

# “Stima della sovrappressione di picco nelle esplosioni in ambienti confinati”

Ing. Domenico Barone	Libero Professionista – Esperto in Sicurezza e Ambiente Via P. Lomazzo 51- 20154 Milano
Ing. Andrea Damiani	Tecsa S.p.A. , Via Figino 101, 20016 Pero (MI)
Dott.ssa Clara Mazzarone	Tecsa S.p.A. , Via Figino 101, 20016 Pero (MI)
Dott. Antonio Quattrini	Tecsa S.p.A. , Via Figino 101, 20016 Pero (MI)

## 0) Premessa

Nel corso di uno studio di sicurezza per un importante laboratorio di ricerca, si è presentata la necessità di valutare le conseguenze di un possibile rilascio accidentale di vapori di sostanze infiammabili all'interno di un box autoclavi. Individuata come possibile ipotesi incidentale un'esplosione, causata dall'innesco della miscela infiammabile, allo scopo di verificare l'adeguatezza dei dispositivi di protezione della struttura, è sorta la necessità di stimare la massima pressione raggiungibile in seguito all'accensione della miscela.

Per la soluzione del problema è stato fatto ricorso a delle semplici relazioni di tipo empirico tratte da letteratura tecnica di riconosciuta validità.

## 1) Generalità

Da prove sperimentali eseguite su miscele di comuni gas , polveri combustibili ed aria è stato osservato che il valore massimo della pressione raggiunta in seguito ad un'esplosione in ambiente completamente confinato non dipende dal volume del contenitore, in particolare è stato riscontrato che il valore massimo della pressione raggiunta risulta essere pari a circa otto volte il valore della pressione della miscela prima dell'innesco [1].

Sempre da sperimentazioni è stata dedotta la così' denominata “ legge cubica “ [1] , la quale mette in relazione il volume del recipiente, l'incremento massimo della pressione nel tempo e le caratteristiche chimico fisiche del combustibile, di seguito riportata.

$$(dP/dt)_{\max} \cdot V^{1/3} = K \quad (1)$$

dove:

$(dP/dt)_{\max}$  massimo incremento della pressione durante la combustione  
V volume del contenitore impiegato per il test  
K costante che dipende dal volume del contenitore e dalle proprietà chimico-fisiche del combustibile impiegato nella prova.

Per quanto sopra riportato ed in relazione ai valori di soglia per l'individuazione dei danni causati dalla sovrappressione proposti dal Dipartimento della Protezione Civile [2] , si comprende che in generale le esplosioni negli ambienti confinati come ad esempio edifici, serbatoi, reattori oppure condotti possono portare a conseguenze catastrofiche sia per le strutture potenzialmente interessate da tali fenomeni, sia per le persone che potrebbero trovarsi all'interno o nelle vicinanze delle stesse, qualora non vi siano dispositivi di protezione adeguati.

I parametri che influenzano il comportamento di una miscela infiammabile quando essa viene innescata sono diversi: temperatura e pressione della miscela, proprietà chimico-fisiche del combustibile, geometria del confinamento della nube aria-combustibile, tempo trascorso prima dell'innesco natura della sorgente d'innesco ed altri ancora , se ne deduce che la modellazione matematica dei fenomeni esplosivi risulta essere particolarmente complessa.

Tutto ciò ha condotto allo sviluppo di equazioni di tipo empirico o semiempirico, le quali sono state dedotte da prove sperimentali eseguite impiegando combustibili comuni e contenitori aventi geometrie relativamente semplici. Anche se l'estensione dei risultati ottenuti in laboratorio ai diversi casi pratici che si possono presentare nelle diverse realtà può condurre ad imprecisioni, le relazioni che saranno di seguito esposte, data la loro semplicità, consentono una rapida stima del valore della sovrappressione di picco raggiungibile nel caso di esplosioni che avvengono in luoghi chiusi, con possibilità di sfogo dei prodotti di combustione; viceversa le stesse relazioni potranno essere impiegate per un calcolo di massima dell'area del vent necessaria ad impedire che la pressione all'interno del locale raggiunga valori prefissati.

Una trattazione dell'argomento, anche se non esaustiva di tutte le possibili situazioni incidentali è disponibile sulla normativa NFPA 68. Ad esempio le metodologie riportate nella normativa di cui sopra consentono la loro applicazione solamente ad un limitato numero di sostanze, cioè quelle caratterizzate da un valore della velocità di combustione non particolarmente elevato.

Il capitolo 17 del "Lees" [3] riporta un elenco di semplici relazioni che consentono di trattare in maniera differenziata le diverse apparecchiature che possono essere interessate da fenomeni esplosivi e la loro applicazione ad un esteso elenco di sostanze infiammabili o combustibili.

Di seguito si riporta un caso reale di verifica dell'adeguatezza dei vents a protezione di un locale chiuso contenente gas infiammabili, eseguito applicando una delle relazioni reperite dalla letteratura sopracitata.

### 3) Esempio

Un box autoclavi possiede la geometria e le dimensioni illustrate nella figura di seguito riportata.

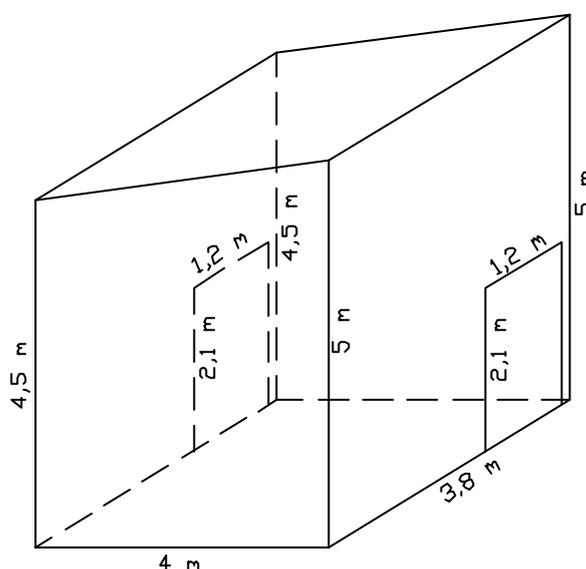


Fig. 1 Caratteristiche del box autoclavi

Tutta la struttura è stata realizzata interamente in cemento armato, ad eccezione del tetto che risulta essere costituito da lastre ondulate in vetroresina, appoggiate e serrate a degli assi in acciaio tramite viti passanti.

Il valore minimo della pressione interna al box per il quale si verifica il cedimento del tetto è stato stimato essere pari a  $1 \cdot 10^4$  Pa effettivi.

Come possibili superfici di sfogo per i gas, generati dalla combustione successiva all'innesco della miscela infiammabile, vengono considerate anche le due porte di accesso al locale.

Si vuole stimare quale sarà la massima pressione raggiungibile all'interno del locale qualora vi sia un rilascio di idrogeno e il suo conseguente innesco.

Il primo approccio alla soluzione del problema è stato eseguito cercando di applicare l'equazione tratta dalla normativa NFPA 68, valida per strutture in grado di sopportare una pressione interna di massimo  $1 \cdot 10^4$  Pa relativi, di seguito riportata:

$$A_v = (C \cdot A_s) / P_{red}^{1/2} \quad (2)$$

in cui:

$A_v$	superficie del vent ( $m^2$ )
$C$	costante che dipende dalle caratteristiche del combustibile ( $bar^{1/2}$ )
$A_s$	superficie interna totale del locale ( $m^2$ )
$P_{red}$	pressione massima raggiunta in seguito all'accensione della miscela infiammabile (bar)

Dato l'elevato valore della velocità di combustione dell'idrogeno (ca. 3,12 m/s), la stessa normativa NFPA68 mette in discussione l'attendibilità della relazione.

E' stata dunque presa in considerazione la possibilità di applicare l'equazione di Lunn-Rasbash (17.12.34 del Lees), considerando il box alla stregua di un vessel.

$$P_{red} = P_v + 7,76 \cdot S_u \cdot K \quad (3)$$

dove:

$P_{red}$	pressione ridotta (kPa effettivi)
$P_v$	pressione di apertura del vent (kPa effettivi)
$S_u$	velocità di combustione delle sostanze (m/s)
$K$	coefficiente di vent

Il coefficiente di vent è definito come il rapporto tra il valore dell'area della sezione più piccola del locale chiuso ed il valore dell'area del vent corrispondente alla superficie più piccola di cui sopra.

Nel locale oggetto dello studio, il valore di  $K$  è 1, in quanto la sezione più piccola di attraversamento risulta essere quella del soffitto, dunque il valore dell'area di vent coincide con l'area dell'intero soffitto.

La relazione di Lunn-Rasbash, applicata al caso di rilascio di idrogeno ( $S_u = 3,12$  m/s) e considerando  $P_v$  pari 10 kPa, fornisce un valore di  $P_{red}$  pari a 34 kPa, tenendo conto della sola apertura del vent (tetto) e trascurando l'apertura delle porte.

#### 4) Osservazioni e conclusioni

Per quanto sopra ed in considerazione della tipologia di rottura e delle caratteristiche del tetto (vent), è stato necessario definire, attraverso uno studio dedicato, i valori di apertura del vent e la "modalità di apertura" del tetto stesso, al fine di contenere i valori di pressione che possono generarsi in caso di rilascio di idrogeno e successiva esplosione all'interno del box.

Una possibile configurazione alternativa del tetto attualmente presente nel box, è quella di realizzare una copertura del locale mediante un pannello in materiale leggero, incernierato lungo uno dei due lati maggiori del rettangolo, mentre lungo il lato opposto a quello della cerniera si possono posizionare dei tiranti allo scopo di impedire movimenti indesiderati del pannello di copertura del locale.

In caso di esplosione all'interno del box l'aumento di pressione che si genera nel locale dovrà essere in grado di causare il cedimento dei tiranti e consentire quindi il solo movimento rotatorio del pannello di copertura attorno all'asse della cerniera.

Considerando ad esempio di posizionare n°6 tiranti in acciaio con carico di rottura pari a ca.  $3 \cdot 10^8$  N/m<sup>2</sup>, diametro pari a  $5 \cdot 10^{-3}$  m, senza pretensionamento, il carico necessario a causare la loro rottura risulta pari a

35325 N. Il tetto del box possiede una superficie di ca.  $15,2 \text{ m}^2$  , dunque la sua apertura si ottiene per una pressione all'interno del locale di 2324 Pa (0,023 bar) .

Applicando nuovamente l'equazione (3), con l'impiego del valore appena stimato per la pressione di apertura del vent,  $P_v$  pari a 2324 Pa , si ottiene un valore di  $P_{red}$  pari a 26 kPa ,che risulta inferiore rispetto a quello stimato per l'attuale configurazione del box (34 kPa).

5) Bibliografia

- [1] NFPA 68 ,Guide for Venting of Deflagrations, Ed. 1994
- [2] Presidenza del Consiglio dei Ministri , Dipartimento della Protezione Civile: " Pianificazione di emergenza esterna per impianti industriali a rischio di incidente rilevante. Linee guida", Roma 18 gennaio 1994
- [3] Loss Prevention in the Process Industries, F.P. Lees, Ed. 1996