza di qualche impedimento alla libera circolazione dell'aria che può ridurne in modo poco significativo l'effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva nel volume interessato dalle emissioni.

Emissione continua:

- sorgente di emissione: valvola di intercettazione con tenuta di tipo "O-ring" sullo stelo (ipotesi)
- grado di emissione: continuo
- portata di emissione: $Q_g = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s}$ (valore stimato dalla Guida)
- coefficiente di sicurezza: $k = 0.25$ (valore stimato dalla Guida)
- concentrazione iniziale di emissione: $X_0 = 50\%$ (valore stimato dalla Guida)
- pressione assoluta all'interno del sistema: $P = 260 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- temperatura di efflusso: $T = 318 \text{ K}$
- coefficiente di efflusso: $c = 0.8$ (proposto dalla Guida)
- modalità di emissione: gas in singola fase

Il calcolo ha fornito i seguenti risultati:

- ZONA 2 con $d_z = 2.21 \text{ m}$ per il gas naturale
- ZONA 2 con $d_z = 5.0 \text{ m}$ per l'idrogeno

Questi dati sono abbastanza in accordo alle Norme analizzate per la classificazione elettrica delle aree pericolose per la presenza di gas naturale o idrogeno.

Il calcolo nel caso di rilascio da un foro (diametro assunto $\phi = 3.2$ mm) in una bombola del sistema di stoccaggio “pacchi bombole”, alta pressione, ha invece fornito i seguenti risultati:

- ZONA 2 con $d_z = 12.5$ m per il gas naturale
- ZONA 2 con $d_z = 28.4$ m per l'idrogeno

Le dimensioni delle aree classificate risultano dunque eccessive per l'assunzione di una fuoriuscita a pressione costante, con totale svuotamento del contenitore di stoccaggio.

6. STATI UNITI

6.1 Introduzione

Negli Stati Uniti, i regolamenti federali che si applicano all'idrogeno sono contenuti principalmente in 49 CFR (1995) [11] e 29 CFR (1996) [7], detti rispettivamente DOT (*Department of Transportation*) ed OSHA [7] (*Occupational Safety and Health Administration*); DOT si applica al trasporto dell'idrogeno mentre OSHA si applica alla sua manipolazione sicura sul posto di lavoro.

Non esistono invece Standards specifici per quanto riguarda i sistemi per il rifornimento di idrogeno come combustibile per autotrazione: i documenti principali che vengono applicati a tali sistemi sono NFPA 50A [6], *Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites* (Ed.1999), e NFPA 50B [12], *Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites* (Ed.1999). NFPA 50A costituisce lo Standard più ampiamente utilizzato nell'industria per la progettazione di sistemi per lo stoccaggio e/o il trasferimento di idrogeno gassoso; analogamente NFPA 50B costituisce lo Standard di riferimento per sistemi di idrogeno liquefatto e per questo motivo non è qui preso in considerazione.

La caratteristica chiave di entrambi i documenti sono i requisiti per le *Quantity Distances*. Le *Quantity Distances* si basano sul concetto che gli effetti conseguenti ad un incendio, una esplosione o una detonazione possono essere ridotti a livelli accettabili se la sorgente di pericolo viene mantenuta abbastanza distante da persone e/o altre installazioni. Infatti la predisposizione di una distanza di sicurezza tra un dato sistema ad idrogeno e le persone o le altre attrezzature riduce la necessità di confinamento di quel sistema e di conseguenza aumenta la probabilità che l'idrogeno derivante da fughe o perdite accidentali diffonda e si disperda senza entrare in contatto con alcuna sorgente di ignizione. La predisposizione di una distanza di sicurezza permette inoltre di tenere sotto controllo la propagazione delle fiamme in modo da non originare effetti domino, come l'estensione di un incendio dalla sua sorgente fino ad altro materiale infiammabile presente nell'installazione.

Si noti che NFPA 50A ed NFPA 50B chiamano le distanze di sicurezza *Safety Distances* e non *Quantity Distances*; il concetto di *Quantity Distance* trae la sua origine dalle linee guida messe a punto da DoD (*Department of Defence*) e NASA con lo scopo principale di essere applicate ad esplosivi e propellenti per missili e razzi (in entrambi i casi viene fatto riferimento a tecniche di stoccaggio e manipolazione industriale testate e provate). Tuttavia NFPA, pur riprendendone i concetti generali, ha ritenuto che i riferimenti incidentali utilizzati per la loro stima, ovvero le esplosioni o le detonazioni, fossero troppo severi per il campo industriale convenzionale e per le necessità connesse con un esercizio di tipo commerciale; di conseguenza NFPA ha preferito sviluppare i suoi Standard in base al concetto della massima perdita accidentale di gas infiammabile ritenuta credibile in una data installazione: l'ubicazione dei recipienti per lo stoccaggio di idrogeno dovrebbe prendere in considerazione gli effetti di dispersione di una possibile nube di gas infiammabile e gli effetti della radiazione termica in caso di incendio. È stato infatti ritenuto che, per le quantità di idrogeno in gioco, tale “*reasonable scope of expectation*”, basato sull'esperienza, fosse un parametro di sicurezza migliore rispetto ad un evento di tipo catastrofico; in pratica, le disposizioni fornite sono stabilite per limitare i rischi e rendere così altamente improbabili danni severi a persone ed edifici circostanti. Perciò l'ubicazione delle installazioni per lo stoccaggio di idrogeno deve essere scelta in primo luogo per proteggere il personale e le altre installazioni presenti, siano esse coinvolte o no nell'esercizio, e in secondo luogo per proteggere il recipiente stesso e il suo contenuto da rischi esterni e da rischi associati con lo stoccaggio e l'uso di ossidanti o di altri propellenti e/o combustibili. Il mezzo principale per garantire un certo grado di sicurezza al sistema è costituito da una adeguata progettazione, e quindi da distanze di sicurezza, oltre che da schermature, barriere ed altre misure adatte allo scopo.

Gli Standard forniscono le *Safety Distances* da rispettare in funzione della capacità dello stoccaggio di idrogeno a partire da un valore minimo. Qualora il contenuto di materiale coinvolto sia minore del limite minimo stabilito, la determinazione delle distanze di sicurezza deve essere eseguita valutando ogni evento incidentale, che si suppone possa verificarsi, e le sue conseguenze in funzione delle quantità in gioco.

Sia NFPA 50A (Ed.1994) [13] che NFPA 50B (Ed.1994) [14] sono stati incorporati quasi completamente nello Standard OSHA 29 CFR 1910.103, intitolato *Hydrogen* [7]: la parte 1910 di 29 CFR fornisce le

Tab. 6 - Definizione dei vari tipi di ubicazione permessi per i sistemi ad idrogeno, NFPA 50A.

All'aperto	Ubicazione al di fuori di qualunque edificio o struttura, oppure ubicazione sotto tettoia o sotto struttura di riparo, purché quest'area non sia chiusa su più di due lati.
<i>Separate building</i>	Un edificio distaccato, non comunicante con altri, utilizzato esclusivamente per alloggiare un sistema di idrogeno.
<i>Special room</i>	Un'area chiusa e separata dalle altre che è parte o è annessa ad un altro edificio e che è utilizzata esclusivamente per un sistema di idrogeno.

Tab. 7 - Localizzazione preferenziale di sistemi di idrogeno gassoso in funzione della loro capacità, NFPA 50A

Tipo di ubicazione	Capacità del sistema idrogeno		
	$99 \text{ m}^3 < C$	$99 \text{ m}^3 \leq C \leq 425 \text{ m}^3$	$C < 425 \text{ m}^3$
Outdoors	I	I	I
<i>In separate building</i>	II	II	II
<i>In special room</i>	III	III	Non permessa
All'interno di edifici, non in <i>special room</i> , ed esposta ad altre occupazioni	IV	Non permessa	Non permessa

disposizioni relative alla sicurezza sul posto di lavoro, la Sottoparte H, *Hazardous Materials*, di 29 CFR 1910 è rivolta alla manipolazione sicura dei materiali pericolosi sul posto di lavoro, il punto 103, in particolare, focalizza la sicurezza del lavoratore in un impianto per lo stoccaggio e l'utilizzo dell'idrogeno.

Per coerenza con i criteri di ricerca adottati per gli altri Paesi, agli Standard sopracitati è stato affiancato il documento NFPA 52, *Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel Systems Code* (Ed.1998) [8], che affronta a livello generale i sistemi a gas naturale compresso per l'utilizzo in autotrazione.

Tutte le apparecchiature ed i macchinari elettrici che possono essere esposti ad idrogeno e gas naturale devono essere conformi ai requisiti di NFPA 70, *National Electrical Code*, Ed.1999 [10]; lo Standard viene direttamente richiamato sia da NFPA 50A che NFPA 52 per quanto attiene la classificazione delle aree che circondano i vari sistemi trattati; gli articoli di riferimento sono in particolare il n. 500 e il n. 505, riguardanti le metodologie di classificazione delle aree pericolose in Divisioni e Zone rispettivamente. Accanto ad NFPA 70 si colloca in modo naturale lo Standard NFPA 497, *Recommended Practice for Classification of Class I Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas*, Ed.1997 [9].

6.2 Standard NFPA 50A per idrogeno

Lo Standard stabilisce i requisiti per l'installazione di sistemi di idrogeno gassoso presso i locali dell'utenza dove il rifornimento di idrogeno ha origine al di fuori dei locali suddetti ed è distribuito mediante apparecchiatura mobile. Per sistema di idrogeno gassoso, NFPA 50A [6] intende un sistema in cui l'idrogeno viene distribuito, immagazzinato e scaricato alla rete dell'utente in forma gassosa; il sistema include contenitori, regolatori della pressione, dispositivi per lo sfiato di sicurezza, connessioni e controlli e termina al punto in cui l'idrogeno, alla pressione di servizio, entra nella rete dell'utente.

Ai fini del presente lavoro, i capitoli di interesse sono il Capitolo 3, *Location of Gaseous Hydrogen Systems* e il Capitolo 4, *Design Considerations at Specific Locations*.

Il Capitolo 3 fornisce indicazioni per la localizzazione dei sistemi di idrogeno gassoso: il tipo di ubicazione permessa, tabella 6, viene stabilito, in funzione del massimo volume totale di idrogeno contenuto, seguendo un ordine di preferenza indicato mediante numeri romani, tabella 7.

Una volta stabilito il tipo di ubicazione, le distanze minime che un sistema idrogeno di data capacità deve rispettare nei confronti di qualunque esposizione esterna, si possono riassumere in tabella 8, comprensiva anche delle eccezioni a tali distanze per i casi in cui, tra il sistema idrogeno e l'esposizione, siano presenti strutture protettive come pareti tagliafiamma.

Il Capitolo 4 riporta i requisiti da soddisfare a seconda del tipo di ubicazione scelta per il sistema idrogeno ed in particolare le prescrizioni che le apparecchiature elettriche devono rispettare nelle aree

circostanti tali sistemi. Tutte le apparecchiature elettriche per sistemi all'aperto, *Separate buildings* e *Special rooms* devono essere in accordo con NFPA 70 [10] per le aree di Classe I, Divisione 2; non viene invece fatto alcun riferimento alla metodologia di classificazione delle aree pericolose in Zone, già presente in NFPA 70, Ed.1996 [15]. La tabella 9 contiene la classificazione e l'estensione delle aree intorno ai sistemi idrogeno a seconda della loro ubicazione.

E' importante ribadire che NFPA 50A ha come oggetto solo i sistemi di stoccaggio di idrogeno gassoso; c'è quindi un preciso motivo per cui tali sistemi sono circondati da un'area classificata soltanto come Divisione 2. Il criterio per classificare un'area come Divisione 1 richiede che al suo interno si abbia formazione di miscela infiammabile in seguito a rilasci che siano presenti in condizioni di normale esercizio. Il criterio per classificare un'area come Divisione 2 richiede invece che all'interno di quell'area si abbia la presenza di una miscela infiammabile solo in condizioni non normali. Un recipiente contenente idrogeno è normalmente a tenuta e di conseguenza per rilasciare il gas dovrebbe presentare una perdita dovuta a qualche rottura, fatto questo che non rientra nel normale esercizio, che è pertanto non normale e che quindi esclude per definizione la classificazione dell'area che circonda il sistema come Divisione 1.

Tab. 8 - Distanze di sicurezza per sistemi ad idrogeno gassoso localizzati all'aperto (o equivalenti), NFPA 50A

Tipo di esposizione		Distanze minime per sistemi idrogeno				
		$C < 99\text{m}^3$	$99\text{m}^3 \leq C \leq 425\text{m}^3$	$C > 425\text{m}^3$		
1)	Fiamme libere e altre sorgenti di ignizione (escluse le elettriche) ⁽¹⁾	7.6 m	7.6 m	7.6 m		
2)	Confine esterno e aree dove le persone sono solite raggrupparsi	7.6 m	15.2 m	15.2 m		
3)	Confine esterno di proprietà adiacenti su cui si può costruire ⁽¹⁾	1.5 m	1.5 m	1.5 m		
4)	Passaggi pedonali pubblici o veicoli parcheggiati	4.6 m	4.6 m	4.6 m		
5)	Aperture nelle pareti	Non sopra ogni parte del sistema	3.1 m	3.1 m	3.1 m	
		Sopra ogni parte del sistema	7.6 m	7.6 m	7.6 m	
6)	Prese d'aria dei compressori, di ventilazione, ecc.	15.2 m	15.2 m	15.2 m		
7)	Mucchi di materiale solido combustibile ⁽¹⁾	Solidi che bruciano velocemente, per esempio carta	15.2 m	15.2 m	15.2 m	
		Solidi che bruciano lentamente, per esempio carbone	7.6 m	7.6 m	7.6 m	
8)	Depositi sopra terra di tutte le classi di liquidi combustibili o infiammabili ^(1,2)	$0 \leq C \leq 3.785 \text{ m}^3$	3.1 m	7.6 m	7.6 m	
		$C > 3.785 \text{ m}^3$	7.6 m	15.2 m	15.2 m	
9)	Depositi di tutte le classi di liquidi infiammabili sotto il livello del terreno ^(1,3)	$0 \leq C \leq 3.785 \text{ m}^3$	Taniche (dist. orizz. dal guscio)	3.1 m	3.1 m	3.1 m
			Venting o "Fill opening" delle taniche	7.6 m	7.6 m	7.6 m
		$C > 3.785 \text{ m}^3$	Taniche (dist. orizz. dal guscio)	6.1 m	6.1 m	6.1 m
			Venting o "Fill opening" delle taniche	7.6 m	7.6 m	7.6 m
10)	Depositi di gas infiammabili in bombole diversi da idrogeno ⁽¹⁾	$0 \leq C \leq 255 \text{ m}^3$	3.1 m	7.6 m	7.6 m	
		$C > 255 \text{ m}^3$	7.6 m	15.2 m	15.2 m	

⁽¹⁾ La distanza non si applica quando sono frapposte tra il sistema di idrogeno ed il bersaglio delle strutture protettive che hanno rateo di resistenza al fuoco ≥ 2 ore.

⁽²⁾ I depositi entro 15 m più in basso del sistema idrogeno a meno che non siano previste azioni per deviare eventuali spillamenti di liquidi.

⁽³⁾ Le distanze possono essere ridotte a 4.5 m per liquidi *combustible* della Classe IIIB.

Tab. 9 - Aree classificate intorno ai sistemi idrogeno in funzione della loro ubicazione, NFPA 50A

Sistemi all'aperto	Separate Building	Special Room
Divisione 2	Divisione 2	Divisione 2
4.6 m	Tutto l'interno del locale.	Tutto l'interno della stanza.

6.3 Standard OSHA 29 CFR 1910.103 per idrogeno

OSHA 29 CFR 1910.103, *Hydrogen* [7], fa parte di OSHA 29 CFR in cui sono fornite le disposizioni relative alla sicurezza sul posto di lavoro; in particolare il punto 1910 è rivolto alla manipolazione sicura dei materiali pericolosi sul posto di lavoro di cui la Sottoparte 103 è relativa all'idrogeno.

Sono qui esposte solo le prescrizioni che sono state aggiunte rispetto a quanto previsto in NFPA 50A [6] e le prescrizioni generali che vengono esposte in OSHA 29 CFR, non direttamente riportate nella sottosezione 103, *Hydrogen*, ma implicite nelle applicazioni di sistemi idrogeno gassoso in quanto materiale pericoloso e gas altamente infiammabile.

Il Codice definisce un'area di esclusione intorno ai sistemi idrogeno, in cui gli accessi sono controllati e permessi solo al personale strettamente necessario per il funzionamento dell'impianto ed in cui le apparecchiature devono rispettare particolari requisiti di sicurezza, il più importante dei quali è sicuramente l'eliminazione ed il contenimento delle sorgenti di ignizione, soprattutto in relazione alle azioni e alle attività da compiere in tale area. La distanza che lo Standard assegna tra il sistema contenente idrogeno e le aree abitate rappresenta la minima area di esclusione. Requisiti specifici del luogo possono richiedere anche la predisposizione di un'area aggiuntiva, detta area di controllo, delimitata da recinto e cancelli per l'accesso controllato. Le aree di esclusione e di controllo devono essere opportunamente segnalate e facilmente individuabili mediante l'affissione di cartelli che avvertano del rischio potenziale dell'area. I cartelli devono riportare "Idrogeno – Gas infiammabile – Non fumare – Non fare uso di fiamme libere".

La disposizione di un'area di esclusione prevede che:

- l'area entro 4.6 m dal sistema idrogeno deve essere tenuta priva di vegetazione secca, di erbacce e di materiali combustibili; è permesso tenere dentro quest'area solo i materiali combustibili necessari per le operazioni di test dei componenti
- tutte le apparecchiature elettriche in un'area di 4.6 m per installazioni all'aperto, per tutta l'area interna ai *Separate buildings* o alle *Special rooms* devono essere in accordo alle prescrizioni fornite nel Documento NFPA 70 (1993) [16] per le aree di Classe I, Divisione 2. Quando un'apparecchiatura approvata per l'installazione in atmosfere di Classe I, Gruppo B non è disponibile sul mercato, allora si può fare uso di apparecchiature purgate o ventilate in accordo a NFPA 496, *Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment* [17], o intrinsecamente sicure o approvate per atmosfere di Classe I, Gruppo C

Per quanto riguarda le distanze di sicurezza, 29 CFR 1910.103 [7] riporta la stessa tabella presente in NFPA 50A [6] per le localizzazioni all'aperto, *Separate Buildings* e *Special Rooms*.

Per le localizzazioni al chiuso in CFR si fa ancora riferimento alle prescrizioni presenti in NFPA 50A, alle quali è stata aggiunta la voce seguente:

- ❖ distanza da aree dove le persone sono solite raggrupparsi: 7.6 m

6.4 Standard NFPA 52 per gas naturale

NFPA 52 [8] si applica alla progettazione ed installazione di sistemi che utilizzano come combustibile gas naturale compresso, *Compressed Natural Gas* (CNG); con detto termine NFPA intende una miscela di gas idrocarburi e vapori, costituita principalmente da metano, che è stata compressa per l'utilizzo come combustibile per autotrazione.

Tra i vari sistemi CNG, il documento considera anche quelli per il rifornimento di un veicolo. Questi sistemi sono trattati in particolare all'interno del Capitolo 4, *CNG Compression, Storage and Dispensing Systems*, e sono quelli tipici di una stazione di rifornimento di combustibile gassoso; in particolare il capitolo affronta la progettazione, la costruzione, l'installazione e il funzionamento di contenitori, recipienti in pressione, apparecchiature di compressione, edifici e strutture, e le relative apparecchiature utilizzate per lo stoccaggio e la distribuzione di CNG come combustibile per autotrazione nelle operazioni di rifornimento di flotte e nelle operazioni di pubblica distribuzione. L'ottica di analisi è la prevenzione degli incidenti, correlati al fuoco ed alle esplosioni, nei confronti di strutture e/o persone coinvolte nell'utilizzo del gas naturale.

Un sistema di compressione, stoccaggio o distribuzione di CNG può essere posizionato sia all'aperto che al chiuso; dato che nel presente lavoro è trattata una stazione di rifornimento i cui componenti sono da considerarsi all'aperto o comunque provvisti di un grado di ventilazione da poterli ritenere tali, i requisiti per i sistemi ubicati al chiuso non sono qui riportati.

I sistemi di compressione, stoccaggio e distribuzione ubicati all'aperto devono essere posizionati sopra il livello del terreno, non devono trovarsi al di sotto di linee elettriche di potenza o dove possono essere esposti a danneggiamento e devono rispettare le distanze di sicurezza minime riassunte in tabella 10.

Tab. 10 - Minime distanze di sicurezza richieste per sistemi CNG all'aperto, NFPA 52

Tipo di Esposizione	Apparecchiature di compressione e distribuzione	Sistemi di stoccaggio	Punto di connessione durante il trasferimento ⁽¹⁾
Edificio vicino più importante	3 m	3 m	3 m
Confine di proprietà adiacenti	3 m	3 m	
Qualunque sorgente di ignizione	3 m	3 m	
Via pubblica o marciapiede più vicini	3 m	3 m	3 m
Binario di tratte principali di linee ferroviarie	15 m	15 m	
Materiale prontamente infiammabile		3 m ⁽²⁾	
Serbatoi contenenti liquidi infiammabili e combustibili sopra terra		6.1 m	1 m
Contenitori di gas naturale compresso			1 m

⁽¹⁾ Il punto di trasferimento può essere posto ad una distanza inferiore da edifici o pareti costruiti in calcestruzzo o materiale da muratura o di altri materiali aventi resistenza al fuoco di almeno 2 ore, ma ad almeno 3 m da qualunque apertura di edificio.

⁽²⁾ Distanza da rispettare solo nel caso di contenitori fissi.

Le apparecchiature elettriche devono essere installate in accordo ad NFPA 70, *National Electrical Code* [10]. NFPA 52 non classifica l'area circostante un sistema esclusivamente come Divisione 2, in modo analogo a quanto richiesto da NFPA 50A [6], ma ne propone anche la classificazione come Divisione 1, in considerazione del fatto che per alcuni dei sistemi che costituiscono l'impianto non si può escludere la presenza di una miscela infiammabile anche nelle normali condizioni di funzionamento.

La classificazione e l'estensione delle aree che circondano i vari componenti sono riportate dallo Standard in una apposita tabella (tab. 11); la classificazione prende in considerazione indifferentemente il metodo delle Divisioni e quello delle Zone.

6.5 Standard NFPA 497 per gas o vapori infiammabili

NFPA 497 [9] costituisce una "pratica raccomandata" che si applica a quelle aree dove sono manipolati o sottoposti a processo gas e vapori infiammabili, liquidi infiammabili e liquidi combustibili e a quelle aree dove un loro eventuale rilascio in atmosfera potrebbe concludersi con l'ignizione, da parte di sistemi e

Tab. 11 - Individuazione ed estensione delle aree classificate intorno ai singoli componenti, NFPA 52

Ubicazione	Divisione o Zona	Estensione dell'Area Classificata
Contenitori fissi	2	Entro 3 m dal contenitore
Area contenente le apparecchiature di compressione		
- all'aperto	2	Fino a 4.6 m dalle apparecchiature
- al chiuso	2	Fino a 4.6 m dalle apparecchiature
Apparecchiature di distribuzione		
- all'aperto	1	Dentro il recinto dispenser
- all'aperto	2	Da 0 a 1.5 m dal dispenser
- al chiuso	1	Dentro il recinto dispenser
- al chiuso	2	L'intera stanza con adeguata ventilazione
Scarico valvole limitatrici degli sfiati	1	1.5 m in tutte le direzioni dal punto di scarico
	2	Oltre 1.5 m ma entro 4.6 m in tutte le direzioni dal punto di scarico
Valvole, flange e raccordi filettati	Nessuna	Non classificata
Scarico da valvole limitatrici entro 15° dalla linea di scarico	1	4.6 m

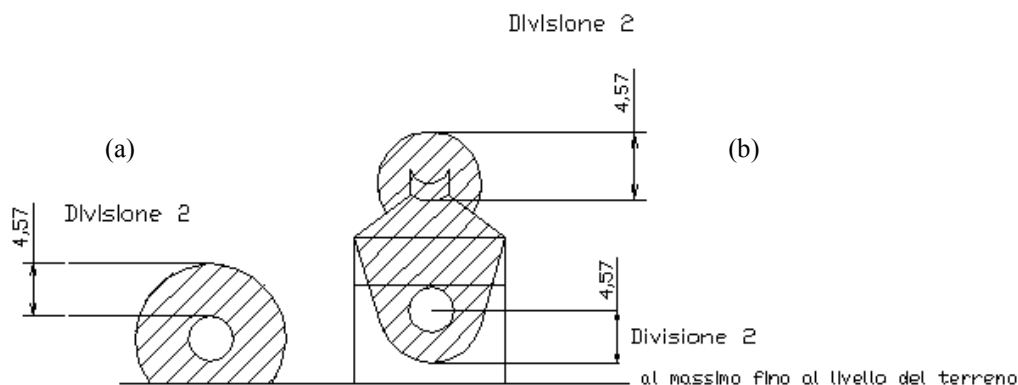


Fig. 2 - Estensioni delle Divisioni applicabili nel caso di (a) stoccaggio di idrogeno gassoso all'aperto o (b) dentro un edificio adeguatamente ventilato

apparecchiature elettriche, della miscela infiammabile formata da queste sostanze con l'aria; è in particolare limitato alla classificazione delle aree pericolose di Classe I, ovvero quelle aree nelle quali, secondo quanto riportato nell'articolo n. 500 di NFPA 70 [10], il materiale presente è un gas o un vapore infiammabile.

NFPA 497 [9] non si applica a situazioni che coinvolgono rottura o scarico di tipo catastrofico da recipienti di processo, tubazioni, serbatoi, in analogia alla metodologia CEI, e ad atmosfere ricche di ossigeno o a materiali piroforici.

Le aree prese in considerazione sono le aree chimiche di processo. Tuttavia le raccomandazioni presenti in NFPA 497 risultano adatte per installazioni che manipolano quantità "moderate" di sostanze, nei termini previsti nel documento stesso. Per impianti più grandi, dove sono manipolate, sottoposte a processo e stoccate quantità maggiori, spesso a temperature e pressioni elevate, risultano più adatte le raccomandazioni dell'industria petrolifera contenute in RP 500, *Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities* (Ed.1992).

Lo scopo principale di NFPA 497 è fornire all'utilizzatore i mezzi per comprendere quei parametri che determinano il grado e l'estensione di un'area pericolosa, oltre che mettere a disposizione alcuni pratici esempi dell'applicazione di tali parametri, che sono riportati in una serie di diagrammi. Lo Standard è stato quindi pensato per essere una guida e dovrebbe essere applicato attraverso una corretta valutazione di carattere ingegneristico.

La decisione di classificare un'area come pericolosa si basa sulla probabilità che in essa si possa formare una miscela infiammabile; una volta verificato che un'area deve essere classificata, occorre stabilire quale metodologia applicare, quella secondo Classe, Divisione, Gruppo oppure quella secondo Classe, Zona, Gruppo.

Per una data installazione è necessario conoscere il progetto sulla carta per poter fare una prima classificazione preliminare e scegliere così le apparecchiature e le strumentazioni elettriche adatte, ma è altrettanto importante saper sfruttare esperienze precedenti, sia di esercizio che di manutenzione, e conoscere le caratteristiche del processo (pressione, temperatura, quantità di materiale) attraverso diagrammi di flusso rappresentativi e le proprietà delle sostanze coinvolte.

NFPA 497 contiene poi una serie di diagrammi che illustrano come possono essere classificate le aree circostanti alcune tipiche sorgenti di emissione di sostanze infiammabili e l'estensione raccomandata a seconda delle metodologie di classificazione adottate; alcuni diagrammi riguardano sorgenti di emissione puntiformi, altri si applicano a sorgenti multiple in uno spazio chiuso o in un'area di lavoro. Lo scopo dei diagrammi è quello di aiutare nello sviluppo delle cosiddette mappe di classificazione elettrica di unità operative, di impianti di processo e di edifici; questo perché una unità operativa può avere molte sorgenti di emissione interconnesse, comprese pompe, compressori, recipienti, serbatoi e scambiatori di calore e queste, a loro volta, possono presentare sorgenti di emissione come connessioni con flange e con filettature, valvole, raccordi con strumentazioni e così via ed è quindi necessaria una attenta valutazione per stabilire il tipo di classificazione.

In figura 2 e figura 3 sono riportate le schematizzazioni nel caso di sistemi di stoccaggio e compressione, elementi presenti nella stazione di rifornimento, così come proposte nello Standard. I diagrammi sono riferiti specificatamente ad idrogeno gassoso, tuttavia, poiché NFPA 497 non fa grossa differenza tra i gas con densità relativa rispetto all'aria minore di uno, possono essere utilmente applicati anche nel caso del gas

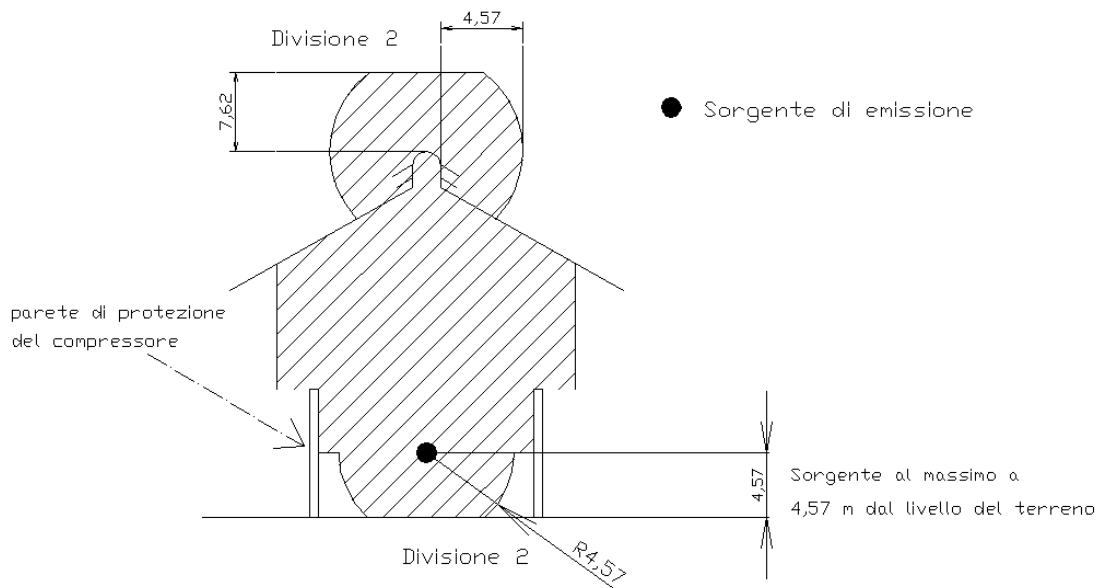


Fig. 3 - Estensioni delle Divisioni applicabili nel caso di un locale di protezione di compressori per gas più leggeri dell'aria; locale ben ventilato

naturale. Le figure fanno riferimento al metodo delle Divisioni; i diagrammi per il metodo delle Zone sono identici e quindi non sono riportati. Dalla figura 2 si nota in particolare che, nel caso di stoccaggio di idrogeno gassoso, intorno alla sorgente di emissione è richiesta un'area classificata come Divisione 2, di raggio pari a 4,57 m, valore coincidente con quanto richiesto da NFPA 50A [6] per uno stoccaggio di idrogeno gassoso all'aperto.

Per determinare la mappa di classificazione, si devono individuare le possibili sorgenti di emissione presenti in un impianto e per ciascuna trovare un esempio equivalente tra i diagrammi di classificazione proposti, in modo da avere a disposizione la minima estensione dell'area pericolosa intorno alla perdita; l'estensione determinata con i diagrammi selezionati potrà quindi essere modificata in base alle seguenti considerazioni:

- se è probabile che sia presente con frequenza una miscela infiammabile a causa di riparazioni, manutenzione o perdite
- se vi sono dei punti in cui le condizioni di manutenzione e supervisione sono tali che è probabile che avvengano perdite in apparecchiature di processo, recipienti di stoccaggio, e tubazioni contenenti materiale combustibile
- se il materiale combustibile può essere trasmesso mediante fosse, tubazioni, condotte, o canali
- se è presente una ventilazione e/o quale è la direzione prevalente del vento nell'area specifica, e quali sono i ratei di dispersione dei materiali infiammabili

7. CONCLUSIONI

L'analisi dei valori delle distanze di sicurezza proposte da Standard internazionali per i sistemi di idrogeno e gas naturale, ha messo in evidenza la necessità di soffermare l'attenzione sui punti seguenti:

- Le prescrizioni esistenti negli Stati Uniti in materia di idrogeno si riferiscono a sistemi di stoccaggio, mentre non esistono Standard specificatamente dedicati ai sistemi tipici di una stazione di rifornimento, come il sistema di compressione o di distribuzione, sia per la classificazione elettrica che per la protezione dei sistemi adiacenti. I componenti di un impianto di stoccaggio sono tipicamente recipienti a tenuta per i quali la fuoriuscita di gas è considerata un evento altamente improbabile. In un impianto di rifornimento, il cui scopo è il trasferimento di carburante al veicolo, non il semplice deposito o accumulo della sostanza, i relativi componenti possono presentare un numero decisamente superiore di possibili sorgenti di rilascio e la presenza di una miscela gas-aria intorno al sistema è una condizione che può essere presente anche nel normale esercizio. Ne consegue che l'area intorno ai suddetti sistemi può non essere classificata solamente come semplice Divisione 2, ma può rendersi necessaria la predisposizione di una Divisione 1. Dati i limiti di NFPA 50A per quanto riguarda i sistemi di una

stazione di rifornimento, un ottimo termine di confronto risulta essere la classificazione (tab. 11) già sviluppata per gli stessi sistemi nel caso di gas naturale, dalla quale si può quindi ricavare indicativamente la classificazione dell'area circostante quel sistema (Divisione 1, Divisione 2, area non classificata). La determinazione dell'estensione dell'area suddetta sarà poi legata alle caratteristiche peculiari dell'idrogeno oltre che dal particolare componente preso in considerazione. Il gas naturale rimane comunque, anche in questo caso, un valido punto di partenza perché essendo un gas più leggero dell'aria analogamente all'idrogeno, gli Standard NFPA gli attribuiscono lo stesso comportamento in caso di rilascio in atmosfera.

2. In Europa esiste una Norma [4] specifica per la classificazione delle aree a cui fanno riferimento gli stati membri; il semplice calcolo applicativo della Norma, condotto in Paragrafo 5.3, ha dimostrato un buon accordo con l'estensione dell'area classificata proposta nelle normative selezionate per l'Europa per un sistema di combustibile gassoso sia esso idrogeno o gas naturale. Analogamente al caso statunitense, quindi, i criteri contenuti nelle suddette normative, in modo particolare la Direttiva TÜV [5] (tab. 6), possono essere utilmente applicate al fine di una classificazione delle aree pericolose in una stazione di rifornimento di idrogeno. Inoltre si può osservare che classificazione ed estensione delle aree proposte nella Direttiva TÜV non differiscono sensibilmente da quelle contenute in NFPA 52 [8]; ciò potrebbe essere legato al fatto che entrambe le metodologie che hanno permesso di ricavarle adottano ipotesi molto simili, in particolare l'indipendenza dalla capacità del sistema in esame.
3. Una situazione più critica si presenta, invece, se si confrontano le distanze di separazione:
 - 3.1. Le distanze proposte dal D.M. italiano [1] risultano notevolmente superiori rispetto a quanto richiesto sia dalla Direttiva TÜV che da NFPA 52. In particolare, come evidenziato nelle tabelle 2, 5 e 10, se si confrontano le distanze di sicurezza esterna del D.M. con quelle riportate nella Direttiva TÜV e con quelle riferite a luoghi come vie pubbliche o confini di proprietà adiacenti, contenute in NFPA 52, si notano rispettivamente i valori 20, 5 e 3 m. Questi valori costituiscono un punto critico di interpretazione, anche alla luce del fatto che NFPA fa riferimento a luoghi ove è possibile che sia presente un elevato numero di persone e in questo caso il Decreto prevede di raddoppiare il valore della distanza di sicurezza esterna. E' bene comunque precisare che le distanze contenute in NFPA 52 rappresentano il minimo valore che deve essere garantito da questi sistemi; il valore reale sarà propriamente definito in sede di progetto.
 - 3.2. Questo sostanziale disaccordo rende più difficoltoso adottare un percorso analogo a quello presentato nel caso della classificazione delle aree, cioè sfruttare l'esperienza acquisita nel campo del gas naturale ai fini della localizzazione dei sistemi costituenti una possibile stazione di rifornimento di idrogeno gassoso. Gli unici Documenti specifici per l'idrogeno identificati in questo studio ovvero NFPA 50A [6] e IGC 15/96/E [3], presentano dei punti deboli: NFPA 50A è uno Standard rivolto principalmente allo stoccaggio massivo ed esclude sia il rifornimento al veicolo che le tubazioni di distribuzione; IGC per contro non fornisce alcuna identificazione sulle motivazioni che giustificano le distanze proposte.

ACRONIMI E SIMBOLI

C:	Capacità [m ³]
CEI:	Comitato Elettrotecnico Italiano
CNG:	Compressed Natural Gas
CFR:	Code of Federal Regulation
D.M.:	Decreto Ministeriale
DoD:	Department of Defence
DOT:	Department of Transportation
DVGW:	Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches
GPL:	Gas di Petrolio Liquefatto
G.U.:	Gazzetta Ufficiale
IGC:	Industrial Gases Council
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
NEC:	National Electrical Code
NFPA:	National Fire Protection Association
OSHA:	Occupational Safety and Health Administration
VdTÜV (TÜV):	Verband der Technischen Überwachungsvereine

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori ringraziano l'ing. Riccardo Nava, della SOL, per l'aiuto nel reperimento del materiale normativo, per le proficue discussioni intercorse ed per i suggerimenti forniteci.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D.M. 24 Novembre 1984, "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8", Gazzetta Ufficiale, Supplemento Ordinario n.12, 15/01/1985, "Norme di sicurezza", Ministero dell'Interno.
- [2] Norma CEI 31-35, "Guida all'applicazione della Norma CEI EN 60079-10 (CEI 31-30), classificazione dei luoghi pericolosi", Norma italiana, classificazione 31-35, fascicolo 5925, 2001.
- [3] IGC 15/96/E, "Gaseous Hydrogen Stations", Industrial Gases Council, Bruxelles, 1997.
- [4] EN 60079-10, "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas". Norma italiana CEI EN 60079-10, classificazione 31-30, fascicolo 2895, 1996
- [5] VdTÜV, Verband der Technischen Überwachungsvereine, "Direttiva per la progettazione, la costruzione, l'installazione, il collaudo, la messa in funzione e l'esercizio di stazioni di rifornimento di gas naturale", Bonn / Essen, Luglio 1999.
- [6] NFPA 50A, "Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1999.
- [7] CFR Title 29, Occupational Health and Safety Standards, Code of Federal Regulations, Parte 1910.103, "Hydrogen", U.S. Government Printing Office, Washington, 1996. Disponibile on-line: <http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9749&p_text_version=FALSE>, reperito il 25 Luglio 2002.
- [8] NFPA 52, "Compressed Natural Gas (CNG) Vehicular Fuel Systems Code", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1998.
- [9] NFPA 497, "Recommended Practice for Classification of Class I Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1997.
- [10] NFPA 70, "National Electrical Code®", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1999.
- [11] CFR Title 49, "Transportation", Code of Federal Regulations, GSI Computer Services, Branson, MO, 1994. Disponibile on-line: <<http://www4.law.cornell.edu/uscode/49/>>, reperito il 25 Luglio 2002
- [12] NFPA 50B, "Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1999.
- [13] NFPA 50A, "Standard for Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1994.
- [14] NFPA 50B, "Standard for Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1994.
- [15] NFPA 70, "National Electrical Code®", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1996.
- [16] NFPA 70, "National Electrical Code®", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1993.
- [17] NFPA 496, "Standard for Purged and Pressurized Enclosures for Electrical Equipment", National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 1998.