

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione
Industriale

**CORSO DI STUDIO MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

TESI DI LAUREA

**"Confronto tra Rebound Nozzle e Perforated Dispersion Ring nelle
prove standard di esplosione di miscele polvere/aria"**

Relatore
Ch.ma Prof.ssa Almerinda Di Benedetto

Candidato
*Brigida Mannara
M67/155*

Correlatori
*Ing. Roberto Sanchirico
Ing. Valeria Di Sarli*

Anno Accademico 2013 – 2014

INTRODUZIONE

Nei processi chimici industriali, numerosi incidenti sono dovuti alle esplosioni di polveri infiammabili, con gravi conseguenze per persone, apparecchiature e ambiente. Le cause d'innescio possono essere molteplici: autoaccensioni; superfici calde; saldature; fiamme; elettricità statica; etc.

Le misure protettive e/o mitigative in relazione ad incidenti dovuti all'esplosione di polveri si basano sulla conoscenza di due parametri di esplosività ed in particolare della massima sovrapressione di esplosione (P_{max}) e della massima velocità di crescita della pressione ($[dP/dt]_{max}$) o indice di deflagrazione ($K_S=V^{1/3}[dP/dt]_{max}$), dove V è il volume del recipiente).

Le polveri vengono suddivise in classi di pericolosità in base al valore dell'indice di esplosività K_{st} (Tabella 1). Le prove di esplosione tali parametri vengono condotte secondo una procedura standard in un'apparecchiatura sferica da 1 m³, o in alternativa in una sfera in acciaio inossidabile da 20 L (Figura 1).

Tabella 1. Classi di esplosività

Indice di deflagrazione K_{st} [bar m s ⁻¹]	St-class	Tipo di esplosione
0	St-0	Nessuna
1-200	St-1	Debole
200-300	St-2	Forte
>300	St-3	Molto forte

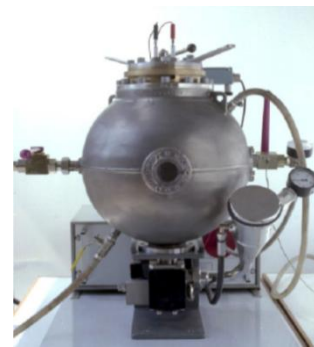


Figura 1. Sfera da 20 L

La prova di esplosione standard consiste in una prima fase di alimentazione della polvere da un container ($P = 20$ bar) alla sfera ($P = 0.4$ bar) ed il successivo innescio. Grazie alla differenza di pressione tra il container (nel quale viene caricata la polvere da alimentare) e la sfera, la polvere in aria viene dispersa all'interno della sfera passando attraverso un diffusore. In accordo con la procedura standard, i diffusori sono di due tipi: Rebound Nozzle (Figura 2) e il Perforated Dispersion Ring (Figura 3).



Figura 2. Rebound Nozzle



Figura 3. Perforated Dispersion Ring

Durante l'esplosione viene misurata l'evoluzione temporale della pressione dalla quale si possono valutare sia la pressione massima, sia la massima pendenza dell'andamento di pressione nel tempo.

La misura ed i valori dei parametri di esplosività dipendono significativamente dalle condizioni che si instaurano all'interno della sfera al momento dell'innesco e 1) livello di turbolenza che si instaura al momento dell'innesco; 2) grado di uniformità della miscelazione tra polvere e aria. Inoltre, dipendono anche dalla integrità delle particelle di polvere nel passaggio attraverso il diffusore.

Ne consegue, che la fase di alimentazione della polvere nella sfera è un'operazione molto critica perché genera la turbolenza all'interno del recipiente, genera la dispersione della polvere nella sfera e la sua miscelazione con l'aria ed, infine, può portare a un processo di frantumazione delle particelle solide a causa dell'impatto delle stesse con il diffusore. Nella presente tesi di laurea, l'attività è stata focalizzata sul confronto delle prestazioni dei due diffusori sia in relazione alla possibile frantumazione delle particelle che alla misura dei parametri di esplosività.

ATTIVITÀ SPERIMENTALE

Sono state condotte prove sia in assenza di reazione sia in presenza di reazione. Sono stati testati i due diffusori presenti in letteratura: Rebound Nozzle e Perforated Dispersion Ring (o Anular Ring). Le polveri testate sono 9 (Tabella 2). Su questi campioni sono state condotte analisi granulometriche e di microscopia ottica, prima e dopo la dispersione in sfera, in assenza di reazione, al fine di valutare l'effetto del passaggio attraverso i diffusori sull'integrità delle particelle.

In Tabella 2 sono riassunti i risultati in termini di variazione percentuale ΔD [%] del diametro al passaggio della polvere attraverso il dispersore. In base a tali valori le polveri sono state suddivise in due gruppi: polveri di Classe 1, con $\Delta D \leq 50$ %, e polveri di Classe 2, con $\Delta D > 50$ % (Tabella 2).

Tabella 2. Elenco delle polveri studiate

POLVERE	FORMULA	REBOUND	RING
Acido Ascorbico	$C_6H_8O_6$	Classe 2	Classe 2
Antrachinone	$C_{14}H_8O_2$	Classe 1	Classe 1
Biossido di Titanio	TiO_2	Classe 2	Classe 2
Carbone Attivo	C	Classe 1	Classe 1
Cloruro di Sodio	NaCl	Classe 1	Classe 1
Lavanda microincapsulata	-	Classe 1	Classe 1
Licopodio	$CH_{1.639}O_{0.277}N_{0.35}S_{0.0001}$	-	-
Niacina	$C_6H_5NO_2$	Classe 2	Classe 2
Paracetamolo	$C_8H_9NO_2$	Classe 2	Classe 1

I risultati indicano la presenza di fenomeni di frantumazione, tranne nel caso della polvere di Licopodio. Questo dato, tuttavia, non è imputabile alle modalità di funzionamento del dispersore, bensì alle caratteristiche meccaniche della polvere stessa.

La frantumazione risulta essere più significativa nel caso di dispersione per mezzo di Rebound, tranne nel caso della Niacina, per la quale può essere considerata simile per i due diffusori. Su alcune di queste polveri sono state effettuate prove di esplosione. In particolare, si è lavorato con: Licopodio, Niacina e Acido Ascorbico. In tutti i casi sono stati valutati l'indice di deflagrazione (K_{st}) e la pressione massima (P_{max}).

➤ Effetto della frantumazione sui parametri di esplosività

In Figura 4 sono riportati i risultati ottenuti per l'acido ascorbico in termini di immagini SEM e di K_{st} . Sono state condotte prove di esplosione per due campioni di polvere: campione di polvere tal quale ed il campione disperso a freddo attraverso il diffusore e recuperato.

Si nota che l'indice di deflagrazione è maggiore nel Rebound, suggerendo che la maggiore riduzione del diametro delle particelle rende le particelle più reattive. Questa differenza risulta essere ancora più evidente per la polvere già dispersa, in accordo, ancora una volta, con le analisi granulometriche effettuate.

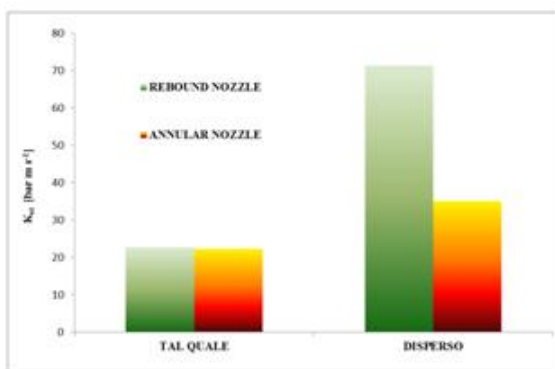
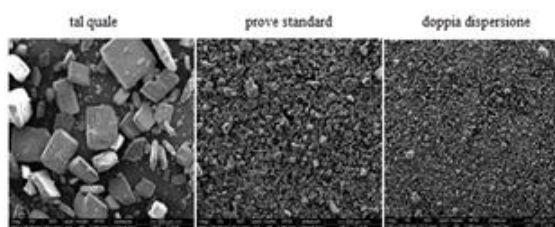


Figura 4. Acido Ascorbico_Immagini SEM e andamento del K_{st} in funzione della concentrazione

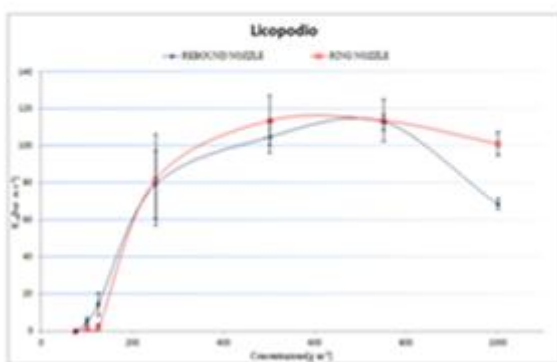
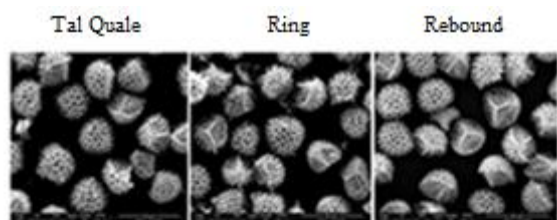


Figura 5. Licopodio_Immagini SEM e andamento del K_{st} in funzione della concentrazione di polvere

➤ Effetto su campo di moto e dispersione sui parametri di esplosività

Al fine di confrontare le prestazioni dei due diffusori in termini di campo di moto ed omogeneità di concentrazione, sono state condotte prove di esplosività su due campioni: il licopodio che non subisce fenomeni di frammentazione e la niacina che subisce gli stessi fenomeni di frammentazione sia nel Rebound che nell'Anular ring.

Nel caso del licopodio (Figura 5) , si nota che non ci sono significative differenze nel passaggio tra Rebound Nozzle e Anular Ring almeno per $C < 800 \text{ g/m}^3$. A concentrazioni maggiori di 800 g/m^3 , il K_{St} è maggiore in presenza dell'Anular Ring.

A valle delle prove di esplosione si nota che nell'Anular Ring resta un'elevata quantità di polvere che non viene pertanto alimentata e, quindi, non partecipa all' esplosione. E' possibile ritenere che i valori maggiori di K_{St} siano legati al fatto che la concentrazione reale di polvere all'interno del recipiente sia molto più bassa di 800 g/m^3 e, quindi, molto più vicina al valore stechiometrico.

Le differenze alle alte concentrazioni possono essere imputate alla dispersione della polvere e al campo di moto che si instaura nel recipiente dopo la dispersione.

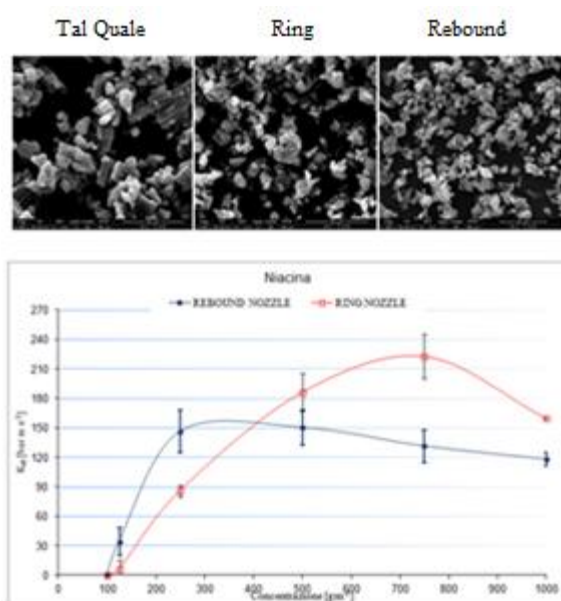


Figura 6. Niacina_ Immagini SEM e andamento del K_{St} in funzione della concentrazione di polvere

Nel caso della Niacina (Figura 6), si nota una differenza significativa sia a basse concentrazioni che ad alte concentrazioni. Per la niacina la differenza del K_{St} a basse concentrazioni può essere associata al diverso grado di dispersione e/o al diverso campo di moto che si sviluppano all'interno della sfera.

Al fine di valutare le differenze tra il campo di moto generato in presenza del Rebound Nozzle e quello generato in presenza dell'Anular Ring, sono state condotte simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamics) per mezzo del software Ansys Fluent 15.0 nel quale è stata implementata la geometria dell'Anular Nozzle in modo da avere dei risultati, in

termini di energia cinetica turbolenta, velocità e distribuzione delle particelle confrontabili con quelli del Rebound Nozzle già presenti in letteratura. Nelle figure 7-10 sono riportati i risultati al tempo $t = 60 \text{ ms}$ che corrisponde al tempo al quale parte la scarica per l'innesco.

Le simulazioni confermano che una parte non trascurabile di polvere non viene dispersa all'interno della sfera ma permane nel Ring (Figura 8). La parte di polvere che riesce a passare attraverso i fori del Ring risulta essere uniformemente distribuita all'interno della sfera, a differenza del Rebound in cui la distribuzione della polvere è significativamente peggiore (Figura 7).

Alla concentrazione $C = 250 \text{ g/m}^3$ inoltre si nota che il livello di turbolenza è significativamente maggiore nel caso del Rebound (Figura 9) piuttosto che nel caso del Ring. (Figura 10).

Il più basso livello di turbolenza causa un valore più basso dell'indice di deflagrazione.

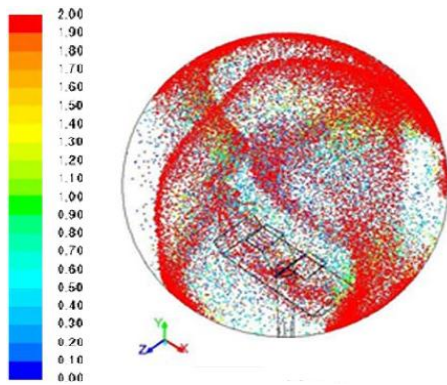


Figura 7. Distribuzione delle particelle di polvere colorata con la concentrazione adimensionale_Rebound [t=60ms]

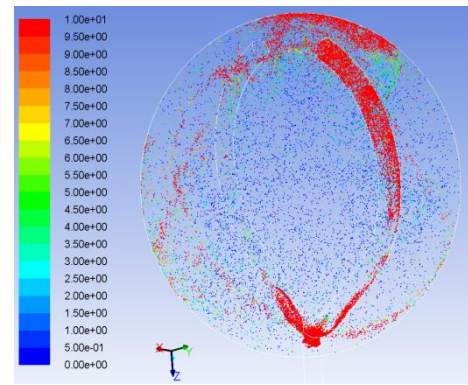


Figura 8. Distribuzione delle particelle di polvere colorata con la concentrazione adimensionale_Ring [t=60ms]

Di Benedetto, P. Russo, R. Sanchirico, V. Di Sarli, 2013. *CFD Simulations of Turbulent Fluid Flow and Dust Dispersion in the 20 Liter Explosion Vessel*. Wiley Online Library.

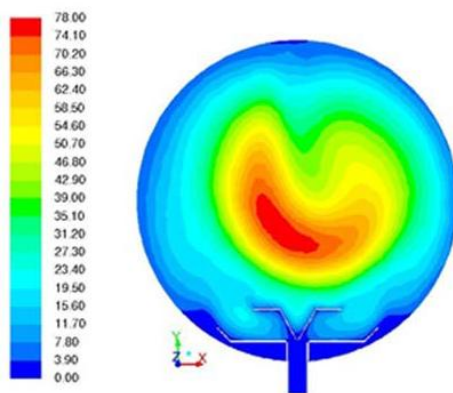


Figura 9. Mappa di energia cinetica turbolenta $[m^2/s^2]$ _Rebound [t=60 ms]

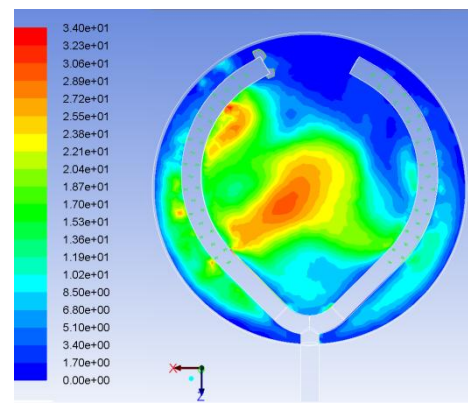


Figura 10. Mappa di energia cinetica turbolenta $[m^2/s^2]$ _Ring [t=60ms]

Di Benedetto, P. Russo, R. Sanchirico, V. Di Sarli, 2013. *CFD Simulations of Turbulent Fluid Flow and Dust Dispersion in the 20 Liter Explosion Vessel*. Wiley Online Library.

CONCLUSIONI

Entrambi i dispersori causano la frammentazione delle particelle di polvere che dipende dalle sue proprietà meccaniche, oltre che dal diametro iniziale. L'utilizzo dell'Anular Nozzle genera una frammentazione minore, ma una maggior residuo di polvere all'interno del Ring che, non passando attraverso i fori, non entra nella sfera e non contribuisce alla valutazione dei parametri di esplosività.

Inoltre le simulazioni CFD mostrano che esiste un grado di turbolenza differente per i due sistemi dispersivi, in accordo con i risultati ottenuti attraverso la dispersione e le prove di esplosione.

Studi futuri potranno confermare ulteriormente i dati derivati dalla simulazione CFD e cercare di trovare il modo migliore per attenuare l'impatto che la frammentazione e una distribuzione fluidodinamica poco omogenea possono avere sulla valutazione dei parametri di esplosività.