

# **‘LA SICUREZZA NEI TRASPORTI DI IDROGENO COMPRESSO’**

L.Munaro Comando VVF Belluno  
F. Pilo Comando VVF Venezia  
A. Zanardo Comando VVF Venezia

## **1. SOMMARIO.**

Il presente lavoro è relativo ad una ricerca compiuta per valutare il comportamento in varie condizioni incidentali di sistemi di trasporto idrogeno compresso in rilevanti quantità. In particolare sono stati presi in considerazione i carri bombolai e i pacchi bombole impiegati per il trasporto stradale e lo stoccaggio di idrogeno gassoso a pressioni interne fino a 200 bar.

Oltre ad una verifica delle attuali condizioni di sicurezza, questa analisi intende proporre un tema che nel futuro prossimo, se confermati gli interessi circa l'impiego di idrogeno come possibile fonte energetica alternativa, potrebbe diventare ancora più importante. L'incremento generale dei consumi di idrogeno e il conseguentemente probabile aumento dei trasporti di idrogeno gassoso in pressione renderanno il problema della sicurezza dei carri bombolai particolarmente rilevante.

E' probabile inoltre che per motivi di versatilità d'uso, di facile reperibilità e di economicità i carri bombolai troveranno largo impiego anche come componenti di impianto.

La prima parte della memoria è relativa alla analisi degli incidenti avvenuti nell'ultimo anno in Italia coinvolgenti trasporti di idrogeno compresso ed in particolare è stato fatto uno studio più approfondito del comportamento di un carro bombolaio coinvolto in incendio a seguito di un incidente autostradale presso Cessalto (VE) nel marzo 2003.

Nella parte centrale del lavoro è stata fatta una analisi di sicurezza degli eventi descritti cercando di far emergere gli elementi più critici anche nei confronti delle attività svolte dalle squadre di soccorso intervenute.

Infine nell'ultima parte sono state elencate, sulla base dei dati raccolti, una serie di proposte e indicazioni delle possibili modifiche strutturali e procedurali che potrebbero essere suggerite al fine di garantire livelli di sicurezza più elevati.

Obiettivo di questa memoria è quello di proporre suggerire possibili migliorie tecniche sulla scorta di reali esperienze di incidenti che hanno visto coinvolte nelle attività di soccorso squadre del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

## **2. ANALISI DI TRE CASI DI INCIDENTE COINVOLGENTI TRASPORTI DI IDROGENO IN PRESSIONE.**

In questa parte sono stati analizzati in breve tre incidenti stradali che hanno coinvolto trasporti di idrogeno in pressione. Sono inoltre stati descritti gli interventi eseguiti dalle squadre di soccorso intervenute per il contenimento dell'incidente. Gli incidenti sono avvenuti in Italia durante l'anno 2003 e 2004.

### **2.1 INCIDENTE AUTOSTRADALE DI CESSALTO DEL MARZO 2003**

L'incidente autostradale in questione è avvenuto in data 12/03/04 ed ha visto coinvolti all'interno di un lungo tamponamento di mezzi anche un carro bombolaio che trasportava gas idrogeno in pressione. I tamponamenti a catena sono avvenuti lungo la A4 corsia ovest tra i caselli di Cessalto e Noventa altezza dell'area di servizio "Calstorta".

Per descrivere meglio la complessità dell'intervento e le difficoltà incontrate dalle squadre di soccorso si riporta in breve questa sintesi della cronologia dell'incidente:

*Ore 07.07* Viene dato l'allarme alla sala operativa del 118 SUEM ASL 12 Mestre VE, per incidente stradale in A4 corsia sud (VE>TS) altezza del Km 32 con il coinvolgimento di persone, che invia sul posto autolettighe dell'ospedale di S. Donà di Piave.

*Ore 07.12* La sala operativa del 118 informa la sala operativa del 115 VVF di Mestre VE, che personale e mezzi 118 dell'ASL 10 di S. Donà di Piave VE si sta portando in A4 corsia sud (VE verso TS)

altezza del Km 32 per incidente stradale (tamponamento di vari veicolo), che richiedano l'intervento di personale VVF per prestare soccorso alle persone intrappolate nelle auto.

*Ore 07.20* Viene inviato il nucleo chimico VVF per verificare eventuali coinvolgimenti di mezzi contenenti merci pericolose.

*Ore 07.23* La squadra VVF di S. Donà di Piave entra in autostrada dal casello di Noventa di Piave, arriva sul posto e si trova tutte le corsie, anche la corsia di emergenza, ostruite dai mezzi incidentati. Il responsabile della squadra decide di effettuare il soccorso alle persone incastrate utilizzando l'attrezzatura idonea per incidenti stradali.

*Ore 07.25* Il 118 comunica alla sala operativa 115 che si sono verificati numerosi tamponamenti nella corsia ovest in corrispondenza dell'area di servizio "Calstorta".

*Ore 07.34* Un automobilista rimasto coinvolto nel tamponamento nella corsia ovest, comunica, che era uscito dal mezzo, e si trovava in zona sicura, notava un grosso incendio che coinvolgeva oltre che ad un autoarticolato con serbatoi per il trasporto gas anche i cavi di una linea di alta tensione. Sotto il carro bombole sono incastrati altri veicoli.

*Ore 08.15* Arriva sul posto la squadra di intervento chimico VVF. Via radio viene data la comunicazione che per raggiungere il luogo dell'incidente nella corsia ovest altezza dell'area di servizio "calstorta" sera stato aperto un varco nella parte posteriore dell'area di servizio, e quindi si effettuava un percorso esterno all'autostrada entrando dal varco segnalato via radio, durante il percorso si nota una notevole coltre di fumo che si alzava dall'autostrada.

All'arrivo sul posto della squadra di intervento chimico la situazione era la seguente: il carro bombolaio era avvolto da notevole fumo denso, la parte posteriore dove si vedeva che delle autovetture erano incastrate nella parte posteriore del carro bombolaio e vi era ancora in atto l'incendio, con notevole sviluppo di fiamma. Nella parte destra era posizionato un autotreno carico di autovetture, il rimorchio aveva le ruote che si trovavano all'altezza delle ruote motrici del trattore del carro bombolaio, tra questi due mezzi vi erano due autovetture incastrate.

### **Intervento squadre di soccorso**

Le squadre del comando di Treviso (prime intervenute sul luogo dell'incidente) hanno deciso di eseguire lo spegnimento e il raffreddando del carro bombolaio con operatori posizionati in parte dietro al guard-rail e in parte nel fossato laterale in posizione protetta. Il livello di rischio è stato piuttosto elevato, in quanto non riuscendo a conoscere la pressione delle bombole non è stato possibile capire se si trattava di bombole cariche 200 bar e/o vuote a 10/15 bar".

Dalle informazioni ricevute dal responsabile delle squadre VVF di Treviso e a seguito del fatto che vi era una notevole coltre di fumo si decideva di procedere ad una verifica attraverso l'ausilio di una termocamera, effettuando le seguenti operazioni:

1. Verifica jet-fire di idrogeno;
2. Verifica temperature ed eventuale deformazioni dei contenitori.

Dal controllo si riscontrava che in prossimità delle valvole dei contenitori più bassi vi era fiamma, e quindi si era evidenziato che l'idrogeno che fuori usciva stava bruciando. Dal controllo si notava nel lato destro in corrispondenza delle ruote motrici del trattore i contenitori erano deformati.

Constata la deformazione dei contenitori è stato deciso di dare la massima priorità ad effettuare il raffreddamento nel punto di deformazione.

La ditta proprietaria del mezzo, attraverso il consulente per la sicurezza dei trasporti ha comunicato che la pressione dei contenitori era di circa 10/15 bar al momento in cui si era verificato l'incidente.

Attraverso altre verifiche effettuate sempre mediante l'impiego della termocamera si notava che un contenitore nel punto della deformazione presentava una fessurazione longitudinale lunga circa 10 cm.

Il jet-fire presente in corrispondenza delle valvole del contenitore è stato continuamente monitorato attraverso termografia, detta operazione serviva a verificare la variazione della lunghezza del dardo in base alla diminuzione della pressione, al momento in cui il jet-fire era ridotto di potenzialità e si trovava vicino al corpo di valvola si è deciso di procedere allo spegnimento definitivo.

L'operazione di spegnimento è stata effettuata con l'ausilio di due getti d'acqua incrociati e attraverso la termocamera è stato monitorato la definitiva estinzione della fiamma. A seguito dell'incidente è stato verificato che uno dei serbatoi presentava una rottura completa in corrispondenza della sezione anteriore ( fig. 2).



Fig.1 Il carro idrogeno dopo l'incidente



Fig.2 Particolare della bombola soggetta a rottura per effetto combinato pressione interna-temperatura.

## **2.2 INCIDENTE STRADALE PRESSO SERRAVALLE PO (MANTOVA) DEL FEBBRAIO 2004**

L'incidente ha coinvolto un carro bombolaio che è uscito di strada in una zona di campi e all'arrivo delle squadre di soccorso risultava adagiato su un lato. A seguito dell'urto con il terreno che aveva coinvolto anche la parte posteriore del mezzo si era verificata la rottura dell'asta di manovra di una valvola di chiusura/apertura di uno dei serbatoi. Il serbatoio interessato era quello posizionato nella fascia bassa in posizione centrale. La rottura del perno provocava una consistente perdita di idrogeno. Tutte le bombole erano cariche ad una pressione di 200 barg.

Le squadre di soccorso hanno provveduto ad intercettare la perdita riuscendo ad agire sullo stelo della valvola ed hanno messo in sicurezza il trasporto dopo aver verificato la chiusura di tutte le altre valvole delle bombole. Tramite termocamera è stata verificata la temperatura dei contenitori ed è stata esclusa la possibilità di surriscaldamenti a seguito dell'incidente. Il corpo delle bombole risultava integro senza altre perdite.

Non è stato possibile eseguire il travaso del prodotto, né il suo eventuale scarico controllato in aria in quanto non era possibile agire sulla valvola incidentata con sufficiente livello di sicurezza.

Si è pertanto provveduto al recupero del rimorchio, anche se ancora completamente carico, e del trattore mediante autogrù. Data la mancanza di punti di ancoraggio in corrispondenza del carro bombolaio è stato deciso il sollevamento ancorando le fasce in corrispondenza degli agganci del telaio per l'alloggiamento delle bombole. Il mezzo è stato quindi trasportato presso il produttore che ha provveduto al ripristino della valvola, allo svuotamento e la conseguente bonifica dei contenitori.

Di seguito sono riportate alcune foto che illustrano l'incidente e le fasi di sollevamento del rimorchio.



Fig. 2 Rottura valvole di testa delle bombole del carro



Fig. 4 Operazioni di imbracatura e sollevamento del carro bombolaio.

### **2.3 INCIDENTE STRADALE COINVOLGENTE TRASPORTO PACCHI BOMBOLE PRESSO PISTOIA**

Questo incidente è avvenuto in data 23/12/03 sulla SS66 in località Borghetto ed ha coinvolto un automezzo che trasportava alcuni pacchi bombole contenenti idrogeno che a seguito della rottura delle cinghie di fissaggio sono caduti sulla sede stradale. La squadra intervenuta ha verificato che da un camion in transito erano cadute sulla sede stradale complessivamente 63 bombole dalla capacità di 50 litri ciascuna e contenute all'interno di 3 cestelli metallici; gran parte delle bombole, 43 in totale, ribaltando ed urtando sull'asfalto si erano danneggiate.

La rottura del collettore del pacco bombole unito al fatto che alcune valvole sulle bombole erano aperte o danneggiate dalla caduta ha provocato un rilascio di gas che ha dato origine ad un accumulo in aria.

Alcuni istanti più tardi probabilmente per effetto dovuto ad un innesco causato da una scintilla o da altra parte estremamente calda (componenti di motore) è avvenuta una deflagrazione con conseguente sviluppo di onda d'urto che causava consistenti danni al veicolo che seguiva l'autocarro e alle vetrate di una abitazione posta nelle vicinanze

#### **Intervento squadre di soccorso.**

Le squadre hanno provveduto a sistemarsi in posizione il più possibile protetta e contemporaneamente iniziavano le operazioni di raffreddamento delle bombole con getti di acqua nebulizzata. Contemporaneamente si provvedeva all'evacuazione di due operai che stavano lavorando alla ristrutturazione dell'edificio danneggiato dall'esplosione. La strada è stata chiusa al traffico. Successivamente sul posto sono giunte altre due autobotti e un operatore munito di termocamera per il monitoraggio delle bombole incidentate.

La termocamera ha permesso di stimare la temperatura delle bombole e quindi guidare le operazioni di raffreddamento per evitare aumenti di temperatura locali.

Verificata l'assenza di altre perdite e conseguentemente la mancanza di altri pericoli immediati è stato deciso di procedere allo svuotamento delle bombole ancora piene avendo cura di confinare il rilascio con getti di acqua nebulizzata.



Fig. 5 Pacchi bombole caduti sulla sede stradale. Si nota il completo collasso delle strutture metalliche di contenimento

### **3. ANALISI TECNICA DEGLI INCIDENTI**

La seguente analisi è stata condotta andando a porre in evidenza quegli elementi che hanno comportato condizioni di rischio durante l'incidente e in particolare nei confronti della popolazione e delle attività in

prossimità del luogo dell'incidente. Sono stati evidenziati anche i rischi delle stesse squadre di soccorritori che hanno risolto questi interventi.

### **3.1 INCIDENTE AUTOSTRADALE DI CESSALTO MARZO 2003**

Dalla analisi dell'incidente sono emerse i seguenti fattori che possono essere fonte diretta o indiretta di rischio:

#### **1. Mancanza di apparecchiature di valutare la pressione all'interno del carro.**

Il problema della valutazione della pressione all'interno delle bombole è di importanza fondamentale per la valutazione del rischio e quindi per l'impostazione di tutte le operazioni necessarie per la messa in sicurezza dello scenario. Con gli attuali carri bombolai spesso non è possibile in condizioni incidentali riuscire fare una valutazione della pressione interna e conseguentemente del grado di riempimento dei serbatoi.

Tale problema è dovuto al fatto che i manometri di misura installati sulla teste delle bombole costituiscono gli elementi più fragili del sistema e quindi oltre ad essere completamente invisibili ad una certa distanza sono anche le prime apparecchiature che subiscono rotture. Inoltre tali strumenti sono installate in punti che normalmente durante il viaggio sono coperti dalle pennellature posteriori del mezzo.

#### **2. Mancanza di protezione nella parte posteriore del carro.**

Il carro non presenta nella parte posteriore, laddove sono presenti tutte le valvole di carico/scarico nonché le tubazioni di raccordo, le valvole finali del collettore –generalmente 2 valvole successive ad alta pressione- e una valvola con attuatore pneumatico per comando a distanza e tutti i manometri per il controllo del grado di riempimento delle bombole, una struttura in grado di preservare queste apparecchiature durante un evento incidentale (ad esempio tamponamento stradale con altri veicoli). In pratica è prevista solo una protezione in lamiera la cui funzione è quella di impedire accessi nella zona valvole oltre che proteggere la struttura da fenomeni meteorologici.

Eventuali urti nella parte posteriore possono portare a fuoriuscite di prodotto e nei casi più gravi la rottura delle valvole delle bombole può impedire la chiusura dei circuiti. Le teste delle valvole ad alta pressione con perni in ottone non hanno caratteristiche di resistenza sufficienti in caso d'urto. I problemi si aggravano nel caso in cui al momento dell'urto si sviluppi un incendio, in questo caso l'innesco del gas in pressione può portare alla formazione di jet fire che possono portare al rapido degrado dei circuiti di distribuzione.

#### **3. Mancanza di un sistema meccanico che permetta la chiusura contemporanea delle valvole del carro.**

Ogni bombola è dotata di un sistema di chiusura manuale tramite valvole proporzionali con otturatore in ottone ed elemento di tenuta in teflon. A valle le valvole sono riunite in un collettore sul quale vengono montate due valvole manuali di chiusura. Secondo la normativa tutte le valvole durante il trasporto deve essere poste in posizione di chiusura. Al momento attuale non è però presente un sistema di controllo meccanico che permette di controllare automaticamente l'effettiva chiusura delle valvole. Quindi può verificarsi che il collettore finale risulti in pressione per effetto della mancata chiusura di una o più valvole situate sulla testa delle bombole. Tale situazione può essere fonte di rischio in particolare se si considera anche il fatto che le tubazioni del collettore non sono adeguatamente protette in caso d'urto e quindi facilmente possono verificarsi rilasci.

#### **4. Mancanza di protezione tra le ruote in gomma e le bombole.**

Nel carro bombolaio la parte con carico d'incendio maggiore (tra l'altro costituisce una delle poche parti combustibili) è costituita dai pneumatici. Inoltre data la configurazione di trasporto, particolare peso sul valore del carico d'incendio complessivo è rivestita dal trattore con pneumatici e i tank del gasolio. Durante l'incendio che si è sviluppato a seguito dell'incidente stradale esaminato, le parti termicamente più sollecitate sono risultate le parti anteriori delle bombole del carro. La sollecitazione termica è stata tale che anche se la pressione iniziale interna dell'idrogeno non superava i 10 bar si è generato il collasso di uno dei serbatoi con fessurazione orizzontale. Date le condizioni di carico è quindi ipotizzabile una sollecitazione termica decisamente importante almeno su quel tratto di serbatoio (fig.2).

### **3.2 INCIDENTE STRADALE MANTOVA FEBBRAIO 2004**

Dall'analisi di questo incidente sono emersi i seguenti elementi di rischio:

### **1. Mancanza della protezione laterale ai corpi valvola e tubi di collegamento tra i contenitori.**

La parte posteriore del mezzo che contiene tutto il sistema idraulico (valvole di intercetto, manometri e collettori) non è provvista di un sistema di protezione realmente efficiente in grado di proteggere da urti. Tale situazione è valida sia nei confronti di urti posteriori che di urti laterali.

### **2. Mancanza dei punti necessari per il sollevamento del carro durante le fasi di recupero del mezzo.**

In caso di incidente con carro idrogeno fuori della sede stradale oltre alla fase di messa in sicurezza è necessario comunque eseguire il recupero del mezzo. Per questo è necessario nella maggioranza dei casi provvedere a sollevare mediante l'impiego di gru.

Data la difficoltà di travaso del prodotto e l'impossibilità dello scarico in aria a causa della evidente condizione di rischio spesso è necessario eseguire il sollevamento del mezzo a pieno carico.

Tale condizione non è sicuramente la più indicata (generalmente non è prevista in fase di progetto) anche in considerazione del fatto che le strutture portanti del mezzo potrebbero essere danneggiate a seguito degli urti. Il carro bombolaio coinvolto nell'incidente in questione non era dotato di alcun punto di aggancio e non erano indicate in nessun punto eventuali modalità o procedure per il sollevamento.

E' necessario ricordare inoltre che in caso di sollevamento con ancoraggio in punti non corretti l'eventuale rottura o deformazione delle selle di appoggio delle bombole potrebbe causare il distacco della singola bombola con evidenti aggravio di rischio.

### **3.3 INCIDENTE STRADALE PRESSO PISTOIA DICEMBRE 2003**

Dall'analisi di questo incidente sono stati evidenziati i seguenti punti critici relativi al trasporto di pacchi bombole, alcune problematiche sono del tutto simili a quelle emerse per i carri bombolai.

#### **1. Mancanza di un sistema di segnaletica in grado di visualizzare la pressione all'interno del pacco bombole.**

Non è presente alcun dispositivo in grado rendere nota la pressione all'interno delle singole bombole che costituiscono il pacco ne un sistema per poter stimarne la pressione generale. Tale situazione può risultare estremamente pericolosa in caso di incidente in modo particolare per le squadre di soccorso. La pressione interna è un elemento fondamentale che può far variare completamente l'impostazione e la scelta delle procedure di soccorso.

#### **2. Sistema che permetta di visualizzare la chiusura di tutte le valvole poste sulla testa delle bombole.**

Non è presente un sistema meccanico in grado di permette un controllo unico della situazione delle valvole di intercetto montate sulla testa delle varie bombole costituenti il pacco. Pertanto è possibile che una o più valvole risultino aperte e che il collettore generale risulti in pressione con chiusura della sola valvola di intercetto generale. In caso d'urto con rottura della struttura metallica del pacco si possono verificare fuoriuscite delle bombole con rottura del collettore generale e conseguente fuoriuscita di idrogeno.

#### **3. Mancanza di un sistema di blocco meccanico in grado di fissare saldamente il pacco bombole sul pianale del mezzo utilizzato per il trasporto.**

Sul pianale del mezzo coinvolto nell'incidente non sono presenti sistemi di bloccaggio dei pacchi contenenti il gas. Il fissaggio è normalmente eseguito solo mediante l'impiego di cinghie. Attualmente non esiste un sistema standard di fissaggio, questo comporta una completa mancanza di procedure che possano garantire una certa affidabilità specialmente quando il mezzo risulta coinvolto in un incidente.

#### **4. La struttura di contenimento del pacco bombole non garantisce alcuna resistenza strutturale in condizioni di urto a seguito di incidenti.**

Il pacco bombole in seguito a caduta dal pianale ha subito la completa rottura con fuoriuscita delle bombole. La rottura del pacco può generare una situazione di rischio in quanto la separazione delle bombole comporta la rottura del collettore di distribuzione ed eventuale rilascio di gas se le valvole delle bombole non sono in posizione di chiusura. Inoltre la caduta di bombole separate non protette dalla struttura metallica del pacco

può generare urti e lesioni in corrispondenza della valvola di testa (non protetta per le bombole appartenenti ad un pacco) con conseguente rischio di rottura della stessa.

#### **4. PROPOSTE DI MODIFICA DELLE STRUTTURE PER AUMENTARE LA SCIUREZZA DEI TRASPORTI DI IDROGENO IN PRESSIONE.**

Dalla analisi degli incidenti descritti sono emerse una serie di problematiche relative alla sicurezza del trasporto di gas infiammabili in pressione. Sulla scorta di queste esperienze si è cercato di dare indicazioni per il progetto e la realizzazione di modifiche tali da rendere più sicure le condizioni incidentali.

Le situazioni più urgenti che sono state esaminate sono le seguenti:

##### **1. Necessità di sviluppare un sistema con cui poter valutare la pressione interna ai serbatoi.**

Tale informazione è particolarmente importante ai fini della scelta del tipo di intervento da effettuare nel caso in cui risulti necessario organizzare un intervento di soccorso. Infatti il rischio di rilascio di gas ed eventuale rottura delle bombole per sovrappressione è sicuramente determinata in gran parte dalla pressione interna del gas.

I manometri posti sulla testa di ciascuna valvola non permettono di avere un quadro della situazione durante un evento incidentale infatti permettono di conoscere la pressione solo quando le valvole sono aperte, non sono visibili in alcun modo mantenendosi ad una ragionevole distanza di sicurezza sia per la loro posizione che per le effettive dimensioni e costituiscono inoltre un forte elemento di debolezza strutturale del circuito.

In alternativa è necessario pensare ad individuare un sistema di facile lettura a distanza come ad esempio un sistema di pennellature esterne in aggiunta a quelle esistenti posizionate possibilmente in un luogo riparato e possibilmente in gradi di resistere ad urti e incendi.

Tale suggerimento può essere estesa in generale tutti i sistemi di distribuzione gas in pressione, particolarmente importante potrebbe risultare la caratterizzazione dei pacchi bombole. Anche in questo caso potrebbe essere valutata la possibilità di posizionare pannelli informativi esterni.

##### **2. Necessità di realizzare pacchi bombole con adeguate caratteristiche di resistenza strutturale e dotati di strutture per il corretto ancoraggio sul pianale dei mezzi.**

La possibilità di cadute di pacchi bombole da pianali di automezzi è una eventualità abbastanza frequente in condizioni incidentali, per tale motivo è necessario realizzare strutture in grado di resistere ad eventuali impatti con il terreno al fine di riuscire a garantire almeno il contenimento delle bombole interne. E' necessario pertanto pensare a valutare dei programmi di prova e collaudo e quindi progettare e certificare le strutture metalliche dei pacchi secondo questi parametri. Deve essere prevista una indicazione sul pacco della avvenuta certificazione. Inoltre dovrebbero essere riviste le strutture metalliche in modo tale da prevedere punti di aggancio stabile al pianale del mezzo, eventualmente potrebbe essere impiegato un sistema di aggancio con perni montati sul pianale e aggancio sul pacco con un sistema a baionetta. Anche il sistema di fissaggio dovrebbe essere certificato in base a procedure di collaudo.

##### **3. Necessità di prevedere un sistema di protezione incendio delle bombole sui carri bombolai.**

Nell'incidente avvenuto presso Cessalto si è riscontrato il problema della separazione tra il materiale combustibile e il castello delle bombole sovrastante. Al fine di ridurre l'impatto termico sui serbatoi sarebbe necessario garantire la disposizione di un piano di isolamento fireproof. In questo modo si potrebbe impedire almeno l'azione diretta delle fiamme sul mantello dei serbatoi ed avere quindi riscaldamenti localizzati particolarmente pericolosi per la resistenza strutturale.

Tale piano dovrebbe essere interposto nella zona sovrastante le ruote del trattore (zona ralla) e nell'area sopra la coppi di assi posteriore.

##### **4. Necessità di prevedere un sistema di sollevamento del carro bombolaio.**

Data la particolare struttura del carro sarebbe necessario prevedere un sistema adeguato per il sollevamento del mezzo. In particolare tali punti di ancoraggio dovrebbero essere collocati in zone il più possibile protette da urti ed essere progettati anche per il sollevamento del mezzo contenente internamente ancora prodotto. La

necessità di sollevare il mezzo ancora carico è importante viste le difficoltà di travaso del prodotto ed i rischi che si possono avere nel liberare idrogeno in aria.

#### **5. Necessità di prevedere un sistema di protezione della parte posteriore del carro.**

La parte posteriore del carro costituisce l'area più delicata della struttura del rimorchio, sono infatti presenti tutti i gruppi valvolari, i collettori e i manometri. Questa parte richiede pertanto un sistema di protezione più efficace di quella presente attualmente in grado di proteggere i componenti in caso d'urto come ad esempio tamponamento altri veicoli, ribaltamenti, etc.....

La protezione dovrebbe possibilmente essere estesa anche ai fianchi laterali del mezzo per evitare sfondamenti o rotture che possano portare a danneggiamenti delle parti laterali del circuito di distribuzione e controllo.

#### **6. Necessità di prevedere un sistema meccanico in grado di garantire la chiusura valvole durante il trasporto.**

Tale necessità si avverte sia per i carri bombolai che per i pacchi bombole. L'apertura o chiusura delle valvole è lasciata unicamente alle procedure dell'operatore o dell'utilizzatore del gas. In varie occasioni è stato riscontrato che alcune valvole sono rimaste aperte e il collettore in pressione aumentando i rischi di rilascio per le scarse capacità di resistenza strutturale in caso di incidente. Per ridurre questi rischi dovrebbe essere previsto un sistema di blocco delle valvole che risulti obbligatoriamente inserito durante il trasporto. Tale sistema dovrebbe essere realizzato in modo tale da poterne verificare l'attivazione anche ad una certa distanza rispetto al mezzo in posizione di relativa sicurezza.

### **5. CONCLUSIONI**

Il trasporto di grandi quantità di gas compresso ad alte pressioni comporta rischi sia per le conseguenze dell'eventuale incidente che per le squadre di soccorso che hanno il compito di risolvere eventuali situazioni di emergenza.

Tali problematiche sono evidentemente ancora più importanti nel caso in cui il gas risulti essere un combustibile e quindi si possa verificare la possibilità di un innesco.

E' inoltre necessario aggiungere che questi rischi potrebbero anche aumentare in futuro nel caso in cui si dovesse prevedere la realizzazione di bombole o serbatoi con pressioni interne fino a 700 bar contro i 200 bar attuali.

Questa memoria, il cui obiettivo è quello di limitarsi ad elencare alcuni spunti di riflessione tratti dalla esperienza diretta di squadre di soccorso dei Vigili del Fuoco operanti in Italia, dimostra che nelle attuali condizioni esistono comunque margini di miglioramento delle condizioni di sicurezza mediante applicazione di accorgimenti che in alcuni casi oltre ad essere tecnicamente fattibili comportano un aggravio di spesa sul mezzo finito abbastanza contenuto.

Si fa notare inoltre che alcune di queste soluzioni sono già state adottate in altre nazioni tra cui alcune Europee.

I vantaggi che potrebbero derivare dall'impiego di nuove soluzioni dovrebbero essere a nostro avviso piuttosto consistenti.

Inoltre è necessario ricordare che in aggiunta a quanto indicato molti vantaggi in favore di sicurezza potrebbero derivare dalla realizzazione di un sistema di controllo su scala nazionale degli automezzi con carichi di merce pericolosa: un sistema di questo tipo dovrebbe rendere più rapida e sicura tutta la fase di identificazione del carico e delle relative caratteristiche.

### **6. RINGRAZIAMENTI**

Desideriamo ringraziare il Comando VVF Provinciale di Pistoia e in particolare il sig. Vestrucci per la fornitura di materiale e la fornitura di informazioni relative all'incidente di Pistoia. Per lo stesso motivo si ringrazia il Comando Provinciale VVF di Venezia e Treviso.