

## VALUTAZIONE DEL RISCHIO INFORTUNISTICO DERIVANTE DA ESPLOSIONI DI SOSTANZE IN POLVERE DURANTE LA MANIPOLAZIONE E LO STOCCAGGIO

*U. Bisignano\**, *C. Esposito\**, *G. Marena\**, *A. Mazzei\*\**, *N. Mazzei\*\**, *G. Mazzoli\**

\* INAIL - Direzione Regionale Lombardia - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

\*\* Stazione Sperimentale per i Combustibili San Donato Milanese

### RIASSUNTO

Nel presente lavoro sono stati esaminati alcuni incidenti causati da esplosioni durante la manipolazione di sostanze in polvere o che possono generare polvere. Diverse polveri, infatti, disperdendosi in aria possono originare miscele infiammabili polveri-aria che, a seguito di un innesco, possono causare danni a persone e cose. Generalmente si pensa che le atmosfere esplosive si possano formare solo con prodotti pericolosi come, quali i combustibili o i solventi, oppure in situazioni particolari quali le miniere di carbone. Sfortunatamente anche con prodotti all'apparenza innocui, come la polvere di legno, le farine, gli zuccheri e le granaglie si possono formare atmosfere esplosive ed inaspettati eventi incidentali. Violente esplosioni avvenute nei silos granari negli ultimi 20 anni ne sono un drammatico esempio. La polvere di grano in sospensione all'interno del silo raggiunge una concentrazione tale che un apporto anche minimo d'energia, causato da una scintilla o da una superficie ergente calda, può causare un'esplosione con vittime e danni che possono estendersi per centinaia di metri.

### SUMMARY

In this paper some accidents due to dust explosions has been presented. An inflammable blend of air and finely-divided solid, generated in the presence of suitable energy ignition source, may produce an explosion causing several victims (deaths and injuries) and serious material damages. Generally it is considered explosive merely an atmosphere constituted by fuel and solvent. Unfortunately unoffending products, like wood powder, wheat, sugar and grain may generate dust explosions causing accidents. In the last 20 years dramatic events in grain elevators occurred. The grain dust in the silos can reach a concentration that any energy source, including static spark, friction and incandescent material can cause an explosion with damages up to a distance of several hundred meters.

### 1. INTRODUZIONE

Il problema delle esplosioni da polveri si è probabilmente natoposto non appena l'uomo ha inventato il mulino a vento per macinare il grano. Ma la comprensione della loro vera natura è stata molto lenta. In particolare è stato molto difficile accettare, non solo per l'opinione pubblica ma anche per i tecnici, che un'esplosione potesse essere provocata dalla polvere da sola e non fosse necessaria la contemporanea presenza di un gas infiammabile per sostenere l'esplosione (CARDILLO, 1998).

Il termine "polvere" indica lo stato di suddivisione spinta in cui si trova la sostanza solida. Si può avere esplosione da polvere quando un solido combustibile, finemente suddiviso, viene disperso in un'atmosfera contenente sufficiente ossigeno da sostenere la combustione in presenza di una sorgente di accensione di sufficiente appropriata energia. Pertanto, ogni materiale solido che può bruciare in aria, se ridotto in polvere, può dar luogo a un'esplosione con una violenza e con una velocità di reazione che aumentano con il grado di suddivisione del materiale. Se la combustione esplosiva avviene in un volume confinato (apparecchiatura, silo, serbatoio...) si genera calore più rapidamente della sua dissipazione; la reazione avviene in un tempo breve e tale che gli effetti si manifestano nel raggiungimento di alte temperature con conseguente e di un rapido aumento di pressione e a cui consegue la formazione di un'onda che si propaga nell'ambiente con velocità di qualche centinaio di m/sec. Questo fenomeno per le esplosioni da polvere richiede comunque un certo tempo prima di svilupparsi completamente, periodo iniziale di avvio più lungo rispetto ad altre reazioni esplosive in oltre l'aumento di pressione avviene essenzialmente in due fasi: nei primi istanti è graduale per il modesto aumento di temperatura del periodo iniziale di induzione, mentre successivamente diventa assai veloce quando tutte le particelle, per effetto del progressivo aumento della turbolenza, diventano in grado di reagire rapidamente con il comburente.

## 2. GENERALITÀ SULLE POLVERI

Tra i materiali che possono dare luogo ad un'esplosione troviamo:

- sostanze organiche naturali (farina, zucchero, ecc.);
- sostanze organiche sintetiche (plastiche, pigmenti, pesticidi, prodotti chimici, ecc.);
- carboni;
- metalli (alluminio, magnesio, zinco, ferro, ecc.).

In generale gli effetti dell'esplosione sono funzione di tanti parametri: composizione chimica, natura del comburente, reattività e potere calorifico, distribuzione granulometrica delle particelle e loro forma, grado di dispersione o agglomerazione, concentrazione di polvere nella nube, grado di turbolenza, condizioni ambientali (temperatura, pressione ed umidità), energia d'innescò e posizione dell'innescò, geometria del volume nel quale avviene la combustione (CROSS & FARRER, 1982).

Perché sia possibile un'esplosione (CARDILLO & MAZZEI, 2000) da polveri devono realizzarsi contemporaneamente le seguenti condizioni:

- la polvere deve essere combustibile;
- la polvere deve poter formare una nube;
- la polvere deve avere una idonea granulometria;
- la concentrazione della polvere deve essere nel campo di esplosibilità;
- la nube di polvere deve contattare un innescò di sufficiente energia;
- l'atmosfera entro la quale si genera la nube di polvere deve contenere sufficiente comburente.

In generale la presenza di umidità tende a diminuire l'esplosibilità di una polvere. Un aumento della percentuale di umidità provoca un aumento della temperatura di accensione, dell'energia di accensione e della concentrazione minima esplosibile.

Un'esplosione in generale può prodursi secondo due regimi: deflagrazione o detonazione.

Il primo, che è il caso generalmente riscontrabile per le polveri è caratterizzato da una velocità di propagazione della fiamma inferiore a quella del suono ed è preceduto da uno spostamento d'aria dovuto all'espansione dei gas bruciati che si muovono alla velocità del suono. In particolari condotte tuttavia anche le polveri possono raggiungere un regime di quasi detonazione caratterizzato dal fatto che la velocità della fiamma supera quella del suono nel mezzo consi-

derato. La pressione in questi casi ha una brusca variazione (nel caso della deflagrazione l'aumento è più graduale) e si possono raggiungere in tempi brevi (millisecondi) pressioni di molte decine di bar. Le detonazioni da polveri possono avvenire solo in condotte di diametro compreso tra 50 e 400 mm e di lunghezza almeno pari ad una ventina di metri; questo fenomeno diventa temibile se la condotta è collegata ad un recipiente chiuso poiché l'esplosione può propagarsi a tale recipiente.

### 3. PRINCIPALI DISPOSIZIONI LEGISLATIVE NEI LUOGHI CON PERICOLO DI ESPLOSIONE

Le principali disposizioni legislative nei luoghi a rischio di esplosione sono:

1. National Fire Protection Association, Guide for Venting of Deflagrations, NFPA 68;
2. Verein Deutscher Ingenieure, Pressure release of dust explosions, VDI 3673;
3. Direttiva 94/9/CE: norme in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva;
4. Direttiva 99/92/CE: prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive.

Le prime due sono le guide di riferimento maggiormente riconosciute per gli sfoghi di esplosione rispettivamente negli Stati Uniti e in Europa. Gli sfoghi limitano la sovrappressione all'interno dei contenitori (ad es. sili) dovuta all'esplosione, scaricando i prodotti della combustione all'esterno. Queste esplosioni, oltre che danneggiare notevolmente impianti e attrezzature ogni anno sono responsabili di molte lesioni e decessi. Le polveri hanno un comportamento più imprevedibile dei gas, sicché è più difficile individuare un rischio di esplosione nonché la classificazione della relativa zona. Uno dei metodi più comuni ed economici per contenere i danni provocati da esplosioni da polvere durante la lavorazione di metallo, legno, plastica, carbone, zucchero, amido, farina, ecc. è quello di ricorrere agli sfoghi.

La direttiva 94/9/CE, più nota come direttiva ATEX (ATmosfere EXplosive), è stata recepita in Italia col D.Lgs. 126/98, ed è entrata in vigore il 01/07/2003. E' rivolta principalmente ai costruttori e rivenditori di apparecchi Ex (adatti per essere utilizzati in atmosfera esplosiva), ma coinvolge anche datori di lavoro, RSPP, consulenti, verificatori, ecc.. Richiede la marcatura CE per gli apparecchi, i sistemi di protezione, i dispositivi di sicurezza, controllo e regolazione utilizzati in zone con pericolo di esplosione per la presenza di gas, vapori, nebbie o polveri.

La direttiva 99/92 è stata recepita in Italia col D.Lgs. 233/2003, ed è entrata in vigore il 10/09/2003. Tale decreto integra il D.Lgs. 626/94 introducendo il Titolo VIII-bis "Protezione da atmosfere esplosive". Il destinatario principale della direttiva è il datore di lavoro, al quale si richiede la classificazione delle zone con pericolo di esplosione (zone 20, 21, 22 in presenza di polveri) e l'elaborazione del Documento sulla protezione contro le esplosioni, quest'ultimo parte integrante del Documento di valutazione dei rischi di cui all'art. 4 del D.Lgs. 626/94.

Le due direttive suindicate definiscono in modo completo il settore del pericolo di esplosione nei luoghi di lavoro (CARRESCIA & OSTANO, 2001). La novità principale riguarda l'obbligo per il datore di lavoro di classificare i luoghi pericolosi, nell'ambito della più generale valutazione dei rischi dell'ambiente di lavoro, in modo da adottare misure di protezione adeguate alla probabilità di presenza di atmosfera esplosiva. Un'altra novità è la marcatura CE del materiale Ex.

La pratica della gestione della sicurezza nell'ambito del D.Lgs. 626/94 è tipicamente fondata sulle mansioni svolte dai singoli lavoratori, in base alle quali si individuano i livelli di esposizione, si stabiliscono i fabbisogni formativi ed informativi e si definiscono i protocolli sanitari. È da ritenere che, in generale, si tenderà a non circoscrivere l'applicazione della nuova direttiva all'approccio prevenzionale tipico del D.Lgs. n. 626/94, fino ad ora finalizzato a una gestione del rischio capace di assicurare la mera minimizzazione del danno al lavoratore nella stretta dinamica con le caratteristiche del posto di lavoro. Il rischio secondo le direttive ATEX, a diffe-

renza di gran parte degli altri rischi professionali, è da considerarsi legato in modo non univoco alle specifiche mansioni. L'entità del danno conseguente è connessa principalmente alla distanza dalla sorgente degli eventi e può estendersi anche al di fuori del perimetro dello stabilimento. In questo caso è da notare che il gestore dello stabilimento è oggettivamente responsabile non solo verso quanti operano entro il perimetro dello stabilimento, ma anche nei confronti dell'esterno dello stabilimento per quanto possa essere esposto alle conseguenze di eventuali esplosioni.

#### 4. ESEMPI DI PERICOLO D'ESPLOSIONE E CASI STUDIO NELL'INDUSTRIA AGROALIMENTARE

Si riportano di seguito alcuni esempi di possibile esplosione da polveri in diversi settori:

- *Settore produzione d'energia*: dal carbone in pezzi, non esplosivo, in miscela con aria, possono formarsi polveri di carbone capaci di esplodere durante fasi della lavorazione quali l'estrazione, la macinazione e l'essiccamento che possono dar luogo a miscele esplosive polveri/aria.
- *Settore industria del legno*: nelle operazioni di lavorazione del legno si producono polveri di legno che possono formare, ad esempio, in filtri o silos, miscele esplosive polvere/aria.
- *Settore metallurgia*: nella produzione di pezzi stampati di metallo, durante il trattamento della superficie (smerigliatura) possono formarsi polveri metalliche esplosive. Ciò è vero particolarmente nel caso dei metalli leggeri. Queste polveri metalliche possono originare un rischio d'esplosione nei separatori.
- *Settore industria farmaceutica*: nella produzione di farmaci vengono spesso utilizzate sostanze alcoliche in qualità di solventi. Possono anche essere impiegate sostanze attive e coadiuvanti, come il lattosio, che possono dar luogo a un'esplosione di polveri.
- *Settore industria alimentare e mangimistica*: durante il trasporto e lo stoccaggio dei cereali possono formarsi polveri esplosive. Se tali polveri vengono aspirate e separate tramite filtri, nel filtro può formarsi un'atmosfera esplosiva.

Le esplosioni di polveri industriali che causano danni estesi restano fenomeni eccezionali, ma esplosioni meno devastanti sono assai frequenti. Attualmente avvengono in Europa più di un'esplosione di polveri al giorno. Su 400 esplosioni registrate in industrie agroalimentari (RONCAIL, 1996), i tipi di impianti coinvolti sono qui di seguito rappresentati:

Trasportatori (Elevatori)	26,7%	Sili	22,9%
Frantoi	18,1%	Spolveratura	9,5%
Essiccatoi	7,6%	Setacciatura	2,8%
Camera dei forni	1,9%	Altri	10,5%

Queste osservazioni sollevano due tipi di problemi:

- perché, come e con quali tipi di prodotto a base di polveri è possibile un'esplosione?
- come qualificare i danni procurati da un prodotto?

Nell'industria agroalimentare e dei mangimi per il bestiame, tutti i prodotti contengono carbone, idrogeno, azoto, zolfo, ossigeno, ecc. Essi sono dunque combustibili e, di conseguenza, in grado di provocare incendi ed esplosioni.

#### 4.1 Esplosione alla De Bruce Grain Co. (Kansas)

L'elevatore di grano DeBruce era riportato nel libro del Guinness dei primati come il più grande elevatore di grano al mondo. Aveva una capacità tale da contenere il grano per la produzione di pane necessario a soddisfare i fabbisogni dell'intera popolazione americana per sei settimane.

Al tempo dell'esplosione era costituito da 246 silo circolari sistemati in file affiancate. Anche gli spazi tra i silo venivano utilizzati per immagazzinare il grano, si contavano quindi in totale 310 silo. L'evento esplosivo è accaduto l'8 giugno del 1998 alle ore 9:20, ed è stato uno dei più devastanti incidenti negli USA degli ultimi 10 anni che ha causato: 7 morti, 10 feriti e diversi milioni di dollari di danni materiali (SCHOEFF, 1999).

L'esplosione primaria ebbe origine nel tunnel est della fila a sud, cui fece seguito una serie di esplosioni attraverso il tunnel di raccordo trasversale diramandosi nei tunnel della fila sud. L'esplosione raggiunse l'edificio principale dove erano posizionati gli elevatori a tazze, diramandosi da lì nei restanti silo. Nella zona nord grossi frammenti delle strutture in cemento armato dei silo furono scagliati a diverse centinaia di metri.

La sorgente di innesco più probabile è stata un cuscinetto mal lubrificato di un rullo del trasportatore, che per attrito tra il rullo bloccato ed il nastro ha generato un aumento localizzato della temperatura superando i 220°C necessari ad innescare la polvere di grano (formazione di brace). Il calore così generato ha favorito un flusso convettivo di aria che ha disperso la polvere presente nelle adiacenze creando una nube. Tale nube è stata innescata dalla brace presente sul rullo dando luogo alla prima esplosione che propagando ha sollevato la polvere depositata sul pavimento lungo il tunnel, generando a sua volta altre condizioni esplosive. Questo meccanismo ha fatto sì che le esplosioni si propagassero in successione all'interno dei tunnel dell'elevatore provocando danni tanto ingenti.

#### 4.2 Incidente in un silo di cereali a Blaye (Gironde - Francia)

Nell'agosto 1997 in Francia (INERIS, 1998) ha suscitato molto scalpore la grave esplosione avvenuta ad un silo granario della Société d'Exploitation Maritime Blayaise (SEMABLA) situato nel porto di Blaye nel dipartimento della Gironda. Fra i lavoratori si contarono 10 morti ai quali si aggiunse un pescatore di passaggio nelle acque limitrofe. Ci furono gravi danni alle persone ed alle cose per un raggio di 500 metri dall'impianto.

Il silo consisteva di due gruppi di unità verticali di magazzinaggio che formavano un volume compatto lungo circa 100 metri, largo 20 ed alto 40 metri. L'esplosione è probabilmente iniziata nella parte superiore della torre principale nord. Si è propagata attraverso la galleria superiore fino all'estremità sud, probabilmente per il fatto che la polvere era stata mescolata vorticosamente. Le fiamme dell'esplosione, propagandosi in maniera radiale, sono facilmente entrate nelle unità aperte di magazzinaggio, estremamente polverose a causa delle operazioni di carico, generando così una violenta esplosione. Nella torre nord l'esplosione si è poi portata verso il basso distruggendo l'intera struttura che è collassata.

Per quanto riguarda la formazione di un'atmosfera esplosiva sono da prendere in considerazione due possibilità: la prima riguarda la formazione di gas combustibile nella parte alta dell'unità di deposito provenienti ad es. da fenomeni di auto-riscaldamento o di fermentazione, la seconda la formazione di una miscela infiammabile di polvere-aria. Alla luce dei fatti e delle testimonianze i consulenti tecnici scartarono la prima ipotesi e conclusero che appariva plausibile che l'esplosione avesse avuto origine nel circuito di rimozione delle polveri centralizzato, infatti, nessun componente di tale impianto fu trovato. L'innesco di tale esplosione fu addebitato ad urto meccanico oppure all'attrito tra la girante con la parte fissa del circuito di rimozione polveri.

## 5. VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ESPLOSIONE

Nella valutazione dei rischi di esplosione, effettuata sempre ai sensi dell'art.4 del D.Lgs. 626/94, il datore di lavoro deve tenere conto dei seguenti elementi (CARRESCIA, 2003):

1. probabilità che le sorgenti di accensioni diventino attive ed efficaci;
2. caratteristiche degli impianti, sostanze utilizzate, processi e loro possibili interazioni;
3. probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive;
4. entità degli effetti prevedibili.

Nel processo di valutazione, la considerazione dei probabili effetti è di significato secondario, nel senso che da un'esplosione ci si deve aspettare sempre un'elevata dimensione del danno, che può estendersi da notevoli danni alle cose fino a ferimenti e morti. Nella protezione contro le esplosioni, la prevenzione di atmosfere esplosive è prioritaria rispetto all'esame quantitativo dei rischi. Per la valutazione di impianti nuovi o già esistenti si deve, in particolare, partire dalle seguenti condizioni:

- le normali condizioni di funzionamento, compresi i lavori di manutenzione;
- la messa in servizio e fuori servizio;
- le avarie e gli stati difettosi prevedibili;
- l'uso difettoso ragionevolmente prevedibile.

Nella valutazione dei rischi, si devono prendere anche in considerazione quelle aree che sono collegate, o potrebbero esserlo, ad aree a rischio di esplosione mediante aperture.

## 6. PREVENZIONE E PROTEZIONE DALLE ESPLOSIONI DA POLVERI

Le misure di sicurezza relative alla manipolazione di polveri suscettibili di esplosione si possono raggruppare in due distinte categorie: misure di prevenzione e misure di protezione.

La prevenzione, cioè la riduzione della probabilità di una esplosione, ha lo scopo di eliminare soprattutto le condizioni che permettono la formazione di una miscela esplosiva e tutte le possibili cause d'innesco, mentre la protezione si propone di ridurre gli effetti dell'esplosione.

Gli aspetti nel campo della prevenzione da tener in considerazione sono principalmente:

1. *Eliminazione della polvere*
  - a pulire accuratamente l'ambiente di lavoro evitando luoghi di accumulo,
  - b situare all'esterno i punti di raccolta,
  - c ridurre le parti accessorie dell'impianto, le strutture di sostegno e le superfici orizzontali,
  - d utilizzo di apparecchiature per l'abbattimento delle polveri (ciclone, filtro a maniche, elettrofiltro);
2. *Eliminazione comburente*
  - a inertizzazione (sostituzione parziale o totale del comburente con gas inerte),
  - b ossigeno minimo (limite di concentrazione di ossigeno, MOC, al di sotto del quale non è possibile alcuna propagazione di fiamma),
3. *Eliminazione innesco*
  - a evitare fiamme libere, superfici calde, scintille provenienti da operazioni di saldatura e taglio, scintille da frizione e impatto, riscaldamento spontaneo,

b installare impianti elettrici a regola d'arte.

In caso di protezione, gli aspetti da tener in considerazione sono principalmente:

1. *Contenimento dell'esplosione* (impiego delle apparecchiature opportunamente dimensionate per resistere alla massima pressione di esplosione, solo per impianti di piccole dimensioni a causa dei costi elevati);
2. *Separazione degli impianti* (installare le varie unità in locali diversi, o dividere fisicamente le operazioni con più alto rischio di esplosione);
3. *Soppressione dell'esplosione* (bloccare l'avanzamento del fronte di fiamma mediante un agente di soffocamento);
4. *Sfogo dell'esplosione* (venting).

## 7. CONCLUSIONI

Da un esame delle diverse statistiche di paesi europei ed extraeuropei, è stato individuato il settore agroalimentare come quello maggiormente colpito da esplosioni da polveri. La crescente industrializzazione e la meccanizzazione giocano senza dubbio un ruolo importante in questo fenomeno, ma per l'industria agroalimentare le ragioni sono più specifiche: aumento delle capacità di stoccaggio, aumento del volume di manutenzione, estensione dell'automazione, aumento del numero di prodotti presentati sotto forma di polveri. Nelle aziende agricole di piccole e piccolissime dimensioni la ragione è da ricercare soprattutto nella carente formazione di base e nella scarsa conoscenza dei rischi derivanti dalla manipolazione e stoccaggio di sostanze vegetali generanti polveri.

Dalla legislazione vigente emerge l'obbligo da parte del datore di lavoro di una classificazione dei luoghi pericolosi, pertanto è auspicabile il ricorso ad una figura esperta quale classificatore delle zone a rischio di esplosione. La speranza è che, a differenza di altre figure professionali previste dal D.Lgs. 626/94 come il responsabile e gli addetti del SPP, il legislatore individui in tempi brevi le capacità ed i requisiti professionali richiesti, onde evitare che si sviluppi l'espansione incontrollata di questa nuova figura.

## BIBLIOGRAFIA

CARDILLO P., MAZZEI N.: Esplosioni da polveri nell'industria alimentare, *Giornata studio su esplosioni da polveri in ambiente farmaceutico: valutazione, prevenzione e protezione*, 2000: 17-26.

CARDILLO P.: Esplosioni da polveri: aspetti storici, *Rivista Combustibili*, 1998, XLII, 12: 343.

CARRESCIA V., OSTANO P.: Luoghi con pericolo di esplosione, *TUTTONORMEL*, 2001, 9: 3-8.

CARRESCIA V.: Nuovi obblighi per il datore di lavoro, *TUTTONORMEL*, 2003, 10: 3-7.

CROSS & FARRER: *Dust*, 1982, Plenum Press, New York, 15-45 e 165-190.

INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES (INERIS): Explosion of a grain silo- Blaye (France), *Summary Report*, 1998.

RONCHAIL G.: Studio del fenomeno dell'esplosione di polveri nell'industria agro-alimentare, *Ambiente Salute*, 1996, 48.

SCHOEFF R.W.: Case study of dust explosion at Debruce Grain Co. Elevator Haysville, Kansas, *3<sup>rd</sup> World wide seminar of the explosion phenomenon and on the application of explosion protection techniques in practice*, 1999.