

PROVE SPERIMENTALI SULLE POLVERI E PARTICELLE SOLIDE COMBUSTIBILI

Parte 1: Test sulle polveri stratificate

Si analizzano i principali test eseguibili sulle polveri nello stato fisico di strato e nube.

Sergio Festa - Lucio Oggioni

Con il termine generico *polvere* la Norma CEI EN 60079-10-2 [1] considera sia le polveri combustibili intese come l'insieme di particelle solide finemente suddivise di dimensioni uguali o inferiori a 500 μm sia le particelle solide combustibili comprese le fibre di dimensioni superiori a 500 μm che possono formare una miscela esplosiva con l'aria a pressione atmosferica e temperatura normale. Questo articolo si propone l'obiettivo di indicare, in base ai contenuti Normativi ed a quanto reperibile nella letteratura tecnica, il percorso di acquisizione delle caratteristiche comportamentali di reazione delle polveri, nello stato fisico di strato e nube, alle sorgenti di innesco. La conoscenza di queste caratteristiche è necessaria per la classificazione dei luoghi, la progettazione e il dimensionamento di un sistemi in cui le polveri sono impiegate.

PREREQUISITO ALLA MANIPOLAZIONE SICURA DI POLVERI NEI CONFRONTI DI INCENDI ED ESPLOSIONI

Il prerequisito fondamentale per la manipolazione sicura di polveri, per prevenire incendi o esplosioni, è la conoscenza delle loro caratteristiche che influenzano tali eventi.

Queste caratteristiche sono rilevabili dalle schede di sicurezza, fornite dai produttori delle sostanze, da Database oppure

possono essere determinate mediante test strumentali.

Le schede di sicurezza, in molti casi, non indicano in modo attendibile le caratteristiche di esplosibilità delle sostanze a cui si riferiscono e quindi non possono essere una fonte certa di dati per questo genere di analisi.

Maggiori informazioni sono reperibili nei Database contenuti in testi specializzati, in fascicoli di Norme e Guide o in programmi informatici di ausilio alla classificazione di aree a rischio di esplosione.

Un Database molto completo, per quantità di sostanze catalogate (circa 7000 nello stato fisico di polveri) e per le caratteristiche di esplosibilità riportate, è il Database GESTIS-DUST-EX "*Database Combustion and explosion characteristics of dusts*" gestito dall'IFA [Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (Istituto per la sicurezza e la salute sul lavoro dell'assicurazione sociale tedesca contro gli infortuni)].

Nella Premessa all'uso della banca dati, l'IFA evidenzia alcuni limiti di applicabilità dei dati indicati dovuti essenzialmente ad una ampia possibilità di variazione della natura delle polveri dipendente dalla composizione e dalle caratteristiche delle particelle (distribuzione, struttura superficiale, contenuto di umidità, ecc.). Viene inoltre puntualizzato che i dati sensibili contenuti nel Database dovrebbero, essere consultati principalmente, per conoscere quali polveri sono state già sottoposte a test e quale può essere l'ordine di grandezza delle caratteristiche più significative legate all'esplosibilità; in alcuni casi, il Database riporta anche valori molto diversi per quelle che apparentemente possono sembrare essere la stessa sostanza.

Le medesime raccomandazioni di impiego prudente e consapevole delle informazioni contenute nel Database Gestis-Dust-EX sono fornite anche nell'Appendice G della Norma CEI UNI EN/ISO IEC 80079-20-2 [2] che descrive i metodi di prova per accertare se un materiale presenti proprietà tali da poterlo considerare polvere combustibile e per determinarne sperimentalmente alcune caratteristiche.

TEST SULLE POLVERI

Da ricerche sperimentali è risultato che in presenza di miscele di due sostanze in polvere la reattività e l'infiammabilità della miscela, qualitativamente, possono essere individuate tramite formule basate sulla concentrazioni e caratteristiche delle singole sostanze costituenti la miscela mentre, in presenza di miscele con più composti, sono stati osservate variazioni delle caratteristiche di esplosibilità molto significative rispetto

a quelle ipotizzate con l'applicazione delle formule.

Le conoscenze sulle caratteristiche di sicurezza dei materiali in polvere possono essere approfondite determinando i comportamenti dei campioni, nello stato fisico di strati e di nubi, tramite test codificati dalla normativa europea e, nei casi di assenza di riferimenti, tramite le indicazioni contenute in Standard internazionali. I test di seguito descritti sono rappresentativi di quasi tutti gli aspetti legati alla sicurezza nella manipolazione delle polveri combustibili ma, in base alle caratteristiche del processo in cui sono impiegate, potrebbero non essere tutti necessari per una analisi di sicurezza.

TEST SU POLVERI STRATIFICATE

Si analizzano i principali test che possono fornire informazioni utili sulla sicurezza su polveri nello stato fisico di strati, partendo dalle prioritarie prove di infiammabilità fino agli accertamenti di possibili reazioni fortemente esotermiche conseguenti all'impiego:

Infiammabilità

Gli strati di polvere sono considerati infiammabili se possono essere accesi da una sorgente esterna e se la fiamma si propaga, ad una certa distanza, dopo che l'innesco esterno è stato allontanato.

Per la determinazione dell'accensione e del comportamento alla combustione i depositi di polvere vengono esposti, in prove preliminari, all'effetto di differenti sorgenti di accensione, quali fiammiferi, fiamme, scintille, fiamme di gas, ecc. (VDI 2263 part. 1)[3] (VDI: Verein Deutscher Ingenieure).

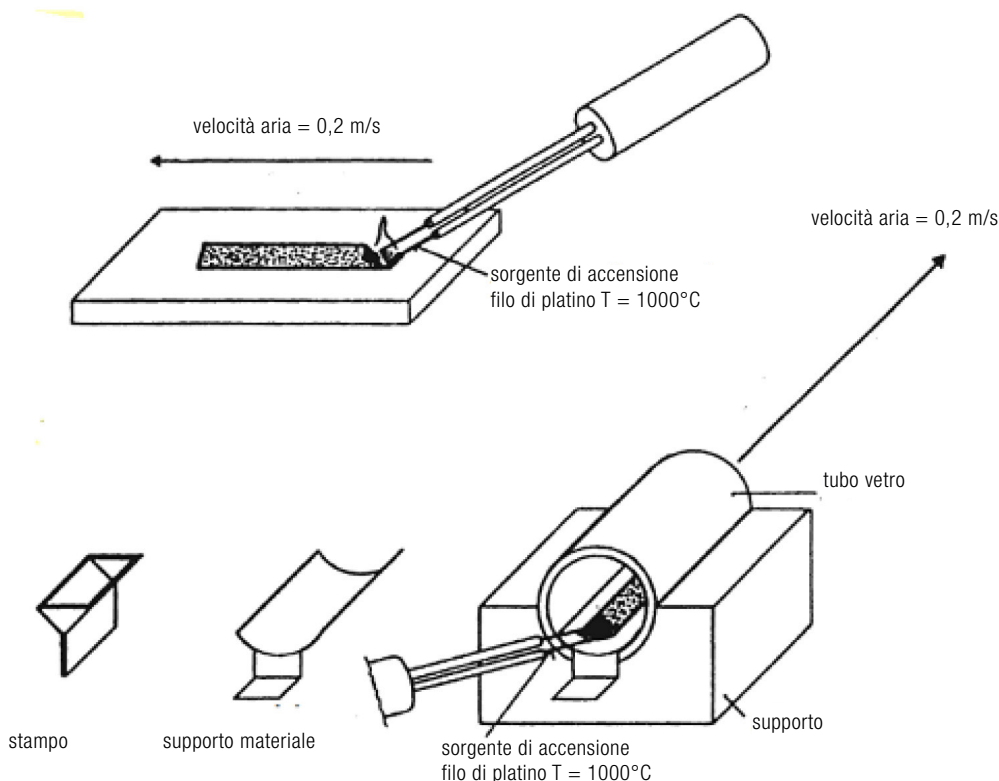
Determinazione del comportamento della combustione in strato delle polveri

La determinazione della classe di combustione, oltre che fornire una indicazione sulla combustibilità e infiammabilità del campione sottoposto a prova, consente di accertare qualitativamente se:

- il campione possa prendere fuoco;
- la reazione di combustione avviene con sviluppo o assenza di fiamma;
- l'accensione del prodotto si propaga e a quale velocità avviene la propagazione.

La prova viene eseguita, secondo la Norma europea recepita come UNI EN 17077 [4], adagiando il materiale, precedentemente forgiato in uno stampo a sezione triangolare, su una lastra o piastra termicamente isolante. La sorgente di

Figura 1 - Apparecchiatura per la determinazione della combustione in strato (UNI EN 17077).



accensione è costituita da un filo di platino incandescente riscaldato elettricamente a 1000 °C. La prova deve essere eseguita con una portata d'aria di $0,2 \div 0,4 \text{ m s}^{-1}$.

In alternativa, la prova può essere eseguita tramite l'apparecchiatura di Lütolf, rappresentata in figura 1, costituita da un tubo di vetro del diametro di 43 mm, lungo 121 mm, da un porta campione di acciaio inox, lungo 80 mm, e da un supporto termicamente isolante.

La prova può anche essere eseguita sul campione alla temperatura di 100 °C riscaldando l'apparecchiatura e il provino in un forno. Durante la prova l'apparecchiatura deve essere mantenuta nel forno e sottoposta ad una portata d'aria di $(0,2 \div 0,4) \text{ m s}^{-1}$.

La Norma puntualizza che il campione di polvere deve essere rappresentativo del materiale, così come appare nel processo, e deve essere caratterizzato da distribuzione granulometrica e contenuto di umidità. Se il campione non è rappresentativo del processo, dovrebbe presentare una granulometria di 250 µm ed essere stato essiccato precedentemente in un forno a 50 °C.

Il comportamento della combustione del campione è valutato in conformità della reazione alla sorgente di accensione e

caratterizzato da un numero di classe di combustione indicato nella Tabella 1. Il risultato della prova viene quindi espresso, secondo la Norma di riferimento, dalla scritta "classe di combustione" seguita dal numero identificativo.

La gran parte dei dati contenuti nella letteratura tecnica indicano l'attitudine della polvere a bruciare in strato tramite la classe di combustibilità BZ (Brennzahl) indicata dallo

Figura 2 - Apparecchiatura Anko per eseguire il test di combustibilità in strato delle polveri.

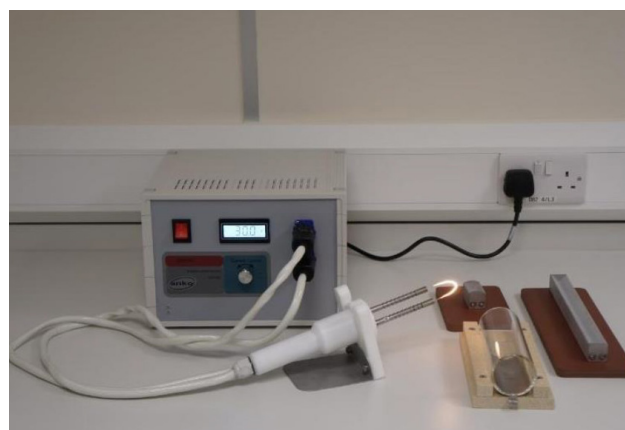


Tabella 1 - Tabella delle classi di combustione di polveri (UNI EN 17077).

RISULTATI PROVA		NUMERO CLASSE DI COMBUSTIONE
Nessuna accensione	Nessuna propagazione della fiamma	1
Breve accensione e rapida estinzione		2
Combustione localizzata o incandescenza con praticamente nessuna propagazione o propagazione solo locale		3
Nessuna accensione Incandescenza o fuoco covante o decomposizione lenta senza fiamma		4
Combustione silenziosa con fiamme o scintille	Propagazione completa della combustione attraverso l'intero provino di polvere	5
Combustione molto rapida con fiamme o decomposizione molto rapida		6

standard VDI 2263 part. 1 che, sostanzialmente, prevede modalità operative per l'esecuzione dei test simili a quelle indicate dalla Norma EN 17077.

La classe di combustibilità della polvere (BZ) è un indice d'infiammabilità individuabile secondo la scala indicata nella Tabella 2.

Allo stato attuale, non esistono Norme o Guide, universalmente applicabili, che trattino dell'argomento dei frammenti caldi o incandescenti derivanti dalla combustione o dalla esplosione di polveri; tuttavia, possono essere di ausilio le seguenti considerazioni che emergono da alcune sperimentazioni effettuate:

- l'esecuzione del test con la temperatura che passa da 20 °C a 100 °C comporta la variazione della classe di combustione del materiale da BZ1/BZ3 a BZ4/BZ6 [5];
- solo i materiali appartenenti ad una classe di combustione superiore a BZ3 (valutata a 100 °C) sono suscettibili di

originare frammenti incandescenti, che comunque devono presentare una superficie maggiore di 90 cm² e una temperatura di almeno 900 °C per innescare polveri con temperatura di infiammabilità maggiore di 600 °C [5];

L'incendiabilità del materiale viene a dipendere dalla temperatura e dalla dimensione del frammento aumentando all'aumentare di queste grandezze.

- Gummer e Lunn [6], sulla base della letteratura sull'argomento esaminata e dei test condotti, hanno concluso (con riferimento alla Figura 3) che:
 - frammenti addensati a lenta combustione e senza fiamma (smouldering nests) che si muovono in una nube di polvere non sono in grado di innescarla se la stessa presenta una temperatura di accensione in nube (MIT (cloud)) maggiore di 400 °C;
 - uno strato di frammenti fumanti e senza fiamma (smouldering nests) non è risultato in grado di innescare

Tabella 2 - Classi di combustione BZ.

CLASSE DI COMBUSTIBILITÀ	VALUTAZIONE
BZ1	La polvere non prende fuoco (non è combustibile)
BZ2	La polvere prende fuoco brevemente poi si estingue rapidamente
BZ3	La polvere diventa incandescente (arde) localmente senza propagazione
BZ4	La polvere diventa incandescente(arde) con propagazione
BZ5	La polvere produce un fuoco vivo che si propaga
BZ6	La polvere produce una combustione molto rapida

Figura 3 - Smouldering nest e Burning nest – lycopodium- (J.Gummer-G.A.Lunn).



Smouldering nest



Burning nest

una nube di polvere con MIT(cloud) maggiore di 340 °C, mentre lo strato fiammeggiante (burning nests) è in grado di innescare nubi con MIT(cloud) di circa (600/800) °C.

Misura della Temperatura di accensione di uno strato di polvere

La definizione della temperatura di accensione di uno strato di polvere è contenuta nell'art.3.22 della CEI EN 60079-10-2 e può essere determinata, secondo la Norma CEI UNI EN/ISO IEC 80079-20-2, disponendo uno strato di 5 mm di polvere non compressa, su una superficie metallica circolare di diametro pari a 200 mm e spessore non inferiore a 20 mm. La superficie scaldante deve essere in grado di raggiungere una temperatura di 400 °C senza il campione in prova ed essere dotata di un sistema di controllo in grado di garantire la stabilità termica entro determinati valori prima e durante la prova.

La prova deve essere eseguita sotto una cappa in grado di estrarre i fumi e i vapori che potrebbero formarsi durante il test; inoltre, durante lo svolgimento del test, la temperatura ambientale, ad 1 m dall'apparecchiatura, deve essere compresa tra 15 °C e 35 °C.

La prova, che viene iniziata ad un certo valore di temperatura della superficie scaldante, prosegue fino a quando non si manifesta una delle seguenti condizioni:

- visibile accensione dello strato di polvere;
- temperatura dello strato di 450 °C;
- variazione di 250 °C tra la temperatura della superficie scaldante e quella dello strato di polvere.

La prova viene interrotta se dopo 30 min non si osserva nessun segno di combustione della polvere; in questo caso il test deve essere reiterato, con un nuovo campione, per una temperatura superiore della superficie scaldante, fino a riscontrare uno dei segni di combustione precedentemente indicati.

La temperatura dello strato di polvere riscontrata deve essere arrotondata al multiplo di 10 se il risultato non è un numero intero divisibile per 10 (termina con zero).

Deve anche essere registrato il valore più alto della temperatura a cui non si ha l'accensione dello strato, verificando che il

Figura 4 - Determinazione della MIT dello strato di polvere (prof. L. Marmo - Politecnico Torino).



valore non risulti inferiore di 10 °C dal valore di temperatura riscontrata.

Nella figura 4 è riprodotto il rilievo fotografico realizzato durante lo svolgimento del test per la determinazione dell'accensione di polveri in strato.

Determinazione del comportamento di accensione spontanea degli accumuli di polvere

La stabilità termica di una polvere esprime, essenzialmente, l'attitudine delle polveri all'autoriscaldamento per decomposizione.

Alcuni materiali solidi possono bruciare spontaneamente e, in determinate condizioni di isolamento termico, autosostenere la combustione fino ad originare una esplosione favorita anche dal riscaldamento in atto. Altri materiali possono dar luogo ad un processo fermentativo con produzione di calore e possibili inneschi favoriti dall'innalzamento della temperatura.

La prova di autoaccensione spontanea degli accumuli di polvere è quindi indispensabile per acquisire le informazioni necessarie a minimizzare i pericoli indicati. La prova, che deve essere eseguita secondo la Norma UNI EN 15188 [7], permette di determinare la temperatura di autoaccensione T_{SI} , intesa come la più alta temperatura alla quale un dato volume di polveri o materiali in granuli posti in un forno a temperatura costante non si accenda. La temperatura T_{SI} dipende, essenzialmente, dalla composizione chimica e della modalità di stipamento del materiale in polvere o granuli da sottoporre a test.

La causa dell'autoriscaldamento con possibilità di autoaccensione è da ricercarsi nella reazione delle molecole superficiali del materiale con l'aria o altri ossidanti presenti che origina un processo esotermico. Il calore sviluppato, non venendo scambiato con l'esterno, porta ad un ulteriore innalzamento termico che amplifica il fenomeno. La Norma indica che non devono essere sottoposti a questo test le polveri riconosciute come esplosive che non richiedono ossigeno atmosferico per la combustione né i materiali piroforici.

I campioni di polvere vengono inseriti in cestelli di vari volumi realizzati con reti metalliche e messi in un forno (Figura 5) in cui viene monitorata la temperatura del campione e del forno (mantenendola costante). Vengono eseguite varie prove per diversi valori della temperatura del forno per arrivare a determinare la temperatura più alta del forno alla quale non si verifica l'accensione, nonché la temperatura più bassa alla quale il campione di polvere mostra un'accensione.

Figura 5 - Forno per prova secondo UNI EN 15188 (Anko).



Reazione esotermica di una polvere in un flusso d'aria

Il test fornisce informazioni sulla temperatura di accensione di una polvere sottoposta ad un flusso d'aria per un breve periodo, come avviene per i materiali convogliati in essiccatoi a spruzzo (*spray dryers*), essiccatoi a letto fluido, ecc..

L'accensione del campione avviene per reazione con l'ossigeno presente nell'aria e/o per decomposizione esotermica. La prova è disciplinata dalla VDI 2263 Part.1. La sostanza in prova e una equivalente quantità di inerte (grafite) vengono riscaldate in un contenitore a rete metallica (*Grewer Furnace*), come rappresenta nella foto di figura 6, alla velocità di 1 °C /min, mentre il flusso d'aria (2 dm³/min) viene soffiato attraverso un blocco riscaldante, con possibilità di raggiungere la temperatura di 350 °C. La temperatura di autoaccensione viene determinata come la temperatura a cui si ha uno scostamento rapido della temperatura del campione

Figura 6 - Grewer furnace (Anko - Warsaw Poland).



rispetto a quella dell'inerte, segno di una reazione esotermica del materiale; il rapporto di prova fornisce la temperatura alla quale avviene la prima reazione esotermica.

Test di reazione esotermica nel forno Lütolf

Il test viene eseguito per determinare la temperatura più bassa alla quale una sostanza, in condizioni povere di ossigeno, mostra una reazione esotermica in una apparecchiatura, denominata "Lütolf oven", secondo la procedura indicata nello standard VDI 2263 part. 1.

La sostanza da testare viene riscaldata con un incremento lineare di 2,5 °C/min (prova dinamica) fino ad una temperatura superiore, di almeno 50 °C, alla massima temperatura operativa dell'impianto (con limite massimo di 400 °C), insieme alla polvere di grafite assunta come riferimento. Le temperature dei campioni vengono registrate. Si considera che si sia verificata una reazione esotermica se la curva della temperatura del campione in esame supera la temperatura del campione di riferimento. In alternativa, viene eseguita una serie di prove isoterme ad intervalli di temperatura di 10 °C. Per quanto riguarda il risultato del test, viene riportata la temperatura più alta alla quale non si osserva alcun surriscaldamento del campione per 8 ore.

Temperature elevate possono sottoporre un prodotto a trasformazioni chimiche che non richiedono ossigeno. La reazione può essere endotermica o esotermica. Una reazione esotermica è classificata come decomposizione esotermica. Queste reazioni possono liberare gas di decomposizione che provocheranno un aumento della pressione in un recipiente chiuso, che potrebbe successivamente lacerarsi o scoppiare. Inoltre, i gas di decomposizione possono essere infiammabili e presentare un ulteriore rischio di esplosione. Il test è ritenuto utile per conoscere il comportamento di materiali sottoposti a processi in forni e essiccatoi sottovuoto.

Figura 7 - Lütolf oven (Anko - Warsaw Poland).



La calorimetria differenziale a scansione (DSC)

La calorimetria differenziale a scansione (DSC) è un metodo di indagine utile per determinare i parametri termodinamici e cinetici di reazioni chimiche accompagnate da effetti termici in modo da determinare i potenziali pericoli derivanti da reazioni fortemente esotermiche (un riferimento normativo si trova nelle Norme della Serie UNI EN 11357).

La prova può essere eseguita in atmosfera ossidante (in presenza di aria) o inerte (in presenza di azoto).

Nella figura 8 è rappresentato un esempio di apparecchiatura per l'esecuzione delle prove calorimetriche a scansione differenziale.

In figura 9 è invece rappresentato un esempio di tracciato ottenuto con un'analisi DSC, dove è evidenziato il valore della temperatura di onset, cioè quella temperatura alla quale lo strumento riesce a percepire l'inizio di un fenomeno esotermico.

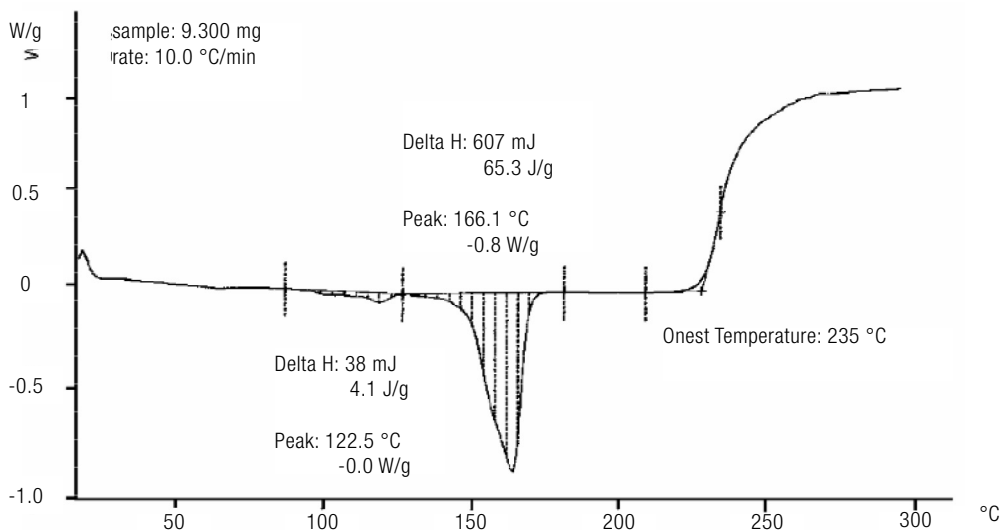
I risultati della prova possono essere influenzati dalla presenza di impurezze o di catalizzatori, che possono fare scendere significativamente il valore della temperatura di inizio decomposizione, nonché dalla scelta del materiale dei crogioli, che deve essere chimicamente inerte nei confronti della sostanza sottoposta ad indagine per non influire sull'andamento del termogramma.

Il tracciato ottenuto nel corso della prova registra l'andamento della produzione di calore in funzione della temperatura e

Figura 8 - Apparecchiatura per prova DSC (Alfatest - Strumentazione scientifica).



Figura 9 - Esempio di tracciato ottenuto con analisi DSC.



la stima dell'area di un eventuale picco dà un'indicazione quantitativa del calore coinvolto nella trasformazione.

Anche la pendenza del tracciato è importante per definire la pericolosità della reazione: a parità di area del picco globale, una salita repentina della curva è indice di pericolosità maggiore e può essere provocato da un forte incremento della costante di velocità con la temperatura o da un alto valore dell'entalpia di reazione.

I parametri ottenuti dalla analisi DSC possono essere introdotti in due relazioni definite da Tadao Yoshida per determinare la sensibilità all'esplosione e alla propagazione del materiale sottoposto a test. [8,9,10].

Prove di sensibilità agli urti e all'attrito di una polvere combustibile

Per misurare la sensibilità agli urti e alla frizione delle polveri combustibili durante il trasporto e i processi industriali in cui sono presenti essiccatoi, mescolatori e mulini con elementi interni in movimento ad alta velocità (per esempio *ploughshare mixer*), si eseguono prove mediante il "BAM Fall Hammer" (Figura 10).

Questa prova è anche consigliata nei casi in cui una analisi DSC evidenzia che il materiale è in grado di rilasciare una quantità significativa di energia in un piccolo intervallo di temperatura [10].

La prova viene eseguita sottoponendo il campione ad uno shock energetico ottenuto facendo cadere una massa nota da un'altezza nota. Al momento dell'impatto, il campione viene esaminato per accertare reazione, decomposizione

o esplosione. L'energia trasmessa al campione è uguale all'energia potenziale della massa all'altezza impostata.

Il risultato del test è considerato *positivo* se l'energia di impatto più bassa, alla quale si verifica almeno una *esplosione* in sei prove, è pari o inferiore ad un valore prefissato, il che classifica la sostanza come troppo pericolosa per il trasporto nella forma in cui è stata testata. In caso contrario, il risultato è considerato *negativo*.

Per le situazioni degli impianti industriali, ogni materiale con

Figura 10 - BAM Fall Hammer (OZM Research).



proprietà sensibili agli urti deve essere valutato caso per caso e deve essere considerato l'effetto delle forze di impatto da tutte le fonti del processo. Tuttavia, è generalmente riconosciuto [10-11] che se la sensibilità all'energia d'impatto di un materiale in polvere è inferiore a 125 J, il materiale può essere maneggiato in modo sicuro, a condizione che venga condotta una valutazione dei rischi (EPL Da: impiego di materiali non sparking, velocità inferiori a 15 ms⁻¹ ecc.). Quando un materiale, mostra caratteristiche di sensibilità agli urti o è altamente esotermico, è prudente condurre anche una valutazione del rischio da effetti abrasivi (attrito e sfregamento).

Il metodo di prova più comune utilizzato per identificare e misurare la sensibilità di una sostanza agli stimoli di attrito si basa sull'utilizzo dell'apparato di prova "BAM Friction" mostrato nella figura 11.

Il metodo prevede il posizionamento di un campione tra un piolo in porcellana fisso e una piastrina in gres porcellanato in movimento. Il campione viene quindi sottoposto a un ciclo di attrito a forze variabili da 360 N a forze inferiori fino a quando non si osserva una *esplosione* o *nessuna reazione*.

Il materiale viene ritenuto sensibile al Test d'attrito se la forza minima alla quale si verifica una *esplosione*, in sei prove, è inferiore a 80N e in questo caso la sostanza è classificata come *troppo pericolosa* per il trasporto nella forma in cui è stata testata.

Se il test di attrito BAM Friction produce un valore maggiore di 360 N, è generalmente accettato [10] che il materiale non si incendi o si decomponga se sottoposto a forze di attrito tra due superfici in un laboratorio, impianto o in uno scenario di trasporto.

Misura della resistività di un campione di polvere combustibile

La misura della resistività di una polvere combustibile può

essere eseguita disponendo un campione tra due elettrodi, delle dimensioni indicate dalla Norma CEI UNI EN/ISO IEC 80079-20-2, tra i quali viene applicata, per tre volte, una tensione continua (100 V, 500 V, 1 000 V), rilevando dopo 10 s il valore di resistenza.

In caso che i valori non risultino uguali, le tre prove devono essere ripetute andando a rilevare il valore di resistenza dopo 65 s. In base alle dimensioni del provino, con l'applicazione della legge di Ohm, si determina la resistività della polvere.

Noti i risultati dei quattro test indicati è possibile procedere alla definizione del gruppo delle apparecchiature elettriche e non elettriche da utilizzarsi in atmosfere esplosive determinate dalla presenza di particelle solide o polveri combustibili.

Bibliografia

- [1] CEI EN 60079-10-2 Atmosfere esplosive "Parte 10-2: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili" - 2016;
- [2] CEI UNI EN/ISO IEC 80079-20-2 dal titolo "Atmosfere esplosive. Parte 20-2: Caratteristiche dei materiali - Metodi di prova per polveri combustibili" - 2016;
- [3] VDI 2263 Blatt.1 "Dust fires and dust explosions. Hazards - assessment - safety measures Safety-related parameters of bulk goods" - 2022;
- [4] UNI EN 17077 "Determinazione del comportamento della combustione in strato delle polveri" - 2018;
- [5] R.Siwiek, C.Cesena "Ignition Behavior of dusts: Meaning and Interpretation" - Process Safety Process - Vol 14 n.2.-Aprile 1995;
- [6] J. Gummer, G.A. Lunn "Ignitions of explosive dust clouds by smouldering and flaming agglomerates" - Journal of loss Prevention in the process industries - 16 (2003) 27-32;
- [7] UNI EN 15188 "Determinazione del comportamento di accensione spontanea degli accumuli di polvere" - 2021;
- [8] Tadao Yoshida et al. "Estimation of Explosive Hazards of Self-Reactive Chemicals from Differential Scanning Calorimetry Data" - Prediction of Fire and Explosive Hazards of Reactive Chemicals (Kogyo Kayaku) - Vol. 48 No. 5, 1987;
- [9] V. Patil, a E. M. Gayakwad a G. S. Shankarling "Highly efficient and stable peracid for rapid and selective oxidation of aliphatic amine to oxime" - New Journal of Chemistry 2015;
- [10] R. Kwasny "Shock, Explosions And Friction Hazards Identification and Mitigation" - P.S.N Vol. 17 n.4, 2010;
- [11] CEI UNI EN/ISO 80079-36 "Atmosfere esplosive: Parte 36: Apparecchi non elettrici destinati alle atmosfere esplosive - Metodo e requisiti di base" - 2016;

Continua sul prossimo fascicolo.

Figura 11 - BAM Friction –Fauske & Associates .LLC.

