

**ASPETTI DI SICUREZZA RELATIVI ALLA MANIPOLAZIONE DI PRODOTTI
PULVERULENTI SFUSI.**

PREVENZIONE DELLE ESPLOSIONI.

Adolfo Semadeni

Novartis Crop Protection Inc. CH-1890 Monthey

Tel +41.24.475.2788 FAX +41.24.475.2709

NET: Adolfo.Semadeni@cp.novartis.com

ABSTRACT

Definizione delle misure per il mantenimento della sicurezza e dell'igiene industriale nel campo delle manipolazioni di prodotti pulverulenti sfusi all'aria libera. Le misure sono il risultato di dati sperimentali e sono specialmente previste per l'alimentazione e lo scarico, a mezzo di diversi dispositivi di trasporto, di reattori o apparecchi di formulazione, di silos, di contenitori o altri apparecchi di stoccaggio o di trasporto.

1. INTRODUZIONE.

Definizione delle misure necessarie per il mantenimento della sicurezza e dell'igiene industriale nel campo delle manipolazioni di solidi e di prodotti pulverulenti sfusi all'aria libera. Le misure sono il risultato di dati sperimentali e sono specialmente previste per l'alimentazione e lo scarico, a mezzo di diversi dispositivi di trasporto, di reattori o apparecchi di formulazione, di silos, di contenitori o altri apparecchi di stoccaggio o di trasporto.

2. NATURA DEI RISCHI.

Le mescole aria/polvere possono formarsi, negli ambienti di lavoro e all'interno delle apparecchiature, durante le manipolazioni all'aria libera di prodotti solidi sotto forma di polveri fini (presenza di particelle di diametro < 400 microm); queste mescole possono rivelarsi esplosibili in funzione dell'infiammabilità (energia minima d'innescò) della sostanza e la presenza di un fonte d'innescò (per esempio, scarica elettrostatica). La manipolazione in spazi chiusi confina il rischio di esplosione all'interno dell'apparecchiatura. La presenza supplementare di gas o di vapori combustibili (anche in concentrazione inferiore al loro limite di esplosibilità - mescole ibride) generalmente aumenta il pericolo di un'esplosione.

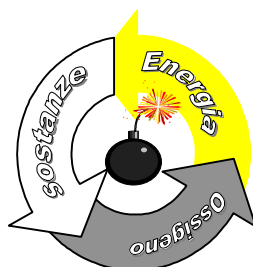


Figura 1. Le tre cause d'esplosione.

Se la materia sfusa contiene una percentuale, anche ridotta, di solvente combustibile, è possibile che la fase gassosa (per esempio, per elevazione della temperatura o in caso di stoccaggio prolungato senza aerazione) si arricchisca in solvente e formi una miscela esplosiva (nel caso di formazione nell'aria di una nuvola ibrida di polvere e di solvente). Le parti mobili delle apparecchiature possono, per attrito o choc, formare delle scintille. I depositi di polveri possono pure infiammarsi, per il calore dell'attrito (per esempio, sulle guarnizioni meccaniche degli alberi degli agitatori).

3. PREVENZIONE DELLE ESPLOSIONI.

Le misure preventive di sicurezza per la manipolazione di prodotti pulverulenti sfusi (granulati, scaglie, polveri) all'aria libera richiedono di evitare le atmosfere esplodibili o di sopprimere le fonti efficaci di innescò. Durante la manipolazione di solidi combustibili, la formazione di un'atmosfera esplodibile può essere evitata con certezza unicamente con la riduzione della concentrazione di ossigeno, per esempio con un'inertizzazione. È relativamente facile mantenere la concentrazione di polveri combustibili al di fuori dei limiti di esplodibilità. È da ritenere tuttavia che prodotti pulverulenti in stato di riposo possono diventare esplodibili se strati di polvere sono fatti volteggiare al di sopra di essi e che le miscele di polveri a elevata

concentrazione possono pure diventare esposti se intervengono cambiamenti di concentrazione durante il deposito delle polveri. Per le operazioni industriali in cui l'inertizzazione non è praticabile, lavori a cielo aperto, trasporti con grandi quantità di gas, le fonti efficaci di innesco devono essere escluse. Le installazioni elettriche nelle officine e negli impianti per la manipolazione di polveri devono essere progettati in modo da non innescare mai mescole esplodibili di aria-polveri e neppure le polveri che si depositano. Ne segue che la temperatura superficiale degli impianti elettrici non deve mai comportarsi come fonte di innesco. Le cariche elettrostatiche si presentano in molti processi e operazioni industriali. Le risultanti scariche elettrostatiche non solo non devono essere sottovalutate ma devono essere considerate seriamente. Misure preventive contro le esplosioni devono essere introdotte quando non è possibile escludere completamente, in modo affidabile, tutte le fonti efficaci di innesco, specie in presenza di polveri con valori molto bassi di energia di innesco, meno di 10 mJ. Nel caso di manipolazioni di polveri con valori molto bassi di energia di innesco, meno di 10 mJ, l'analisi dei rischi deve prendere in conto anche il pericolo di fuoruscite accidentali in quantità importanti (per esempio, fuoruscite dalle condotte dei trasporti pneumatici) e prevedere le misure adeguate (per esempio, rivelatori rapidi delle fuoruscite, eliminazione delle fonti di innesco, protezione dei ventilatori contro le esplosioni).

4. SOPPRESSIONE DELLE ATMOSFERE ESPLOSIBILI.

Durante le manipolazioni di prodotti solidi e di polveri combustibili non sempre è possibile evitare la formazione di atmosfere pericolose mantenendo la concentrazione delle polveri al di sotto del limite di esplodibilità. Questa concentrazione nell'aria può variare in funzione di fenomeni di sedimentazione o di messa in sospensione e può rientrare nel limite di esplodibilità. In questi casi la riduzione della quantità di ossigeno rimane la sola possibilità per evitare la formazione di atmosfere esplodibili. In pratica l'inertizzazione si urta a certi limiti (manipolazioni all'aria libera, processi con portate importanti, ecc.); diventa allora necessario puntare sulla soppressione delle fonti attive d'innesco e/o sulle misure preventive di costruzione contro le esplosioni o i loro effetti.

5. PREVENZIONE DELLE ESPLOSIONI.

5.1 Misure generali

Il pericolo di esplosione si verifica quando sono presenti contemporaneamente e nello stesso luogo sostanze combustibili (gas, vapori, nebbie, polveri) distribuite in quantità e in modo sufficiente, un comburente (ossigeno, aria) in quantità sufficiente e una fonte d'innesco efficace.

Esistono molte fonti d'innesco efficaci (per esempio superficie calde, fuoco, fiamme, braci, scintille d'origine meccanica o elettrica, scariche di elettricità statica), le quali differiscono tra loro, fra l'altro, per l'energia sprigionata. Le miscele esplodibili a loro volta differiscono tra loro per la sensibilità all'innesco. In generale è necessario esaminare in dettaglio le fonti d'innesco in relazione alle potenziali miscele esplodibili, per valutare il pericolo di esplosione.

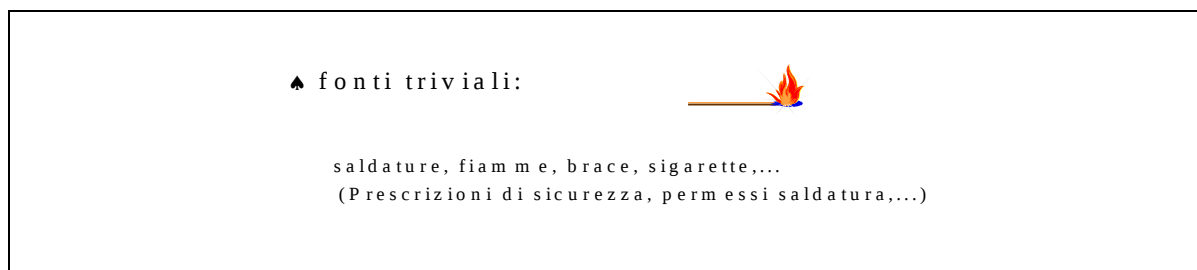
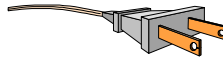


Figura 2. Le fonti triviali d'innesco.

Una classificazione delle fonti efficaci presenta le seguenti categorie: fonti triviali, installazioni elettriche, scariche elettrostatiche e processi adduttori d'energia. La soppressione del pericolo potenziale derivante delle prime fonti citate, triviali e installazioni elettriche, è possibile con misure d'organizzazione (prescrizioni di sicurezza, permessi di saldatura, etc.) e con l'osservanza delle normative durante la realizzazione degli impianti. Infatti il grado di protezione delle custodie, IP 54 secondo le norme CEI 529, per le apparecchiature elettriche deve essere tale da evitare l'inflammabilità sia delle polveri in sospensione sia di quelle depositate.

installazioni elettriche:



Normative elettricità:

- > tenuta stagna: protezione IP 54*,
- > temperatura alla superficie: DIN 57 165
e VDE 0165, §7.1.1.1

*IP 54: -Prima cifra (0-6) ~ corpi estranei
-Seconda cifra (0-8) ~ acqua

Figura 3. Le fonti efficaci d'innesco: le installazioni elettriche

Per contro non essendo sempre possibile sopprimere le altre fonti efficaci, cioè i processi adduttori d'energia e le scariche elettrostatiche, occorre minimizzare il loro grado energetico. Per i processi adduttori d'energia (macinazione, vagliatura, essiccamento, etc.) le regole generali sono di diminuire gli choccs, la temperatura, il surriscaldamento e di riferirsi alle prescrizioni e alle normative esistenti per la conduzione di tali operazioni. Per la cariche elettrostatiche riferirsi sempre alla letteratura tecnica esistente.

5.2 Valori caratteristici per i prodotti pulverulenti.

Per evitare le esplosioni di materie pulverulenti causate da scariche elettrostatiche, è necessario in primo luogo riconoscere l'esistenza del pericolo, valutarne la gravità e in seguito prendere le misure appropriate. La valutazione precisa del rischio e la determinazione dello stato di innesco si basano sulla conoscenza di valori caratteristici della sostanza e del grado energetico delle fonti efficaci. I valori caratteristici per le sostanze pulverulenti sono dati dall'energia minimale d'innesco (EMI) della miscela polvere-aria, dalla temperatura minimale d'innesco (TMI) e dalla resistività della polvere ρ (tabella 1). In effetti l'energia minima d'innesco è la caratteristica più importante per la descrizione della sensibilità d'innesco di una miscela esplodibile riguardo alla fonte d'innesco elettricità statica. I generi di scariche elettrostatiche finora osservati sono caratterizzati da diversi gradi di energia d'innesco, scariche per effluvio con $EMI \leq 5 \text{ mJ}$, scariche da cono di accumulo di materiale con $EMI \leq 10 \text{ mJ}$, scariche disruptive con $EMI < 10^3 \text{ mJ}$ e scariche a pennacchio con $EMI < 10^4 \text{ mJ}$.

scariche	Condizioni	Energia
per effluvio	elettrodo conduttore in un campo elettrico con un grande raggio di curvatura	$\leq 5 \text{ mJ}$
da cono di accumulo di materiale	accumulo rapido di materiali pulverulenti isolanti e carichi, specialmente se $M \geq 1 \text{ mm}$	$\leq 10 \text{ mJ}$
per scarica disruptiva	conduttore non messo a terra	$\leq 10^3 \text{ mJ}$
a pennacchio	alta intensità di carica sulla materia non conduttrice, di preferenza con una superficie conduttrice	$\leq 10^4 \text{ mJ}$

Figura 4. Generi di scariche elettrostatiche e potere di innesco.

In relazione con le scariche elettrostatiche due altri parametri importanti sono stati messi in evidenza in quanto contribuiscono a correlare il comportamento delle polveri con la geometria dell'impianto. La polvere viene caratterizzata della sua distribuzione granulometrica, espressa con un valore medio M , e l'impianto dal volume e dalla forma del recipiente o del silos utilizzati, caratterizzati dal diametro D . La relazione finale fra il diametro D del recipiente, il valore medio M della distribuzione granulometrica delle particelle e l'energia minimale EMI d'innesco della polvere è data dall'algoritmo

$$D = F(M, EMI) = 0.612 \times M^{-0.435} \times EMI^{0.298}.$$

D : diametro del recipiente in m (valido da 0.5 a 6.0 m)

M : valore medio della distribuzione granulometrica in mm (valido da 0.1 a 5 mm), dimensione teorica della particella di polvere, fra il 50% peso delle particelle più grandi e il 50% peso delle particelle più fini.

EMI : energia minima d'innesco in mJ

I recipienti suscettibili di scaricarsi devono, da ogni punto della loro superficie, presentare una resistenza di scarica inferiore a 100 Mohms fino al punto di messa a terra. I recipienti non-suscettibili di mantenere le scariche elettrostatiche presentano, almeno su un lato delle loro pareti, una resistenza R_{OA} , misurata secondo DIN 53482, per un'umidità relativa del 30%, inferiore a 100 Gohms e, per un'umidità relativa del 65%, inferiore a 100 Mohms. L'alimentazione di un apparecchio è un'operazione criticissima, a causa del pericolo di infiammazione per scarica elettrostatica delle materie lavorate, poco conduttrici. Delle cariche possono accumularsi su parti degli impianti, o sui contenitori o anche sul prodotto durante le operazioni manuali, se il prodotto non è conduttore. In caso di pericolo di esplosione causato dall'accumulo di cariche su un prodotto sfuso isolante, le operazioni di carica presentano un potenziale elevato di rischio e possono originare scariche da cono di accumulo anche se i recipienti ricevitori sono conduttori e correttamente messi a terra. Nella sequenza delle operazioni di riempimento, il prodotto pulverulento sfuso attraversa dapprima una fase di dispersione-trasporto (per es. carica per gravità, trasporto pneumatico, etc.) e in seguito le particelle di polvere cariche si accumulano in un volume relativamente ristretto. Siccome la carica non può essere rapidamente evacuata verso terra, una densità elevata di cariche rimane sul prodotto accumulato. I pericoli delle scariche elettrostatiche devono sempre essere valutati con attenzione e le misure corrispondenti per evitarli devono essere introdotte. Le situazioni appena citate possono essere valutate con parametri scientifici e obiettivi, misurabili sperimentalmente. In primo luogo occorre conoscere il tenore (S) in solvente combustibile presente nella polvere, con un limite superiore fissato a 0.5%. Oltre questo limite la polvere è considerata umida e la presenza dei vapori di solvente conduce anche a scariche per effluvio. Occorre quindi prendere le medesime precauzioni adottate in presenza di vapori infiammabili. Diviene indispensabile, per esempio, usare materiali conduttori con appropriata messa a terra, limitare la superficie degli oggetti non conduttori oppure adottare misure di schermatura. In seguito, per i casi senza solvente combustibile ($S=0\%$), nel caso di materie pulverulenti sfuse le misure sono decise in funzione della resistività specifica ρ e del valore mediano M ($>0.5\text{mm}$) della polvere in relazione con il diametro D del recipiente. Nel caso invece di un prodotto pulverulento fine nell'atmosfera le misure sono decise la resistività specifica ρ , il valore mediano M e l'energia minima d'innesco EMI per la polvere in sospensione nell'atmosfera, la cui concentrazione è fissata al valore $C < 10 \text{ g/m}^3$, che rappresenta il limite inferiore di esplodibilità delle polveri.

Volume del recipiente [m3]	Resistività della polvere [GΩm]
< 0.2	$\rho < 0.001$ $0.001 < \rho < 10$ $\rho > 10$
$0.2 < \text{volume} < 2.0$	$\rho < 0.001$ $0.001 < \rho < 10$ $\rho > 10$
> 2.0	$\rho < 0.001$ $0.001 < \rho < 10$ $\rho > 10$

Tabella 1. Volume recipiente / Resistività della polvere.

Le misure prescritte suppongono un innesco per scarica elettrostatica a effluvio. Questa ipotesi non si verifica per tutte le polveri aventi un'energia minima d'innesco inferiore a 1mJ; l'ipotesi può essere verificata con delle prove complementari. Nel caso in cui non sia osservato alcun innesco per scarica elettrostatica a effluvio, devono essere applicate le misure previste per i casi $1 \text{ mJ} < \text{EMI} < 3 \text{ mJ}$. Le misure di prevenzione indispensabili per evitare il pericolo di un'esplosione sono prese sulla base dei parametri delle sostanze pulverulenti : EMI, ρ , M e D (parametro caratterizzante del silo o del recipiente) facendo ricorso ad un albero di decisione, Figura 5.

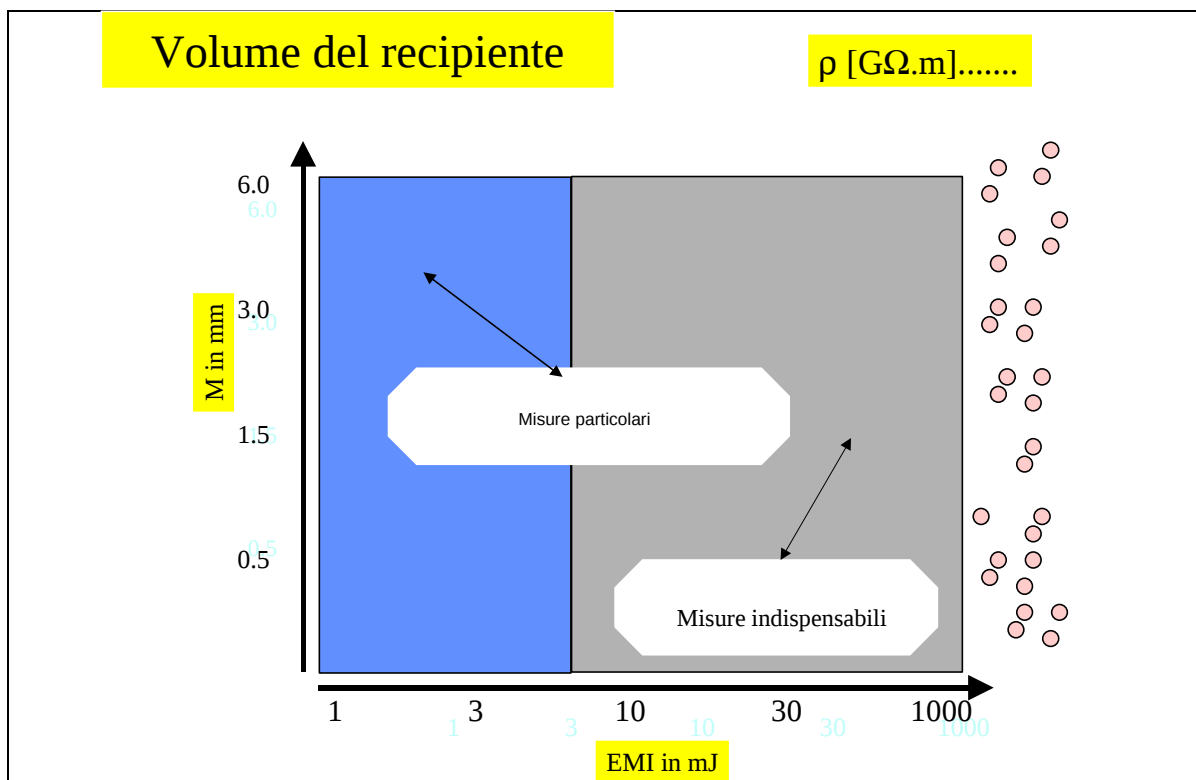


Figura 5. Albero di decisione.

6. CONCLUSIONE

La prevenzione delle esplosioni durante la manipolazione di prodotti pulverulenti sfusi è risolta con l'applicazione di una metodologia rigorosamente obiettiva in quanto basata su criteri scientifici e obiettivi, i valori caratteristici delle sostanze e il grado energetico delle fonti efficaci d'innesco. Infatti la presa di coscienza del pericolo e la corretta valutazione della gravità permettono di definire misure preventive, e di conseguenza, gli investimenti più corretti e appropriati.

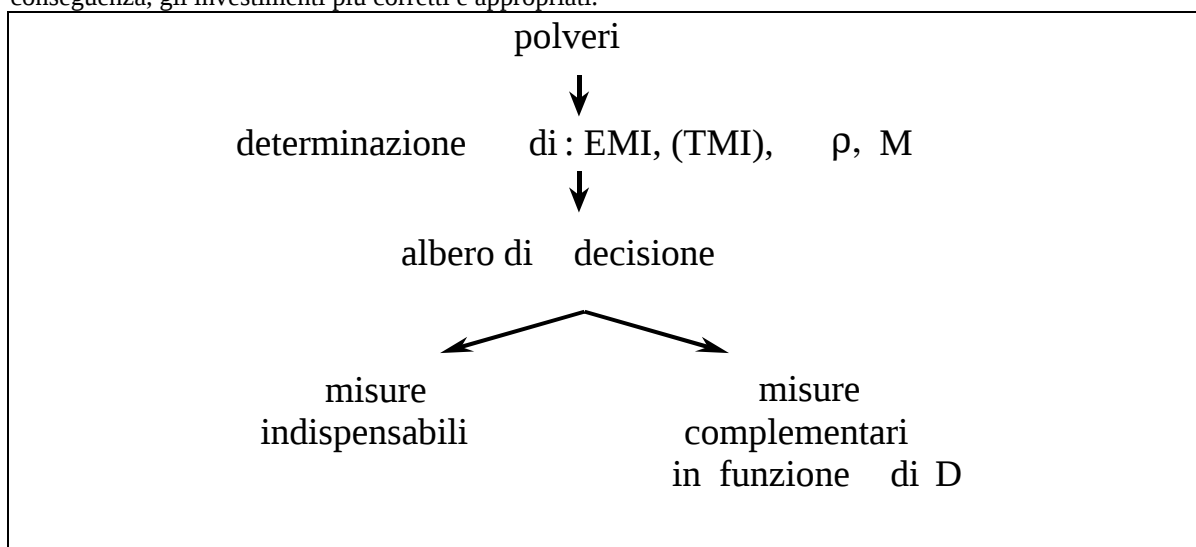


Figura 6. Tabella riassuntiva. Prevenzione delle esplosioni.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Corporate HSE Guidance Novartis Inc.
- [2] ISSA Prevention Series N°20 (E)
- [3] "Static Electricity: Ignition hazards and protection measures" 1996, ISBN 92-843-1099-7

- [4] NFPA Code 70 "National Electrical code" 1996
- [5] NFPA Code 496 "Purged Enclosures, Electrical Equipment" 1996
- [6] EN 1127 "Explosive Atmospheres, Explosion Prevention and Protection"
- [7] ESCIS N°2, "Electricité statique" 1989