

FOCUS INGEGNERIA FORENSE



Incendi ed esplosioni

Analisi di un caso reale risolto con l'approccio dell'Ingegneria Forense

DI LUCA MARMO*
E FABRIZIO MARIO VINARDI**

Alla fine del 1700 il genio di Alessandro Volta non solo inventò la "pila", ossia il primo generatore elettrico, sovrapprendendo dischetti di rame-zinco e panno imbevuto di una soluzione acida, ma fece anche una importantissima scoperta: l'aria infiammabile nativa delle paludi, un gas naturale che è entrato a far parte della vita quotidiana domestica con il nome di metano. Oggi il gas metano viene distribuito capillarmente nelle case attraverso la rete cittadina e rappresenta il 93% dei gas impiegati per riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e cottura dei cibi (il restante 7% è costituito da GPL - Gas di Petrolio Liquefatto, che viene consegnato in bombole oppure stoccato in appositi serbatoi per le zone non raggiunte dalla rete dei gasdotti).

Il metano è un idrocarburo che esiste abbondantemente in giacimenti sotterranei naturali, mentre il GPL è una miscela di idrocarburi a tre e quattro atomi di carbonio (propano e butano), solitamente ottenuto durante i processi di raffinazione per il trattamento del petrolio grezzo; tutti sono gas inodori, incolori e insapori, non tossici ma asfissianti, oltre che facilmente combustibili ed esplosivi; pertanto - per evidenti ragioni di sicurezza - per l'uso domestico vengono opportunamente "odorizzati" con composti chimici che vengono percepiti all'olfatto come un odore acre e pungente, che ne permette una immediata rilevabilità. Da segnalare però che, in caso di assuefazione per aver ad esempio dormito durante una fuga di gas ossia in presenza di patologie conclamate, è possibile che l'odorizzante non venga percepito, con tutte le conseguenze del caso. Nonostante questa cautela e l'ampia normativa del CIG - Comitato Italiano Gas che ne regola l'impiego e utilizzo, metano e GPL costituiscono la principale causa di incendi ed esplosioni domestiche, non solo per l'evidente motivo della elevata diffusione, ma anche perché i gas sono sostanze volatili che tendono a espandersi indefinidamente, raggiungendo quindi con facilità punti in cui possa crearsi

un innesco (una fiamma, una scintilla, ...) ossia l'energia sufficiente perché possa iniziare il fenomeno di combustione; nello specifico, il metano è più leggero dell'aria e quindi tende a stratificare in alto, mentre il GPL è più pesante e stratifica a pavimento.

Come molti sapranno, fortunatamente il pericolo di esplosione si crea solo in un ristretto campo della percentuale di miscelazione aria/gas, definito "campo di infiammabilità" e compreso tra il 5 e il 15% per il metano e tra circa 1,8 e 9,5% per il GPL (il "circa" è d'obbligo perché i limiti dipendono dal rapporto propano/butano del GPL). Ciò significa, in sintesi, che se la miscela è troppo "magra" (inferiore al LEL - Lower Explosion Limit o Limite Inferiore di Esplosività) anche in presenza di innesco non avviene esplosione, mentre se la miscela è troppo ricca (superiore al UEL - Upper Explosion Limit o Limite Superiore di Esplosi-

ività) non c'è ossigeno a sufficienza.

DIFFERENZA TRA INCENDIO E ESPLOSIONE

Dal punto di vista tecnico un incendio e un'esplosione sono il risultato del medesimo fenomeno chimico, ma con modalità e conseguenze diverse. Per meglio comprendere i due fenomeni si deve far riferimento ai concetti di fiamma diffusiva e fiamma premiscelata. L'esempio classico di fiamma diffusiva è quella della candela. I vapori di cera che si liberano dallo stoppino si muovono verso l'aria ambiente. Dove s'incontrano, si sviluppa la fiamma.

L'esempio classico di fiamma premiscelata è la combustione nel cilindro del motore a ciclo otto (benzina): aria e benzina sono miscelate intimamente, l'arco elettrico prodotto dalla candela innesca un fronte di fiamma che si muove rapidamente nella miscela. La velocità della fiamma diffusiva è giocoforza

limitata dai lenti fenomeni di trasferimento (diffusione) del combustibile e del comburente l'uno verso l'altro. La fiamma premiscelata non soffre di queste limitazioni intrinseche e può quindi bruciare molto più rapidamente.

Un incendio è una combustione a fiamma diffusiva con modalità non controllate di un combustibile, che a sua volta è una reazione chimica di ossidazione del combustibile a contatto con un comburente (l'ossigeno presente nell'aria), caratterizzata da velocità moderatamente alta e produzione di energia termica (reazione esotermica). L'esplosione è una combustione che interessa un sistema premiscelato, come tale può procedere a elevatissima velocità e con liberazione di una grande quantità di energia in un tempo molto limitato, con conseguenze non solo dovute al rilascio di calore (ad esempio, la combustione del metano, in condizioni ottimali, può superare i 2.000 °C), ma anche a effetti barici dovuti alla rapida espansione dei gas caldi di combustione. Se, come accade normalmente, l'esplosione avviene in un ambiente confinato come quello costituito da un involucro edilizio, l'onda di pressione che si produce per l'espansione può raggiungere le (circa) 8 atmosfere di pressione e nessuna struttura edilizia civile è progettata per resistere a una simile condizione (indicativamente, le murature di una costruzione possono resistere a 0,05 atmosfere di sovrappressione).

Per far meglio comprendere gli effetti di un'esplosione, consideriamo il caso in cui un certo volume di gas metano o GPL venga fatto bruciare per alcune ore attraverso una fiamma (quindi in modo controllato), generando una certa quantità di energia sotto forma di calore. Se il medesimo volume di gas, invece, viene fatto esplodere, la quantità di energia che si produce è sostanzialmente identica, ma il tempo di combustione si riduce considerevolmente (un valore ragionevole è dell'ordine di 3-4 secondi), per cui l'energia sviluppata nell'unità di tempo - ossia la potenza - cresce enormemente.

Per completezza, consideriamo anche i termini "deflagrazione" e "detonazione": in questo caso, l'accento è sulla rapidità di propagazione del fronte di fiamma della combustione: subsonico per le deflagrazioni (tipicamente dell'ordine di qualche m/s) e supersonico per le detonazioni (la velocità del suono di 340 m/s viene, nel caso di particolari esplosivi solidi e, molto raramente nel caso di gas e vapori, ampiamente superata e può raggiungere valori di migliaia di m/s, con effetti devastanti).

UN CASO REALE: ESPLOSIONE DI GPL IN CIVILE ABITAZIONE

Il caso reale esaminato riguarda la deflagrazione avvenuta in uno stabile di tre piani f.t. e più precisamente, come rilevabile dall'esame dello stato dei luoghi e delle murature pericolanti, all'interno di un alloggio sito al 1° piano dell'ala crollata, provocando il decesso di tre persone: gli occupanti dell'alloggio al 1° piano e una persona al 2° piano. Dalle testimonianze agli atti e dalla perizia necroscopica era emerso come la deflagrazione fosse

avvenuta poco dopo che un abitante dell'alloggio al 1° piano vi aveva fatto rientro.

Gli effetti della violenta deflagrazione hanno portato non solo alla scomparsa dei muri portanti e dei tramezzi, ma anche alla proiezione di tutti gli arredi. Per questo motivo, contrariamente a casi analoghi, come séguito della deflagrazione non si sono sviluppati focolai d'incendio. L'esame visivo permetteva, tuttavia, di notare modeste affumicature in prossimità del pavimento, a testimonianza di una combustione di un gas più pesante dell'aria, accumulato a livello del piano di calpestio: da queste evidenze si è dedotto che la deflagrazione fu provocata da una fuga di GPL e non di metano. Le vittime presentavano gravissimi politraumi e estese ustioni da vampata. Una conferma che si fosse trattato di fuga di GPL la si è avuta dal riscontro medico della presenza nel sangue di una vittima di una certa quantità di propano, indicativa del fatto che la persona si era trovata a lungo in un ambiente interessato da una fuga di GPL.

L'APPROCCIO ALLE INDAGINI SECONDO L'INGEGNERIA FORENSE

L'approccio all'indagine ricostruttiva secondo le *best practice* dell'Ingegneria Forense prevede, ove possibile, di recarsi sul luogo dell'incidente il prima possibile, per prendere parte alla fase di identificazione e raccolta delle evidenze, il tutto nel rispetto di una serie di requisiti, a volte tra loro contrastanti.

Dato per scontato che, preliminarmente, deve essere garantita una idonea sicurezza nell'accesso alla scena dell'incidente, occorre considerare quali fattori determinanti:

- la tempestività d'intervento, poiché alcuni elementi probatori hanno carattere transitorio (e spesso sono già stati deteriorati dalle operazioni di spegnimento/soccorso, oltre che dalla messa in sicurezza, che può prevedere demolizione delle porzioni pericolanti, stabilizzazione degli impianti e smassamento di materiali);
- l'adeguata completezza/esaustività nella ricerca e conservazione delle evidenze, per poter acquisire tutte le informazioni necessarie a ricostruire la verosimile dinamica dell'evento, anche facendo ricorso a metodi di rilievi con laser scanner 3D e SAPR (droni);
- evitare possibili interferenze: durante la ricerca e acquisizione delle prove si deve badare a non alterare gli elementi probatori stessi (sia quello in esame, sia altri nelle vicinanze).

* DOCENTE AL POLITECNICO DI TORINO
**SEGRETARIO ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI TORINO E DOCENTE ALL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

NOTE

Luca Marmo e Fabrizio Mario Vinardi sono tra gli Autori del capitolo dedicato a "Incendi ed esplosioni" del testo "Ingegneria Forense", a cura di Nicola Augenti e Bernardino Chiaia, edito da Flacovio. La foto a corredo dell'articolo è tratta da questo testo.

