

Paolo Maurizi

Esplosione di un autobus di linea urbana

Da un evento che avrebbe potuto provocare una strage, sono emerse carenze a livello normativo, sia nazionale che internazionale, sull'utilizzo del gas metano come autotrazione, in particolare sull'alimentazione degli autoveicoli

DESCRIZIONE DELL'EVENTO

Il giorno 27 luglio 2003, è scoppiata improvvisamente una delle otto bombole poste sul tetto di un autobus di linea urbana, di proprietà della società Brescia trasporti spa.

Sull'autobus fortunatamente non erano presenti passeggeri e l'autista del mezzo ha riportato lievi escoriazioni.

Lo scoppio ha provocato la frammentazione della bombola con proiezione di parti metalliche anche a rilevante distanza, provocando danni alle abitazioni circostanti. Lo scoppio ha provocato, inoltre, lo sfondamento del tetto dell'autobus, la rottura di gran parte dei vetri, lo sfondamento delle porte, la distruzione di gran parte degli arredi interni e la proiezione a distanza della copertura delle bombole e delle due bombole adiacenti a quella esplosa.

L'INTERVENTO

Una squadra dei vigili del fuoco del locale comando, prontamente intervenuta sul luogo, constatata l'assenza di combustione, ha effettuato le seguenti operazioni di messa in sicurezza:

- chiusura manuale delle bombole di gas metano;
- trasporto delle bombole dal luogo di ricovero momentaneo (deposito della Società Brescia Trasporti SPA) in un campo da calcio, dove si è provveduto a svuotarle, dopo aver misurato la pressione del gas;
- prelevamento di campioni di gas.

Dati tecnici dell'autobus

L'autobus faceva parte di una flotta di 34 veicoli modello 491 E CNG di fabbricazione italiana, immatricolati nel luglio 2001.

La lunghezza è di 12 m e la larghezza 2,5 m.

Il collaudo bombole è stato effettuato nel novembre 2003 e la scadenza è a novembre 2015.

Sull'autobus è installato un impianto di alimentazione a metano che risulta provvisto di n. 8 serbatoi di costruzione italiana, da 140 litri cadauno, con peso medio di 95 kg cadauno.



Esplosione di un autobus di linea urbana

ESAME DEI REPERTI

Dall'esame dei reperti sono state rilevate alcune abrasioni in corrispondenza delle sommità delle bombole, che hanno un rivestimento di matrice polimerica rinforzata con fibre di vetro, da mettere in relazione ad una interferenza anomala fra la copertura del tetto in corrispondenza delle nervature longitudinali e le bombole stesse.

Gli accertamenti hanno consentito di rilevare assenza di residui di combustione o di passaggio di fiamme nell'intorno dello squarcio della bombola collassata, in corrispondenza dei materiali a vista che potevano conservare traccia di fiamme conseguenti alla combustione di metano.

È stata quindi misurata la pressione residua del metano rimasta all'interno delle cinque bombole sull'autobus ottenendo valori pari a 77 bar circa per tutte.

CONTROLLI EFFETTUATI SUGLI ALTRI AUTOBUS A METANO

Si è proceduto ad un accertamento tecnico su tutto il lotto di veicoli a metano analoghi a quello oggetto dell'incidente. E' stata misurata la pressione del metano presente in tutte le bombole installate sui rimanenti 33 autobus, riscontrando le seguenti condizioni anomale:

■ autobus n. az. 605, bombola matr. 00/5601/185, pressione misurata 275 bar

■ autobus n. az. 607, bombola matr. 00/5601/030, pressione misurata 280 bar

La temperatura del liner di acciaio delle bombole era di circa 29 °C.

Per le altre bombole montate sugli stessi autobus



Esplosione di un autobus di linea urbana

si sono riscontrate pressioni fra loro uguali e congruenti con il consumo di metano conseguente al loro impiego prima della fermata.

Considerato che gli autobus erano tutti fermi dal giorno dell'incidente, le condizioni riscontrate corrispondono ad una situazione di equilibrio per il metano contenuto nelle bombole, motivo per il quale la temperatura del gas può essere a ragione ritenuta pari a quella del contenitore in cui è contenuto.

Ne consegue che alla condizione riscontrata di circa 280 bar a circa 29 °C, corrisponde un contenuto di metano all'interno della bombola in equilibrio con la condizione di carica a 220 bar ed a -8 °C.

La condizione di pressione anomala riscontrata all'interno delle bombole degli autobus n. az. 605 e 607, può essere ragionevolmente correlata allo scoppio della bombola sull'autobus incidentato.

ESECUZIONE DI PROVE SU ALCUNE BOMBOLE

Dalle prove eseguite sulla bombola scoppiata è risultato che l'acciaio con cui è stata fabbricata è conforme alle prescrizioni normative.

Dalle prove di scoppio si è rilevato che la media dei valori riscontrati (pari a 526 bar) appare inferiore a quella riscontrata sulle bombole nuove di fabbricazione dello stesso lotto (media 551 bar); tale diminuzione sembrerebbe potersi correlare con le difettosità riscontrate sul rivestimento composto o con un suo degrado avvenuto nel tempo.

Le bombole sottoposte a prova di scoppio sono state:

- n. 2 bombole dell'autobus incidentato
- n. 2 bombole con carica anomala
- n. 2 bombole contigue a quelle con carica anomala e asservite allo stesso magnetotermico.

Prima di eseguire la prova di scoppio, è stato recuperato l'olio contenuto in ogni singola bombola e proveniente dalla compressione del metano durante i rifornimenti, riscontrando che le due bombole con eccessiva pressione avevano una modesta quantità di olio che fa presupporre che l'elettrovalvola non fosse funzionante da lungo periodo.

ESECUZIONE DI PROVE DI RIFORNIMENTO

Dalle prove eseguite si è verificato il rispetto delle prescrizioni del costruttore degli autobus al momento del rifornimento per quanto riguarda il controllo della pressione e della temperatura.

CONSIDERAZIONI SULL'EVENTO

L'esame delle superfici di frattura della bombola, condotto visivamente, ha permesso di effettuare le seguenti osservazioni:

a. non sono presenti cricche di fatica

b. non sono presenti cricche preesistenti alla messa in servizio o altri difetti macroscopici dell'acciaio (ripiegature, inclusioni di scoria, ecc.)

c. non sono presenti superfici di frattura cristalline e lucenti (fratture fragili per clivaggio o per distacco intergranulare)

L'analisi dettagliata della morfologia delle fratture porta quindi a concludere che la rottura del liner della bombola è avvenuta per sovrappressione interna, non essendo presenti segni di fenomeni che avrebbero potuto provocare una rottura prematura a pressioni più basse.

Il fatto che nella bombola scoppiata la pressione possa essere salita a valori elevati per semplice effetto fisico dovuto all'aumento della temperatura a volume costante del metano, può essere ragionevolmente ricostruito ipotizzando che anche per tale bombola si siano realizzate condizioni anomale quali quelle riscontrate per altre due bombole installate sul parco autobus della Brescia Trasporti nel corso dell'accertamento tecnico.

Le condizioni riscontrate per le bombole con pressione anomala sugli autobus 605 e 607 (circa 280 bar a 29 °C), al crescere della temperatura, possono portare la pressione fino a raggiungere 300 bar a 50 °C e 350 bar a 70 °C.

Il giorno dell'incidente la temperatura ambiente era particolarmente elevata e questo porta a ritenere che, anche per effetto della colorazione nera del tetto, della mancanza di aerazione, del contributo dei solenoidi delle elettrovalvole (circa 200 W), la temperatura all'interno del vano di alloggiamento delle bombole, possa essere salita anche per periodi prolungati, a valori piuttosto alti (occasionalmente, su autobus fermi parcheggiati al sole si sono misurati valori fino ad oltre 75 °C).

Si deve pertanto concludere che il flusso di gas fosse impedito verso l'esterno e consentito solo verso l'interno o per blocco dell'elettrovalvola o per mancanza di alimentazione elettrica. In tali condizioni la bombola può essere caricata, ma il metano non può uscire da essa.

Il caricamento ripetuto di una bombola con elettrovalvola non funzionante porta pertanto ai seguenti eventi:

nel corso del primo caricamento (partendo pertanto da bombola pressoché vuota) il gas viene compresso a 220 bar e la temperatura si innalza ragionevolmente intorno ai 40 °C; completato il rifornimento, il gas progressivamente si raffredda e la pressione diminuisce.

Al secondo caricamento essendo l'elettrovalvola

Esplosione di un autobus di linea urbana

bloccata, il gas non è uscito e al metano già presente ne viene aggiunta una ulteriore quantità e la temperatura che si raggiunge risente in maniera decisa della temperatura del gas già presente e pertanto si raggiungeranno temperature inferiori a quelle del primo caricamento.

■ Reiterando il processo più volte e caricando ogni volta una piccola quantità di gas, ovviamente via via sempre inferiore, si arriverà ad ottenere una condizione di equilibrio fra la massa del gas (che non verrà più incrementata da ulteriori caricamenti), la pressione (quella di caricamento pari a 220 bar) e la temperatura (che sarà quella del gas prima del caricamento e quindi pari a quella ambientale).

La ricostruzione degli eventi sopra riportata permette di dimostrare che, in una bombola con elettrovalvola bloccata, la quantità di gas che si riesce ad introdurre con successivi caricamenti è quella in equilibrio con la temperatura minima raggiunta nel periodo.

Il caricamento di una bombola con elettrovalvola bloccata effettuato ripetutamente con temperature di -8 °C (temperatura raggiunta in inverno a Brescia) permette di caricare una quantità di gas, che a temperature di oltre 75 °C (temperature raggiunte dalla bombole nel luglio 2003), ha indotto nella bombola scoppiata pressioni superiori a 350 bar.

Siccome tutte le bombole scoppiano a pressioni superiori a 501 bar, è necessario effettuare una ulteriore ipotesi per rendere ragione dell'incidente accaduto, ed in particolare l'ipotesi che sia intervenuto un danneggiamento del materiale composito tale da non garantire il suo totale contributo alla resistenza della bombola alla pressione interna.

Il materiale composito con cui è rivestito il liner di acciaio è costituito da una matrice polimerica in resina poliestere isoftalica rinforzata con fibra di vetro di tipo E, e tale materiale può andare soggetto ad un degrado se mantenuto sotto carico costante (rappresentato dalla pressione interna) ed a temperature superiori ad un certo limite.

Non per nulla, infatti, nella specifica tecnica riportata nelle prove di omologazione delle bombole secondo la normativa EN12257 viene prescritto che la temperatura di esercizio della bombola deve essere compresa fra -20 °C e +50 °C.

CAUSE DELL'EVENTO

L'incidente è stato causato dallo scoppio di una bombola per effetto di una sovrappressione interna.

Per una più facile comprensione della concatenazione delle cause si riassume sinteticamente la sequenza degli eventi:

- a.** l'elettrovalvola della bombola si blocca per malfunzionamento o interruzione del circuito elettrico;
- b.** con l'elettrovalvola bloccata la bombola non partecipa all'alimentazione del combustibile ma può essere caricata;
- c.** nelle condizioni di carica anomala (-8 °C a 220 bar) la bombola nell'estate 2003 ha potuto raggiungere pressioni fino a circa 390 bar, la temperatura del gas all'interno ha potuto raggiungere una temperatura di 75 °C (o pressioni superiori se la temperatura è salita oltre tale livello);
- d.** i materiali polimerici sono soggetti al fenomeno dello scorrimento viscoso se mantenuti sotto sollecitazione costante a temperature superiori ad un determinato limite e con matrice polimerica in grado di deformarsi plasticamente per scorrimento viscoso, si possono determinare condizioni di eccessiva deformazione o rottura locale di fibre con un abbassamento della pressione necessaria per determinare lo scoppio della bombola.

L'evento occorso all'autobus di Brescia dovrà far rivedere le attuali soluzioni tecniche di progettazione ed installazione in modo da innalzare lo standard di sicurezza. Le migliori e indispensabili dovranno essere:

- a.** controllo del funzionamento delle elettrovalvole
- b.** mantenimento delle temperatura delle bombole a valori "non pericolosi".

Per quanto sopra la società Brescia trasporti spa ha nel frattempo predisposto i seguenti interventi su ogni autobus:

- 1.** modifica del tettuccio di copertura delle bombole in modo da creare una certa ventilazione adottando tuttavia soluzioni che impediscano l'ingresso dell'acqua;
- 2.** verniciatura del tettuccio delle bombole in colore chiaro;
- 3.** montaggio di un sensore di temperatura nel vano bombole, tarato alla temperatura massima sopportabile dalle bombole installate;
- 4.** controllo del funzionamento delle elettrovalvole con dispositivo elettronico di prova giornaliera.

