

INTERVENTI COINVOLGENTI POLVERI COMBUSTIBILI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DI EMERGENZE TECNOLOGICHE

F. Dattilo, E. Andriotto, C. Cusin, Comando Provinciale VVF, viale Ippodromo ROVIGO.

SOMMARIO

L'esplosione di una miscela di polveri ed aria è un rischio che non può essere trascurato nell'attività di soccorso tecnico urgente del C.N.VV.F.. Diventa quindi essenziale lo studio di questo fenomeno per predisporre idonee ed efficaci misure preventive e procedure di soccorso.

L'intervento proposto, partendo da quanto ormai noto nella bibliografia e recepito nelle varie normative in merito alle caratteristiche e alle classificazioni delle polveri esplosive, si soffermerà sulle misure di mitigazione del rischio sia impiantistiche che operative. Verranno illustrati quindi, i possibili scenari incidentali e le relative Procedure Operative Standard da seguire da parte delle squadre d'intervento.

L'incidente, determinato da o coinvolgente polveri, richiede sempre una particolare attenzione da parte delle squadre in quanto, oltre al soccorso alle persone coinvolte, è spesso necessario ricorrere allo svuotamento e alla bonifica di apparecchiature e/o ambienti lesionati con possibili in situazioni statiche precarie; le apparecchiature inoltre possono ancora contenere polveri in fase di combustione.

1. INTRODUZIONE

Con il termine "polvere", si intende un qualsiasi materiale solido finemente suddiviso. La dimensione che caratterizza le particelle di polveri varia da autore ad autore in quanto non esiste alcuna definizione ufficiale concordemente accettata. Per alcuni, il diametro di queste particelle deve essere minore od uguale a 420µm [1]. Altri considerano anche i materiali con un diametro delle particelle minore di 1000µm. [2].

La polvere può essere presente come risultato finale di un processo o come prodotto indesiderato di lavorazione; esempi di alcune tipiche polveri industriali sono:

- legno
- carbone
- prodotti alimentari (amido, farina, zucchero, cacao)
- prodotti chimici (medicinali, coloranti)
- plastiche (urea, formaldeide, polietilene, polistirene)
- metalli (alluminio, magnesio)

Le operazioni in cui le suddette polveri sono prodotte o maneggiate possono essere:

- riduzione delle dimensioni
- trasporto (manuale, meccanico, pneumatico)
- separazione
- essiccazione
- vagliatura, classificazione e miscelamento
- immagazzinamento e imballaggio
- riscaldamento

Le apparecchiature utilizzate per queste operazioni sono varie:

- frantoi, macine, micronizzatrici
- coclee, redler, trasportatori a nastro, elevatori a tazze
- camere di sedimentazione, cicloni, filtri a sacco
- essiccatori a vassoio, rotanti, a letto fluidizzato, pneumatici, vaporizzatori
- silos verticali e orizzontali.

Fattore determinante nella scelta dell'apparecchiatura o del metodo adatto è la minimizzazione del rischio d'esplosione della polvere.

Storicamente, gli impianti maggiormente soggetti alle esplosioni di nubi di polveri, sono stati i mulini, i depositi di granaglie, i depositi di zuccheri e le miniere di carbone. Tra le più note esplosioni all'interno di un mulino, sono da ricordare quella avvenuta ai mulini di Torino nel 1785, e quella successa a Bow, Londra nel 1965, nella quale morirono cinque persone. Altri casi di esplosioni sono quelle verificatosi nel 1919 in un impianto per amido di grano a Cedar Rapids, Iowa, dove perirono 43 persone, e quello in un analogo impianto, a Perking, Illinois, che nel 1924 provocò la morte di 42 persone. Nel 1977 si verificarono a

Westwego, New Orleans, Louisiana, una serie di esplosioni a catena che coinvolsero diversi silos per il grano. Nell'incidente morirono 35 persone.

Nella provincia di Rovigo, in cui sono molte diffuse le attività collegate alla lavorazione dei prodotti agricoli, sono da ricordare l'esplosione del 1985 all'impianto per amido di grano a Castelmassa, con 10 feriti, e le due esplosioni del 1992 all'impianto per disidratazione erba medica a Papozze, esplosioni non causarono danni a persone (le Appendici I e II descrivono i due incidenti).

2. CARATTERISTICHE POLVERI

Perché possa verificarsi una deflagrazione, è necessario che il combustibile sia presente in appropriata concentrazione rispetto al comburente e che la sorgente di ignizione abbia sufficiente energia da innescare la combustione stessa. I parametri fisici che influenzano le suddette caratteristiche, e che pertanto sono utilizzati per lo studio delle esplosioni delle polveri, si possono riassumere come segue:

- limiti di esplosività
- minima temperatura di ignizione, minima energia di ignizione
- massima concentrazione ammissibile di ossigeno per prevenire l'accensione
- caratteristiche della pressione di esplosione (massima pressione di esplosione, velocità massima di incremento della pressione, velocità media di incremento della pressione)
- dimensione delle particelle
- presenza di umidità o di materiali inerti non combustibili
- miscele con gas

In base a questi parametri è possibile effettuare diverse classificazioni delle polveri in classi di esplosività. I test eseguiti variano da nazione a nazione. In Gran Bretagna, la classificazione di esplosività è fatta verificando se avviene o non avviene la propagazione della fiamma in sospensioni di polveri all'interno di tre diversi dispositivi (a tubo verticale, a tubo orizzontale e apparato infiammatore). Se la propagazione della fiamma avviene in almeno un apparecchio la polvere è di tipo *a* diversamente è di tipo *b*. In Germania e negli Stati Uniti d'America si usano sistemi di classificazione diversi. Una di queste classificazioni, basata sulla velocità massima di incremento della pressione, è data dalla tabella 1

Classe	Velocità massima di incremento della pressione (KPa/s)
Classe St-0	non combustibile
Classe St-1	< 50000
Classe St-2	50000 - 150000
Classe St-3	>150000

Tabella 1. Classi di polveri nella NFPA68 [1]

La misura delle caratteristiche della pressione di esplosione è fatta, con test standard, usando recipienti (tubo di Hartmann, sfera da 20 litri, camera da 1m³) aventi un ben preciso volume e creando al loro interno una miscela aria-polvere di concentrazione nota. L'innescò, fornito da una scintilla tra elettrodi o da una carica detonante, accende la miscela e dei trasduttori registrano l'andamento della pressione in funzione del tempo. Questa ultima classificazione permette tra l'altro di stimare la massima velocità d'incremento della pressione tramite la nota legge sperimentale:

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

Il valore K è collegato alla classe della polvere tramite la tabella 2.

K	Classe di esplosione
≤ 200	Classe St-1
201 - 300	Classe St-2
> 300	Classe St-3

Tabella 2. Classi di pericolo di deflagrazione [1]

3. MISURE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Le misure di riduzione del rischio a disposizione sono molteplici ed utilizzando l'usuale suddivisione fra *misure di prevenzione* e *misure di protezione* si possono riassumere nelle seguenti.

Misure di prevenzione:

- uso di processi umidi
- prevenire situazioni di “sospensioni”
- eliminazione delle sorgenti di ignizione
- inertizzazione

Misure di protezione:

- adozione di costruzioni resistenti all'esplosione, contenimento
- isolamento
- soppressione automatica dell'esplosione
- scarico delle sovrappressioni generate dall'esplosione

Le sorgenti di ignizione in grado di fornire l'energia sufficiente per l'accensione possono essere di vario tipo e la loro eliminazione specie durante le operazioni di soccorso non è sempre agevole. Un possibile elenco delle fonti di ignizione è il seguente:

- fiamme, calore diretto e superfici calde
- saldatura e taglio
- scintille di origine meccanica
- energia chimica
- autoveicoli
- inneschi dolosi
- microonde
- autoaccensione
- energia elettrostatica
- anomalie all'impiantistica elettrica

Lo scarico della sovrappressione generata dall'esplosione avviene normalmente prevedendo superfici a minore resistenza alla deflagrazione. Lo scopo di questa superficie consiste nel limitare la pressione massima dopo la deflagrazione, in modo tale da eliminare, o quantomeno ridurre, i danni strutturali al luogo chiuso o alla apparecchiatura stessa. Queste superfici, opportunamente dimensionate ed ubicate, sono normalmente chiuse con coperchi per impedire la dispersione delle polveri nell'ordinario funzionamento dell'impianto. I dispositivi di chiusura sono:

- coperchi e porte muniti di cardini
- a valvola piatta
- coperchi magnetici
- coperchi con molle a spirale
- pannelli che fuoriescono
- diaframmi che esplodono
- tetti e muri che cedono
- finestre, abbaini

Per la loro realizzazione in strutture chiuse ad elevata resistenza ci si può riferire alle norme NFPA [1] che in particolare per il dimensionamento offrono un metodo basato sulla classificazione delle polveri prima descritta. Per le strutture chiuse dove il rapporto lunghezza su diametro è minore di 5 si possono applicare dei nomogrammi realizzati per vari valori della pressione che libera il coperchio della superficie a minor resistenza p_{stat} . Nel nomogramma si entra con i valori del volume da proteggere V , della massima pressione sopportabile p_{red} e dell'indice di deflagrazione K , ottenendo l'area della superficie a minore resistenza A_v .

Come alternativa ai nomogrammi si può utilizzare la seguente equazione per determinare l'area della superficie a minor resistenza necessaria. Questa equazione è stata sviluppata per riprodurre i valori ottenuti nei test che hanno permesso la costruzione dei nomogrammi. L'equazione risulta:

$$A_v = a V^{2/3} K^b p_{red}^c \quad (2)$$

dove:

$$a = 0.000571 e^{2 P_{stat}} \quad (3)$$

$$b = 0.978 e^{-0.105 P_{stat}} \quad (4)$$

$$c = -0.687 e^{0.226 P_{stat}} \quad (5)$$

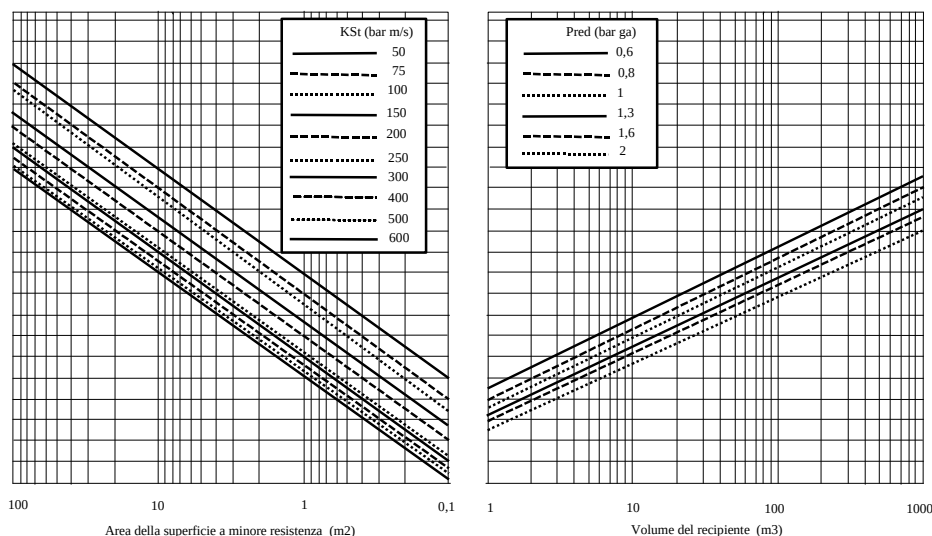


Figura 1. - Nomogramma determinazione superfici a minore resistenza con $p_{sat} = 0,5$ bar [NFPA 68]

In appendice V sono riportate le indicazioni tecniche che l'Ispettorato Interregionale VV.F. per il Veneto e Trentino Alto Adige ha elaborato per la realizzazione dei silos ed in particolare dei silos per la polvere di legno a servizio delle falegnamerie.

4. SEQUENZA INCIDENTALE

Una possibile sequenza incidentale in presenza di polveri può essere la seguente:

1. All'interno di un'apparecchiatura contenente polveri si genera o viene introdotta una fonte d'ignizione.
2. Se la polvere è solamente depositata e non dispersa in aria, la combustione procede lentamente per la difficoltà di apporto del comburente attraverso il cumulo. Se la polvere è anche dispersa in aria si passa subito al punto successivo.
3. Quando la polvere viene dispersa in aria, la combustione può divenire esplosiva e provocare lo scoppio del recipiente con conseguente proiezione di frammenti e di miscela polvere-aria incendiata e effetti d'impulsi termici (la fuoriuscita della miscela incendiata può avvenire anche senza lo scoppio del recipiente attraverso i dispositivi di scarico della sovrappressione).
4. L'effetto termico e la dispersione di polvere combustibile provoca l'accensione di altro materiale combustibile presente nelle vicinanze, mentre la rimanente polvere all'interno del contenitore potrebbe continuare a bruciare.
5. La proiezione di frammenti ed il collasso del recipiente, qualora ne venga pregiudicata la stabilità generale, coinvolgono altri manufatti e apparecchiature. Con il collasso del recipiente altra polvere si può disperdere in aria generando altre fiammate.

Si evidenzia come l'esplosione possa generarsi ogni volta che la polvere viene dispersa in aria; dispersione che avviene quando:

- a) l'apparecchiatura contenente la polvere è messa in funzione (ad es. un ventilatore o un nastro che ripartono)
- b) l'apparecchiatura collassa o crolla (basta la caduta anche di una sua parte ad es. un filtro a maniche)
- c) l'apparecchiatura è svuotata velocemente o durante lo svuotamento si formano cupole instabili di materiale che poi crollano.

Un'ulteriore scenario particolare può essere quello in cui all'interno del recipiente è presente anche altro materiale combustibile più grosso e la polvere non riempie tutti i vuoti; è il caso dei filtri a maniche e dei silos misti di segatura e frammenti più grossi di legno. In questi recipienti anche senza movimentazione del prodotto si può avere una rapida combustione potendo l'aria comburente filtrare attraverso i vuoti del cumulo. Il calore generato può riscaldare la parte strutturale dell'apparecchiatura fino a portarla al collasso. Naturalmente si possono avere violente esplosioni se il materiale in combustione viene movimentato in modo

tales che grossi quantitativi di polvere siano dispersi negli interstizi del cumulo o nell'aria soprastante. Questo evento è sempre possibile negli incendi dei filtri a maniche quando la combustione del tessuto provoca la caduta delle maniche e la conseguente dispersione di tutta la polvere ancora trattenuta.

Nell'appendice III sono riportati gli estremi di un incendio in un silos di mangimi accaduto ad Arquà Polesine, Rovigo, nel Maggio del 1995. Il mangime contenuto era costituito dalla parte verde del girasole (cambo e foglie) tritata, disidratata e ridotta in pellets polvirulenti di pochi centimetri. Per la particolare situazione di tiraggio creatasi (aperture alla base ed in sommità) i pellets hanno bruciato con alte fiamme producendo varie fiammate quando erano movimentati violentemente. La ditta era in possesso di un certificato di prova di combustione dei pellets, eseguita con modalità analoghe alle prove per l'omologazione dei materiali di finitura ed arredo, in cui veniva dichiarata la possibilità di una combustione solo con brace senza fiamma.

Altra particolarità di questo tipo di incidenti è il potenziale collasso del recipiente per sole cause meccaniche quali:

- sovraccarico per introduzione dell'acqua di spegnimento;
- sbilanciamento del carico per manovre di svuotamento non simmetriche;
- sovraccarichi dinamici per svuotamenti veloci o non continui con crolli di ammassamenti o volte.

Si rammenta che le strutture di queste apparecchiature, lavorando sempre vicini alla pressione atmosferica, sono normalmente esili e assai vulnerabili all'instabilità locale.

Per questi incidenti le distanze di danno possono essere indicate sulla base di tre effetti: proiezione di frammenti, presenza flash-fire, collasso recipiente. Per l'impossibilità di avere grossi quantitativi di polvere dispersa in aria e non lavorando le apparecchiature ad alta pressione si possono trascurare le sovrappressioni. Inoltre essendo la polvere o i materiali polverulenti sempre contenuti in apparecchiature chiuse anche gli effetti dell'irraggiamento sono trascurabili. In base all'esperienza del Comando VV.F. di Rovigo alle squadre di soccorso sono state fornite le seguenti distanze di danno indicative solamente per le operazioni di soccorso.

- a) Proiezione di frammenti: pari a 100m
- b) Flash-fire: pari alla dimensione maggiore dell'apparecchiatura con un minimo di 10m;
- c) Collasso del recipiente: pari all'altezza dell'apparecchiatura dal livello del suolo

In base alle distanze indicate si individuano le tre seguenti zone:

- 1. zona di sicurezza: oltre i 100m
- 2. zona operativa: dai 100m alle distanze di danno per flash-fire o collasso
- 3. zona di pericolo: all'interno delle distanze di danno per flash-fire o collasso

Le distanze, soprattutto le ultime due, possono variare in base alle particolarità dell'apparecchiatura e del sito e alla presenza di altri manufatti che possono costituire schermo offrendo la possibilità di luoghi e direzioni di avvicinamento protetti; ugualmente si può prevedere un'area in cui può ricadere il recipiente in caso di collasso. Analogamente la distanza indicativa dei 100m può essere ampliata per tenere conto della vicinanza di attività particolarmente vulnerabili (scuole, ospedali, ecc..) o per tener conto della ricaduta di fumi tossici nel caso di estese combustioni di materiale plastico. Di conseguenza le varie zone, adattate alla planimetria dell'area, non risultano circolari. L'individuazione delle tre zone è fondamentale per l'adozione delle misure di salvaguardia della popolazione e di protezione delle squadre d'intervento. Infatti la Procedura Operativa prevede le seguenti misure di protezione.

- La popolazione, compresi i lavoratori dell'attività incidentata e gli operatori degli altri enti coinvolti devono essere allontanati in zona di sicurezza.
- Il personale delle squadre di soccorso all'interno della zona operativa deve indossare l'equipaggiamento completo per incendio (giaccone, pantaloni, passamontagna in fibra Nomex, elmetto, guanti non di gomma e stivali) e mantenersi per quanto possibile in posizione protetta. Nel caso di notevole ricaduta di fumi tossici la posizione deve essere sopravvento.
- Il personale delle squadre di soccorso all'interno della zona di pericolo deve operare come in zona operativa; inoltre deve evitare di sostare nell'area in cui può collassare il recipiente e deve proteggersi con getti d'acqua nebulizzata; nel caso di presenza di fumi tossici o in luoghi poco ventilati è necessario utilizzare l'autoprotettore.
- Gli automezzi VV.F. non devono sostare in zona di pericolo ad eccezione dell'autoscala che, se necessaria, deve posizionarsi per quanto possibile in area protetta.

5. PROCEDURE OPERATIVE

Seguendo le indicazioni del Servizio Tecnico Centrale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco sono state elaborate per le squadre VV.F. delle Procedure Operative di intervento [7] che sono costituite da una serie di standard operativi destinati agli operatori del soccorso antincendio. Esse comprendono la generalità delle sequenze delle operazioni da compiere e sono corredate da Schede Particolari che illustrano le possibili varie apparecchiature ed il dettaglio di alcune operazioni. Le schede sono destinate indirizzate a chi dirige l'intervento.

Di seguito si commenteranno le varie fasi della procedure, dalla ricezione della chiamata di soccorso allo svuotamento dell'apparecchiatura, nel caso in cui all'insacco non sia, da subito, seguita l'esplosione dell'apparecchiatura od il suo completo collasso.

5.1. RICEVIMENTO DELLA RICHIESTA DI SOCCORSO

Al ricevimento della richiesta di soccorso gli operatori della sala operativa dovranno cercare di acquisire più informazioni possibili su quanto sta accadendo, sulle sostanze ed apparecchiature coinvolte, sulla presenza di feriti. E' importante inoltre che gli operatori forniscano anche al responsabile delle squadre d'emergenza della ditta coinvolta delle indicazioni per non aggravare la situazione. Le indicazioni sono volte a:

- togliere tensione elettrica alle apparecchiature coinvolte;
- fermare immediatamente ogni movimentazione del materiale all'interno dell'apparecchiatura coinvolta; ogni operazioni di svuotamento già intraprese dovrà essere sospesa;
- fermare secondo le procedure d'emergenza tutte le lavorazioni e gli impianti nel raggio di 100m e allontanare delle persone presenti eliminando anche potenziali inneschi;
- azionare i sistemi automatici di spegnimento installati;
- far conoscere le tipologie di polveri coinvolte, la loro granulometria, ecc.

5.2. INVIO SQUADRE DI SOCCORSO

L'invio delle squadre di soccorso VV.F. avverrà facendo convergere i mezzi disponibili più vicini; come primi mezzi inviati si prevede sempre una **Autopompaserbatoio** con 6 uomini, una **Autobotte** e una **Autoscala** con due uomini ciascuno. Il coordinamento delle operazioni deve essere svolto dal funzionario di servizio o dal capo reparto in sua assenza. Giunti sul posto in base alla particolare situazione si potranno inviare altri mezzi o far rientrare quelli non necessari. Durante il percorso gli operatori della sala operativa comunicheranno via radio il percorso ottimale e le altre indicazioni acquisite dalla ditta.

Verrà inoltre attivato l'ente preposto al Servizio di Soccorso Medico.

5.3. INIZIO OPERAZIONI NEL SITO

Una volta giunti sul luogo le prime operazioni da compiere sono tese a soccorrere i feriti, ad evitare ulteriori aggravamenti della situazione e ad impostare la "catena controllo comando" necessaria per il corretto svolgimento di tutte le operazioni.

Di estrema importanza risulta la verifica, da parte del responsabile delle operazioni di soccorso, che tutto il personale abbia indossato gli indumenti protettivi (compresi quelli per le mani ed il capo) in dotazione stante il pericolo concreto di flash-fire. Le esperienze pregresse insegnano che la gran parte di vittime sono decedute o hanno riportato ustioni gravi proprio per la mancanza sopraindicata.

Il soccorso dei feriti è finalizzato soprattutto al loro trasporto in luogo sicuro e all'affidamento ai Servizi di Soccorso Medico.

Le prime operazioni, per non aggravare la situazione, sono le medesime indicate telefonicamente alla ditta dagli operatori della sala operativa. Si tratta di verificare se ciò è stato fatto ed in caso contrario effettuarlo al più presto. Spesso è anche necessario procedere allo spegnimento di alcuni focolai esterni innescati dal flash-fire.

Per gli incidenti di piccola entità il Funzionario coordina tutte le operazioni e le comunicazioni, ripartendo i vari compiti fra i Capi Squadra. Se l'incidente è di una certa gravità o coinvolge industrie o attività potenzialmente pericolose, si organizza sul posto, ai confini della zona sicura, una Unità di Coordinamento Locale (UCL) a cui possano fare riferimento tutti gli Enti coinvolti ed i Responsabili

dell'attività incidentata. L'Unità, diretta dal Comandante o da un secondo Funzionario richiesti sul posto, ha fondamentalmente tre scopi:

- sovrintendere all'operato delle squadre di soccorso, dirette dal Funzionario, assicurando dati ed indicazioni tecniche e le risorse necessarie in termini di uomini, mezzi ed attrezzature;
- fornire notizie e dati certi ad altri Enti coinvolti (Servizio Sanitario, Enel, Comune, ecc.); nel caso di incidenti rilevanti, l'UCL diviene il primo interlocutore dei responsabili delle operazioni di protezione civile (Sindaco, Prefettura, COM, CCS)
- gestire le comunicazioni all'esterno anche verso i mezzi di informazione.

5.4. MESSA IN SICUREZZA APPARECCHIATURA

Eseguite le prime operazioni di messa in sicurezza dell'apparecchiatura quali la fermata, il disinserimento dell'alimentazione elettrica e l'azionamento dei sistemi automatici di spegnimento, si deve procedere con:

- l'allontanamento di materiali combustibili o d'intralcio posti nelle vicinanze
- l'assicurazioni delle eventuali parti pericolanti;
- l'intercettazione dei condotti e tubazioni in entrata ed uscita dall'apparecchiatura per evitare che fiammate si propaghino in altre apparecchiature o ambienti collegati;
- l'apertura di tutte le superfici di facile cedimento poste nella parte superiore dell'apparecchiatura al di sopra della superficie libera del materiale (ciò permette la fuoriuscita dei fumi ma non l'ingresso di aria comburente ed inoltre facilita lo sfogo di sovrappressioni, eventuali portelli bloccati per scarsa manutenzione potrebbero essere riattivati);
- il raffreddamento con getti d'acqua delle pareti esterne delle apparecchiature metalliche non coibentate nel caso di combustioni estese;
- lo scollegamento statico dell'apparecchiatura da altre vicine per evitare effetti domino (l'operazione non deve pregiudicare la stabilità e deve, per quanto possibile realizzare una direzione privilegiata di collasso per rotazione rigida);
- l'introduzione di agenti estinguenti all'interno.

Le operazioni devono essere eseguite per quanto possibile rimanendo in posizione protetta o defilata. In particolare per l'apertura delle superfici di facile cedimento il personale dovrà indossare l'autoprotettore (i fumi prodotti dalla combustione in assenza di ossigeno sono in ogni caso tossici contenendo CO). Se non è possibile rimanere in posizione protetta e defilata è necessario indossare anche tute d'avvicinamento al fuoco.

Una volta aperte le superfici superiori si potrà procedere più facilmente allo spegnimento dello strato superficiale del materiale o degli eventuali filtri, tramite il getto d'idranti. L'acqua di spegnimento deve in ogni caso essere usata con attenzione in quanto sovraccarica l'apparecchiatura. L'acqua inoltre non è in grado di penetrare in tutta la massa del materiale ma, una volta impregnata la superficie, crea dei canali di drenaggio e si accumula alla base da cui deve essere rimossa favorendone la filtrazione allargando alcune flange o chiusure.

Se possibile è più indicato usare agenti di spegnimento gassosi quali anidride carbonica, azoto o vapore d'acqua in quanto:

- non sovraccaricano l'apparecchiatura;
- sono dotati di maggiore capacità di penetrazione nella massa della polvere;
- inertizzano il volume libero superiore;
- non provocano effetti di compattamento del materiale favorendo il successivo svuotamento.

Si evidenzia come sia impossibile avere la certezza del completo spegnimento in quanto una combustione può continuare in punti ristretti della massa, lontani dai canali di drenaggio e dalla superficie. La presenza di questi punti innescati nella massa non può essere mai esclusa. Può avvenire infatti, che precedentemente all'innescio principale, una altra piccola parte innescata sia stata subito ricoperta da altro materiale che abbia così impedito la propagazione della combustione con un effetto di soffocamento. Il punto innescato ricoperto comunque permane come possibile innescio in virtù della caratteristica delle polveri di avere bassi valori di conduzione del calore e di mantenere la combustione anche con valori di ossigeno molto bassi. I punti innescati nei pressi delle pareti metalliche possono essere rilevati con l'ausilio di termocamere.

5.5. SVUOTAMENTO DELL'APPARECCHIATURA

Una volta raffreddata l'apparecchiatura ed eliminata la combustione in superficie bisogna procedere allo svuotamento. Non potendo mai escludere la presenza di punti innescati o altro lo svuotamento risulta essere

il momento più delicato delle operazioni. In appendice IV sono riportati gli estremi di un incidente in un silos di segatura in cui durante le operazioni di spegnimento è avvenuto un flash-fire. E' essenziale quindi procedere allo svuotamento evitando che ci sia dispersione di polvere in aria sia all'interno che all'esterno dell'apparecchiatura. Inoltre la possibilità di avere una esplosione dell'apparecchiatura o una fiammata deve essere ridotta inertizzando i volumi in cui ho la dispersione con getti d'acqua nebulizzata o, all'interno dell'apparecchiatura, con gas inerte.

Se possibile devono essere utilizzati i dispositivi fissi di svuotamento che non provocano dispersioni, ad esempio le coclee chiuse. Per fare ciò è necessario, dopo attenta verifica, ripristinare l'alimentazione elettrica o altro. In ogni caso la superficie superiore della massa deve essere sempre monitorata per verificare se lo svuotamento avviene con regolarità senza dispersioni o formazioni di cumuli, volte. Con il procedere dello svuotamento devono essere subito aperte tutti i portelli che man mano si liberano. Se la posizione di monitoraggio non è protetta bisognerà procedere ad uno svuotamento non continuo sospendendolo ogni qual volta l'operatore si avvicina a controllare l'interno dell'apparecchiatura. Il ripristino dei dispositivi di svuotamento e il monitoraggio lasciano comprendere come sia necessario, per procedere alle operazioni di svuotamento, attendere il raffreddamento completo delle parti superficiali della massa e la cessazione dell'emissione di fumo. E' anche necessario disporre o ricavare aperture idonee per osservare la superficie del materiale.

Nella maggioranza dei casi però il calore della combustione, l'acqua di spegnimento ed il conseguente imbibizione del materiale o la sua già precedente compattazione rendono i dispositivi fissi non utilizzabili e bisogna quindi fare ricorso all'apertura di portelli. La maggioranza delle apparecchiature, in previsione di uno loro svuotamento, sono comunque dotate di sportelli ad apertura controllata (a ghigliottina o motorizzati) posti nella parte inferiore. Diversamente in presenza di soli portelli di cui non è possibile controllare l'apertura, dovranno essere utilizzati solo le aperture poste vicino alla superficie del materiale e quindi visibili dall'interno e l'estrazione del materiale dovrà avvenire con dispositivi mobili o manualmente tramite contenitori evitando la dispersione in aria. Con il procedere dello svuotamento si utilizzeranno portelli e aperture a quote inferiori. Nel caso si utilizzi portelli ad apertura controllata l'estrazione potrà avvenire per caduta libera controllandone l'efflusso e contemporaneamente abbattendo la nube di polvere e l'eventuale fiammata con acqua nebulizzata. In questo caso la distanza di pericolo va dimensionata fino a cinque volte il percorso della caduta del materiale. Per diminuire la dispersione attorno al luogo di caduta potranno essere posti degli schermi, ad esempio pannelli in legno, creando così anche dei ripari per gli operatori delle lance nebulizzate. Il getto pieno degli idranti potrà essere utilizzato per estrarre il materiale impacchettato dall'interno dell'apparecchiatura agendo sia dalla parte inferiore che superiore. Si sottolinea ancora la necessità di controllare costantemente la regolarità dell'estrazione del materiale e di abbattere le dispersioni di polvere con acqua nebulizzata.

5.6. OPERAZIONI CONCLUSIVE

Il materiale estratto dall'apparecchiatura è in ogni caso da considerarsi non sicuro in quanto possono ancora essere presenti punti innescati e l'acqua usata per lo spegnimento o estrazione può generare fenomeni di fermentazione. E' auspicabile quindi che sia smaltito al più presto in apposito impianto. Finchè permane nel sito incidentato sia dovrà essere sempre vigilato.

La conclusione dell'intervento prosegue completando l'assicurazione statica delle varie apparecchiature, e, se possibile, ripristinando parte degli impianti isolando l'apparecchiatura danneggiata. Seguono inoltre gli adempimenti di competenza riferiti alla Polizia Giudiziaria e alla Prevenzione Incendi.

APPENDICE I	ESPLOSIONE AMIDO IN CASTELMASSA
DATA:	AGOSTO 1985
STABILIMENTO:	CERESTAR in CASTELMASSA, ROVIGO, ITALIA
ATTIVITA':	PRODUZIONE AMIDO E ZUCCHERI DA MAIS
APPARECCHIATURE COINVOLTE:	REPARTO STOCCAGGIO ED INSACCAGGIO DESTROSIO IN POLVERE
DANNI A COSE: DANNEGGIAMENTO	PARZIALE CROLLO FABBRICATO DEL REPARTO E FORTE DI TUTTE LE APPARECCHIATURE CONTENUTE

DANNI A PERSONE: 10 OPERAI USTIONATI

OPERAZIONI INTERVENTO: SOCCORSO AI FERITI, SPEGNIMENTO ALCUNI FOCOLAI E ASSICURAZIONE STATICA DELLE PARTI PERICOLANTI

POSSIBILI CAUSE: UN GUASTO AL SISTEMA DI TRASPORTO PNEUMATICO DISPERDE POLVERE ALL'INTERNO DEL LOCALE. POCO DOPO VENGONO EFFETTUATI DEI LAVORI DI MANUTENZIONE CON L'UTILIZZO DI SALDATURE ELETTRICHE E OSSIA CETILENE. UNA SCINTILLA HA INNESCATO LA MISCELA POLVERE DI DESTROZIO ARIA.

NOTE: LA DISPERSIONE DELLA POLVERE IN ARIA E' STATA PRODOTTA DALLA RIMESSA IN SERVIZIO DEGLI IMPIANTI DOPO LA RIPARAZIONE DEL GUASTO. LE OPERAZIONI DI MANUTENZIONE APPALTATE A TERZI NON SI ERANO MAI INTERROTTE

APPENDICE II ESPLOSIONE ERBA MEDICA IN PAPOZZE

DATA: MAGGIO 1992

STABILIMENTO: AZ. AGRICOLA MANZOLLI in PAPOZZE, ROVIGO, ITALIA

ATTIVITA': IMPIANTO DI DISIDRATAZIONE ERBA MEDICA E SUA RIDUZIONE IN PELLETS

APPARECCHIATURE VOLTE: ESSICCATORE A TAMBURO ROTANTE ORIZZONTALE CON COINBRUCIATORE A OLIO COMBUSTIBILE

DANNI A COSE: DISTRUZIONE DELLE ATTREZZATURE POSTE ALLE ESTREMITA DEL TAMBURO CON DEMOLIZIONE DELLE RELATIVE OPERE EDILI E PROIEZIONE DI FRAMMENTI FINO A 100M

DANNI A PERSONE: NESSUNO

OPERAZIONI INTERVENTO: ASSICURAZIONE E DEMOLIZIONE PARTI PERICOLANTI, RIMOZIONE ERBA MEDICA CONTENUTA IN CICLO

POSSIBILI CAUSE: UNA INTERRUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DI POCHI MINUTI HA PROVOCATO LA FERMATA DEI VENTILATORI E DELLA ROTAZIONE DEL TAMBURO MA NON LO SPEGNIMENTO DEL BRUCIATORE. AL RITORNO DELL'ENERGIA ELETTRICA E ALLA RIPRESA DEL MOVIMENTO DI ROTAZIONE L'ERBA MEDICA FINEMENTE MINUZZATA E ORMAI IN COMBUSTIONE PER IL FORTE RISCALDAMENTO, SI MISCELA CON L'ARIA PROVOCANDO UNA DEFLAGRAZIONE

NOTE: DOPO DIECI GIORNI DALLA PRIMA ESPLOSIONE, RIPRESA L'ATTIVITA' SENZA APPORTARE ALCUNA MODIFICA E CONTRO LE ORDINANZE DELLE AUTORITA' SI HA UNA ANALOGA ESPLOSIONE SEMPRE ALLA STESSA APPARECCHIATURA CON LE MEDESIME CARATTERISTICHE E CAUSE. TUTTO L'IMPIANTO ERA PRIVO DI QUALSIASI MISURA DI PREVENZIONE

APPENDICE III**INCENDIO SILOS MANGIME**

DATA:	MAGGIO 1995
STABILIMENTO:	ANDREASI S.p.A. in ARQUA' POLESINE, ROVIGO, ITALIA
ATTIVITA':	ESSICCATOIO MAIS E ALTRI PRODOTTI AGRICOLI CON STOCCAGGIO IN SILOS
APPARECCHIATURE COINVOLTE:	UN SILOS METALLICO DA 2500000Kg CONTENENTE MANGIME IN PELLETS DELLA PARTE VERDE DEL GIRASOLE. IL SILOS ERA INSERITO IN UNA BATTERIA DI ALTRI 7 SILOS PIENI DI MAIS
DANNI A COSE:	PER LE OPERAZIONI DI SPEGNIMENTO E' STATO NECESSARIO SMONTARE IL SILOS
DANNI A PERSONE:	NESSUNO
OPERAZIONI INTERVENTO:	SCOLLEGAMENTO DEL SILOS DALLA RIMANENTE BATTERIA SUO SVUOTAMENTO CONTROLLATO CON CONTEMPORANEO RAFFREDDAMENTO E SPEGNIMENTO
POSSIBILI CAUSE:	IL MANGIME DEPOSITATO NON SUFFICIENTEMENTE DISIDRATATO HA GENERATO FENOMENI DI AUTOCOMBUSTIONE E CEMENTIFICAZIONE CHE NE IMPEDIVANO LA NORMALE ESTRAZIONE. LE APERTURE PRATICATE ALLA BASE NEL MANTELLO DEL SILOS DA PARTE DEGLI OPERAI NON HANNO PROVOCATO LA FUORIUSCITA DI TUTTO IL MATERIALE IN PARTE COMPATTATO IN GROSSI BLOCCHI MA LA SUA OSSIGENAZIONE PROVOCANDO UNA COMBUSTIONE VIOLENTA
NOTE:	LO SVUOTAMENTO DA PARTE DELLE SQUADRE VV.F. E' AVVENUTO CREANDO NUOVE APERTURE IN SOMMITA E POI A QUOTE SEMPRE INFERIORI CON LA DIMINUZIONE DELL'ALTEZZA DEL MATERIALE DEPOSITATO. LA COMBUSTIONE ALL'INTERNO DEL SILOS ERA VIOLENTA CON GROSSE FIAMME MA LE OPERAZIONI DI SVUOTAMENTO SONO AVVENUTE SENZA PROVOCARE LA DISPERSIONE IN ARIA DI POLVERE AGENDO SEMPRE IN PRESENZA DI ACQUA NEBULIZZATA.

APPENDICE IV**INCENDIO SILOS FALEGNAMERIA IN TRENTO**

DATA:	LUGLIO 1998
STABILIMENTO:	JANESELLI in TRENTO, ITALIA
ATTIVITA':	FALEGNAMERIA PER PRODUZIONE SERRAMENTI IN LEGNO
APPARECCHIATURE	LEVIGATRICE E SILOS RECUPERO POLVERI LEGNO
DANNI A COSE:	PICCOLI SEGNI DI BRUCIATURE ALLA LEVIGATRICE, ALLE PARETI E FILTRO DEL SILOS
DANNI A PERSONE:	3 OPERAI PER USTIONI
OPERAZIONI INTERVENTO:	SPEGNIMENTO E SVUOTAMENTO DEL SILOS
POSSIBILI CAUSE:	LA PRESENZA DI CHIODI IN ACCIAIO NEL MATERIALE SULLA LEVIGATRICE HA PROVOCATO DEGLI INNESCHI CHE SONO PENETRATI NEL SILOS PROVOCANDO UNA COMBUSTIONE

APPARENTEMENTE SPENTA TRAMITE IL GETTO DI IDRANTI DALLA SOMMITÀ'. DURANTE LE OPERAZIONI DI SVUOTAMENTO UN RAPIDO MOVIMENTO DEL MATERIALE CONTENUTE UN'A PORZIONE IN COMBUSTIONE A PRODOTTO UNA FIAMMATA CHE FUORIUSCENDO DAI PORTELLI INFERIORI UTILIZZATI PER LO SVUOTAMENTO MANUALE HA INVESTITO I TRE OPERAI CHE STAVANO OPERANDO LO SVUOTAMENTO.

NOTE: GLI OPERAI NON INDOSSAVANO INDUMENTI DI PROTEZIONE.

APPENDICE V INDICAZIONI DELL'ISPettorato INTERREGIONALE VV.F. PER IL VENETO E IL T.A. PER LA REALIZZAZIONE DEI SILOS

1. UBICAZIONE

- 1.1. Ove possibile, i silos devono essere ubicati in posizione isolata rispetto ai fabbricati sia di pertinenza dell'attività che esterni alle stesse.
- 1.2. L'ubicazione deve consentire l'avvicinamento dei mezzi di soccorso nonché la possibilità di intervenire le squadre VV.F..
- 1.3. Qualora si tratti di silos realizzato con pareti in muratura o calcestruzzo, posti in adiacenza a fabbricati, dovrà aversi una parete dello stesso completamente a cielo libero; tale parete deve essere di facile cedimento rispetto a quelle che lo isolano dal fabbricato. Le rimanenti pareti devono avere resistenza al fuoco almeno 180' ed essere resistenti all'esplosione.

2. DISPOSITIVI DI SICUREZZA

- 2.1 In relazione al loro utilizzo le tubazioni di adduzione delle polveri ed i silos stessi devono essere dotati dei seguenti dispositivi di sicurezza:
 - 2.1.1. Rivelatori di scintille posti nelle canalizzazioni di adduzione collegati a serrande tagliafuoco, posizionati sia sulla tubazione di adduzione che di quella di ritorno della sola aria. Tali serrande dovranno distare dal rilevatore in maniera da permettere l'intercettazione delle scintille in funzione del tempo di intervento del dispositivo. Il rilevatore di scintille deve essere collegato ad allarmi acustici e visivi in locali sicuramente presidiati e a spruzzatore d'acqua posto nella tubazione di aspirazione..
 - 2.1.2. Rilevatori di incendio termici differenziali e/o velocimetrici all'interno del silos, collegati ad allarmi acustici e visivi in locale sicuramente presidiato. Il rilevatore che deve in ogni caso intervenire quanto la temperatura supera i 60 °C deve provocare anche l'arresto dei ventilatori e la chiusura delle serrande tagliafuoco.
 - 2.1.3. Impianto idrico di raffreddamento a pioggia, con comando manuale composto da anelli torroidali disposti sulla superficie esterna di silos metallici con portata pari ad almeno 1lt/min/mq di superficie; dovranno inoltre posizionarsi degli ugelli d'acqua nebulizzata a protezione dell'area sottostante il silos.
- 2.1.3 Impianto di spegnimento ad acqua posto sopra i filtri a maniche del silos
bis
- 2.1.4 Il dimensionamento delle superfici di facile cedimento deve essere effettuato secondo gli standard indicati dalla NFPA 68.
- 2.1.5 Dispositivi di apertura manuale posto a debita distanza dal portellone di scarico.
- 2.1.6 Un idrante UNI 70 a colonna da posizionarsi nelle immediate vicinanze del silos.
- 2.1.7 I dispositivi di scarico ordinario dovranno essere disponibili anche in caso d'incendio. Quindi le colee elettriche ed i relativi motori e le linee di alimentazione dovranno essere protette sia dall'incendio sia dall'acqua ed avere alimentazione elettrica preferenziale.

3. AVVERTENZE

- 3.1. Particolare cura dovrà essere posta nel verificare che l'area sottostante e circostante il silos non venga destinata a deposito di materiali combustibili e che non vi siano potenziali fonti di innesco.
- 3.2. Infine dovranno essere richieste e verificate con cura le certificazioni riguardanti gli impianti elettrici, di messa a terra e di protezione dalle scariche atmosferiche.
- 3.3. dovranno essere disponibili istruzioni ed indicazioni per il corretto funzionamento del silos e per le operazioni da compiere in emergenza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] NFPA 68, *Guide for Venting of Deflagrations*, National Fire Protection Association, Boston, Massachusetts (1984)
- [2] Palmer K.N., *Dust Explosions and Fires*, Chapman and Hall, Londra (1973)
- [3] M. Silvestrini, *L'esplosività delle polveri*, Antincendio, n°10/96, pp. 13-20, Roma (1996)
- [4] F. Boato, F. Dattilo, L. Rosa, *Analisi dell'esplosività delle polveri e studio delle superfici a minore resistenza alla deflagrazione nei silos*, Università degli studi di Padova, Padova (1997)
- [5] P. Lattanzio, *I rischi di esplosione negli stabilimenti con presenza di polveri di cereali*, Antincendio, n° 1/98, pp. 67-80, Roma (1998)
- [6] P. Maurizi, U. Petaccia, *L'esplosione di un silos adibito allo stoccaggio di segatura*, Antincendio, n° 4/97, pp.43-48, Roma (1997)
- [7] C.N.VV.F. - S.T.C., *Linee guida per l'elaborazione delle Procedure Operative di Intervento*, Roma (1998)
- [8] VDI 3673, *druckentlastung von Staubexplosionen Pressure Release of Dust Explosions*, Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf (1992)