POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

Analisi e valutazione del rischio ATEX da polveri nei luoghi di lavoro: caso studio della lavorazione di una resina poliuretanica prodotta nei reparti fresatura di Italdesign Giugiaro S.p.A.

Relatore:

Prof.ssa Micaela Demichela

Candidato:

Daniele Cardinale

A.A. 2018/2019

<u>Sommario</u>

PR	EMESSA	•••••	•••••	••••••	•••••	•••••	4
IN	TRODUZION	ΙΕ	•••••	••••••	•••••	•••••	6
1.	MISCELE	A	RISCHIO	DI	ESPLOSIONE	E	ATMOSFERE
PO	TENZIALME	NTE	ESPLOSIVE	•••••	••••••	•••••	8
2. I	ESPLOSIONI	NEI I	LUOGHI DI I	AVOI	RO	•••••	10
2	2.1 Classificazi	one d	elle esplosion	i		•••••	13
3. I	ESPLOSIONI	DELI	E POLVERI (СОМВ	USTIBILI	•••••	15
3	3.1 Case history	y di e	splosioni da p	olveri.			20
	3.1.1 Semable	a SA,	Blaye (Francia	a), 1997	7	•••••	21
	3.1.2 DeBruc	e Gra	in Co., Kansas	city (USA), 1998		24
	3.1.3 Molino	Cord	ero di Fossano	o, Cune	eo (Italia), 2007		24
	3.1.4 Fabbric	azion	e accessori pe	r l'abbi	gliamento, Italia, 2	2003	27
	3.1.5 Nicoma	ıx di (Gravellona To	ce, Ver	bano-Cusio-Ossol	a (Ital	ia), 200028
	3.1.6 Finelvo	di O	chieppo, Biella	ı (Italia), 2001		29
	3.1.7 Operaz	ioni d	i caricamento	delle p	oolveri nell'industi	ria far	maceutica 29
4. I	PARAMETR	I DEI	L'ESPLOSIO	NE DI	ELLE POLVERI	•••••	31
4	.1 Limiti di es	plodil	oilità (LEL e U	EL)			33
4	.2 Energia mir	nima (di ignizione (<i>l</i>	МIE)			34
4	.3 Temperatui	ra mir	nima di accens	sione (MIT e LIT)		35
4	.4 Classe di co	mbus	stibilità BZ				37
4	.5 Dimensione	e delle	e particelle				37
4	.6 Contenuto	d'umi	dità				38
4	.7 Velocità n	nassir	na di aumer	nto de	lla pressione di	esplo	osione (<i>dP/dt</i>) e
1	oressione mass	sima a	ssociata (P _{max})			•••••	39

	4.8 Temperatura e pressione	40
	4.10 Presenza di gas infiammabili (miscele ibride)	41
5.	. FONTI D'INNESCO	43
	5.1 Fiamme libere	43
	5.2 Scariche	44
	5.3 Superfici calde e frizione di organi meccanici	47
	5.4 Scintille di origine meccanica	47
	5.5 Materiale elettrico	48
	5.6 Sorgenti esterne	48
6	. MISURE TECNICHE PER LA PREVENZIONE E LA PROTEZIO)NE
C	CONTRO LE ESPLOSIONI	49
	6.1 Classificazione in aree di rischio	49
	6.1.1 Classificazione delle aree per presenza di polveri (EN 60079-10-2)	50
	6.2 Evitare le atmosfere esplosive	54
	6.2.1 Copertura con gas inerti	55
	6.2.2 Gestione interna	56
	6.3 Limitazioni degli effetti dell'esplosione	58
	6.3.1 Contenimento dell'esplosione	58
	6.3.2 Sfogo dell'esplosione (venting)	60
	6.3.3 Soppressione dell'esplosione	62
	6.3.4 Isolamento dell'esplosioni	64
7.	. VALUTAZIONE DEI RISCHI	68
	7.1 La probabilità di esplosione (<i>P</i>)	71
	7.2 Il danno da esplosione (<i>D</i>)	73

8. CASO STUDIO: REPARTO FRESE DI ITALDESIGN GIUGIARO S.p.A 77
8.1 Resina RakuTool SB-0470
8.1.1 Screening di infiammabilità ed esplosività79
8.1.2 Classificazione ST
8.2 Descrizione reparto frese
8.3 Analisi zone pericolose
8.3.1 Estensione delle zone pericolose
8.4 Livelli di pulizia ambientali88
8.5 Disturbo dello strato di polvere
8.6 Grado di efficacia e disponibilità del sistema di aspirazione
8.7 Zone pericolose in funzione del grado di emissione e del sistema di
aspirazione91
8.8 Procedimento di classificazione dei luoghi pericolosi
8.9 Valutazione delle fonti d'innesco
8.10 Determinazione della probabilità d'innesco tramite metodologia CCPS 99
8.11 Determinazione valore di rischio tramite procedura indicizzata INAIL 106
9. CONCLUSIONI109
RINGRAZIAMENTI111
BIBLIOGRAFIA113
ALLEGATI114

Tabella 1: Esplosioni importanti nel trentennio 1971-2001	12
Tabella 2: Statistiche materiali polverulenti coinvolti nelle esplosioni	16
Tabella 3: Impianti di processo maggiormente coinvolti in incidenti	16
Tabella 4: Percentuali morti-feriti nei vari ambiti industriali	18
Tabella 5: Tipi di fonti di innesco più frequenti	19
Tabella 6: Incidenti mortali tra il 1972 e il 2008.	21
Tabella 7: Range infiammabilità gas e polveri	34
Tabella 8: Valori di MIE, LEL e UEL di alcune sostanze	35
Tabella 9: Temperature di accensione di alcuni materiali	37
Tabella 10: Classi di combustibilità	37
Tabella 11: Classi di esplosione.	40
Tabella 12: Valori di P _{max} e di K _{st} di alcune polveri	40
Tabella 13: Classificazione zone a rischio	50
Tabella 14: Classificazione zone secondo il grado di emissione	53
Tabella 15: Valori qualitativi di probabilità di un'ATEX	70
Tabella 16: Definizione qualitativa di innesco	70
Tabella 17: Valori qualitativi del danno.	70
Tabella 18: Livelli di probabilità di un'esplosione.	71
Tabella 19: Punteggio per Pse secondo le zone pericolose	72
Tabella 20: Punteggio per P _{INN} secondo la probabilità che si verifichi l'esplosione	2.72
Tabella 21: Esempio tabella sorgenti di emissione	73
Tabella 22: Livelli di danno	74
Tabella 23: Livelli e valori numerici dei parametri di danno	75
Tabella 24: Livelli di rischio	75
Tabella 25: Misure di prevenzione e protezione dei livelli di rischio	76
Tabella 26: Distribuzione granulometrica su frazione < 500µm	80
Tabella 27: Screening d'infiammabilità su frazione <500µm	80
Tabella 28: Parametri per misura per Kst e Pmax	82
Tahella 29: Risultati della misura di Pmay e Kst	82

Tabella 30: Classificazione SE	84
Tabella 31: Distanza addizionale dh	87
Tabella 32: Coefficiente Kd	87
Tabella 33: Coefficiente Ku	87
Tabella 34: Coefficiente Kta	88
Tabella 35: Coefficiente Kw	88
Tabella 36: Livello di pulizia ambiente	89
Tabella 37: Grado di emissione di uno strato in funzione del disturbo	dello stesso e
del grado della SE del contenitore	89
Tabella 38: Grado di efficacia sistema di aspirazione	90
Tabella 39: Disponibilità sistema di aspirazione	91
Tabella 40: Influenza dei sistemi artificiali di asportazione delle pol	veri su tipi di
zone	91
Tabella 41: Parametri resina RakuTool SB-0470	94
Tabella 42: SE 001	94
Tabella 43: Zone perisolose SE 001	95
Tabella 44: SE 002	96
Tabella 45: Zone pericolose SE 002	96
Tabella 46: Check-list possibili Fonti d'innesco	96
Tabella 47: Valori di S	102
Tabella 48: Probabilità esplosione	108
Tabella 49: Danno esplosione	108

Figura 1: Incidenti non rilevati dalle statistiche11
Figura 2: Triangolo del fuoco
Figura 3: Pentagono dell'esplosione
Figura 4: Esplosione sili della SEMABLA
Figura 5: Esplosione Molino Cordero di Fossano
Figura 6: Range di esplosione33
Figura 7: Confronto esplodibilità tra metano e polvere di polietilene34
Figura 8: Relazione diametro-velocità massima
Figura 9: Relazione diametro-pressione massima
Figura 10: Pannelli di rottura61
Figura 11: Sistemi di sfogo indoor
Figura 12: Calcolo della superficie minima di resistenza A _e
Figura 13: Andamento P _{red} 63
Figura 14: Sistemi di soppressione
Figura 15: Installazione diverter in un sistema produttivo
Figura 16: Matrice del rischio73
Figura 17: Campione materiale78
Figura 18: Pannelli incollati
Figura 19: Fresatrice in funzione
Figura 20: Esempio di tracciato pressione-tempo
Figura 21: Fresatrice Jobs Linx 35
Figura 22: Testa motrice
Figura 23: Distanza di riferimento per SE in prossimità del suolo da sistema in
pressione (ad alta velocità) e velocità dell'aria w minore/uguale 0.5 m/s 86
Figura 24: Distanza di riferimento per SE in prossimità del suolo da sistema in
pressione
Figura 25: Rappresentazione SE 001
Figura 26: Rappresentazione SE 002
Figura 27: Albero degli eventi

PREMESSA

Quello della Sicurezza nei Luoghi di Lavoro è un tema in continuo aggiornamento ed evoluzione. La svolta più significativa in merito è rappresentata senza dubbio dal D.Lgs. 81/2008, corretto ed integrato dal successivo D.Lgs. 106/2009, emanato dall'Esecutivo su delega del Parlamento che ha armonizzato, razionalizzato e coordinato la massa di disposizioni legislative che durante mezzo secolo si erano affastellate rendendo incerta l'applicazione puntuale delle misure di sicurezza nei luoghi di lavoro.

Come spesso accade, questo provvedimento è risultato necessario in seguito a una delle pagine più nere della mancata prevenzione sulla sicurezza: l'incendio della fabbrica tedesca ThyssenKrupp di Torino nel 2007, in cui persero la vita sette lavoratori bruciati dopo lunghe agonie con ustioni sul 95% del corpo. Dopo tre mesi l'inchiesta fu chiusa portando a conoscenza come quei lavoratori erano morti in una fabbrica che stava chiudendo. Per la proprietà non valeva la pena investire dei soldi in quello stabilimento che si stava smantellando: però vi lavoravano ancora un centinaio di lavoratori destinati alla produzione di acciaio.

In questo elaborato viene approfondito il rischio da formazione atmosfere potenzialmente esplosive e nello specifico, il rischio ATEX da polveri.

Come si potrà apprendere, rispetto alle esplosioni da gas o vapori quelle associabili alle polveri sono più complesse da studiare, causa una non completa disponibilità di informazioni riguardo questo particolare stato fisico del materiale e una scarsa considerazione della rischiosità esplosiva, soprattutto quando tali sostanze sono presenti negli ambienti di vita quotidiana (es. zucchero, cereali, legno, ecc.).

In generale, esistono diverse metodologie per la valutazione dei rischi che possono essere qualitative, quantitative o semi-quantitative; benché siano tutte valide, bisogna essere consapevoli che le metodologie qualitative potrebbero avere limitazioni, per la possibilità di avere dei risultati soggettivi, quindi è

indispensabile che siano effettuate da personale competente con una vasta esperienza e comprensione dei fenomeni che ne risultano; ma per quanto riguarda l'analisi quantitativa, sono presenti difficoltà per la mancanza di modelli che possano applicarsi con tutta l'affidabilità alle diverse situazioni che si presentano. In ambito industriale, sia nel settore chimico che automotive, esiste un rischio molto diffuso al cui si vede sottoposto un impianto: l'innesco delle sostanze infiammabili presenti nel processo, il cui può portare ad avere situazioni di pericolo grave dovuto agli incendi e addirittura alle esplosioni.

L'occasione di redigere questo lavoro di tesi si è presentata grazie alla necessità da parte dell'azienda Italdesign Giugiaro S.p.A. di effettuare degli studi su una resina poliuretanica lavorata nel reparto frese. Questa infatti, a seguito di un aggiornamento delle schede di sicurezza del materiale è risultata essere esplodibile a temperatura ambiente. Possibilità confermata anche dai test sulla polvere in questione effettuati dal Politecnico di Torino. Conseguentemente a ciò, l'azienda si è dovuta impegnare nel provvedere alla sostituzione dei filtri dei sistemi di aspirazione con altri di tipo ATEX.

INTRODUZIONE

Al fenomeno dell'esplosione da polveri deve necessariamente essere data la stessa importanza di quelli dovuti ai gas e ai vapori, in quanto possono generare danni equivalenti o addirittura più gravi.

Come si vedrà nel Capitolo 3, durante la fine degli anni 90 e l'inizio del nuovo millennio le esplosioni a livello industriale sono state numerose ed è nata la necessità di trovare un metodo che riuscisse a valutare la probabilità di avvenimento di questi fenomeni, nella maniera più corretta possibile. Le soluzioni studiate sono state numerose, ed essendo appunto una valutazione, ed in quanto tale soggetta a errore, si è cercato di trovare un metodo che riuscisse a considerare più aspetti possibili per una valutazione più veritiera, evitando ridondanze superflue.

Nei primi capitoli si illustrerà il fenomeno in tutti i suoi aspetti più generali, partendo dalla definizione di esplosione. Verranno mostrate alcune statistiche che dimostrano quanto l'infortuni sul lavoro per esplosione siano molteplici e di una certa importanza, con un intero capitolo dedicato a dei casi realmente accaduti che hanno contribuito al raggiungimento dei livelli di sicurezza e all'adeguatezza delle misure di prevenzione e protezione odierne.

Nel quarto Capitolo verranno delineati i parametri caratteristici fondamentali delle polveri, utili alla verifica della probabilità di formazione atmosfere ATEX e alla loro eventuale pericolosità.

Il Capitolo 5 descrive nello specifico i vari tipi di fonti d'innesco, la cui presenza, assieme al combustibile, al comburente, alle loro giuste proporzioni e al confinamento, è condizione necessaria affinché il fenomeno si verifichi.

Nel sesto Capitolo viene mostrato come valutare e classificare le aree di rischio e, in base a queste andare a determinare le misure di prevenzione per evitare la formazione di atmosfere esplosive e le misure di protezione al fine di limitare i danni nel peggiore dei casi.

Il Capitolo 7 spiega nel dettaglio la procedura indicizzata INAIL per la valutazione del Rischio, con la quale tramite schemi, matrici e valori numerici associabili alle singole situazioni, si riesce ad avere un' idea sulla pericolosità dell'evento.

Con l'ultimo Capitolo l'argomento diventa più dettagliato in quanto, viene trattato il caso studio argomento dell'elaborato, descrivendo le caratteristiche e le proprietà della polvere in esame, ottenute tramite i test effettuati dal professor Luca Marmo, responsabile del Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle Atmosfere Esplosive. Viene in seguito eseguita un'analisi del rischio valutando la probabilità d'innesco mediante una procedura scientifica basata su algoritmi di una certa raffinatezza, che verrà poi comparata con le linee guida INAIL.

Una delle due metodologie risulterà molto più dettagliata e scrupolosa rispetto all'altra.

7

1. MISCELE A RISCHIO DI ESPLOSIONE E ATMOSFERE POTENZIALMENTE ESPLOSIVE

L'esplosione è una violenta reazione chimica di ossidazione in cui si genera la combustione di una sostanza, detta combustibile, in presenza di un comburente. Il fenomeno è accompagnato da un rapido aumento di temperatura e di pressione e dalla presenza di fiamme.

In letteratura esistono molte definizioni di esplosione, alcune applicabili solamente ad esplosioni confinate o a reazioni chimiche incontrollate. Una delle migliori, soprattutto in relazione all'argomento in trattazione, è la seguente: "improvviso rilascio di energia immagazzinata che comporta la rapida generazione di onde di pressione e produzione di proiettili". Questo, avvenendo in un tempo relativamente breve e in uno spazio relativamente ristretto.

Per atmosfera esplosiva ai sensi del D.Lgs. 81/2008, si intende "una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta". Le condizioni atmosferiche considerate ai fini della definizione di atmosfera esplosiva prevedono una concentrazione dell'ossigeno approssimativamente del 21% e livelli di riferimento per pressione e temperatura, rispettivamente pari a 101325 Pa e 293 K. Rispetto ai valori di riferimento di pressione e temperatura, sono ammesse delle variazioni, purché queste non incidano significativamente sulle proprietà esplosive della sostanza infiammabile o combustibile. A tal proposito le Linee Guida della Comunità Europea per l'Applicazione della Direttiva 94/9/CE suggeriscono di considerare, per le applicazioni, un intervallo intorno ai valori di riferimento pari a 0,8 bar e 1,1 bar per la pressione e pari a 20°C e 60°C per la temperatura.

Il comburente è la sostanza in presenza della quale il combustibile brucia.

Le sostanze che combinate con l'aria possono provocare la reazione esotermica di esplosione sono dette *infiammabili*, con l'eccezione delle polveri, per le quali si

preferisce usare il termine combustibili: con queste accezioni verranno da questo punto in poi indicate tali sostanze. Nella vecchia normativa, relativa alla Direttiva 67/548/CEE ed alle sue modifiche, le sostanze e le miscele infiammabili erano divise in classi (infiammabili, facilmente infiammabili, estremamente infiammabili) corrispondenti alle frasi di rischio, in funzione delle loro caratteristiche. Il nuovo regolamento CLP ha sostituito le frasi di rischio R, ad es. "estremamente infiammabile" con le frasi di pericolo H ad es. "gas infiammabile".

Affinché si possa verificare un'esplosione, la miscela esplosiva deve trovarsi in presenza di una sorgente di accensione efficace, cioè in grado di innescare la reazione. La sorgente di innesco deve essere in grado di fornire alla miscela esplosiva, per una data concentrazione della sostanza in aria, una quantità di energia sufficiente affinché la combustione superi quel punto critico oltre il quale è in grado di auto-sostenersi, permettendo al fronte di fiamma di propagarsi da solo senza apporto di energia dall'esterno: tale energia è specifica di ogni sostanza ed il valore minimo è chiamato *Energia minima di accensione (MIE)*.

2. ESPLOSIONI NEI LUOGHI DI LAVORO

La maggioranza delle esplosioni che hanno luogo nelle filiere industriali del territorio nazionale risultano raramente estese a parti rilevanti di stabilimento, pur con eccezioni significative. Tuttavia, vista la frequente presenza di personale dipendente operante a ridosso del fronte di fiamma eventualmente generato, gli effetti del fenomeno non sono per questo meno significativi. Lesioni gravissime si possono generare, oltre che da esplosioni che rilascino grandi quantità di energia, anche da *Flash Fire* originati da semplici operazioni di travaso di liquidi infiammabili o polveri combustibili.

I casi di esplosione più severi determinano, oltre a danni alle persone, anche perdite economiche particolarmente importanti causate da lesioni e/o cedimenti strutturali di impianti, attrezzature e luoghi di lavoro. Tali danni sono provocati dalle sovrappressioni generate dall'esplosione, dal passaggio del fronte di fiamma oppure dalla proiezione di frammenti.

Descrizioni approfondite di esplosioni avvenute negli ultimi 30 anni in Occidente (Italia, Europa, Stati Uniti) sono presenti nei seguenti database di libero accesso:

- INFOR.MO dell'INAIL nel quale è presente una raccolta qualitativa dei casi di infortunio contenuti nell'archivio del sistema di sorveglianza degli infortuni mortali, tra i quali è selezionabile come causa prima l'esplosione;
- ARIA (Analysis, Research and Information on Accidents) del Ministero dell'Ambiente Francese nel quale sono raccolti report dettagliati di eventi incidentali avvenuti in Francia ed Europa in aziende a rischio di incidente rilevante;
- MARS (Major Accidents Reporting System) che annota gli incidenti avvenuti in ambito europeo in aziende a rischio di incidente rilevante;
- completi di indagine sviluppati dall'U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board.

Descrizioni e statistiche di incidente sono inoltre reperibili presso i database

MHIDAS dell'HSE britannico e FACTS realizzato dal TNO olandese diffusamente utilizzati nell'ambito delle valutazioni di rischio in aziende soggette a Direttiva Seveso (cfr. D.Lgs. n. 105/2015).

L'estensione e l'accuratezza delle statistiche legate alle esplosioni e agli infortuni ad esse collegate è variabile e dipende dall'entità dell'incidente stesso. Mentre infatti è poco probabile che incidenti quali quelli avvenuti in ThyssenKrupp o in Umbria Olii passino inosservati, può accadere che eventi verificatisi senza causare danni rilevanti o infortuni non siano correttamente annotati, come rappresentato qualitativamente in Figura 1.

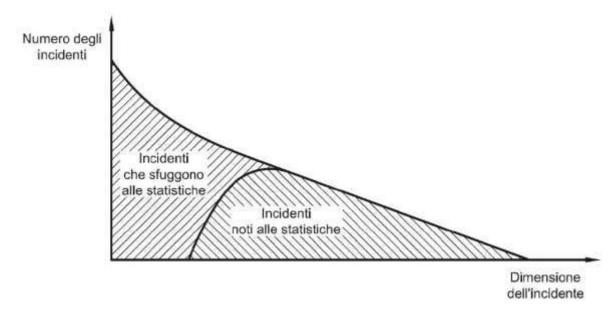


Figura 1: Incidenti non rilevati dalle statistiche.

Nonostante queste eventuali perdite di informazioni è possibile stilare una serie di esplosioni degne di nota, avvenute in Europa e negli Stati Uniti nel trentennio 1971-2001 (Tabella 1).

ANNO	LUOGO	SOSTANZE COINVOLTE	IMPIANTO	MORTI (M)
				FERITI (F)
1972	Norvegia	Polvere di alluminio	Miscelatori	5m/2f
1974	Flixborough, UK	Cicloesano	Impianto di	28m/104f
			caprolattame	
1975	Antwerp, Belgio	Etilene	Impianto di polietilene	6m/13f
1975	Beek, Olanda	Propilene	Impianto petrolchimico	14m/-

197	7 Galvesto, TX, USA	Polvere di cereali	Silos di cereali	15m/-
197	7 Westego, Lousiana,	Polvere di cereali	Silos di cereali	36m/10f
	USA			
197	8 Texas City, TX, USA	LPG	Serbatoi di stoccaggio	7m/10f
198	1 Corpus Christi, TX,	Polvere di cereali	Elevatori a tazze	9m/30f
	USA			
198	4 Romeoville, IL, USA	Propano	Colonne di	15m/22f
			assorbimento	
198	5 Priolo, Italia	HCs	Produzione etilene	1m/2f
198	7 Grange-Mouth, UK	Idrogeno	Reattori di separazione	-/-
198	8 Norco, LA, USA	C₃HCs	Cracking catalitico	7m/28f
198	8 Piper Alpha, Mare del	Gas, petrolio	Piattaforma di	167m/-
	Nord		estrazione	
198	9 Antwerp, Belgio	Ossido di etilene	Colonne di distillazione	-/-
198	9 Pasadena, TX, USA	Isobutano	Impianto di polietilene	23m/103f
199	3 Monaco, Germania	Perossidi	Raffinazione di	2m/-
			perossidi	
199	7 Blaye, Francia	Polvere di cereali	Stoccaggio cereali	11m/-
200	1 Tolosa, Francia	Ammoniaca, fertilizzanti,	Produzione fertilizzanti	29m/2400f
		metanolo	chimici	

Tabella 1: Esplosioni importanti nel trentennio 1971-2001.

Esiste un primo aspetto importante che differenzia le esplosioni causate da gas e vapori infiammabili rispetto a quelle da polveri combustibili. Infatti, se le esplosioni di gas e vapori avvengono prevalentemente come conseguenza del rilascio di tali sostanze non combuste nell'ambiente e nel loro successivo innesco, le esplosioni che coinvolgono le polveri combustibili hanno tipicamente origine dall'interno di un contenimento e, solo successivamente all'innesco, si propagano all'ambiente circostante (e alla parte rimanente dell'impianto). Pur approfondendo in seguito soltanto quest'ultime, si può comunque dire che le strategie di prevenzione e protezione contro il rischio di esplosione potranno differire a causa di questa prima, importante, constatazione.

Un secondo aspetto da sottolineare è collegato alla pericolosità percepita della

sostanza infiammabile/combustibile. Mentre risulta evidente che sia i gas sia i vapori infiammabili hanno la potenzialità di causare un'esplosione, così non è per le polveri combustibili, la cui rischiosità esplosiva risulta spesso scarsamente considerata, soprattutto quando tali sostanze sono presenti ordinariamente negli ambienti di vita (es. zucchero, cereali, legno, ecc.)

Il fenomeno dell'esplosione manifesta, pertanto, una limitata frequenza di infortuni rispetto a tutte le altre ipotesi di incidente. Tuttavia, un'analisi approfondita, sviluppata attraverso la banca dati interattiva dell'ISPESL-INAIL e basata su informazioni fornite dall'INAIL (anni 2000-2006) relative alle gestioni Industria, Agricoltura e Conto Stato (di cui si riporta un estratto in Allegato A), evidenzia che l'infortunio derivante da un evento esplosivo risulta statisticamente mortale una volta ogni (circa) 55 incidenti, secondo solo all'elettrocuzione (1 morto ogni 46 incidenti). Tale mortalità risulta molto più frequente della media complessiva degli infortuni, dato che risulta mortale, in media, un infortunio ogni 500 (circa).

L'esplosione è pertanto un evento infortunistico il quale, pur presentandosi con una limitata frequenza nei luoghi di lavoro, manifesta un'efficacia notevole nel determinare gravi lesioni ai lavoratori esposti.

Emerge inoltre che il settore delle costruzioni di macchine ed il settore delle costruzioni e impianti sono le attività INAIL del settore industria che espongono maggiormente i lavoratori al rischio infortunio derivante da un'esplosione.

2.1 Classificazione delle esplosioni

In linea generale, per la loro natura, le esplosioni possono essere raggruppate come segue:

- Atomiche: si presentano come il risultato di trasformazioni nucleari in cui la massa è convertita in energia
- Elettriche: si verificano quando improvvisamente un flusso enorme di corrente elettrica attraversa una fase gassosa la quale diventa molto calda e

si espande rapidamente, un esempio comune di questo fenomeno è il fulmine. Altri esempi potrebbero includere il passaggio di corrente attraverso i liquidi e solidi con produzione di vapore o plasma e onde di urto.

- Fisiche: un'esplosione fisica non comporta reazioni chimiche e generalmente acquisisce la sua energia da un aumento di volume, ovvero di pressione, provocato da variazioni di temperatura, cambiamento di fase fisica, ecc.
- Chimiche: si verificano a seguito di reazioni o decomposizioni di sostanze che, inizialmente a bassa energia e stato di equilibrio stabile, passano verso un sistema che accumula energia che fornisce al tempo stesso la fonte necessaria per accelerare il fenomeno e quindi ad un accumulo di energia che può sfociare in un'esplosione se l'ambiente non riesce più a contenerla. Il processo di reazione è definito combustione quando la reazione comprende la combinazione esotermica delle sostanze con l'ossigeno ed è spesso accompagnata da emissione di luce.
- Polveri: si verificano quando il processo di combustione è inerente a polveri fini sospese in una corrente d'aria e comporta come conseguenza un significativo incremento di pressione.

L'ordine di classificazione sopra riportato è posto secondo un ordine decrescente di severità, a partire dalle esplosioni atomiche che rappresentano lo stato ultimo del potenziale distruttivo. Tuttavia è utile ricordare che la più cruenta esplosione che si ricordi nella storia è stata un'esplosione di tipo fisico della potenza riferita al TNT di circa 1 gigatone (1000 bombe H), avvenuta nell'isoala dell'Oceano Pacifico di KraKatoa nel 1883, quando un miglio cubico di acqua marina si infiltrò in una frattura della crosta terrestre e venne trasformato in vapore quando entrò in contatto col magma. Le conseguenze dell'esplosione furono avvertite fino a 3000 miglia lontano.

3. ESPLOSIONI DELLE POLVERI COMBUSTIBILI

Il termine "polvere" indica lo stato di suddivisione spinta in cui si trova una sostanza solida. Esplosioni di polveri possono avvenire in ogni attività in cui si maneggiano materiali solidi finemente suddivisi (metalli, sostanze organiche, polimeri, resine, carboni, legno, ecc.); la polvere può essere il prodotto finale di una lavorazione o di un processo o un sottoprodotto indesiderato. Persino sostanze molto comuni come la farina di grano, la polvere di cacao, lo zucchero a velo, il tè, il caffè, quando sono trattate, sotto forma di polvere, su scala industriale in processi di macinazione, trasporto, separazione, essiccamento, presentano un pericolo d'esplosione, spesso mascherato dal loro aspetto familiare. La prima esplosione da polveri di cui si ha traccia si è verificata in Italia nel 1785 in un mulino (farina).

I materiali che sono presenti nel ciclo produttivo e che possiedono caratteristiche tali da essere tali da essere coinvolti in esplosioni si possono riassumere in quattro tipologie:

- 1) materiali organici di origine naturale (per esempio grano, zucchero, legno);
- 2) materiali organici di origine sintetica materiali organici di origine sintetica (per esempio plastica, pigmenti organici, pesticidi);
- 3) carbone e torba;
- 4) metalli passivabili (per esempio alluminio, magnesio, zinco).

In particolare, esperienze sviluppate in test di laboratorio (Zeeuwen Zeeuwen, 1997) dimostrano che oltre il 70% delle polveri industriali, in idonee condizioni, possono dare luogo a esplosioni.

Statistiche recenti in USA, Germania e UK indicano che incendi ed esplosioni da polveri accadono frequentemente nelle industrie manifatturiere e nei processi lavorativi che coinvolgono materiali polverulenti. Si presenta in Tabella 2 un riepilogo e confronto tra le principali statistiche dei materiali in polvere coinvolti nelle esplosioni.

Materiali	USA (1985 (FM GLO		UK (1979-1988) (HSE)		GERMANIA (1965-1980) (BECK, 1982)	
	NUMERO DI INCIDENTI	%	Numero DI INCIDENTI	%	Numero DI INCIDENTI	%
Legno/Carta	56	37	69	23	120	34
Carbone	27	18	24	8	33	9
Metalli	19	13	55	18	47	13
Plastica	8	5	10	3	46	13
Alimentare	ND*	ND*	94	31	88	25
Farmaceutici	ND*	ND*	27	9	ND*	ND*
Altro/sconosciuto	4	27	24	8	23	6
Totale	150	100	303	100	357	100
Totale	150	100	303	100	357	

Tabella 2: Statistiche materiali polverulenti coinvolti nelle esplosioni.

Le conseguenze di questi incidenti possono portare all'interruzione dell'attività produttiva per danni agli impianti e infortuni anche molto gravi ai lavoratori.

La legislazione e le norme impongono di rendere sicuri gli ambienti di lavoro e pertanto la conoscenza dei principali fenomeni e fattori di rischio inerenti alle esplosioni da polveri è indispensabile.

D'altra parte, gli impianti di processo più frequentemente coinvolti in incidenti sono quelli indicati in Tabella 3:

Apparecchi	USA (1985-1995) (FM GLOBAL)		UK (1979-1988) (HSE)		GERMANIA (1965-1980) (BECK, 1982)	
	Numero DI INCIDENTI	%	NUMERO DI INCIDENTI	%	Numero DI INCIDENTI	%
Sistemi di deposito e separazione delle polveri	156	42	55	18	73	17
Mulini	35	9	51	17	56	13
Silos e bunker	27	7	19	6	86	20
Sistemi di trasporto	32	9	33	11	43	10
Essiccatoi	22	6	43	14	34	8
Miscelatori	> 12	> 3	7	2	20	5

Tabella 3: Impianti di processo maggiormente coinvolti in incidenti.

Le statistiche evidenziano che sia negli Stati Uniti che in Gran Bretagna le tipologie impiantistiche maggiormente soggette al rischio di esplosione sono rappresentate dai sistemi di deposito e separazione (filtri, elettrofiltri, cicloni, ecc.). Tale dato è spiegabile per almeno tre ragioni:

- 1) I sistemi di separazione sono diffusi in tutti settori industriali;
- 2) In essi si concentrano buona parte delle polveri sottili del processo. Polveri

- sottili che, possedendo basse energie di accensione, risultano facilmente incendiabili;
- 3) Le forme geometriche tipiche nonché gli spessori ed i materiali con i quali sono realizzati costituiscono la parte dell'impianto più debole strutturalmente.

Tuttavia, mentre in USA sono i sistemi di separazione delle polveri gli impianti in cui si concentrano la maggioranza degli eventi, in Gran Bretagna la situazione si presenta più sfumata con una distribuzione statistica delle esplosioni uniforme (ad eccezione del caso relativo ai miscelatori). In Germania le statistiche riportano una situazione molto simile a quella inglese, con una prevalenza di esplosioni avvenute in silos e bunker. A questo si aggiunga che studi specifici condotti dall'NFPA sull'industria molitoria hanno individuato nell'elevatore a tazze il componente dell'impianto a maggior rischio di esplosione primaria.

Negli stessi paesi dunque, si rileva una discreta presenza di ricerche che hanno approfondito statisticamente il fenomeno. Si ricorda, tuttavia, che questi studi riepilogano solo una piccola frazione di tutte le esplosioni dovute a polveri a causa, anche in questo caso, dell'assenza di un sistema centralizzato di raccolta ed analisi dei dati. In conseguenza di ciò gli indici di seguito riportati non potranno essere utilizzati per conclusioni generalizzate.

In generale, un'esplosione primaria (e le relative esplosioni secondarie) causano con molta frequenza un successivo incendio che coinvolge la frazione significativa delle polveri che non hanno preso parte all'esplosione stessa. Questo fenomeno è presente in circa il 70% del totale dei casi di esplosione ed avviene con maggiore frequenza nei processi con presenza di polveri organiche.

Concentrando ora l'attenzione sul rischio infortunistico derivante dall'esplosione delle polveri, ne risulta che le aziende maggiormente esposte da questo punto di vista sono quelle appartenenti alla filiera alimentare nella quale si verificano circa il 32% dei decessi complessivi (Tabella 4), mentre più uniforme risulta la distribuzione dei feriti nei vari ambiti industriali (ad eccezione dell'industria del

carbone e carta, che possiede presenze limitate di entrambi i fenomeni).

Tone	E	N	MORTI	FERITI		
TIPO DI ATTIVITÀ	Esplosioni – (%)	%	PER ESPLOSIONE	%	PER ESPLOSIONE	
Legno	31,6	11,7	0,11	25,0	1,10	
Alimentare	24,7	36,8	0,43	26,0	1,44	
Metalli	13,2	17,5	0,38	18,5	1,94	
Plastica	12,9	17,5	0,39	20,0	2,13	
Carbone	9,2	6,8	0,21	8,0	1,18	
Carta	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Altro	6,4	9,7	0,43	2,5	0,56	

Tabella 4: Percentuali morti-feriti nei vari ambiti industriali.

Tenendo presente gli eventi incidentali rapportati alla singola esplosione, emerge anche in questo caso l'elevata letalità delle esplosioni che avvengono nel settore alimentare, probabilmente a causa della violenza intrinseca del fenomeno in questo ambito. Si rileva, tuttavia, che il maggior numero di feriti per esplosione avviene nel settore della plastica e dei metalli.

Un ultimo particolare importante da sottolineare è relativo alle sorgenti di accensione che con più frequenza innescano le ATEX dovute a polveri combustibili (Tabella 5). Si rileva la preponderanza delle scintille meccaniche nei casi dell'industria del legno, alimentare e metalli. Il caricamento elettrostatico contribuisce con una certa significatività alle esplosioni nel settore della plastica, mentre il carbone trova causa di innesco frequente nelle combustioni senza fiamma. Nei processi di manipolazione di polveri combustibili ci sono infinite occasioni di esplosione. Molti materiali finemente dispersi come prodotti alimentari, plastiche, metalli, prodotti farmaceutici ecc. sono esplosivi quando si trovano dispersi in aria ed in presenza di una sorgente di ignizione.

TIPO DI FONTI DI ACCENSIONE	ESPLOSIONI TOTALI (%)	LEGNO (%)	CARBONE (%)	ALIMENTARE (%)	PLASTICA (%)	METALLI (%)
Scintille meccaniche	26,2	26,6	5,1	22,8	21,2	56,1
Combustione senza fiamma	11,3	19,5	20,5	5,7	9,6	0,0
Attrito meccanico	9,0	9,4	5,1	12,4	9,6	3,5
Scariche elettrostatiche	8,7	2,3	0,0	6,7	34,6	5,3
Incendio	7,8	14,8	12,8	4,8	2,0	2,0
Autocombustione	4,9	3,1	15,4	6,7	2,0	3,5
Superfici calde	4,9	5,5	10,3	2,8	3,9	3,5
Lavori a fuoco	4,9	2,3	2,6	12,4	2,0	2,0
Macchinari elettrici	2,8	0,0	2,6	5,7	2,0	0,0
Sconosciuto	16,0	16,5*	25,6*	20,0*	13,1*	24,1*
Altro	3,5	194				(#)

Tabella 5: Tipi di fonti di innesco più frequenti.

E' necessario comunque che si verifichino certe condizioni perché possa accadere una esplosione:

- 1) le polveri devono essere combustibili;
- 2) la polvere deve essere dispersa in aria;
- 3) la polvere deve avere particelle di dimensioni e distribuzione tali da rendere possibile la propagazione della fiamma;
- 4) la concentrazione della polvere (rispetto all'aria) deve rientrare nel campo della esplodibilità;
- 5) la nube di polvere deve entrare in contatto con una sorgente di ignizione sufficientemente energetica;
- 6) la nube di polvere deve essere contenuta in un'atmosfera capace di sostenere la combustione.

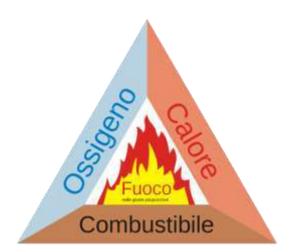
Se manca una sola di queste condizioni l'esplosione non può avvenire. Tutte le misure di prevenzione si basano quindi sull'eliminazione di una o più di queste condizioni. In sintesi, si aggiungono due condizioni necessarie al cosiddetto *Triangolo del fuoco*, formulando più specificatamente il *Pentagono dell'esplosione*.

Come noto il triangolo del fuoco o della combustione presuppone i seguenti elementi:

- combustibile
- comburente (o ossidante)
- sorgente di ignizione

Affinché possa verificarsi un'esplosione sono necessarie altre due condizioni oltre alle precedenti:

- il combustibile ed il comburente (o l'ossidante) devono essere mescolati assieme nella giusta proporzione;
- la miscela risultante deve essere confinata.



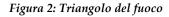




Figura 3: Pentagono dell'esplosione.

Nella redazione di una valutazione dei rischi, quindi, anche secondo quanto stabilito dal D.Lgs. 81/2008 s.m.i. si deve necessariamente tenere in considerazione la probabilità e la durata della presenza di atmosfere esplosive; la probabilità che le fonti di accensione diventino efficaci; le caratteristiche dell'impianto e l'entità degli effetti prevedibili.

3.1 Case history di esplosioni da polveri

Nel seguito si riportano alcuni studi di casi significativi utili alla contestualizzazione del fenomeno. Bisogna però anticipare che la grande maggioranza degli incidenti accaduti nel passato non sono dovuti ad un'ignoranza sui metodi per evitarli, bensì perché tali metodologie sono andate perse (dal singolo o dall'organizzazione), oppure perché la loro conoscenza non è mai stata

trasferita poiché lo scambio d'informazioni e del sapere all'interno di un'organizzazione risulta, spesso, molto difficoltosa. Peraltro la conoscenza dei casi accaduti nel passato può essere di ausilio all'analista per discriminare gli scenari di rischio astrattamente possibili dagli scenari di rischio maggiormente credibili, e sui quali concentrare le maggiori attenzioni di prevenzione e protezione. Molte volte, infatti, quello che può accadere è già avvenuto nel passato e tali esperienze devono essere prese come esempio per una valutazione accurata. Il passato, in questo senso, fornisce l'indicazione diretta ed evidente di quali siano i meccanismi coinvolti nel verificarsi di un incidente. Il passato e l'esperienza sono sempre dei buon maestri, soprattutto nel settore delle atmosfere esplosive.

Nella Tabella 6 sono richiamati alcuni eventi incidentali occorsi nel mondo con conseguenze mortali.

ANNO	LUOGO	ATTIVITÀ COINVOLTA	CONSEGUENZE
1872	Scozia	mulino	18 morti
1878	Francia	Fabbrica di coloranti	6 morti
1907	USA	Miniera di carbone	1148 morti
1919	USA	Fabbrica di amido	43 morti
1973	Norvegia	Produzione esplosivi	5 morti
1977	USA	Deposito di grano	36 morti
1981	USA	Sili di grano	9 morti
1982	Francia	Silo di malto	12 morti
1985	Argentina	Deposito di grano	22 morti
1989	Italia (Guardiagrele)	Mulino	8 morti
1995	USA	Impianto chimico	5 morti
1997	Francia	Sili di grano	11 morti
1998	USA	Deposito di grano	7 morti
2001	Italia (Vigliano Biellese)	Stabilimento tessile	3 morti
2007	Italia (Fossano)	Mulino	5 morti
2008	USA	Zuccherificio	4 morti

Tabella 6: Incidenti mortali tra il 1972 e il 2008.

I casi presentati sono tratti da inchieste specifiche, letteratura scientifica e dalle risultanze emerse in sede di Commissione parlamentare di inchiesta sugli infortuni sul lavoro riportate nella relazione finale pubblica del 20 marzo 2008.

3.1.1 Semabla SA, Blaye (Francia), 1997.

Il 20 agosto 1997 si verificò un'esplosione in un impianto di stoccaggio di cereali. L'incidente uccise 11 persone delle quali 6 erano impiegati presso gli uffici dell'impianto. La descrizione di seguito riportata è tratta dal documento ufficiale d'inchiesta realizzato dall'INERIS francese.



Figura 4: Esplosione sili della SEMABLA.

Il silo apparteneva alla Societé d'Exploitation marittima Blayaise (SEMABLA) sita a Blaye, in Francia. Il complesso era costituito da 44 celle di forma cilindrica aventi 6,2 m di diametro e 36,5 m di altezza. La capacità di stoccaggio dell'impianto era pari a circa 37.000 tonnellate di grano. Al momento dell'esplosione risultava stoccata una miscela di grano, mais ed orzo. Alle estremità dell'insieme del corpo delle celle erano collocate due torri (= torre nord e torre sud) le quali alloggiavano i sistemi di elevazione a tazze, i dispositivi di pesatura, i depolveratori e gli apparecchi elettrici. Al di sopra delle celle era collocato il tunnel di caricamento contenente al proprio interno i necessari nastri trasportatori. Ai piedi della torre nord erano inoltre presenti gli uffici e la zona di ricezione dei materiali. Le celle, le torri ed il tunnel erano realizzati in calcestruzzo armato e non erano dotati di alcun dispositivo per lo sfogo delle esplosioni. L'impianto di depolverazione consisteva in un sistema centralizzato di raccolta della polvere sottile estratta da:

- Trasportatori a catena;
- Elevatori a tazze;
- Carcasse dei motori degli elevatori;
- Nastri trasportatori;
- Redler dal ricevimento buche.

La velocità e la violenza dell'evento non permise ad alcun lavoratore di reagire e

di mettersi in salvo; tutti i corpi vennero infatti trovati nel luogo di lavoro. L'esplosione proiettò grossi frammenti di calcestruzzo a molta distanza dall'impianto. Pezzi con massa fino a 10 kg vennero rinvenuti, infatti, a distanze di oltre 140 metri dal luogo dell'incidente.

L'indagine condotta in seguito all'incidente considerò almeno due possibili scenari all'origine della formazione di ATEX all'interno dei contenimenti:

- Formazione di gas infiammabili (CO) dovuti a fenomeni di autocombustione, fermentazione o incendio incipiente;
- Formazione di miscele ATEX polveri/aria.

La prima ipotesi venne successivamente scartata a seguito dell'approfondimento delle indagini. Le sorgenti di accensione che vennero considerate quali fattori di innesco furono invece le seguenti:

- scintillio o surriscaldamento (inclusa la presenza di hot spot);
- elettricità statica;
- scintille elettriche;
- autocombustione del deposito.

L'approfondimento dell'inchiesta identificò, quale fonte di accensione dell'ATEX, il malfunzionamento e/o guasto di un ventilatore del sistema di raccolta centralizzata delle polveri unita alla presenza di un'elevata temperatura locale che determinò un surriscaldamento delle polveri e, in conseguenza di ciò, un abbassamento della loro energia di innesco.

Dalla torre di movimentazione l'esplosione si propagò lungo il tunnel di caricamento attraverso successive esplosioni secondarie alimentate dalla presenza di strati polverosi presenti nei nastri trasportatori. Le fiamme penetrarono infine nelle celle in fase di caricamento generando inneschi con fiamma a getto (Flame Jet Ignition) che fecero collassare i contenimenti i quali, come abbiamo già anticipato, non risultavano protetti da sistemi di sfogo delle esplosioni.

3.1.2 DeBruce Grain Co., Kansas City (USA), 1998.

L'impianto DeBruce Grain Co. possedeva all'epoca dell'incidente, avvenuto nel 1998, una capacità tale da contenere il grano necessario per produrre pane sufficiente a soddisfare le necessità dell'intera popolazione americana per circa un mese e mezzo. Era costituito da n. 246 silos cilindrici sistemati in file affiancate. L'incidente causò il decesso di 7 persone ed il ferimento di altre 10 (NFPA, 1999). L'esplosione primaria si originò nel tunnel est della fila a sud, cui fecero seguito una serie di esplosioni secondarie attraverso il tunnel trasversale diramandosi nei tunnel della fila sud. L'esplosione raggiunse poi l'edificio principale dove erano posizionati gli elevatori a tazze, propagandosi ulteriormente da lì ai restanti silos. Nella zona nord grossi frammenti delle strutture in calcestruzzo armato dei silos furono proiettate a diverse centinaia di metri. La sorgente di innesco più probabile fu di tipo non elettrico causata da un surriscaldamento localizzato a carico di un cuscinetto mal lubrificato che generò la formazione di braci locali le quali innescarono l'ATEX presente in prossimità.

3.1.3 Molino Cordero di Fossano, Cuneo (Italia), 2007.

Verso le 14 e 30 del 16 luglio 2007, è esploso uno dei silos che conteneva farina al Molino Cordero di Fossano (Cuneo). Un quarto d'ora più tardi, quando i primi volontari del Comando dei Vigili del Fuoco erano già sul posto, è scoppiata un'autocisterna ferma sul piazzale, che si era incendiata in seguito alla prima esplosione.



Figura 5: Esplosione Molino Cordero di Fossano



Nel rogo ha perso la vita un autista della ditta, investito in pieno dalla deflagrazione e altre quattro persone in seguito alle ferite riportate. Il Molino Cordero era un impianto storico di macinazione di cereali e stoccaggio farine, risalente al 1950, posto tra via Torino e via Paglieri. Questa azienda a gestione familiare, occupava 24 dipendenti: 5 facevano gli autisti, 8 i mugnai, 2 i magazzinieri e 9 erano addetti al laboratorio e agli uffici. L'onda d'urto conseguente alla prima esplosione, è stata talmente violenta da scagliare addirittura una porta tagliafuoco dal lato opposto di via Torino e, in lontananza, per un raggio di circa 300 metri, listelli in legno, lamiere, tegole e macerie più leggere che hanno colpito e danneggiato le abitazioni e le autovetture parcheggiate. L'ora e la data hanno contribuito a limitare di molto i possibili danni alle persone. Infatti, via Torino che costeggia il mulino è una delle principali strade di accesso e di uscita verso il centro della città, ed è caratterizzata da un alto livello di traffico, in particolare nelle ore di fine scuola o alla sera quando le altre fabbriche terminano la produzione. Se fosse successo in un orario con più traffico, le autovetture che transitavano sarebbero probabilmente state coinvolte, con possibilità di ulteriori vittime. Si possono unicamente formulare delle ipotesi sulle hanno determinato l'esplosione/incendio e sulla dinamica cause dell'infortunio, poiché mancano le testimonianze dirette. Tutti i lavoratori coinvolti, purtroppo, sono deceduti. Sono disponibili solo testimonianze di persone che, essendo nei paraggi, hanno udito prima un soffio e, successivamente, una forte esplosione. Il 16 luglio 2007, poco prima delle 14:30, nel cortile dell'azienda Molino Cordero un'autocisterna carica di farina sfusa stava scaricando una parte del suo contenuto, mediante trasferimento pneumatico, in un silos-fariniera in legno presente all'interno dello stabilimento.

L'operazione di ripompaggio della farina all'interno del silos-fariniera si era resa necessaria in quanto, l'autocisterna era stata riempita con un quantitativo di farina superiore rispetto a quello ordinato dal cliente (circa 10 quintali in più rispetto ai 300 ordinati). A un certo punto, durante l'operazione di ripompaggio, è avvenuta

l'esplosione della miscela aria-farina nel silos-fariniera che ha causato il crollo e l'incendio del corpo centrale dell'edificio.

La giornata del 16 luglio era particolarmente tersa, con un'atmosfera estremamente asciutta, temperatura elevata e scarsa umidità (temperatura media di 25,4 °C, minima 16 °C e massima 30 °C, umidità 45%). Una giornata fuori dal comune per essere del mese di luglio, ma sicuramente una condizione meteo favorevole alla formazione di cariche elettrostatiche.

Nelle ricostruzioni effettuate sia dal perito nominato dalla Procura sia dai tecnici intervenuti, è chiara la presenza di polvere di farina nei condotti di trasporto pneumatico e nel silos in concentrazioni tali da generare un composto esplosivo.

Per svolgere l'operazione di scarico della farina mediante trasporto pneumatico, occorre in primo luogo fluidizzare la farina, cioè inviare dell'aria compressa all'interno della cisterna, facendola gorgogliare in maniera che la polvere contenuta nel recipiente si comporti come un liquido. La regolazione delle valvole di insufflaggio durante il di farina nel condotto. Si è così creata una nube con un rapporto favorevole tra combustibile (farina) e comburente (ossigeno), pronta a esplodere non appena incontrato l'innesco. sull'autocisterna era presente una piastrina metallica, solidale al mezzo elettricamente continua, attraverso la quale poteva essere realizzato il collegamento per la dispersione a terra di eventuali cariche elettrostatiche.

il conducente dell'autocisterna, durante l'operazione di ripompaggio pneumatico della farina in eccedenza all'interno del silos-fariniera, non ha potuto collegare a terra l'autocisterna perché, sul piazzale del Molino Cordero, non era stato predisposto uno specifico punto di collegamento a terra. Durante il ripompaggio, si sono generate molto probabilmente delle scariche elettrostatiche che, in presenza della miscela aria-farina, hanno innescato l'esplosione. Inoltre, sulla sommità del silos in legno che accoglieva la farina ripompata, non era stato applicato alcun dispositivo di sedimentazione del prodotto in arrivo (es. ciclone). La farina, entrando nel silos sotto pressione (0,5 bar), ha causato una forte

turbolenza e il sollevamento degli strati più superficiali di farina, formando una vera e propria nube che avrebbe potuto esplodere. L'origine più probabile dell'innesco sono state le scintille che si sono formate a causa delle cariche elettrostatiche che possono essersi prodotte:

- per sfregamento della farina contro un tratto della manichetta in gomma allacciata al condotto per il ripompaggio pneumatico;
- nella fase di carico, con relativa movimentazione e rimescolamento della farina con aria dal silos-fariniera, alla coclea, fino alla caduta nell'autocisterna, scollegata alla messa a terra. L'accumulo di cariche elettrostatiche, avvenuto in questa fase, ha trovato poi un punto di scarico verso terra nel condotto metallico raggiunto dalla miscela aria-farina al termine della manichetta, generando così una scarica elettrostatica.

La scarica elettrostatica ha innescato un'esplosione primaria nel condotto di ripompaggio, deformandolo verso la sommità e dando origine a gas e fumi caldi che, propagandosi a grande velocità, hanno raggiunto il silos-fariniera nel quale era stata ripompata la farina, con la conseguente formazione di una grande quantità di polvere sospesa: la nube aria-farina.

Si esclude, invece, che l'innesco dell'atmosfera esplosiva sia stato determinato da lavorazioni meccaniche quali la saldatura ad arco, la molatura, il taglio o similari che potrebbero essere state effettuate imprudentemente da lavoratori dipendenti della ditta Molino Cordero o da Antonio Cavicchioli (titolare della ditta Cavicchioli), presente in quel momento all'interno dello stabilimento.

Se potevano esistere delle perplessità sulla probabilità di esplosione di farine, questo incidente dovrebbe aver fugato ogni dubbio.

3.1.4 Fabbricazione accessori per l'abbigliamento, Italia, 2003

L'evento ebbe luogo nel 2003 in un'azienda nella quale si effettuavano operazioni di tornitura e fresatura di bottoni in materiale plastico e naturale.

Il report di incidente è il seguente: "L'infortunio alla dipendente venne provocato

dall'esplosione ed incendio dell'impianto di aspirazione delle polveri provenienti da lavorazioni meccaniche (tornitura, fresatura, taglio, foratura, ecc.) di materiale plastico (acetato di cellulosa, metilmetacrilato, resina poliestere, legno) per la produzione di bottoni. L'infortunata era addetta a lavorazioni di taglio di dischi in poliestere mediante taglierina presidiata da aspirazione localizzata posta superiormente alla macchina. Contemporaneamente, all'interno della ditta, erano in atto lavori di saldatura ad elettrodo per il montaggio di un carroponte. Tali lavori vennero condotti esattamente al di sopra delle tubazioni in lamiera metallica dell'impianto di aspirazione.

L'esplosione della miscela polvere-aria contenuta nelle tubazioni risultò essere stata innescata dal contatto tra l'elettrodo e la tubazione in fase di saldatura. Del materiale incandescente attraversò la lamiera e provocò l'innesco dell'ATEX presente all'interno della tubazione. La diffusione della miscela polvere-aria presente in tutto l'impianto di aspirazione e depolverazione provocò l'esplosione a catena e l'incendio che si diffuse anche al reparto nel quale lavorava l'infortunata ed altri 6 operai/e coinvolti in misura minore".

Anche in questo caso si rileva una stretta relazione tra operazioni di manutenzione e infortuni mortali causati da esplosioni nel luogo di lavoro.

3.1.5 Nicomax di Gravellona Toce, Verbano-Cusio-Ossola (Italia), 2000.

Durante le operazioni di smerigliatura di manufatti in alluminio si ruppe il nastro continuo abrasivo che, muovendosi in modo disordinato, rimescolò la polvere di alluminio accumulata, consentendone l'innesco per la produzione di scintille dovute allo sfregamento. Si verificò così una prima esplosione, che investì l'operatore sotto forma di vampata, favorendo la produzione di altre scintille e frammenti incandescenti della tela smeriglio, i quali, aspirati dall'impianto di ventilazione, causarono l'accensione della polvere di alluminio presente nel ciclone, dando origine ad un'esplosione secondaria di entità maggiore. Infine il fronte di fiamma, incanalandosi verso il filtro a manica e favorito dall'aspirazione in atto, provocò l'innesco multiplo delle polveri finissime presenti negli interstizi, causando una terza esplosione che distrusse il filtro, proiettandone i frammenti

anche a distanza superiore ai 50 m.

3.1.6 Finelvo di Ochieppo, Biella (Italia), 2001.

L'esplosione avvenne nel capannone in cui veniva effettuata la produzione di un filato in poliammide denominato "filo floccato". A causa di una fermata prolungata della linea di finissaggio, il materiale accumulatosi sulla batteria di scambio si surriscaldò, dando origine ad un fenomeno di combustione a brace che, al momento del riavvio del ventilatore, innescò l'atmosfera aria/fibre, causando un'esplosione primaria nel condotto di ricircolo dell'aria. A tale esplosione ne seguì una seconda, più violenta, che si propagò nei condotti di evacuazione determinando la fuoriuscita di materiale in fiamme nel reparto e danni generalizzati alle apparecchiature coinvolte, nonché danni meccanici alle strutture degli edifici e gravi ustioni ad alcune persone presenti.

3.1.7 Operazioni di caricamento delle polveri nell'industria farmaceutica

Un aspetto particolarmente delicato connesso all'utilizzo di polveri combustibili è relativo alle operazioni di caricamento di reattori e serbatoi con liquidi infiammabili o polveri combustibili. Quella che segue è una descrizione di un incidente tratta dalla pubblicazione dell'ANPA relativa alla sicurezza nei reattori industriali.

"Un'esplosione di polveri si verificò in una Ditta produttrice di principi farmaceutici durante il carico di un intermedio di un reattore inertizzato con azoto. L'intermedio è una polvere che presenta una granulometria estremamente fine ed era introdotto mediante svuotamento diretto di sacchetti di plastica garantita antistatica attraverso il boccaporto del reattore. Al termine dello svuotamento del secondo sacco, mentre l'operatore lo stava scuotendo, si verificò l'esplosione, che produsse, oltre al ferimento degli operatori, il successivo incendio della manica di aspirazione.

I fattori che contribuirono a determinare l'incidente furono connessi da un lato alle caratteristiche del materiale che era presente in uno stato fisico tale da poter dare luogo a esplosione se disperso in aria e innescato e, dall'altro, alla possibilità che il reattore non fosse stato preventivamente inertizzato o bonificato al termine della lavorazione precedente. In ogni caso, le cause furono addebitate alla presenza di una fonte d'innesco di tipo elettrostatico attribuibile al passaggio della polvere all'interno della manica di aspirazione, allo sfregamento della polvere contro i sacchetti oppure a una non perfetta messa a terra dell'impianto".

4. I PARAMETRI DELL'ESPLOSIONE DELLE POLVERI

Le esplosioni di polveri presentano diverse analogie con le esplosioni gassose, specialmente per quanto riguarda le reazioni coinvolte e quando la polvere ha una granulometria inferiore a 5 µm. Tuttavia, esistono significative differenze che rendono lo studio delle polveri più difficile rispetto a quello dei gas e vapori, in quanto i parametri, che caratterizzano la pericolosità di una miscela polvere/aria, sono molto variabili in relazione alle caratteristiche fisiche della miscela.

Perché avvenga un'esplosione di polvere deve essere presente un certo grado di turbolenza per disperdere la polvere in una sospensione (nube). Le esplosioni gassose possono invece avvenire anche con il gas in uno stato quiescente; inoltre le miscele gassose sono omogenee e consistono di particelle di dimensioni molecolari. Al contrario le sospensioni di polveri in aria formano un sistema eterogeneo; inoltre contengono particelle di dimensioni diverse, sempre però molto più grandi e quindi più pesanti delle molecole gassose e che tendono a ridepositarsi a causa della gravità. Data la differenza di densità tra i due componenti della miscela, la concentrazione di una sospensione è solitamente espressa come peso di polvere per volume di aria (mg/l o g/m3). La concentrazione rappresenta un valore medio, statistico, soggetto a variazioni temporali e spaziali. Nel caso che si formi una nube di polvere, a causa della diversa velocità di caduta delle particelle, in funzione delle loro dimensioni, si ottiene nella miscela polvere-aria una separazione: la composizione della miscela subisce variazioni notevoli con alterazione delle caratteristiche fisiche della miscela stessa.

La maggior parte delle polveri se sufficientemente fini e secche sono capaci di formare nubi di polveri infiammabili nell'area di uno specifico processo e di variare il loro campo di sensibilità all'ignizione e la violenza dell'esplosione. In particolare, le condizioni di esplodibilità di una polvere vengono determinate attraverso l'analisi di molti fattori tra i quali:

- Limiti di esplodibilità (concentrazione polvere/aria);
- Dimensione delle particelle;
- Contenuto di umidità;
- Pressione massima associata;
- Velocità massima di aumento della pressione di esplosione;
- Energia minima di ignizione;
- Temperatura minima di accensione e di decomposizione.

Un parametro che bisogna analizzare prima di approfondire tutti gli altri è quello dell'infiammabilità, definito sulla base di due metodi di prova:

- Tubo verticale;
- Fornace di Godbert-Greewald (Fornace GG)

Nel test del tubo verticale si forma una nube di polvere a temperatura ambiente in presenza di una sorgente standard di ignizione. La sostanza è dispersa con un getto d'aria (air-jet). Se avviene l'ignizione e le fiamme si muovono lontano dalla sorgente, la sostanza è considerata infiammabile e classificata come Gruppo A (infiammabile). Se l'ignizione non avviene la sostanza è classificata di Gruppo B ed è considerata non infiammabile a temperatura ambiente. Una sostanza appartenente al Gruppo B tuttavia può divenire infiammabile se manipolata ad elevata temperatura.

Le polveri che devono essere manipolate a temperatura elevata sono testate nella Fornace GG. Se avviene una ignizione spontanea ad una temperatura della fornace superiore a 800 °C, il materiale è considerato infiammabile. Se non avviene l'ignizione il materiale si considera non capace di formare nubi di polvere infiammabili nelle condizioni normali dell'impianto. L'infiammabilità delle nubi di polvere è condizionata dalle dimensioni delle particelle di polvere. Se le particelle hanno diametro superiore a 500 μ m, generalmente non si formano nubi di polvere infiammabile. La massima infiammabilità si verifica con dimensioni delle particelle di 75 μ m o più piccole Gas e vapori infiammabili aumentano l'infiammabilità di una nube di polvere anche a concentrazioni inferiori al *LEL*.

4.1 Limiti di esplodibilità (LEL e UEL)

In comune con i gas infiammabili, le polveri miscelate con l'aria esibiscono un limite inferiore e un limite superiore di infiammabilità o di esplodibilità. Il limite inferiore viene chiamato *LEL* (*Lower Explosion Limit*) e rappresenta la più piccola quantità di una polvere sospesa in un'unità di volume di aria capace di accendersi e di propagare la fiamma. In concentrazioni inferiori, le particelle della stessa polvere sono più lontane fra di loro quindi il calore liberato dall'ossidazione delle singole particelle non è sufficiente a riscaldare e ad accendere quelle adiacenti.

Quando la concentrazione della polvere supera il limite inferiore e si avvicina al valore stechiometrico, la velocità di propagazione della fiamma e la "violenza" dell'esplosione aumentano. Una volta superata la concentrazione stechiometrica, l'effetto di raffreddamento dovuto all'eccesso di combustibile diventa sempre più marcato e si raggiunge una concentrazione corrispondente al limite superiore, ovvero l' *UEL* (*Upper Explosion Limit*). Questi due valori individuano il range di esplosione. La determinazione sperimentale del limite superiore presenta notevoli difficoltà, in quanto è raro ottenere nubi di polvere omogenee; per questo motivo l'interesse per questo limite è piuttosto scarso.



Figura 6: Range di esplosione.

Ben pochi valori sono stati determinati sperimentalmente e le concentrazioni trovate cadono tra 2 e 6 g/l. Nella Tabella 7 sono confrontati gli intervalli di infiammabilità di alcuni gas/vapori e di alcune polveri.

	Li, % vol.	Li, mg/L	Ls, % vol.	Ls, mg/L
	Gas/	Vapori		t 35 508
metano	5,0	38	15	126
etilene	2,7	35	36	700
benzene	1,3	47	7,9	300
ciclopropano	2,4	46	10,4	220
acetaldeide	4,0	82	36	1100
acetone	2,6	70	13	390
solfuro di carbonio	1,3	45	50	3400
	Po	lveri		
acido acetilsalicilico		15		2-6 g/L
acido benzoico		11		"
resina epossidica		12		n
fenolo formaldeide		15		**
Polietilene		38		

Tabella 7: Range infiammabilità gas e polveri.

Nella Fig. 7 sono confrontati i dati di esplodibilità del metano e della polvere di polietilene. La curva del metano mostra, ben definiti, il limite inferiore e il limite superiore; quella del polietilene mostra il limite inferiore (uguale a quello del metano) ma non il limite superiore.

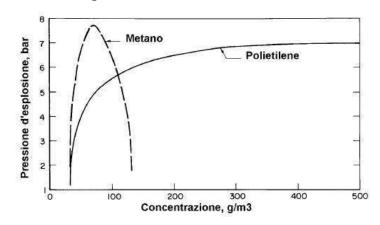


Figura 7: Confronto esplodibilità tra metano e polvere di polietilene.

Non essendo uniforme la concentrazione della nube di polvere, bisogna precisare che è praticamente impossibile impedire un'esplosione rimanendo fuori il range di infiammabilità.

4.2 Energia minima di ignizione (MIE)

Tutte le polveri combustibili richiedono un'energia minima di accensione che varia in funzione della natura chimica della polvere, dell'umidità, della posizione dell'innesco, della sua granulometria, dell'uniformità e della composizione della sospensione. Analogamente alle miscele gassose, questo valore è minimo nei dintorni della composizione stechiometrica ed aumenta nelle vicinanze dei limiti. Viene determinata facendo passare scintille di energia nota all'interno di nubi di polvere in un apparecchio simile al tubo verticale. La più piccola quantità di energia delle scintille che provoca l'ignizione della nube di polvere è la minima energia di ignizione del materiale. La MIE si riduce significativamente a temperatura elevata e in presenza di gas/vapori infiammabili, anche al di sotto del LEL. Una sorgente di accensione con un'energia pari a MIE si dice efficace. Fino a pochi anni fa si riteneva che fosse maggiore di quella richiesta dai gas infiammabili di diversi ordini di grandezza. Ulteriori ricerche sui metodi di determinazione dell'energia di accensione, hanno tuttavia dimostrato che variando le caratteristiche di scarica della scintilla si ottengono valori prossimi a quelli dei gas. I valori di MIE sono usati nella definizione dei rischi elettrostatici e sono utili per il dimensionamento degli apparecchi a sicurezza intrinseca. In Tabella 8 sono indicati a titolo di esempio i valori di LEL, UEL e MIE per alcune sostanze di normale interesse.

Sostanza	Μ.Ι.Ε <i>μ</i> J	L.E.L. % vol	U.E.L % vol
acetilene	19	2,3	100
etilene	85	2,7	36
idrogeno	20	4,0	75
metano	280	4,4	17
propano	260	2,1	9,5

Tabella 8: Valori di MIE, LEL e UEL di alcune sostanze.

4.3 Temperatura minima di accensione (MIT e LIT)

Per le polveri vengono rispettivamente definite la temperatura minima di accensione di una nube (*MIT*) e la temperatura di accensione di uno strato di polvere (*LIT*). Il primo si determina usando la Fornace GG descritta in precedenza e rappresenta "la più bassa temperatura di una parete calda interna ad un forno alla quale si verifica l'accensione in una nube di polvere nell'aria contenuta al suo interno" (EN 60079-14-2:2010). In genere si considerano pericolose polveri

combustibili che hanno dimensioni delle particelle minori od uguali a 0,5 mm. Il secondo valore è "la più bassa temperatura di una superficie calda alla quale si verifica l'accensione in uno strato di polvere di spessore specificato su una superficie calda" (EN 60079-14-2:2010). Si misura esponendo uno strato di materiale ad una piastra calda e determinando la temperatura alla quale avviene la combustione. Il *LIT* varia con i materiali testati e generalmente si abbassa all'aumentare dello spessore dello strato. In Europa sono condotti test su spessori di 5 mm. Il *LIT* non deve essere confuso con la temperatura di decomposizione termica dei depositi di polvere.

Le temperature di ignizione (Tabella 9) ottenute con i test possono essere influenzate dalla storia termica del materiale e pertanto è importante che il campione in prova sia rappresentativo del processo.

Tipo di polvere	°C
Acetato & cellulosa	340
Acido adipico	550
Acido benzoico	600
Acido fumarico	520
Acido tereftalico	680
Alluminio atomizzato	650
Anidride ftalica	605
Antracene	505
Aspirina	550
Benzoato di sodio	560
Caffè	360
Caprolattame	430
Carbone attivo	660
Carbone con 25% di sostanze volatili	605
Carbone con 45% di sostanze volatili	575
Cellulosa	410
Destrina	410
Difenile	630
Etilcellulosa	340
Legno	360
Lignina	450
Magnesio	560
Metilcellulosa	360
Polietilene	390
Polimetilmetacrilato	440
Polipropilene	420
Polistirene	500
Resina fenol o-formaldei de	450
Resina urea-formal deide	430
Stearato de all'uminio	400
Stearato di calcio	400
Vitamin a B1	380
Vitamina C	460

Zolfo	190
Zucchero	370

Tabella 9: Temperature di accensione di alcuni materiali.

4.4 Classe di combustibilità BZ

Rappresenta l'attitudine della polvere a bruciare in strato. Più la polvere tende a bruciare, maggiori sono le condizioni di rischio sia per la presenza di sorgenti di accensione sia per la possibilità che lo strato possa sollevarsi in nube e provocare esplosioni successive. Nella Tabella 10 che segue sono indicate le classi di combustibilità BZ.

Classe di combustibilità	Descrizione
BZ 1	La polvere non prende fuoco
BZ 2	La polvere prende fuoco brevemente e poi estingue rapidamente
BZ 3	La polvere diventa incandescente localmente senza propagazione
BZ 4	La polvere diventa incandescente localmente con propagazione
BZ 5	La polvere produce un fuoco vivo che si propaga
BZ 6	La polvere produce una combustione molto rapida

Tabella 10: Classi di combustibilità.

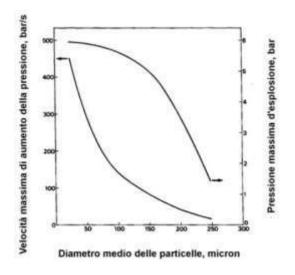
4.5 Dimensione delle particelle

La reattività di un materiale in polvere differisce enormemente da quella allo stato compatto ed è funzione del suo grado di suddivisione, ossia della sua granulometria. La ragione sta nel fatto che la velocità della reazione è determinata dalla diffusione dell'ossigeno all'interno della sostanza: quanto maggiore è il grado di compattezza del solido, tanto più lenta risulterà la combustione. A parità di massa, la reattività dipende dalla superficie esposta, ovvero dall'area superficiale della particella. L'area superficiale (o superficie specifica, espressa in cm2/g o in m2/g) aumenta fortemente con la polverizzazione della sostanza: a parità di forma delle particelle, l'area superficiale dipende dalla grandezza dei grani e, a parità di massa, dipende dalla forma. I processi di combustione che avvengono durante un'esplosione di polvere coinvolgono reazioni chimiche all'interfaccia tra il solido combustibile e il gas comburente. Di conseguenza l'area superficiale disponibile per l'ossidazione e il trasferimento di calore ha un effetto

significativo sull'inizio e sulla propagazione di un'esplosione di polvere. Man mano che le dimensioni delle particelle di una polvere diminuiscono la superficie specifica aumenta, per cui la polvere brucia più facilmente, è più facilmente disperdibile e rimane più a lungo in sospensione.

Una riduzione di 1/8 della dimensione originaria della particella comporta un incremento di 800 volte dell'area superficiale. Evidenze sperimentali suggeriscono che particelle di dimensioni superiori a 500 μ m non contribuiscono sostanzialmente alla propagazione della fiamma per gli effetti dell'inerzia termica. Il rischio diventa elevato con particelle di dimensioni pari o inferiori a 75 μ m, che oltretutto rimangono in sospensione in aria per un tempo considerevole.

Anche la pressione massima d'esplosione e la velocità massima di aumento della pressione aumentano al diminuire della granulometria mentre diminuiscono l'energia minima di accensione e la concentrazione minima esplodibile (limite inferiore).



Diametro medio delle particelle, micron

Concentrazione minima esplodibile, g/m3

Figura 8: Relazione diametro-velocità massima.

Figura 9: Relazione diametro-pressione massima.

4.6 Contenuto d'umidità

In generale, ma non per tutte le polveri, l'aumento di umidità riduce molto le caratteristiche esplosive, come la violenza dell'esplosione e la sensibilità all'ignizione, in primo luogo perché limita la tendenza della polvere a formare nubi in quanto le particelle diventano più coesive e quindi più difficili da

accendere e in secondo luogo perché l'umidità assorbe una parte del calore di combustione consumandolo per vaporizzare. Un aumento nella percentuale d'umidità provoca un aumento della temperatura di accensione, dell'energia di accensione e della concentrazione minima esplodibile.

4.7 Velocità massima di aumento della pressione di esplosione (dP/dt) e pressione massima associata (P_{max})

Rappresentano i parametri principali che determinano la violenza di un'esplosione e dipendono dalla concentrazione di polvere: i valori di tali parametri aumentano man mano che la concentrazione aumenta (partendo dal limite inferiore), raggiungono un massimo per concentrazioni di poco superiori a quella stechiometrica e poi diminuiscono. Sono determinati in un vessel di 1 m3 o, più comunemente, in una sfera di 20 lt. La massima pressione di esplosione, relativa alla più favorevole composizione della miscela, è indipendente dal volume del vessel, tuttavia dipende dalla temperatura iniziale ed è proporzionale al valore (assoluto) della pressione iniziale. La massima velocità di incremento della pressione (dP/dt)_{max} tuttavia, dipende dal volume e per convenienza è convertita in una "costante di esplosione" secondo la cosiddetta *legge cubica di Bartknecht*, che permette anche di classificare le polveri in tre classi di esplosività in relazione al valore assoluto del parametro K_{st}:

$$K_{st} = V^3 \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$$

dove:

- · K_{st} = costante caratteristica per una data polvere $\left[\frac{bar \cdot m}{s}\right]$
- dP/dt_{max} = velocità massima di aumento della pressione di esplosione della nube di polvere combustibile $\left[\frac{bar}{s}\right]$
- $V = volume del contenitore in cui avviene l'esplosione [<math>m^3$]

La velocità di esplosione o il valore di K_{st} dipende dal grado di turbolenza della miscela. Infatti aumentando il livello di turbolenza aumenta drasticamente la velocità di esplosione. In Tabella 11 vengono riportati i valori delle classi di esplosione.

Classe di esplosione	K₅ bar·m·s⁻¹	Commento
St 0	0	Esplosione debole
St 1	> 0 fino a 200	Esplosione moderate
St 2	> 200 fino a 300	Esplosione forte
St 3	> 300	Esplosione severa

Tabella 11: Classi di esplosione.

Mentre la Tabella 12 mostra i valori di K_{st} per alcune polveri di importanza industriale: si osserva che sono espressi in un intervallo, in quanto la composizione di ognuna non è sempre identica e lo spettro di granulometria è relativamente ampio.

Polvere	Pmax, bar	K_{SI} , bar.m. s ⁻¹
PVC	6,7-8,5	27-98
polietilene	7,4-8,8	54-131
resina epossidica	7,8-8,9	108-174
lignite	8,1-10,0	93-176
cellulosa	8,0-9,8	56-229
pigmenti	6,5-10,7	28-344
alluminio	5,4-12,9	16-750

Tabella 12: Valori di Pmax e di Kst di alcune polveri.

La legge cubica è di massima importanza per la valutazione della resistenza degli impianti e per la progettazione di sistemi di protezione.

4.8 Temperatura e pressione

Propagazione della fiamma accelera e aumento di temperatura sono direttamente proporzionali in quanto:

- aumenta la velocità della reazione chimica;
- viene ridotto l'effetto del raffreddamento dovuto all'umidità della polvere
- al diminuire del contenuto di umidità viene migliorata la disperdibilità

della polvere.

La temperatura agisce sia sulla fase solida che nella fase gassosa della miscela: nella prima contribuisce ad esaltare la reattività della polvere in quanto viene ridotta la differenza tra la temperatura iniziale e quella di auto ignizione; nella seconda, preriscaldando il comburente, rende questo più dilatato e quindi meno concentrata la miscela.

È stato condotto poco lavoro sperimentale sull'effetto della pressione iniziale e questo perché probabilmente la maggior parte dei processi avviene a pressione ambiente. È prevedibile che la pressione influenzi i limiti di infiammabilità di una polvere in quanto agisce soltanto sulla fase gassosa: poiché le variazioni di pressione modificano il volume della miscela e di conseguenza la sua concentrazione.

L'aumento della pressione porta a effetti di entità più rilevante, in quanto, pur rimanendo immutata l'azione esplosiva della miscela (caratteristica della quantità di polvere dispersa), la pressione finale risulta più elevata, giacché è costituita dalla somma della pressione iniziale e dell'aumento prodotto durante l'esplosione.

4.9 Concentrazione limite di ossigeno (*LOC*)

Una diminuzione del livello di ossigeno porterà ad una riduzione degli effetti esplosivi (in difetto di ossigeno la quantità di energia rilasciata è insufficiente a sostenere la propagazione della fiamma). La reazione diventerà più lenta fino ad un valore limite al di sotto del quale la propagazione di fiamma non è più auto sostenuta.

I LOC sono determinati generalmente con gli stessi dispositivi e con le stesse procedure usate per determinare la drasticità dell'esplosione.

Il valore del *LOC* dipende dalla natura delle polveri, dalla pressione e temperatura iniziali e dal gas inerte utilizzato.

4.10 Presenza di gas infiammabili (miscele ibride)

Le miscele ibride sono miscele in aria di sostanze infiammabili e polveri

combustibili (ad es. miscele di prodotti in polvere con vapori di solventi). Le esplosione che ne possono derivare hanno un decorso combinato (effetto sinergico), coinvolgendo gas e polvere con effetti più violenti che con il solo gas o la sola polvere. Sulla base dei risultati sperimentali è generalmente ritenuto che tali sistemi possano presentare pericoli d'esplosione anche quando le concentrazioni dei singoli componenti siano al di sotto dei loro limiti inferiori d'infiammabilità. E' buona norma, nel caso di miscele ibride, mantenere le concentrazioni di gas o vapori al di sotto del 25% dei rispettivi *LEL*. Attualmente c'è una notevole necessità di informazioni su diversi sistemi ibridi, a causa dell'aumentato numero di processi industriali in cui tali sistemi sono presenti.

Le attuali conoscenze sulle miscele ibride si possono così riassumere:

- una polvere combustibile miscelata con aria contenente un vapore infiammabile esplode più violentemente che nella sola aria, anche se la concentrazione è al di sotto del suo limite inferiore
- il limite inferiore delle miscele ibride è più basso di quello della polvere combustibile, anche se la concentrazione del gas infiammabile è al di sotto del suo limite inferiore;
- I'energia di accensione e la temperatura di autoaccensione delle miscele ibride sono più basse che quelle della sola polvere (piccole frazioni di metano nell'atmosfera comburente riducono il valore MIE di polveri di carbone di un fattore di circa 100 quando il contenuto di metano è aumentato da 0 al 3 %).

I limiti inferiori di esplodibilità (*LEL*) di queste miscele, sono valutabili applicando semplici relazioni di proporzionalità, anche se esistono casi in cui risultano ancor più inferiori. Questo fenomeno si manifesta per miscele contenenti polveri di sostanze alogenate (ad esempio PVC), ma anche per miscele in aria del tipo: metano e carbone, propilene e polipropilene, metano e polietilene, polvere di ferro e propano, solventi infiammabili e polveri varie infiammabili, ecc.

Per concentrazioni superiori al LEL l'aggiunta di gas ad una miscela contenente

una data concentrazione di polvere in ari aumenta l sovrappressione massima di esplosione P_{max} ; il fenomeno contrario è verificato se si aggiunge polvere ad un miscela contenente una data percentuale di gas.

Il limite superiore di esplodibilità *UEL* delle miscele in aria, sia di soli componenti gassosi sia di gas e polveri, non è deducibile da una relazione di proporzionalità.

5. FONTI D'INNESCO

Una sorgente d'innesco si considera efficace quando è in grado di fornire all'atmosfera esplosiva una energia sufficiente a provocare l'accensione. In relazione all'impianto specifico ci può essere un numero plausibile di sorgenti di ignizione, almeno nelle parti più comuni possiamo annoverare:

- Fiamme libere;
- Scariche elettriche, elettrostatiche e atmosferiche;
- Superfici calde e frizione di organi meccanici;
- Scintille:
- Materiali piroforici; ignizione spontanea, braci, ecc.;
- Materiale elettrico;
- Sorgenti esterne;
- Ultrasuoni e onde elettromagnetiche da 3·10¹¹ Hz a 3·10¹⁵ Hz;
- Radiazioni ionizzanti;
- Compressioni adiabatiche ed onde d'urto.

5.1 Fiamme libere

Rappresentano sorgenti di innesco molto energetiche che è indispensabile tenere sotto controllo. Queste devono essere soggette a regolamenti di stabilimento e all'uso di sistemi quali i permessi di lavoro ecc.

Presenti per esempio nelle operazioni di taglio e saldatura o nei bruciatori, tra le operazioni in cui porre maggiore attenzione vi è il taglio di recipienti chiusi contenenti residui di sostanze infiammabili. In definitiva dette precauzioni devono

essere mirate ad evitare che tali tipi di lavorazione siano eseguite quando c'è pericolo di formazione di atmosfere infiammabili.

5.2 Scariche

Tra i principali fattori che possono configurarsi come sorgente di innesco. Tale fenomeno può essere dovuto a fattori strettamente legati al processo produttivo, ovvero a cause esterne come ad esempio quelle legate a fenomeni di scariche atmosferiche. Nel caso di aspetti legati a fattori produttivi, il principio di formazione dei campi elettrostatici è dovuto in larga parte al classico fenomeno dello *strofinio*. Questo può verificarsi con:

- travaso di prodotti;
- rotolamento tra nastri trasportatori e pulegge;
- flusso di un liquido attraverso le tubazioni;
- nebulizzazione di un liquido;

svuotamento di grosse quantità di prodotti da sacchi o contenitori.

Laddove non sia possibile evitare la formazione di cariche che possono produrre un'azione d'innesco in atmosfera, è necessario prevedere un sistema di scarica a terra, senza continuità, di tutte le parti metalliche e non metalliche dell'impianto, in modo che queste si disperdano verso terreno attraverso dei conduttori. In generale tale misura, per le parti metalliche, è sempre adottata in quanto i collegamenti tra le varie parti dell'impianto consistono in giunti bullonati o saldati. Nel caso di interruzione di continuità sarà necessaria l'adozione di opportuni ponti elettrici. L'uso di tubazioni in materiale plastico trasparente come visualizzatori del flusso è sconsigliato a causa dell'elevato rischio d'ignizione delle polveri. Anche i condotti flessibili devono essere collegati a terra grazie a conduttori a spirale dei quali è essenziale la verifica del corretto collegamento a terra.

Il fenomeno si spiega considerando che quando due corpi vengono in contatto una piccola carica si trasferisce da un corpo all'altro. Quando vengono separati i due corpi assumono cariche di segno opposto e si attraggono. Il distacco quindi provoca un aumento di differenza di potenziale tra loro. Se i corpi sono conduttivi le cariche si bilanciano prima che i corpi si distacchino completamente. Se tuttavia almeno uno di questi due corpi è isolante le cariche non possono essere completamente neutralizzate e resta una certa differenza di potenziali tra di essi.

La generazione di cariche elettrostatiche non costituisce necessariamente di per sé un pericolo. Il rischio si pone quando si verifica un accumulo di cariche in qualche punto del sistema e da questo si scaricano a terra con scintille o altre forme di scarica. Le cariche hanno tendenza ad accumularsi in alcuni punti particolari degli impianti quali tubi, attrezzi manuali di manipolazione, personale, plastiche di isolamento, masse di materiale. Il rischio principale comunque si verifica con l'accumulo di cariche sugli isolatori di conduttori elettrici. La scarica a terra delle cariche accumulate può avere energia sufficiente a provocare l'innesco dell'ignizione di gas, vapori o anche nubi di polveri.

In pratica è alquanto impossibile prevenire la formazione di scariche elettrostatiche, in particolare nella manipolazione di polveri.

La resistività (Q) delle polveri è considerata:

o bassa: per ϱ ≤ 103 Ω ·m

o media: per $103 < \varrho < 1010 \Omega \cdot m$

o alta: per $\varrho > 1010 \Omega \cdot m$

Riassumendo, le precauzioni da adottare contro le scariche elettrostatiche sono:

Impianto: messa a terra;

Personale: indumenti e pavimenti antistatici;

Plastiche: evitare l'uso di plastiche isolanti;

 Polveri: la manipolazione di polveri può causare la formazione di cariche elettrostatiche;

Liquidi: i flussi di liquidi isolati e gli spray possono causare cariche.

Le scariche elettrostatiche si distinguono sia per la forma con la quale si manifestano sia per l'energia che riescono a liberare:

45

Scarica disruptiva: si innesca tra due corpi conduttori quando i valori di campo elettrostatico superano i valori di rigidità dielettrica dell'aria (isolante aria circa 3 kV/mm). In questo caso, l'energia minima di innesco dipende dalla quantità di carica accumulata dal condensatore equivalente secondo la relazione:

$$E = \frac{1}{2}CV^2$$

dove:

- · C = Capacità condensatore [F]
- V = Differenza di potenziale [V]
- Scarica a *fiocco*: ha una energia di innesco compresa tra 1 e 3 mJ. Si verifica principalmente in caso di svuotamento di sacchi o di carico di un contenitore;
- Scarica per effetto *corona*: ha una energia di innesco inferiore a 1 mJ. Si verifica qualora vi siano dei conduttori aventi delle punte con raggio di curvatura minore di 1mm;
- Scariche a pennacchio: presentano una energia di innesco di alcuni J e si manifestano in caso di:
 - trasporto di liquidi isolati ad alta velocità attraverso tubazioni isolanti o tubazioni conduttrici con pareti rivestite da materiale isolante;
 - scorrimento veloce di nastri trasportatori con cinghie di trasporto isolanti;
 - · riempimento di sili isolanti;
- Scariche coniche: si sprigionano dal cono di accumulo quando vengono ammucchiate grandi quantità di materiale all'interno di contenitori e silos.
 Hanno una energia di innesco di alcuni J.

La capacità di innesco di scariche elettrostatiche può generalmente essere valutata paragonando l'energia immagazzinata con l'energia minima di innesco (MIE)

della polvere combustibile in questione.

5.3 Superfici calde e frizione di organi meccanici

Costituisce una sorgente di innesco qualsiasi superficie che possa surriscaldarsi raggiungendo temperature superiori a quelle critiche, vale a dire la minima temperatura di accensione della nube (*MIT*) e la minima temperatura di accensione dello strato (*LIT*).

Le frizioni si possono verificare in corrispondenza di organi meccanici in movimento, rottura di cuscinetti di rotolamento, ecc. possono produrre calore e quindi temperature elevate sulle superfici o punti caldi. Questi possono portare all'ignizione diretta di atmosfere infiammabili. I residui di polvere in contatto con le superfici calde possono diventare instabili termicamente producendo braci.

Le superfici calde possono essere derivate da altre fonti quali riscaldatori, boiler, tubi di vapore, impianti elettrici, forni e così via. Possono costituire superfici calde anche parti che si surriscaldano per difetti di funzionamento o per una lubrificazione inadeguata.

5.4 Scintille di origine meccanica

In seguito a processi di attrito, abrasione (quali la molatura) o semplice urto si formano scintille in grado di accendere gas/vapori infiammabili e alcune miscele nebbie/aria o polveri/aria (in particolare, miscele polveri di metallo/aria. In genere solamente le scintille provocate dagli urti tra particelle di metalli leggeri (Al, Mg, Ti) o loro leghe leggere e acciaio arrugginito rappresentano un pericolo significativo di rischio di incendio per le nubi di polveri. Anche l'infiltrazione di materiale estraneo, ad esempio pietre o pezzi di metallo, in apparecchiature o parti degli impianti può essere causa di scintillamento.

Il controllo di questa potenziale sorgente di ignizione è ottenuto semplicemente evitando l'uso di metalli leggeri o loro leghe leggere anche se è presente ruggine o atmosfere infiammabili, o ponendo parti costituite da questi materiali dove non possano essere coinvolte in urti. Scintille provocate da frizioni prolungate di due

metalli sono molto più incendiarie di quelle provocate da un singolo urto.

5.5 Materiale elettrico

Tutte le apparecchiature elettriche (ad esempio i motori, i quadri elettrici, i sensori di livello, le lampade, le prese, ecc.) possono divenire sorgenti di innesco efficace se sviluppano un'alta temperatura e non hanno caratteristiche idonee di tenuta all'ingresso della polvere, o se non sono correttamente manutenute. Inoltre, in relazione agli impianti elettrici, possono presentarsi come sorgenti di innesco – anche a bassissima tensione – scintille elettriche, ad esempio quando si aprono e si chiudono i circuiti elettrici, per connessioni allentate e a seguito di correnti vaganti.

5.6 Sorgenti esterne

Le sorgenti esterne possono essere fumo, cicche e generalmente si trovano all'esterno degli impianti. Molte di esse possono essere controllate con divieti e norme comportamentali ma altre cause esterne sono di carattere incidentale, come i fulmini. I fulmini sono eventi naturali rari che, se colpiscono un'atmosfera esplosiva, provocano sempre un'accensione, vista la loro notevole energia.

La norma CEI 81-1 (art. 2.7.1) definisce a rischio di esplosione causato da fulminazioni i soli depositi e fabbriche di munizioni, escludendo implicitamente da tale rischio tutte le altre attività. La valutazione del rischio di fulminazione per questi ambienti è un obbligo del datore di lavoro (art. 80 D.Lgs. 81/08 e s.m.i.) e va condotta ai sensi della pertinente norma CEI EN 62305-2, sia per la fulminazione diretta che indiretta.

La fulminazione diretta colpisce la struttura e può causare danni meccanici, incendi o esplosioni a causa delle altissime temperature del canale di fulmine, del valore di corrente (sovratemperatura dei conduttori), per la quantità di carica trasportata (perforazione di tubi, serbatoi, ecc.) o per accoppiamento resistivo ed induttivo. La fulminazione indiretta è costituita dai fulmini che cadono a terra in prossimità della struttura e possono causare l'avaria di apparecchiature elettriche

6. MISURE TECNICHE PER LA PREVENZIONE E LA PROTEZIONE CONTRO LE ESPLOSIONI.

Per evitare gli effetti pericolosi della concomitanza di un'atmosfera esplosiva ed una sorgente di innesco efficace, il datore di lavoro deve mettere in atto principi di prevenzione e di protezione che si realizzano, rispettivamente, evitando la formazione di atmosfere esplosive e di qualsiasi sorgente di innesco attiva possibile, e limitando gli effetti delle esplosioni ad un livello accettabile. La progettazione delle misure di prevenzione dell'esplosione e di protezione contro di essa deve considerare il funzionamento normale, che comprende l'avviamento e l'arresto, le possibili disfunzioni tecniche, nonché l'eventuale uso improprio prevedibile. Per quanto riguarda i parametri relativi alle potenziali sorgenti di innesco (ad esempio temperatura, la velocità e le vibrazioni), dovrebbero essere definiti sia i valori normali di funzionamento, sia i valori critici, superati i quali dovrebbe essere prevista almeno una segnalazione di allarme o il blocco automatico dell'apparecchiatura/impianto.

6.1 Classificazione in aree di rischio

La classificazione in zone è una misura di protezione contro il pericolo di esplosione, in quanto ad esse è associato un livello di probabilità di presenza di un' atmosfera esplosiva. È così possibile evitare che sorgenti di accensione efficaci si trovino in tali zone, mediante la scelta di apparecchiature con un adeguato livello di protezione ed adottare le opportune misure di sicurezza di tipo tecnico ed organizzativo. Secondo la classificazione prevista dall'art. 293 e dall'allegato XLIX al D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., si possono individuare le zone riportate in Tabella 12, dove per "normali attività" (in altri contesti si legge "normale funzionamento") si intende una situazione in cui il funzionamento rientra nei parametri di progetto

comprendendo le fasi di avvio e fermata. Nelle normali attività non sono compresi i guasti che richiedono riparazioni e fermate

Gas, vapori e nebbie	Polveri	Definizione
Zona 0	Zona 20	Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o trequentemente un'atmostera esplosiva. In generale, le condizioni relative ad una zona 0 o 20 interessano l'interno delle apparecchiature di processo, di serbatoi di stoccaggio, tubazioni di trasferimento, recipienti chiusi, ecc.
Zona 1	Zona 21	Area in cui è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività la formazione di un'atmostera esplosiva. La zona 1 o 21 può comprendere, ad esempio, i luoghi nelle immediate vicinanze della zona 0, delle aperture di riempimento e svuotamento e di apparecchi, sistemi di protezione, ecc.
Zona 2	Zona 22	Area in oui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata. La condizione relativa alla zona 2 o 22 può comprendere, tra gli altri, luoghi circostanti le zone 0/1 o 20/21, in prossimità di apparecchi, sistemi di protezione e componenti.

Tabella 13: Classificazione zone a rischio.

Il suddetto decreto afferma che si può, ma non è obbligatorio, fare riferimento alla norma europea EN 61241-10 (CEI 31-66), nonché alla guida CEI 31-56. La norma EN è stata recentemente sostituita dalla EN 60079-10-2, che propone un metodo non analitico in cui il tipo di zona è determinato in base alla probabilità che si presenti un'atmosfera pericolosa, mentre la relativa estensione è prefissata e dipende dal tipo di zona. La guida CEI 31-56 propone, invece, un metodo più elaborato che porta fino alla determinazione dell'estensione della zona.

6.1.1 Classificazione delle aree per presenza di polveri (EN 60079-10-2)

In questo paragrafo viene illustrata in maniera semplice e sintetica la procedura per la classificazione di ambienti dove può formarsi un'atmosfera pericolosa per miscele di aria con polveri, secondo la norma EN 60079-10-2 (CEI 31-88).

Il tipo di zona viene valutato in funzione della natura delle polveri e della frequenza e durata con cui può manifestarsi l'atmosfera esplosiva; per l'estensione sono fissate delle dimensioni minime in funzione del tipo di zona. Ne deriva che apparentemente il metodo è più semplice, in realtà occorre avere delle conoscenze che riguardano la sostanza pericolosa, il tipo di lavorazione e di processo,

l'umidità, la ventilazione e la pulizia dell'ambiente.

Lo strato di polvere è considerato una sorgente di pericolo sia perché può sollevarsi e disperdersi in nube esplosiva nell'ambiente, sia perché può incendiarsi. La definizione delle zone è peraltro unicamente riferita alla presenza di nubi di polvere.

Le polveri, secondo la denominazione internazionale, appartengono al Gruppo III delle sostanze che possono generare atmosfere potenzialmente esplosive, il quale a sua volta si divide in:

- Gruppo IIIA: particolato combustibile;
- Gruppo IIIB: polvere non conduttrice;
- Gruppo IIIC: polvere conduttrice.

I parametri più importanti che possono essere presi in considerazione per valutare la pericolosità delle polveri sono:

- Granulometria: determinante per la sospensione in aria della polvere;
- Temperatura di accensione:
 - · Di una nube (MIT);
 - · Di uno strato di polvere (*LIT*).
- LEL;
- UEL;
- MIE (1 mJ ÷ 10 J);
- Conducibilità elettrica;
- Umidità.

È necessario, qualora non si conosca la natura della polvere in esame, procedere alla determinazione delle sue caratteristiche fisiche attraverso l'analisi da parte di un laboratorio specializzato.

Individuate le polveri pericolose occorre determinare le sorgenti (*SE*), divise a seconda del grado di emissione come segue:

- Emissione di grado continuo (continua o per lunghi periodi):
 - o strati di polvere combustibile in recipienti aperti;

- strati di polvere all'interno di sistemi di contenimento (mulini, frantumatrici, essiccatoi, cicloni, filtri tramogge, mescolatori, condutture per il trasporto, coclee, nastri trasportatori, insaccatrici, sili, ecc.);
- strati di polvere all'esterno dei sistemi di contenimento che possono essere disturbati frequentemente e formare nubi esplosive, con il livello di mantenimento della pulizia "scarso".
- Emissione di primo grado (periodica od occasionale durante il normale funzionamento):
 - Macchinari aperti, atti a produrre polveri combustibili (mulini, polverizzatori, classificatori, crivelli, ecc.);
 - o unità di riempimento o di svuotamento a cielo aperto prive di mezzi di prevenzione dalla formazione di nubi di polvere (nastri trasportatori aperti, punti di prelievo campione aperti, punti di carico/scarico treni e autocarri, tramogge, punti di svuotamento e riempimento sacchi, ecc.);
 - o sacchi chiusi, di materiale che lascia trapelare la polvere
 - strati di polvere all'esterno dei sistemi di contenimento che possono essere disturbati anche poco frequentemente e formare nubi esplosive, con un livello di mantenimento della pulizia "scarso".
- **Emissioni di secondo grado** (poco frequente o per brevi periodi):
 - o unità di riempimento o di svuotamento a cielo aperto dotate di mezzi di prevenzione dalla formazione di nubi di polvere (nastri trasportatori chiusi, punti di prelievo campione chiusi, punti di carico/scarico treni e autocarri con sistemi di aspirazione polveri, tramogge con sistemi di aspirazione polveri, ecc.);
 - o sacchi non ermeticamente chiusi o soggetti a rompersi facilmente;
 - macchinario per l'imballaggio;
 - o base e parte superiore delle macchine con elevatori macchinari chiusi,

atti a produrre polveri combustibili (mulini, polverizzatori, classificatori, crivelli, ecc.) e recipienti chiusi

- o bocche di carico o scarico e tramogge chiuse;
- o punti di discontinuità (giunzioni a flangia, manichette di connessione, tenute di alberi rotanti e traslanti, ecc.);
- o uscita da cicloni o filtri non a tenuta stagna;
- o rotocelle con funzione di compartimentazione fisica;
- o strati di polvere all'esterno dei sistemi di contenimento che possono essere disturbati anche poco frequentemente e formare nubi esplosive, con il livello di mantenimento della pulizia "adeguato".

Le zone possono quindi essere determinate sulla base della seguente tabella:

Grado dell'emissione	Tipo di zona
ormazione continua di nube	20
primo	21
secondo	22

Tabella 14: Classificazione zone secondo il grado di emissione.

La norma EN 60079-10-2 non fornisce un metodo analitico, lasciando al classificatore l'onere della determinazione e dando altresì delle indicazioni generiche relativamente ad esempi di tipologie di zone. Si riportano di seguito e brevemente alcuni tipi.

Esempi di Zone 20 possono essere:

- interno di sistemi di contenimento: tramogge, sili, filtri...;
- sistemi di trasporto delle polveri eccetto alcune parti dei trasportatori a nastro e a catena...;
- interno di miscelatori, macine, essiccatori, apparecchiature per insaccaggio...

Nelle aree di lavoro le condizioni che portano a *zone* 20 sono vietate.

Esempi di Zone 21 possono essere:

 aree esterne ai contenimenti di polvere con porte di accesso aperte frequentemente o dove si accumulano polveri a causa dei processi, in

- prossimità di punti di riempimento e svuotamento, stazioni di scarico camion, scarico dai nastri, ecc.;
- aree all'interno di contenimenti di polveri (sili o filtri), dove la formazione delle nubi è occasionale (riempimenti e svuotamenti occasionali).

Esempi di Zone 22 possono essere:

- uscite dagli sfiati di involucri dei filtri (a seguito di malfunzionamenti),
 luoghi vicini ad apparecchiature aperte non frequentemente o che possono avere perdite per guasti (sovrappressione);
- magazzini di sacchi che nella movimentazione possono avere perdite (danneggiamenti);
- zone 21 trasformate in zone 22 adottando sistemi di prevenzione come la ventilazione.

Per quanto riguarda l'estensione:

La zona 20 è in genere estesa a tutto l'interno di apparecchi e sistemi di contenimento dove la presenza di nubi o di strati di spessore elevato è continua. Per le zone 21 la norma ritiene spesso sufficiente un'estensione di 1 m dalla sorgente di emissione fino al terreno. Può peraltro essere necessario classificare, in funzione della situazione specifica, come zona 21 l'intera area di lavoro. Una zona 21 non limitata da strutture, posta all'interno è sempre circondata da una zona 22. Per le zone 22 la norma ritiene spesso sufficiente un'estensione di 3 m al di là della zona 21 ed attorno alla sorgente di emissione con un'estensione verticale verso il basso fino a terra o fino al livello di un pavimento solido (come per le zone 21).

6.2 Evitare le atmosfere esplosive

Quando possibile, le sostanze infiammabili o combustibili devono essere sostituite con altre che non presentano tali caratteristiche di pericolo o che non sono in grado di formare atmosfere esplosive (ad esempio, sostituendo il materiale polveroso fine con uno granulare meno fine). In alternativa, si potrebbe prevedere il controllo della concentrazione della sostanza pericolosa in atmosfera, ma per le

polveri i calcoli sono spesso errati, poiché considerano le concentrazioni globali anziché quelle locali presenti nell'apparecchiatura.

6.2.1 Copertura con gas inerti

E' una misura di sicurezza in cui l'ossigeno contenuto nella miscela viene ridotto ad un valore più basso del *LOC* (*Limit Oxygen Concentration*) in modo da rendere impossibile l'ignizione. Quando la sicurezza è basata sulla copertura con gas inerte, la copertura deve essere eseguita prima che si verifichino condizioni di infiammabilità (generalmente prima che il materiale sia caricato nell'impianto) e tali condizioni dovranno essere mantenute durante il processo.

Il LOC dipende dal materiale, generalmente per le polveri è contenuto nel range di 10-14% v/v anche se ci sono alcune eccezioni quali H, S, CS2, Al, per i quali si utilizza un LOC < 5% v/v.

La procedura di copertura consiste nel lavaggio iniziale per ridurre l'ossigeno ai livelli richiesti, seguito da un lavaggio continuo per evitare l'ingresso di aria nel processo. L'aria potrebbe entrare in vari modi, ad esempio può essere introdotta quando una sostanza viene rimossa dal contenitore, può entrare con la polvere in fase di carica dello stesso, può essere spinta dentro da una valvola rotativa o può entrare per semplice diffusione attraverso linee di sfogo, flange, ecc. Tutte queste situazioni devono essere preventivate e neutralizzate con lavaggio continuo.

Ci sono due modi principali per inertizzare un recipiente:

- alternanza di pressione al suo interno;
- flusso continuo di inerte attraverso.

Il primo metodo consiste nel pressurizzare il contenitore con gas inerte e quindi sfogarlo in atmosfera, questa operazione deve essere eseguita varie volte; in alternativa può essere svuotato e il vuoto riempito con gas inerte.

Per tale procedura è indispensabile che vengano rispettati alcuni requisiti di base:

 la copertura deve essere eseguita prima che i materiali infiammabili siano introdotti nel vessel;

- l'ossigeno contenuto nell'atmosfera del vessel deve essere tenuto al di sotto del LOC;
- Un margine di sicurezza deve essere considerato per tener conto degli effetti della pressione e temperatura sul LOC, dei tempi di risposta del monitoraggio, ecc.;
- le procedure di lavaggio devono essere ben definite ed applicate rigorosamente;
- un monitoraggio appropriato e dispositivi di asservimento devono essere utilizzati per assicurare che la copertura sia eseguita e mantenuta con sufficiente affidabilità;
- deve essere assicurata la disponibilità di gas inerte in quantità tale da soddisfare la più elevata richiesta che possa verificarsi;
- il gas inerte deve essere essenzialmente privo di ossigeno. In termini pratici il contenuto di ossigeno non dovrebbe superare 1% v/v, per sostanze quali H e CS₂ il livello massimo di ossigeno dovrebbe essere considerato pari a 0.5 % v/v;
- nel lavaggio con flusso continuo le linee di ingresso e di uscita devono essere collocate in maniera che il gas possa mescolarsi bene;
- gli operatori ed il management dovrebbero essere consapevoli che l'azoto (diffusamente utilizzato come gas inerte) è un gas asfissiante e pertanto dovrebbe essere usato con attenzione.

6.2.2 Gestione interna

Anche un'attenta gestione degli impianti, in termini sia di manutenzione per garantire l'integrità di quegli elementi da cui si possono verificare le emissioni di sostanze pericolose, sia di approvvigionamento dei materiali secondo criteri di sicurezza, può portare alla riduzione del rischio di esplosione all'esterno delle apparecchiature.

Particolare attenzione deve essere posta nell'evitare un loro accumulo, in modo

da impedire la formazione di un'atmosfera esplosiva per effetto della dispersione in aria. In altre parole è necessario tenere sempre libera da polveri l'area di lavoro, anche se questa è una situazione ideale che difficilmente si verifica nella realtà. Gli accumuli di polvere possono verificarsi anche al di fuori degli impianti di processo e delle zone classificate (ad esempio su travi e pilastri, nelle intercapedini o nei solai leggermente inclinati) e possono avvenire anche accidentalmente o a seguito di particolari lavorazioni e comunque per tempi molto limitati ma sufficienti a consentire il verificarsi dell'evento accidentale. Questo può essere dovuto alle più svariate cause, quali rotture di contenitori con polveri all'interno, piccole lavorazioni in serbatoi contenenti residui di polvere, scarichi da silos in recipienti aperti, punti di discontinuità dei macchinari quali flange, manicotti, zone di riempimento sacchi, ecc. Oltre a specifici criteri di progettazione sui sistemi di trasporto ed estrazione delle polveri, è indispensabile la rimozione immediata della polvere accidentalmente dispersa, garantendo una buona accessibilità per l'esecuzione di tale operazione. E' sconsigliato l'uso di metodi di pulizia air-jet che disperdono gli strati di polvere, mentre sono più opportuni sistemi fissi a vuoto. I tetti e le pareti dell'edificio dovrebbero essere regolari e le sporgenze ridotte al minimo per minimizzare la deposizione di polveri. Analogamente le sporgenze inevitabili, dove potrebbe accumularsi la polvere, dovrebbero essere inclinate

I tetti e le pareti dell'edificio dovrebbero essere regolari e le sporgenze ridotte al minimo per minimizzare la deposizione di polveri. Analogamente le sporgenze inevitabili, dove potrebbe accumularsi la polvere, dovrebbero essere inclinate rispetto all'orizzontale di almeno 60° (in relazione alle proprietà della polvere) e le pareti dovrebbero essere tinteggiate. Le aperture del pavimento dovrebbero essere chiuse per evitare la diffusione e l'accumulo di polvere trasportata dall'aria.

Esistono sistemi di bonifica delle polveri combustibili in grado di asportarle ricambiando continuamente l'aria ambiente, di contenerle in depressione o di rimuoverle direttamente dopo l'emissione dalla sorgente. Di solito i sistemi di aspirazione più efficaci sono affiancati alla macchina che produce la polvere con le bocche di aspirazione molto prossime al punto in cui c'è la fuoriuscita.

Oltre a queste tecniche, esistono procedimenti di pulizia per via umida, per i quali devono essere tenuti in debito conto i problemi di smaltimento o quelli legati allo sviluppo di idrogeno nel caso di polveri di metalli leggeri (ad esempio alluminio). È opportuno ricordare che il grado delle emissioni dello strato dipende anche dallo stato di pulizia delle apparecchiature e dei luoghi di lavoro. Sono di norma considerati i seguenti livelli di mantenimento della pulizia:

- buono: quando gli strati sono mantenuti a spessori trascurabili,
- adeguato: quando gli strati di polvere non sono trascurabili ma permangono per meno di 8 ore (un turno di lavoro),
- scarso: quando gli strati di polvere non sono trascurabili e perdurano per oltre 8 ore.

6.3 Limitazioni degli effetti dell'esplosione

In alcuni casi, la prevenzione di atmosfere esplosive e la prevenzione di fonti di ignizione non sono attuabili con sufficiente sicurezza. Vanno quindi adottate misure che limitano gli effetti di un'esplosione a dimensioni non pericolose come:

- sistemi progettati per contenere la pressione d'esplosione con o senza deformazioni permanenti;
- scarico dell'esplosione;
- soppressione dell'esplosione;
- isolamento dell'esplosione.

La riduzione degli effetti di una esplosione e la conseguente scelta dei dispositivi di protezione è legata a molteplici fattori, tra cui il tipo di processo produttivo, la logistica dell'impianto in cui potrebbe formarsi l'atmosfera esplosiva e fattori di tipo ambientale.

Un aspetto rilevante per la protezione dalle esplosioni è l'aspetto progettuale, inteso come il complesso di scelte tecniche e dimensionali che consentono di ridurre gli effetti di una esplosione sin dalla fase di progetto.

6.3.1 Contenimento dell'esplosione

Il contenimento delle esplosioni si realizza nella progettazione dei vessel (contenitori) che devono essere costruiti sufficientemente resistenti a sopportare la sovrapressione generata da un'esplosione al loro interno, senza squarciarsi. La pressione di progetto deve ovviamente essere riferita alla massima pressione attesa che può non essere la stessa sovrapressione P_{max} che dipende dalle condizioni iniziali (pressione, temperatura) presenti nel vessel.

La norma EN 14460 stabilisce i requisiti costruttivi che gli apparecchi devono possedere per resistere alle pressioni di esplosione ed a shock dovuti a esplosioni. La norma definisce inoltre i limiti di pressione e temperatura di esercizio

dell'apparecchiatura potenzialmente soggetta ad esplosione. In modo più approfondito, la norma che definisce le grandezze di pressione da assumere come specifiche di progetto, i materiali e le definizioni è la EN 13445, nelle sue varie parti.

Tornando alla tipologia di apparecchi resistenti alle esplosioni, è possibile distinguere tra:

- apparecchi resistenti alle esplosioni con deformazione;
- apparecchi resistenti alle esplosioni senza deformazione.

In generale inoltre, si distingue tra due tipologie di progettazione:

- progettazione per la massima pressione di esplosione. In questo caso il parametro preso a riferimento per il dimensionamento dei componenti del sistema è la massima pressione raggiungibile dall'atmosfera esplosiva;
- progettazione per pressioni di esplosioni ridotte dovute all'utilizzo di sistemi di soppressione.

La progettazione resistente all'esplosione è generalmente utilizzata quando è necessario proteggere contenitori di piccole dimensioni dagli effetti dell'esplosione (es. piccole unità filtro, cicloni, valvole rotative). In merito a tali sistemi di protezione, occorre tenere presente che in caso di compartimentazione dell'interno degli impianti o di collegamento mediante tubazione di due recipienti, durante un'esplosione in un compartimento può aumentare la pressione nell'altro, il che può provocare un'esplosione anche nel secondo elemento in seguito all'accresciuta pressione in uscita. Di conseguenza, si generano dei picchi di pressione che

possono essere più elevati del parametro tecnico P_{max} determinato in condizioni atmosferiche. Se simili assetti non possono essere evitati, si devono prendere appropriate misure, ad esempio sistemi di costruzione sufficientemente resistenti alle esplosioni nel caso di un aumento della pressione di esplosione o isolamento delle esplosioni.

6.3.2 Sfogo dell'esplosione (venting)

Lo sfogo dell'esplosione (venting) rappresenta una fondamentale misura di protezione contro le esplosioni e consiste nel prevedere l'installazione di una o più aperture di minima resistenza (dischi di rottura, aperture di decompressione) che, in occasione dell'esplosione, cederanno e proteggeranno l'intera struttura da effetti distruttivi ben più rilevanti. Tali aperture devono funzionare in modo tale che l'impianto/ l'installazione non sia sollecitato al di là della loro resistenza alle esplosioni, portando così ad una sovrapressione di esplosione ridotta. Gli sfoghi di pressione necessitano di scaricare in aree sicure non praticabili da personale e da persone esterne in quanto si possono produrre notevoli effetti di fiamme e pressione in direzione dello scarico. Inoltre, qualora la polvere da sfiatare sia tossica, non è possibile effettuare lo scarico direttamente in atmosfera, ma si deve prevedere il convogliamento in un sistema di blow down.

Il dimensionamento delle aperture di sfogo dell'esplosione o di decompressione dovranno essere progettate secondo la UNI EN14491. In relazione al tipo di sostanza che ha generato l'esplosione, gas o polvere, i sistemi di venting possono differire in modo sostanziale per tipologia costruttiva, dimensioni e posizione in funzione dell'involucro da proteggere. Di notevole importanza è la corretta valutazione delle caratteristiche dell'esplosione che ci si può attendere. Ad esempio, è importante la valutazione idonea del parametro K_{ST} che definisce la classe e la forza dell'esplosione. Nella pratica e in funzione della tipologia di prodotti che originano la miscela potenzialmente esplosiva, vengono utilizzati i cosiddetti pannelli di rottura (Figura 10), dei profilati metallici cedevoli che

vengono direttamente applicati in particolari zone di filtri, cicloni, o sili, creando un'area di debolezza in caso di esplosione. Questi dispositivi di venting sono applicati in genere ad apparecchi situati all'esterno oppure sono predisposti in modo da scaricare all'esterno l'esplosione. Per impieghi indoor vengono utilizzati altri tipi di sistemi di sfogo come quelli rappresentati nella Figura 11 sottostante che consentono di realizzare condizioni di sicurezza. È necessario evitare la proiezione di frammenti solidi durante lo sfogo dell'esplosione. A tal scopo vengono utilizzati sistemi di bloccaggio e contenimento come per esempio gabbie metalliche.



Figura 10: Pannelli di rottura.



Figura 11: Sistemi di sfogo indoor

Rispetto ad un contenitore chiuso, l'esplosione in un contenitore dotato di aperture di decompressione è caratterizzata da una sovrapressione massima ridotta (P_{red}), inferiore a quella massima sopportabile dal recipiente. La pressione massima di apertura dei pannelli di decompressione si indica con P_{stat} . La metodologia di calcolo delle aperture di decompressione, sviluppata nella EN14491, presuppone la conoscenza di P_{stat} del pannello posto a protezione delle aperture di sfogo, che dovrà essere certificato secondo quanto prescritto dalla Direttiva 95/9/CE. E' necessaria inoltre la conoscenza della P_{red} del contenitore che

si dovrà proteggere, dato che si può rilevare direttamente con prove di laboratorio o definito con i metodi della scienza delle costruzioni, anche ricorrendo a simulazioni di tipo numerico. Il valore della superficie di minima resistenza \mathbf{A}_{e} , per valori di \mathbf{P}_{red} compresi tra 0.1 e 1.5 bar è determinabile con lo schema appresso riportato.

```
VALORE DELLA SUPERFICIE DI MINIMA RESISTENZA A,
                                                  (per valori di Pred compresi tra 0.1 e 1.5 bar)
A_a = B \left[ 1 + C \times \log \left( L/D \right) \right]
Dove:
\begin{array}{l} B = [3.264 \times 10^{.5} \times P_{max} \times K_{ST} \times P_{md} + 0.27 \times (P_{stat} - 1) \times (P_{md})^{0.5}] \times \ V^{0.753} \\ C = [-4.305 \times log \ (P_{ted}) + 0.758] \end{array}
L = altezza del contenitore da proteggere
D = volume idraulico del contenitore da proteggere
Nel caso Pad sia compreso tra 1.5 e 2.0 bar, si considera:
A_n = B.
Le equazioni precedenti sono valide se sono soddisfatti i seguenti parametri:
0.1 \text{ m}^3 \le V \le 10.000 \text{ m}^3
0.1 \text{ bar} \leq P_{\text{stat}} \leq 1 \text{ bar}
P_{\text{stat}} \leq P_{\text{red}} \leq 2 \text{ bar}
5 \text{ bar } \leq P_{max} \leq 10 \text{ bar }
                                      nel caso in cui 10 bar \times m/s \leq K<sub>ST</sub> \leq 10 bar \times m/s;
oppure:
5 \text{ bar } \leq P_{\text{max}} \leq 12 \text{ bar}
                                      nel caso in cui 300 bar \times m/s \leq K<sub>ST</sub> \leq 800 bar \times m/s;
Le condizioni iniziali di pressione e temperatura siano quelle atmosferiche;
1 \le L/D \le 20
L/D = rapporto di forma del vessel da proteggere.
```

Figura 12: Calcolo della superficie minima di resistenza Ae.

6.3.3 Soppressione dell'esplosione

Tra i sistemi di protezione, quelli cosiddetti a soppressione si caratterizzano per il fatto che vengono impiegati per il rilevamento di una possibile esplosione e l'immediata soppressione nei suoi primi istanti, limitando fortemente l'incidenza di eventuali danni. Contrariamente allo scarico della pressione di esplosione, gli effetti di un'esplosione restano limitati all'interno dell'apparecchio. Le condizioni di esplosione possono essere rilevate con sensori (sensori di pressione, del tasso di

incremento della pressione, sensori ottici UV) ed evitate o estinte con l'immissione di inibitori (es. azoto, acqua, con o senza additivi, polveri polivalenti, CO_2) per limitare la pressione ad esse conseguente. In genere, l'insieme dei sensori è identificato con l'acronimo CIE (Control and Indicating Equipment). A seguito del rilevamento delle prime fasi dell'esplosione, una sostanza soppressore dell'esplosione viene immediatamente scaricata all'interno del volume interessato dall'esplosione. In generale tale sostanza è contenuta all'interno di HRD (High Rate Discharge), cioè dispositivi a rilascio rapido. L'effetto è quello di abbassare la pressione di esplosione fino al valore P_{red} , il cui andamento è rappresentato nel grafico seguente:

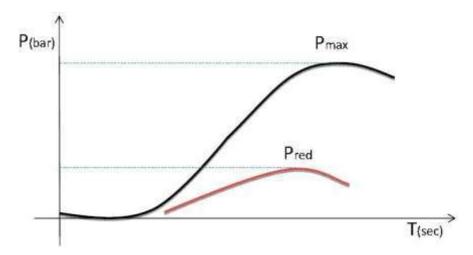


Figura 13: Andamento Pred.

Nel grafico, la curva nera indica l'andamento della pressione all'interno del volume interessato dall'esplosione. In generale, valori pericolosi della pressione di esplosione vengono raggiunti in meno di 50 ms; pertanto, i sistemi di soppressione devono essere in grado di intervenire entro tale termine. Con i sistemi di rilevazione a centralina elettronica, dall'istante di consenso del segnale di scarica all'effettiva apertura della valvola del soppressore trascorrono non più di 3,5 ms. Se ne deduce quindi che uno dei fattori fondamentali per una efficace azione di soppressione è il corretto posizionamento dei sensori di rilevamento, mentre per applicazioni in ambienti chiusi e confinati vengono più frequentemente impiegati sensori di pressione. L'impiego di queste attrezzature può essere costoso ed è

inoltre richiesta una regolare manutenzione affinché ne sia garantita l'efficienza. Si rendono comunque necessari se l'impianto non è dotato di sistemi di sfogo.

Si pensi per esempio al caso in cui non sia disponibile un'area di sfogo e i prodotti da sfogare siano tossici e se l'impianto specifico si trovi collocato in posizione troppo lontana dalle pareti laterali dell'edificio. L'azione di soppressione consiste nell'estinzione delle reazioni di esplosione allo stadio iniziale, prima cioè che la catena di reazione si ramifichi. La normativa di riferimento per la progettazione di sistemi di soppressione è il progetto di norma armonizzata EN 14373.

A seconda della tipologia di esplosione i sistemi di soppressione possono essere ad acqua, sostanze chimiche estinguenti e polveri. Nei sistemi più sofisticati, vengono utilizzati soppressori ad alta velocità HRD. Questi sistemi prevedono l'immagazzinamento della sostanza di soppressione sotto pressione, la quale viene direttamente immessa all'interno dell'area interessata dall'esplosione. Questo tipo di sistema è utilizzato in relazione alle dimensioni geometriche del contenitore da proteggere ed il numero di soppressori viene stabilito in base alla tipologia di processo. In Figura 14 sono rappresentati alcuni tipi di sistemi di soppressione.





Figura 14: Sistemi di soppressione.

6.3.4 Isolamento dell'esplosioni

Qualunque sia il metodo di protezione previsto è sempre necessario evitare la propagazione di un'esplosione da una parte all'altra dell'impianto. La

propagazione, specialmente attraverso le condotte, porta in altre zone l'incremento di pressione (per esempio può essere investito un secondo vessel) e alla produzione di fiamme, per cui sarebbe impossibile proteggere il vessel secondario. E' quindi necessario pensare a qualche forma di isolamento dell'esplosione tra i componenti o le parti costitutive di un impianto rispetto a quelle parti o componenti che contengono atmosfere infiammabili.

I sistemi attivi di isolamento si basano sulla rilevazione preventiva dell'esplosione mediante sensori ed unità di controllo.

I sistemi passivi di isolamento sono costituiti da dispositivi installati lungo le condotte di propagazione dell'esplosione e non richiedono sensori o sistemi di controllo.

Si riportano nel seguito alcuni dispositivi utili ad evitare la propagazione di esplosioni di polveri in condutture collegate, in dispositivi di trasporto o di altro tipo così come la fuoriuscita di fiamme dalle parti dell'impianto:

- Barriere estinguenti: l'esplosione viene riconosciuta mediante apparecchi rivelatori che attuano l'immissione di sostanze antincendio nelle condutture per lo spegnimento delle fiamme. La pressione di esplosione che si genera prima della barriera estinguente non viene influenzata; anche dopo la barriera estinguente si deve tarare la resistenza delle condutture e quella delle apparecchiature collegate in serie per la pressione prevista. Il materiale antincendio deve essere adatto al particolare tipo di polveri;
- Valvole rotative: chiuse automaticamente da un rivelatore consentono di poter arrestare il fronte di fiamma e di abbassare la pressione di esplosione, attraverso il blocco del rotore. Ciò impedisce inoltre l'eventuale scarico dei prodotti della combustione dopo l'esplosione.
- Valvole a chiusura rapida: Se si supera una determinata velocità di flusso, si chiude una valvola nella conduttura. La velocità necessaria per la chiusura è prodotta o dall'onda di pressione dell'esplosione o da una corrente ausiliaria azionata dal rivelatore (ad es. immissione di azoto sul

cono della valvola).

• Deviatori di esplosione: un deviatore di esplosione consta di parti di condutture collegate insieme mediante una particolare porzione di tubo che permette la deviazione della propagazione del fronte di esplosione, consentendo di ridurne gli effetti. La norma che regola questo tipo di dispositivi è la EN 16020. La trasmissione di un'esplosione deve essere impedita mediante il cambiamento di 180° della direzione del flusso, con il contemporaneo scarico della pressione di esplosione al punto di svolta, dopo l'apertura dei dispositivi di scarico. Le misure delle lunghezze di installazione dei deviatori sono prescritte nelle relative norme e dipendono dal processo produttivo. Di seguito (Figura 15) viene riportato lo schema di installazione del diverter all'interno di un processo produttivo:

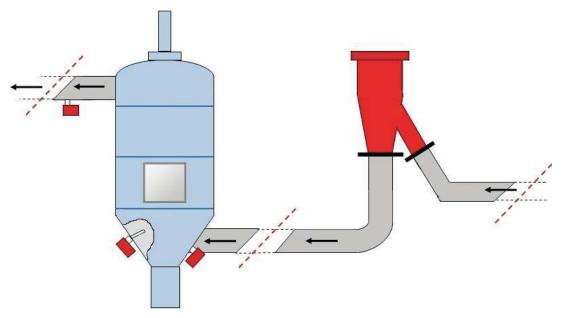


Figura 15: Installazione diverter in un sistema produttivo.

Un sistema di protezione basato sui deviatori può prevedere un sistema semplice definito *pipe-in-pipe* con l'abbinamento di un dispositivo di venting come sfogo parziale dell'esplosione. Può verificarsi il caso in cui sia necessario realizzare un sistema *multi pipe-in-pipe* in cui più condotti si inseriscono all'interno di un deviatore, come descritto all'interno dell'allegato B della norma.

Si deve evitare che volino via alcune parti dei dispositivi di scarico, ad esempio mediante l'impiego di una gabbia di protezione.

• Sistemi a ghigliottina: sono installati con dei sensori che provocano la chiusura della ghigliottina prima dell'arrivo del fronte di fiamma.

7. VALUTAZIONE DEI RISCHI

Preliminarmente alla valutazione dei rischi specifici derivanti dalle atmosfere esplosive, occorre tenere conto di doversi aspetti.

In primo luogo occorre effettuare un'analisi del ciclo produttivo, considerando sia le normali condizioni di funzionamento, compresi i lavori di manutenzione, sia la messa in servizio e fuori servizio, le avarie e i guasti prevedibili delle attrezzature, nonché il loro uso difettoso ragionevolmente prevedibile. Risulta, pertanto, di fondamentale importanza conoscere gli strumenti di lavoro impiegati, le sostanze presenti, le condizioni di lavoro e dei processi, le possibili interazioni tra questi, nonché con l'ambiente di lavoro.

In seguito occorre procedere con l'identificazione dei pericoli di esplosione attraverso la conoscenza delle caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze presenti in impianto, in particolare per quanto riguarda la loro infiammabilità.

Secondo quanto previsto dall'art. 290 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i., per la valutazione dei rischi di esplosione si deve tener conto almeno dei seguenti elementi:

- determinazione della probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva e della sua durata, mediante la stima della quantità di sostanza rilasciata, al fine di procedere con la "classificazione delle aree con pericolo di esplosione";
- individuazione della presenza di fonti di innesco e determinazione della probabilità che diventino efficaci, cioè suscettibili di innescare un'atmosfera esplosiva;
- individuazione dei possibili effetti di un'esplosione.

Alla luce di tali valutazioni il datore di lavoro deve elaborare il "Documento sulla protezione contro le esplosioni" (art. 294 del D.lgs.81/08 e s.m.i.) nel quale devono essere individuate sia le aree dove possono formarsi atmosfere esplosive, sia le prescrizioni minime per il miglioramento della protezione contro le esplosioni (Allegati XLIX e L dello stesso decreto).

Una volta effettuata l'analisi delle misure di prevenzione adottate per evitare sia la

formazione delle atmosfere esplosive, sia le sorgenti di innesco efficaci e per ridurre gli effetti di un'esplosione, si procede alla stima del rischio e alla valutazione del suo grado di accettabilità, per poi definire le misure impiantiscogestionali necessarie alla minimizzazione del rischio residuo.

Le normative tecniche in materia di rischio di esplosione non stabiliscono un metodo univoco per la valutazione, pertanto occorre procedere utilizzando metodi diversi che cercano di soddisfare l'unico requisito dettato dalla legge, la "regola d'arte", ovvero cercare di avere un prodotto di qualità medio-alta rispetto allo standard di settore.

Il rischio viene determinato in funzione della probabilità di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale danno procurato sia sotto il profilo della salute che della sicurezza dei lavoratori, tramite la seguente relazione:

$$R = (P_{SE} \cdot P_{INN}) \cdot D = P \cdot D$$

Dove:

R = entità del rischio

 P_{SE} = presenza di atmosfera esplosiva

 P_{INN} = presenza di una fonte d'innesco efficace

D = possibili lesioni o danni

 $(P_{SE} \cdot P_{INN}) = P = probabilità che si verifichi l'esplosione$

In realtà il fattore di probabilità *P* contempla al suo interno altri parametri oltre a quelli soprascritti, quali il livello di manutenzione di attrezzature e impianti ed il confinamento dell'area eventualmente interessata dall'esplosione.

Ai due fattori di probabilità *A* e *I* può essere assegnata una scala di valori sulla base di una definizione qualitativa della presenza di atmosfera esplosiva e di innesco efficace, come riportato, in maniera generica, nelle Tabelle 15 e 16.

69

Fattore di probabilità dell'atmosfera esplosiva (A)	Definizione qualitativa di probabilità di un'atmosfera esplosiva	
a	Il pericolo è presente sempre o frequentemente. Luogo in cui un'atmosfera esplosiva è presente continuamente o per lunghi periodi o frequentemente (zona 0 o zona 20)	
b	Il pericolo è presente talvolta. Luogo in cui un'atmosfera esplosiva è presente occasionalmente durante il funzionamento normale (zona 1 o zona 21)	
С	Il pericolo è presente raramente. Luogo in cui un'atmosfera esplosiva è improbabile che s presenti durante il funzionamento normale (zona 2 o zona 22)	
d	Il pericolo non c'è mai. Luogo in cui è impossibile si formi un'atmosfera esplosiva	

Tabella 15: Valori qualitativi di probabilità di un'ATEX.

Fattore di probabilità dell'innesco (I)	Definizione qualitativa di innesco	
k	Innesco presente permanentemente o frequentemente nella zona considerata. Le sorgenti di innesco sono efficaci e sempre presenti durante il normale funzionamento	
j	Innesco presente talvolta nella zona considerata. Le sorgenti di innesco efficaci pos manifestarsi in circostanze rare e unicamente a seguito di disfunzioni	
m	Innesco quasi mai presente nella zona considerata. Le sorgenti di innesco efficaci possono manifestarsi in circostanze molto rare e unicamente a seguito di rare disfunzioni	
n	Innesco mai presente nella zona considerata. Le sorgenti di innesco non sono efficaci e/o non si manifestano mai	

Tabella 16: Definizione qualitativa di innesco.

Per quanto riguarda il fattore di danno, esso dovrebbe tener conto degli effetti sui lavoratori e sui beni materiali; anche a tale fattore può essere associata una scala di valori sulla base di definizioni qualitative degli effetti, come riportato, sempre in maniera generica, nella Tabella 17.

fattore di danno (D)	Definizione qualitativa della magnitudo			
w	L'entità del danno è gravissima. Un singolo individuo o un gruppo di individui è presente permanentemente o frequentemente nella zona considerata. Un determinato bene materiale o comparto ambientale subisce danni molto gravi.			
×	L'entità del danno è media o grave. Un singolo individuo o un gruppo di individui è ogni tanto presente nella zona considerata. Un determinato bene materiale o comparto ambientale subisce danni gravi.			
у	L'entità del danno è lieve. Un singolo individuo o un gruppo di individui è quasi mai presente nella zona considerata. Un determinato bene materiale o comparto ambientale subisce danni lievi.			
z	L'entità del danno è trascurabile o nulla. Un singolo individuo o un gruppo di individui non è mai presente nella zona considerata. Un determinato bene materiale o comparto ambientale non subisce danni.			

Tabella 17: Valori qualitativi del danno.

La probabilità *P* che possa avvenire un'esplosione può essere suddivisa qualitativamente in 4 livelli, a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella Tabella 18 di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

GRADO DI PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE "P"	DEFINIZIONE QUALITATIVA
P = 1	L'esplosione è <u>IMPROBABILE</u> quando il suo manifestarsi è legato ad una serie di eventi tra loro indipendenti poco probabili. Non si sono mai manifestati eventi in condizioni analoghe.
P = 2	L'esplosione è <u>POCO PROBABILE</u> quando il suo manifestarsi è legato al contemporaneo verificarsi di eventi sfavorevoli, anche non indipendenti tra loro. Sono noti solo rarissimi episodi già verificatesi in circostanze analoghe.
P = 3	L'esplosione è PROBABILE quando è legata ad un evento o a più eventi concorrenti che possono innescare l'atmosfera esplosiva.
P = 4	L'esplosione è <u>MOLTO PROBABILE</u> quando l'evento che può determinarla ha una elevata probabilità di verificarsi. Ad esempio: presenza di sorgenti di innesco nelle immediate vicinanze di atmosfere esplosive.

Tabella 18: Livelli di probabilità di un'esplosione.

7.1 La probabilità di esplosione (P)

Si è detto che, la probabilità P che si verifichi una esplosione dipende dai seguenti parametri:

- Probabilità che la sorgente di emissione SE generi una atmosfera esplosiva,
 che si può indicare con Pse;
- Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva PINN.

La probabilità P_{SE} che possa crearsi un'atmosfera esplosiva può essere associata per semplicità direttamente al tipo di zona ed essere suddivisa anch'essa qualitativamente in 4 livelli rispettivamente per le zone 20, 21, 22 e per le zone non pericolose indicate con NE, dove l'atmosfera esplosiva non esiste oppure è di dimensioni tanto ridotte da non essere considerata pericolosa. A ciascuno di questi livelli è assegnato un punteggio che parte dal valore 4 per le zone 20 e finisce con il valore 1 per quelle NE, come indicato nella Tabella 19 che segue.

Pse	DEFINIZIONE	Punt
P≅ 4	Zona 0/20 - Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri.	4
Ps∉ 3	Zona 1/21 - Area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori, nebbia o polveri, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività.	3
Ps: 2	Zona 2/22 - Area in cui durante le normali attività non è probabile la for- mazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata.	2
Ps∉ 1	Zona NE - Area non pericolosa, nella quale è quasi impossibile che si formi un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri.	1

Tabella 19: Punteggio per Pse secondo le zone pericolose.

La probabilità *P*_{INN} che possa avvenire l'innesco di un'atmosfera esplosiva può essere suddivisa qualitativamente in 4 livelli cioè improbabile, poco probabile, probabile e molto probabile a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella Tabella 20 di seguito indicata.

PINN	DEFINIZIONE Le sorgenti di accensione sono presenti in maniera continua o frequen- te durante il normale funzionamento.	
Рин 4 (Molto probabile)		
Pnn 3 (Probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze rare a seguito di malfunzionamenti.	
P _{NN} 2 (Poco probabile)		
P _{INN} 1 (Improbabile)	Sorgenti di accensione assenti o, se presenti, praticamente non efficaci	1

Tabella 20: Punteggio per Pinn secondo la probabilità che si verifichi l'esplosione.

Una volta determinati P_{SE} e P_{INN} , la probabilità P che si verifichi un'esplosione può essere ricavata dalla matrice che segue, leggendo il valore corrispondente ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate (Figura 16).

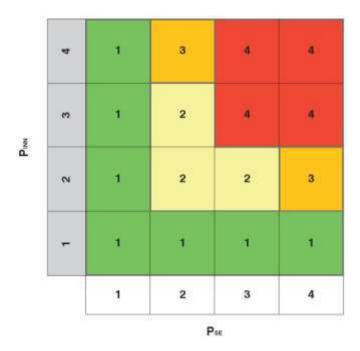


Figura 16: Matrice del rischio.

Relativamente alle sorgenti di emissione, possono essere prese come esempio tabelle come quella riportata di seguito:

Sigla SE	Zona Pericolosa relativa ad SE	Pse	Pin	Р

Tabella 21: Esempio tabella sorgenti di emissione.

7.2 Il danno da esplosione (D)

Analogo procedimento viene utilizzato per caratterizzare qualitativamente il danno, essendo quest'ultimo determinato dalla somma di una serie di parametri:

$$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{EXP} + I_S + F_C$$

dove:

 $CL_{ZONA} = Classificazione della zona$

 $L_{ESP} = Presenza \ di \ lavoratori \ esposti$

 $K_{EXP} = Fattore di esplodibilità dell'atmosfera$

 I_S = Indice relativo allo spessore degli strati di polvere

 $F_C = Fattore\ di\ confinamento$

In questo modo è possibile distinguere quattro livelli di danno (Tabella 22), in base al valore ottenuto:

Valore	Livello Definizioni/criteri	
4	Gravissimo	 Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti anche letali o che possono determinare una condizione di invalidità permanente. Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti totalmente invalidanti.
3	Grave	 Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale. Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti parzialmente invalidanti.
2	Lieve	 Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico con effetti reversibili.
ă	Trascurabile	 Infortunio o episodio di esposizione con inabilità rapidamente reversibile. Piccoli infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

Tabella 22: Livelli di danno.

Per tutti questi parametri vengono definiti vari livelli a cui vengono associati dei valori numerici, come riportato nelle tabelle sottostanti:

Zona	CLzon
Zona 0	2
Zona 1	1
Zona 2	0,5
Zona NE (Non Estesa)	0
Presenza Lavoratori	Losp
Nulla	0
Saltuaria	0,25
Continua	0,50
Ksr [bar m/s)	Кехр
s 2500	0
200 < K _{ST} ≤ 300	0,25
> 300	0,50

Spessore S dello strado di polvere [mm]	s	
s 5	0	
5 < S ≤ 50	0,25	
> 50	0,50	
Tipo Confinamento	Fc	
Tipo Confinamento Non confinata	Fo 0	
735 SOMETHING		

Tabella 23: Livelli e valori numerici dei parametri di danno.

Ricordando che:

$$R = P \cdot D$$

Arrotondando il risultato alla cifra intera, il range ottenibile per *R* è compreso tra 1 e 16. A loro volta questi valori vengono raggruppati in quattro intervalli, ad ognuno dei quali viene attribuito un livello di rischio, come indicato nella Tabella 24:

4 ≤ R ≤ 9	9 ≤ R ≤ 16
MEDIO	ALTO

Tabella 24: Livelli di rischio.

A valle della valutazione, e quindi dell'attribuzione dei valori di *R*, devono essere previsti gli opportuni interventi di Prevenzione e Protezione in tempi idonei.

E' possibile inoltre ottenere uno stesso valore di rischio *R* in due modi diversi, ad esempio con bassi valori di *P* e alti valori di *D* e viceversa. Ne risulta che l'entità delle misure di prevenzione e protezione riferite ai due casi saranno del tutto differenti. Quando la probabilità che si verifichi un'esplosione è molto bassa ma il danno ipotizzato a seguito è elevato possono essere previste tecniche di progettazione ad elevato livello tecnologico per contenere gli effetti di eventuali esplosioni (protezione). Al contrario potrebbero essere sufficienti delle misure organizzative di miglioramento (prevenzione) per ridurre la probabilità di incidenti che però producono effetti di danno relativamente lievi. In linea di principio, basandosi sulla classificazione del rischio, possono essere programmate

le misure di Prevenzione e Protezione secondo la Tabella 25 seguente:

RISCHIO	MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE
ALTO	Sono richieste misure di prevenzione e protezione <u>urgenti</u> poiché determinano i presupposti per l'accadimento di un possibile infortunio di <u>GRAVISSIMA</u> entità.
MEDIO	Grado di rischio che implica la sussistenza di una condizione di rischio grave, ma non imminente per i lavoratori, e che potrebbe causare GRAVI danni con un elevato grado di inabilità o determinare patologie dagli effetti invalidanti permanenti. Sono richiesti interventi a medio termine.
BASSO	Gli interventi di adeguamento corrispondenti al presente livello di priorità possono essere programmati nel tempo in funzione della fattibilità degli stessi.
TRASCURABILE	Gli interventi di adeguamento corrispondenti, di tipo organizzativo e tecnico, verranno programmati nel tempo con il fine di elevare il livello di prevenzione e ottimizzare lo stato dei luoghi e le procedure di lavoro.

Tabella 25: Misure di prevenzione e protezione dei livelli di rischio.

Nel documento di valutazione dei rischi devono essere stabiliti i criteri di accettabilità del rischio, sulla base dei quali il datore di lavoro dovrà redigere un crono programma degli interventi atti a ridurre il rischio di esplosione, ed eventualmente individuare ulteriori metodiche di analisi per definire meglio quelle situazioni che dovessero presentare un rischio di esplosione compreso fra l'accettabile e l'inaccettabile.

8. CASO STUDIO: REPARTO FRESE DI ITALDESIGN GIUGIARO S.p.A.

La stesura di questo elaborato, come anticipato nella premessa, nasce dalla stretta collaborazione tra il Politecnico di Torino e Italdesign Giugiaro. Nello specifico, dalla necessità da parte dell'azienda di studiare con precisione i processi produttivi in termini di salute, sicurezza e ambiente che avvengono nel reparto frese e di sostituire l'impianto di aspirazione con uno di tipo ATEX, in seguito ad un aggiornamento delle schede di sicurezza delle resine usate per la realizzazione di modelli adoperati per ricavare lo stampo delle carrozzerie, risultando le loro polveri esplodibili a temperatura ambiente.

Ovviamente Italdesign non ha bisogno di presentazioni. Azienda leader nel settore automotive, fondata nel 1968 da Giorgetto Giugiaro e Aldo Mantovani, che da più di cinquant'anni rappresenta il design italiano in tutto il mondo, lavorando a stretto contatto con i produttori automobilistici a partire dalla prima definizione del prodotto fino all'inizio della produzione.

Il Politecnico di Torino è stato incaricato di analizzare un campione della polvere in questione, effettuando inizialmente un test con l'obiettivo di stabilire se possa risultare infiammabile e pertanto presentare o meno un pericolo di esplosione, in seguito un altro per la determinazione dei valori di P_{max} , K_{st} e della classe ST. Queste prove sono state preparate dall' Ing. Luca Marmo, responsabile del Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle Atmosfere Esplosive, di cui si possono consultare i report allegati.

A seguito di questi risultati si è proceduto alla redazione del documento di Valutazione de Rischi di Esplosione conformemente a quanto previsto dal Titolo XI (Protezione da Atmosfere Esplosive) del Decreto Legislativo 81/08 determinando le zone pericolose, i gradi di emissione della polveri, l'efficacia del sistema di aspirazione, i tipi di pericolo, la probabilità della presenza di fonti d'accensione delle apparecchiature non elettriche secondo la ISO 80079-36:2016 e le

misure di prevenzione e protezione da adottare.

8.1 Resina RakuTool SB-0470

Il materiale analizzato è una polvere originata dagli scarti di lavorazione delle macchine fresatrici per modelli in scala 1:1. La resina si presenta in genere in pannelli prefabbricati rettangolari, i quali possono essere incollati in varie forme e dimensioni e di cui ne esistono varie tipologie che si differenziano per colorazione in base alla loro densità.

La ditta fornitrice è la tedesca RAMPF, il quale range di competenza include:

- Produzione e riciclaggio di materiali per la modellazione, costruzione leggera, incollaggio e protezione;
- Sistemi di produzione tecnica per un posizionamento e un'automazione precisi e dinamici, nonché tecnologie per la produzione di parti composite complesse;
- Vasta gamma di soluzioni e servizi, in particolare per esigenze innovative specifiche del cliente.



Figura 17: Campione materiale



Figura 18: Pannelli incollati



Figura 19: Fresatrice in funzione

8.1.1 Screening di infiammabilità ed esplosività

Al fine di determinare se la polvere possa risultare infiammabile, il campione è sottoposto ad una serie di test d'innesco in condizioni particolarmente critiche:

- superficie calda, campione disperso in nube (Forno Godbert Greenwald, 800 °C),
- superficie calda, campione in strato (piastra, 400 °C),
- dispersione in nube in tubo di Hartmann ed innesco mediante filo caldo (≈850 °C),
- dispersione in nube in tubo di Hartmann ed innesco mediante arco elettrico continuo.

Ogni singola prova è effettuata a diverse concentrazioni di polvere (ad eccezione della seconda perché non applicabile). Per ogni condizione di ciascuna prova è effettuato un numero di tentativi tale da fornire una adeguata base statistica.

Il campione è sottoposto a esame morfologico che consiste in determinazione dimensionale mediante diffrattometria laser per la determinazione del decimo, cinquantesimo e novantesimo percentile e della frazione minore di 75µm.

Il campione esaminato è di colore pesca, costituito da una matrice pulverulenta predominante di natura poliuretanica, particelle a forma pseudo sferica di natura probabilmente polimerica e particelle disomogenee di dimensioni più consistenti (costituenti il sopravaglio a 2000 um) di natura probabilmente cellulosica. Il materiale contiene una ridotta quantità di aggregati e/o particelle più grossolane che si separano come sopravaglio a 500 μm. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso. E' composto da una matrice predominante di particelle di natura regolare e con scarsa tendenza all'aggregazione. Il materiale contiene una modesta quantità di particelle di dimensione superiore ai 500 μm, che vengono separate mediante setacciatura a secco e rimosse. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso. La morfologia del sottovaglio a 500μm consente la determinazione per via granulometrica mediante misura laser. I risultati sono riassunti nella Tabella 26.

Misura mediante setacciatura	
Percentile, %	Diametro, μm
90	489.85
50	170.77
10	36.51

Tabella 26: Distribuzione granulometrica su frazione $< 500 \mu m$

L'umidità è pari al 11.1% in peso, mentre il sottovaglio a 75 μ m è pari al 20.6 % peso. Nella Tabella 27 sono riassunti gli esiti delle varie prove del test di screening, effettuato sul sottovaglio a 500 μ m del campione, in ragione dell'alto tenore di umidità misurato.

Bas	sa temperatura	<u> </u>	200	2/8	2	-
T	est	1° prova	2° prova	3° prova	4° prova	5° prova
Hartmann, arc	o continuo, 0.3g	NI	NI	NI	NI	NI
Hartmann, arc	o continuo, 0.5g	Dubbio	Ï	n.a.	n.a. n.a.	
Hartmann, arc	o continuo, 1.0g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, fi	ilo caldo, 0.3g	I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, fi	ilo caldo, 0.5g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, filo caldo, 1.0g		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Alta tempera	tura		2	-195	22	
Test	1° prova	2° prova	3° prova	ı 4° pı	rova	5° prova
GG 0.1 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.	a.	n.a.
GG 0.3 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.	a.	n.a.
GG 0.5 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.	a.	n.a.
Test	1° pr	ova	2° prova	35	3° pro	va
Piastra 12.5 n	nm n.a	a	n.a.	F 500	n.a.	

Tabella 27: Screening d'infiammabilità su frazione <500µm. I: Innesco, NI, nessun innesco, n.a.: non applicabile (p.es. perché già verificato un innesco in test precedenti della stessa tipologia.

I risultati dello screening dimostrano che il campione è capace di dar luogo ad atmosfere esplosive quando disperso in ambiente in forma di nube a temperatura ambiente o ad alta temperatura. Le sorgenti d'innesco utilizzate in questo studio (arco elettrico continuo e filamento caldo) sono tali da rappresentare i livelli energetici della maggior parte degli inneschi che comunemente possono avvenire durante la manipolazione dei materiali.

Chiaramente, come detto nei capitoli precedenti, questo test si basa

esclusivamente sui dati raccolti dal campione esaminato, pertanto i risultati non possono essere generalizzati.

8.1.2 Classificazione ST

In questo test invece si è proceduto alla determinazione dei parametri deflagranti P_{max} e K_{st} in autoclave da 20 l (sfera di Siwek) secondo UNI EN 14034-1 e 2:2006 e alla classificazione ST. Il metodo prevede la dispersione del campione in nube in un'autoclave sferica mediante getto di aria ad alta pressione. La corretta dispersione è garantita da un apposito ugello sito nella parte inferiore dell'autoclave. La prova è effettuata a temperatura ambiente, sospendendo quantitativi diversi di campione per ottenere diverse concentrazioni in aria. Questo allo scopo di individuare con certezza la concentrazione che massimizza la violenza d'esplosione. L'innesco è realizzato mediante due ignitori chimici capaci di sviluppare un'energia totale pari a 10 kJ, a loro volta innescati mediante impulso elettrico generato dal sistema di controllo dell'apparecchio. Il decorso dell'esplosione è monitorato mediante la misura e acquisizione dei valori di pressione in autoclave pressione effettuata mediante un sistema di acquisizione composto da due trasduttori di pressione ultra-rapidi. Un tipico andamento del tracciato P-tempo è riprodotto nella Figura 20.

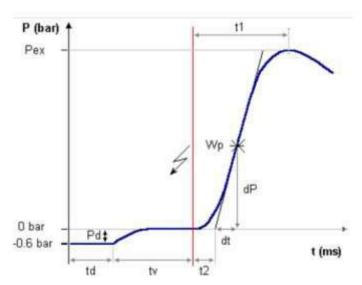


Figura 20: Esempio di tracciato pressione-tempo

Ricordando che il valore di Kst dipende da una serie di fattori, tra cui i più

rilevanti la concentrazione della polvere e il volume dello strumento di prova, lo si è calcolato secondo la relazione:

$$K_{st} = V^3 \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$$

In cui la massima velocità di aumento di pressione $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$ determinata in un intervallo di concentrazioni adeguato alle caratteristiche del campione in esame, corretto per tenere in considerazione il volume dell'apparecchio di prova.

Le condizioni di misura sono sintetizzati nella Tabella 28:

Fluido di misura	Aria
Temperatura	Ambiente
Pressione in camera di prova	0.4 ATA
Pressione in camera di dispersione	21 ATA
Accenditori	2*5kJ, prodotti da Simex Control
Tempo di ritardo	60 ms
dispersore	Rebound nozzle
Massa campione	2,5, 5, 10, 15, 20 (125, 250, 500, 750, 1000 g/m ³)

Tabella 28: Parametri per misura per Kst e Pmax

I risultati ottenuti invece sono riassunti nella Tabella 29 seguente:

Pmax	7,0 bar
Kst	146 bar*m/s
Classe ST	1

Tabella 29: Risultati della misura di Pmax e Kst:

Quindi secondo la classificazione illustrata nella Tabella 11 nei capitoli precedenti, la polvere in questione è in grado di generare un'esplosione di tipo moderato.

8.2 Descrizione reparto frese

Il reparto produttivo di fresatura, in cui sono stati effettuati dei sopralluoghi per poter prendere contatto con i materiali e le lavorazioni tipiche che generano la polvere oggetto dell'elaborato, è dotato di cinque fresatrici all'avanguardia ognuna con caratteristiche diverse. Si tratta di un'area con un'estensione di 730 m² in cui è ricavato anche un sottoambiente di 57 m² dedicato ai modelli di officina, adiacente al reparto preparazione resine. Le principali macchine presenti sono del tipo Jobs Linx Compact con centro di fresatura verticale a cinque motori lineari, a cui sono

integrati degli impianti di aspirazione a tavola e degli aspiratori manuali muniti di flessibile. Alla testa di fresatura può essere collegata una punta con diametro massimo di 25 mm, mentre la massima velocità di lavorazione utilizzata è di circa 18000 rpm.





Figura 21: Fresatrice Jobs Linx 35

Figura 22: Testa motrice

La resina è preparata su banchetto apposito dotato di aspirazione dei vapori, successivamente viene modellata al fine di ottenere la forma desiderata e quando indurita viene fresata mediante le apposite macchine ed utensili.

Sostanzialmente si hanno due zone:

- la prima con macchine utensili nuove dotate di sistema di aspirazione polveri puntuale (sull'utensile) che convoglia il materiale al filtro di aspirazione, mediante tubazioni in pvc flessibile ed acciaio, inferiormente alle macchine utensili è presente un sistema tradizionale di convogliamento e aspirazione polveri grossolane;
- la seconda con macchine utensili vecchie dotate di sistema di aspirazione polveri puntuale (sull'utensile) che convoglia il materiale al filtro di aspirazione, mediante tubazioni in pvc flessibile ed acciaio.

In entrambe le zone i filtri non erano adeguati in quanto non conformi alle direttive ATEX e sono stati sostituiti.

8.3 Analisi zone pericolose

Sono state individuate sostanzialmente le seguenti sorgenti di emissione:

- Macchine fresatrici e utensili taglio resina;
- Filtro a maniche;
- Scarico in sacco.

Ricordando che le Sorgenti di emissione delle Polveri sono classificate, secondo la guida CEI 31-52 con i seguenti tre gradi fondamentali di emissione:

Emissione	Definizione
di grado CONTINUO	Luoghi nei quali una nube di <i>polvere può essere presente continuamente</i> o per lunghi periodi, oppure per brevi periodi ma ad intervalli frequenti.
di PRIMO grado	Sorgente di emissione che si prevede possa rilasciare <i>polveri combustibili solo</i> occasionalmente durante il funzionamento ordinario.
di SECONDO grado	Sorgente di emissione che si prevede <i>non possa rilasciare polveri combustibili durante il funzionamento ordinario</i> , ma, se ciò dovesse accadere, accadrebbe solo poco frequentemente e per brevi periodi.

Tabella 30: Classificazione SE

alla prima è stato associato un grado primo, mentre alle altre due un grado secondo. Di conseguenza si determinano una *Zona 21* ed una *Zona 22* con un distanza di 2,4 m intorno alle macchine, ed una *Zona 22* con un intorno di 1 m dallo sfiato del filtro a maniche e dallo scarico in sacco, tenendo presente le definizione riportate nella Tabella 13.

Gas, vapori e nebbie	Polveri	Definizione
Zona 0	Zona 20	Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o trequentemente un'atmosfera esplosiva. In generale, le condizioni relative ad una zona 0 o 20 interessano l'interno delle apparecchiature di processo, di serbatoi di stoccaggio, tubazioni di trasferimento, recipienti chiusi, ecc.
Zona 1	Zona 21	Area in cui è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività la formazione di un'atmosfera esplosiva. La zona 1 o 21 può comprendere, ac esempio, i luoghi nelle immediate vicinanze della zona 0, delle aperture di riempimento e svuotamento e di apparecchi, sistemi di protezione, ecc.
Zona 2	Zona 22	Area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata. La condizione relativa alla zona 2 o 22 può comprendere, tra gli altri, luoghi circostanti le zone 0/1 o 20/21, in prossimità di apparecchi, sistemi di protezione e componenti.

Tabella 13: Classificazione zone pericolose

8.3.1 Estensione delle zone pericolose

Nell' intorno della sorgente possono presenziare degli strati se il livello di pulizia dell'ambiente non è sufficientemente adeguato, questo comporta un'estensione delle zone pericolose a tutto il volume dell'ambiente considerandolo come *Zona* 22.

Per la determinazione dell'estensione delle zone pericolose si è fatto riferimento all'appendice GD della guida CEI 31-56, che definisce:

$$d_z = (d_0 + d_h) \cdot k_d \cdot k_u \cdot k_{ta} \cdot k_w$$

Con:

- d_z = distanza pericolosa dalla SE nella direzione di emissione e di più probabile dispersione della nube esplosiva [m]
- · d_0 = distanza di riferimento [m]
- · d_h = distanza addizionale dipendente dall'altezza della SE [m]
- \mathbf{k}_{4} = coefficiente dipendente dal rapporto tra la portata di emissione Q_{4} della SE e LEL;
- · k_u = coefficiente relativo al contenuto di umidità della polvere;
- k_{ta} = coefficiente relativo al tipo di ambiente;
- \mathbf{k}_w = coefficiente che dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e dalla velocità di sedimentazione della polvere ut;

Nella stessa guida viene definita come *effettiva* estensione della zona pericolosa la cosiddetta "quota a" che si definisce come:

$$a = k \cdot d_z$$

Dove:

 \mathbf{k} = coefficiente variabile di cui il progettista può tenere conto sulla base dell'esperienza in seguito a studi sperimentali di settore relativi al caso in esame;

In generale, la quota si assume uguale a d_z , solo nel caso in cui questo risulti ≤ 1 m si assume a=1 m.

Si analizzano adesso i parametri che compongono la d_z nel dettaglio.

La distanza di riferimento d_0 dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione intorno alla SE $w\left[\frac{m}{s}\right]$, dalla velocità con la quale la SE emette la polvere e dalle

caratteristiche densità $Q\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ e diametro medio delle particelle $[\mu m]$ della polvere stessa. Per i sistemi di contenimento che lavorano a pressione atmosferica, essendo la velocità di emissione bassa, si prende come valore di riferimento $d_0 = 1$ m, mentre per i sistemi che lavorano in pressione, essendo la velocità di emissione non trascurabile, la d_0 si ricava dal grafico di Figura 23 (Guida CEI 31-56) o dal grafico di Figura 24 a seconda della velocità dell'aria w.

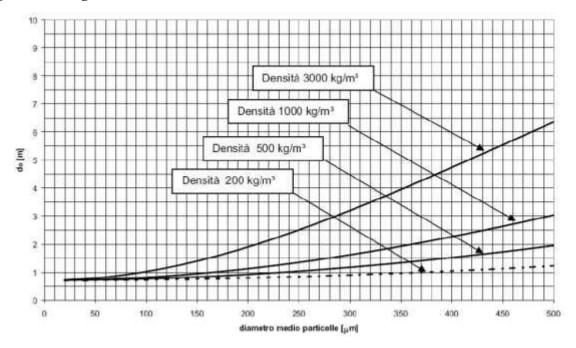


Figura 23: Distanza di riferimento per SE in prossimità del suolo da sistema in pressione (ad alta velocità) e velocità dell'aria w minore/uguale 0.5 m/s

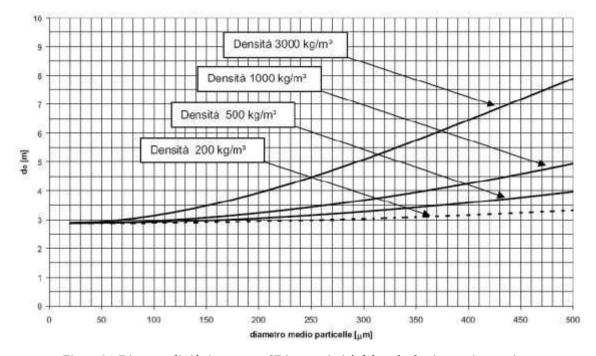


Figura 24: Distanza di riferimento per SE in prossimità del suolo da sistema in pressione

Nel caso in esame i macchinari lavorano a pressione atmosferica.

La distanza addizionale d_h dipende dall'altezza della SE rispetto alla superficie di deposito della polvere ed è stata ricavata dalla Tabella 32 (Guida CEI 31-56), nella quale h rappresenta l'altezza della SE dalla superficie di deposito, come ad esempio dal suolo, pavimento, o superficie che delimita inferiormente la caduta della polvere.

Pos.	Condizione	<i>d_h</i> [m]
1	Se <i>h</i> ≥ 20 m	1,0
2	Se 20 m > h > 3 m	0,5
3	Se <i>h</i> ≤ 3 m	0

Tabella 31: Distanza addizionale dh

Il coefficiente k_d dipende dal rapporto tra la portata di emissione Q_d della SE e il *LEL*, assumendo le caratteristiche riportate nella seguente Tabella 33 (Guida CEI 31-56).

Pos.	Condizione	K _d
1	Se $\frac{LEL \cdot 10^{-3} \cdot u_t \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} > 10$	0,5
2	Se $\frac{LEL \cdot 10^{-3} \cdot u_t \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} \le 10$	1

Tabella 32: Coefficiente Kd

Il coefficiente *ku* dipende dal contenuto di umidità della polvere e varia con le modalità riportate nella seguente Tabella 34 (Guida CEI 31-56).

Pos.	Contenuto di umidità della polvere, valore %	Campo di variazione del Coefficiente	k _u
1	dal 40% al 50%	da 0,3 a 0,5	0,3
2	dal 12% al 40%	da 0,5 a 1,0	0,8
3	inferiore al 12%	da 1,0 a 1,2	1,0

Tabella 33: Coefficiente Ku

Il coefficiente k_{ta} dipende dal tipo di ambiente nel quale viene a disperdersi la polvere, ed è stato ricavato dalla seguente Tabella 35 (Guida CEI 31-56).

Pos.	Tipo di ambiente	Campo di variazione del Coefficiente	Coefficiente consigliato
1	Aperto	da 0,5 a 0,7	0,5
2	Aperto con ostacoli	da 0,7 a 1,0	8,0
3	Chiuso	da 1,0 a 1,2	1,0

Tabella 34: Coefficiente Kta

Il coefficiente k_w dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e dalla velocità di sedimentazione u_t ; esso è stato ricavato in base alla seguente Tabella 36 (Guida CEI 31-56).

Pos.	Condizione	kw
1	Se $\frac{w}{u_i} > 5$	3
2	Se $5 > \frac{w}{u_i} > 3$	2
3	Se $\frac{w}{u} \le 3$	i

Tabella 35: Coefficiente Kw

8.4 Livelli di pulizia ambientali

Il grado di emissione (continuo, primo o secondo) di uno strato di polvere dipende dal livello di mantenimento della pulizia (buono, adeguato, scarso), dal disturbo dello strato (frequente o poco frequente) e dal grado di emissione della SE del sistema di contenimento, come causa primaria della formazione dello strato. I livelli di pulizia degli ambienti vengono classificati come indicato nella Tabella seguente:

Livello di pulizia	Definizione
BUONO	Si ha un livello di pulizia dell'ambiente BUONO quando gli strati di polvere sono mantenuti a spessori trascurabili, oppure sono assenti, indipendentemente dal grado di emissione, oppure vengono rimossi rapidamente in caso si formino poco frequentemente, potendosi escludere il pericolo che si formino nubi di polveri esplosive degli strati ed il pericolo d'incendio dovuto agli strati stessi.
ADEGUATO	Si ha un livello di pulizia dell'ambiente BUONO quando gli strati di polvere nor sono trascurabili, ma sono di breve durata, meno di un turno di lavoro (8 ore), e possono essere rimossi prima dell'avvio di qualunque incendio. Non si può escludere il pericolo che si formino nubi di polveri esplosive degli strati ed il pericolo d'incendio dovuto agli strati stessi.
SCARSO	Si ha un livello di pulizia dell'ambiente SCARSO quando gli strati di polvere non sono trascurabili e perdurano per più di un turno di lavoro. Il pericolo d'incendio può essere controllato selezionando opportunamente le apparecchiature in funzione dello spessore degli strati di polvere. Non si può escludere il pericolo che si formino nubi di polveri esplosive degli strati ed il pericolo d'incendio dovuto agli strati stessi.

Tabella 36: Livello di pulizia ambiente

8.5 Disturbo dello strato di polvere

E' evidente che se lo strato di polvere viene disturbato frequentemente, la polvere si solleva con frequenza maggiore e di conseguenza il grado di emissione risulta più elevato. Per la determinazione del grado di emissione di uno strato in funzione del disturbo dello stesso e del grado della sorgente di emissione del contenitore si può far riferimento alla seguente Tabella:

	Grado della Sorgente di Emissione del contenitore	CONTINUO O PRIMO	SECONDO
Livello di pulizia	Disturbo strato	Grado di emissione dello strato	Grado di emissione dello strato
ADEGUATO	Frequente	PRIMO	SECONDO
ADZGGATG	Poco frequente	SECONDO	Ī
SCARSO	Frequente	CONTINUO	PRIMO
	Poco frequente	PRIMO	SECONDO

Tabella 37: Grado di emissione di uno strato in funzione del disturbo dello stesso e del grado della SE del contenitore

8.6 Grado di efficacia e disponibilità del sistema di aspirazione

La valutazione delle condizioni di ventilazione nei luoghi con presenza di polveri combustibili rappresenta un passaggio fondamentale e la presenza di un impianto di aspirazione ben dimensionato in prossimità della SE determina, secondo la sua efficienza, una modifica più o meno preponderante della probabilità di formazione di zone pericolose, quindi, una "declassificazione" delle stesse.

Un sistema di aspirazione, per essere efficiente, deve essere ben dimensionato e le bocche di aspirazione devono essere poste nelle immediate vicinanze delle SE delle polveri. Infatti, un impianto di aspirazione che non venga posizionato in prossimità delle SE non produce nessun effetto di bonifica, ma può addirittura portare ad un peggioramento delle condizioni ambientali provocando delle turbolenze che possono dar luogo, in presenza di strati, al cosiddetto effetto domino.

Per valutare l'effetto di un sistema di aspirazione, bisogna stabilire due parametri fondamentali:

- Grado di efficacia;
- Disponibilità del sistema di aspirazione.

Il primo viene valutato in uno dei tre modi illustrati nella seguente Tabella , tratta dall'appendice GG della Guida CEI 31-56:

Grado di Efficacia	Definizione
ALTO (EH)	Si ha un grado di efficacia ALTO se il sistema di aspirazione è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell'aria in modo praticamente istantaneo al di sotto del limite inferiore di esplodibilità (LEL) nell'immediato intorno della SE e all'interno del sistema di aspirazione stesso. Ne risulta una zona potenzialmente esplosiva di estensione trascurabile nell'intorno della SE, nessuna zona pericolosa all'interno del sistema di captazione e aspirazione e nessuna zona pericolosa nell'immediato intorno del punto di scarico del sistema.
MEDIO (EM)	Si ha un grado di efficacia MEDIO se il sistema di aspirazione non è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell'aria al di sotto del limite inferiore di esplodibilità (LEL) nelle immediate vicinanze della SE e all'interno del sistema di aspirazione stesso, ma è in grado di catturare tutta la polvere emessa dalla SE.
BASSO (EL)	Si ha un grado di efficacia BASSO se il sistema di aspirazione non è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell'aria al di sotto del limite inferiore di esplodibilità (LEL) nelle immediate vicinanze della SE e all'interno del sistema di aspirazione stesso e non è in grado di catturare tutta la polvere emessa dalla SE. Tale grado di efficacia equivale all'assenza di un impianto di aspirazione.

Tabella 38: Grado di efficacia sistema di aspirazione

La disponibilità di un sistema di aspirazione viene valutata in uno dei tre modi illustrati nella seguente Tabella, tratta sempre dall'appendice GG della Guida CEI 31-56:

Disponibilità	Definizione
BUONA	Si ha una disponibilità BUONA quando l'asportazione è presente in pratica con continuità.
ADEGUATA	Si ha una disponibilità ADEGUATA quando l'asportazione è presente durante il funzionamento normale. Sono ammesse delle interruzioni purché siano poco frequenti e per brevi periodi.
SCARSA	Si ha una disponibilità SCARSA quando l'asportazione non risponde ai requisiti di adeguata o buona, anche se non sono previste interruzioni per lunghi periodi. Nota: Un sistema artificiale di asportazione delle poliveri che non risponde neanche ai requisiti previsti dalla scarsa disponibilità non deve essere considerato.

Tabella 39: Disponibilità sistema di aspirazione

8.7 Zone pericolose in funzione del grado di emissione e del sistema di aspirazione

La probabilità di formazione di zone pericolose dipende dalle caratteristiche del sistema di aspirazione delle polveri e dal grado di emissione della SE; infatti, in assenza di un impianto di aspirazione ci sono forti probabilità di formazione di atmosfere esplosive. Nella Tabella 41 è riportato un esempio di determinazione delle zone pericolose in funzione delle caratteristiche del sistema di aspirazione e del grado di emissione della SE:

		one della	polvere				
Grado		ALTO			MEDIO		BASSO(2)
della	Disponibilità della captazione e asportazione della polvere						
emissione	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona, Adeguata o Scarsa
CONTINUO	(Zona 20 NE) Zona non pericolosa (1)	(Zona 20 NE) Zona 22 (1)(3)	(Zona 20 NE) Zona 21 (1) (4)	Zona 20	Zona 20 + Zona 22 (3)	Zona 20 + Zona 21 (4)	Non considerato (Zone 20)
PRIMO	(Zona 21 NE) Zona non pericolosa (1)	(Zona 21 NE) Zona 22 (1)(3)	(Zona 21 NE) Zona 22 (1) (4)	Zona 21	Zona 21 + Zona 22 (3)	Zona 21 + Zona 22 (4)	Non considerato (Zona 21 + Zona 22)
SECONDO	(Zona 22 NE) Zona non pericolosa (1)	(Zona 22 NE) Zona non pericolosa (1) (3)	Zona 22 (4)	Zona 22	Zona 22 (3)	Zona 22 (4)	Non considerato (Zona 22)
(1) Zona 20 NE,	21 NE o 22 NE india	ano una zona teorica i	dove, in condizioni no	vrmaŭ, l'estens	ione é trascurat	ule.	
		iderato in quanto, in quasto, in quasportazione della po		one pericolose	devono essere	definite consid	erando
(3) E prevista la	formazione di strati (di polivere di spessore	generalmente inferio	re di 5 mm.			
(4) E prevista la	formazione di strati d	di polivere di spessore	generalmente maggi	ore di 5 mm, d	a valutare caso	per caso.	

Tabella 40: Influenza dei sistemi artificiali di asportazione delle polveri su tipi di zone

8.8 Procedimento di classificazione dei luoghi pericolosi

La classificazione dei luoghi è un metodo di analisi e di suddivisione convenzionale del luogo considerato in zone pericolose e zone non pericolose in relazione alla provenienza del pericolo d'esplosione e alal probabilità di presenza del pericolo.

Il procedimento di classificazione dei luoghi, per il reparto considerato, è il seguente:

- Sono stati raccolti dati generali di progetto;
- È stata verificata l'applicabilità della Norma CEI EN 61241-10 (CEI 31-66)
- Sono state individuate le sorgenti di emissione SE, il grado o i gradi di emissione di ciascuna di esse, definiti considerando le probabilità e le modalità di emissione;
- È stata verificata l'eventuale presenza di sistemi di bonifica e la corrispondente tipologia;
- È stata analizzata, ove necessario, l'influenza della contemporaneità delle emissioni sulla classificazione dei luoghi;
- Sono stati individuati i parametri della polvere utili a quantificare la probabilità, il rischio e il danno di un eventuale esplosione;
- Sono state rilevate le condizioni ambientali.

Per ciascun grado di emissione delle singole SE:

- È stato definito il tipo o i tipi di zone pericolose;
- Sono state determinate le estensioni delle singole zone pericolose;
- È stata stabilita se esiste la possibilità o meno di formazione di strati di polvere al di fuori dei sistemi di contenimento ed il loro spessore.

8.9 Valutazione delle fonti d'innesco

La valutazione del rischio è stata condotta utilizzando il procedimento descritto nel Capitolo 7 che può andare ad integrare il documento sulla protezione dalle esplosioni previsto dall'art. 294 del D.Lgs. 81/08.

Una volta individuati i pericoli, le sorgenti di emissione e la probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva e la sua durata, particolare attenzione nello specifico si è posta sulla valutazione della presenza di fonti di accensione efficaci e nella loro probabilità, secondo la UNI CEI EN ISO 80079-36:2006 la quale tratta la valutazione degli inneschi delle apparecchiature non elettriche definendone la destinazione d'uso in base alle loro caratteristiche. Il procedimento è stato effettuato per ogni SE e per ogni strato di polvere generato dalle stesse. Dal confronto dei risultati è stato desunto il valore finale del RISCHIO per l'ambiente considerato, assumendo il valore peggiore.

Per determinare la probabilità relativa alle possibili fonti di accensione, è stata compilata una specifica lista di controllo che rende l'individuazione più chiara e schematica:

- Superfici calde
- Fiamme e gas caldi;
- Scintille di origine meccanica;
- Materiale elettrico;
- Correnti elettriche vaganti;
- Elettricità statica;
- Fulmini;
- Onde elettromagnetiche a radiofrequenza da 104 Hz a 3x1012 Hz
- Onde elettromagnetiche da 3x1011 Hz a 3x1015 Hz
- Radiazioni ionizzanti;
- Ultrasuoni;
- Compressione adiabatica ed onde d'urto;
- Autoaccensione delle polveri.

Parametri caratteristici polvere da resina RakuTool SB-0470:

Sostanza pericolosa: RESINA				
Parametro	Valore	u.m.		
LEL	15	g/m^3		
Grandezza media particelle	10	μm		
Densità assoluta	100	Kg/m^3		
MIT	330	°C		
Umidità	0,3	%		
Pmax	7	bar		
K _{st}	146	bar · m/s		
Classe di esplosione	St 1	-		
MIE	5	mJ		

Tabella 41: Parametri resina RakuTool SB-0470

Elenco sorgenti di emissione:

SE 001: Fresatrici		
Parametro	Valore	u.m.
Velocità aria di ventilazione nell'intorno	0,1	m/s
Grado di emissione	primo	
Provv. Di bonifica	Aspirazione forzata	
Disponibilità sistema di aspirazione	adeguata	
Grado di efficacia sistema di aspirazione	medio	
Emissione dal sistema di contenimento		
Quantità di polvere emessa dalla SE	non notevole	m
<u>Strato di polvere</u>		
Umidità polvere in strato	12% - 40%	
Distanza di riferimento d0	1	m
Distanza addizionale dh	0	m
Coefficiente Kd	1	m
Coefficiente Ku	0,8	m
Coefficiente Kta	1	m
Coefficiente Kw	3	m
Distanza pericolosa dz	2,4	m
Livello di mantenimento della pulizia dell'ambiente	adeguato	
Disturbo dello strato	non frequente	
Grado di emissione dello strato	secondo	
Spessore dello strato di polvere	≤5	mm
Temperatura Tmax	215	°C

Tabella 42: SE 001

Zone pericolose (generate dalla SE 001: Fresatrici)
Grado primo - Zone pericolose dovute all'emissione
1° zona pericolosa
Tipo di zona: 21
Quota a (m): 1
2° zona pericolosa
Tipo di zona: 22
Quota a' (m): 3
Grado primo - Zona pericolosa dovuta allo strato
Estensione dello strato (m): 2
Tipo di zona: 22
Distanza pericolosa d _{zs} (m): 2,4
Quota a _s (m): 2,52

Tabella 43: Zone perisolose SE 001

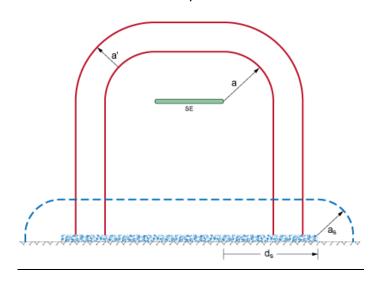


Figura 25: Rappresentazione SE 001

SE 002: Scarico in sacco				
Parametro	Valore	u.m.		
Velocità aria di ventilazione nell'intorno	0,1	m/s		
Grado di emissione	secondo			
Provv. Di bonifica	nessuno			
Altezza della SE dal suolo	≤ 3	m		
Portata di emissione Qd	stimata			
Umidità polvere	≤ 12%			
Velocità di sedimentazione Ut	3,03E-04	m/s		
Rapporto W/Ut:	3,30E+02			
Distanza di riferimento d0	1	m		
Distanza addizionale dh	0	m		
Coefficiente Kd	1	m		
Coefficiente Ku	1	m		
Coefficiente Kta	1	m		
Coefficiente Kw	3	m		
Distanza pericolosa dz	3	m		
Livello di mantenimento della pulizia dell'ambiente	adeguato			

Disturbo dello strato	non frequente
Grado di emissione dello strato	nessuno
Spessore dello strato di polvere	trascurabile
Temperatura Tmax(°C)	220 °C

Tabella 44: SE 002

Zone pericolose (generate dalla SE 002: Scarico in sacco)

Grado secondo - Zone pericolose dovute all'emissione

1° zona pericolosa

Tipo di zona: 22

Quota a (m): 1

Distanza pericolosa d_{zs}(m): 1

Grado secondo - Zona pericolosa dovuta allo strato

Zona non pericolosa (strati trascurabili)

Tabella 45: Zone pericolose SE 002

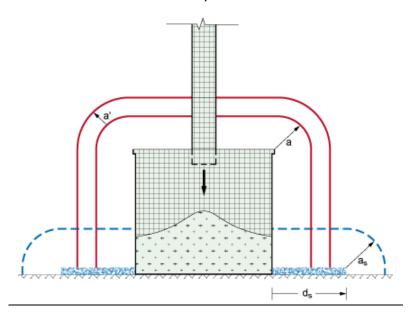


Figura 26: Rappresentazione SE 002

Probabilità fonti d'innesco:

Check-list possibili fonti d'innesco					
Fonti d'innesco	Presente	Causa	Probabilità		
Superfici calde	si	Surriscaldamento attrezzature	2		
Fiamme e gas caldi	no		0		
Scintille di origine meccanica	si	Presenza di elementi metallici	2		
Materiale elettrico	si	Presenza di cavi elettrici	1		
Correnti elettriche vaganti	no		0		
Elettricità statica	si		1		
Fulmini	si	Cause naturali	1		
Onde elettromagnetiche	no		0		
Radiazioni ionizzanti	no		0		
Ultrasuoni	no		0		
Compressione adiabatica	no		0		

Tabella 46: Check-list possibili Fonti d'innesco

Nella Tabella 47 vengono riportate le possibili sorgenti di accensione di esplosione e, per ognuna viene indicata la possibile presenza, la causa che potrebbe determinarla e il punteggio relativo alla probabilità.

Per quanto riguarda le scintille di origine meccanica, si è ipotizzato che queste possano essere originate, oltre che dalla frizione dei componenti della fresatrice causata da un malfunzionamento, anche da un'improbabile presenza di elementi metallici usati per assemblare i vari blocchi di resina prefabbricati. Quest'ultima operazione in realtà, come dichiarato anche dagli addetti al reparto e nel rispetto dei requisiti di sicurezza, viene effettuata esclusivamente tramite colle o schiume indurenti. Un'eventuale presenza di viti o altri elementi infatti, venendo a contatto con la punta del macchinario in lavorazione potrebbe sicuramente generare delle scintille che sarebbero sicuramente in grado di innescare un'esplosione.

Inoltre potrebbero anche essere aspirate dall'impianto di aspirazione dove una volta entro il filtro urterebbero contro le pareti dello stesso aumentando la probabilità di formazione di scintille.

La ISO 80079-36 non considera fonti d'innesco efficaci le scintille formatesi da un impatto che avviene ad una velocità inferiore a 1 m/s e che scaturisca un'energia inferiore a 500 J.

Considerando che sui macchinari in questione possono essere montate punte con diametro massimo di 25 mm e che la massima velocità di lavorazione raggiunge i 18000 rpm, sarà:

$$\frac{18000}{60} [rpm] = 300 [rps]$$

$$\omega = 2\pi \cdot [rps] = 2\pi \cdot 300 = 1884 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$v = \omega \cdot r = 1884 \cdot \frac{0.025}{2} = 23,55 \left[\frac{m}{s} \right]$$

quindi di gran lunga maggiore il valore limite.

Le costruzioni elettriche Ex devono avere i requisiti di sicurezza stabiliti dalla Direttiva 94/9/CE (DPR 126/98).

Dal 1 Luglio 2003 tali prodotti devono essere marcati CE Atex secondo la procedura stabilita dalla direttiva suddetta.

La seguente norma suddivide le apparecchiature per luoghi con pericolo esplosioni in tre gruppi:

- Gruppo I: prodotti da utilizzare in miniere grisutose;
- Gruppo II: apparecchiature utilizzate in superficie in presenza di vapori e/o gas;
- Gruppo III: apparecchiature utilizzate in superficie in presenza di polveri.

Le apparecchiature del caso studio fanno parte di quest'ultimo gruppo che a sua volta distingue tre categorie secondo un livello di protezione decrescente:

- categoria 1D per le Zone 20
- categoria 2D per le Zone 21
- categoria 3D per le Zone 22

In cui i metodi di protezione attualmente previsti sono i seguenti:

- protezione mediante custodie "tD"
- protezione mediante incapsulamento "mD"
- protezione a sicurezza intrinseca "iD"
- protezione a sovrapressione interna "pD"

Nelle Zone 22 si considerano soltanto le potenziali sorgenti di accensione nel funzionamento normale, quindi in tale situazione i cavi presenti non superano i 70°C o i 90°C, non potendo innescare nessuna nube di polvere. Per questo motivo è stato calcolato un livello di probabilità pari a 1.

In Zone 22 si possono posare cavi in aria, ma se la pulizia dell'ambiente è scarsa si dovrà tener conto che l'eventuale aumento della temperatura superficiale dovuta alla coibentazione del cavo non inneschi lo strato.

Nelle Zone 21 si devono considerare le potenziali sorgenti di emissione sia nel funzionamento normale che in caso di guasto.

Non è ammessa la posa dei cavi (con o senza guaina), in tubi o canali con grado di protezione inferiore a IP6X.

8.10 Determinazione della probabilità d'innesco tramite metodologia CCPS

Esistono diverse metodologie per quantificare la probabilità di innesco di sostanze infiammabili, ma ognuna di queste è stata sviluppata con lo scopo di essere applicate in situazioni specifiche, considerando i tipi di sostanze, i tipi di industria e la localizzazione. Grazie ad uno studio da parte del CCPS (Center for Chemical Process Safety) riguardo alcuni dei modelli proposti da diversi ricercatori, si è sviluppata una metodologia per la determinazione della probabilità di innesco in seguito ad un incidente con conseguente rilascio di sostanze potenzialmente infiammabili, che in qualche maniera raggruppa e generalizza in una certa misura tutte le altre. La procedura è descritta in "Guidelines for Determining the Probability of Ignition of a Released Flammable Mass".

Prima di introdurre la metodologia proposta, bisogna capire "l'albero degli eventi" della situazione in questione. Questo metodo rappresenta graficamente la propagazione di un evento iniziatore evidenziando sequenzialmente tutti i possibili risultati che potrebbero accadere. Nella figura 27 si rappresenta come evento iniziatore il rilascio incidentale delle sostanze infiammabili e come conseguenze l'innesco immediato, l'innesco ritardato e l'esplosione. E' possibile aggiungere più rami con diverse circostanze che possono essere coinvolte nell'incidente ma in generale, questa rappresentazione semplificata è sufficiente.

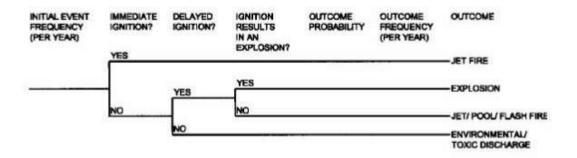


Figura 27: Albero degli eventi

La metodologia proposta per la quantificazione dell'albero degli eventi introduce diversi algoritmi con tre livelli di raffinatezza o difficoltà, da applicarsi a seconda della cura e precisione che si vuole ottenere nell'analisi, nonché della disponibilità di informazioni riguardo la situazione e le sostanze coinvolte. Inoltre, si propongono per ogni conseguenza, ottenendo così la probabilità di innesco immediato, ritardato e di esplosione.

Il modello spiegato sarebbe applicabile soltanto a sostanze in stato liquido e vapore, escludendo così le polveri. Questo si deve alla solita difficoltà nel trovare parametri e proprietà stabili coinvolte in una nube di polvere, e anche la frequenza con cui viene disturbato uno strato di polvere in modo che provochi delle situazioni di reale pericolo.

Nonostante questa limitazione, in cui si sa che non è possibile generalizzare, si potrebbero applicare gli algoritmi, tenendo conto delle considerazioni logiche e ragionando sui risultati ottenuti, per avere un'idea sul valore quantitativo da assegnare alla probabilità d'innesco per le sostanze polverulente.

L'algoritmo utilizzato in questo caso è di secondo livello, questo per avere un' affidabilità dei risultati più accentuata rispetto al primo e per una non totale precisione delle informazioni riguardo le misure di attenuazione del rischio presenti in azienda che il terzo livello richiederebbe.

Probabilità di innesco immediato POII:

La probabilità di innesco immediato si calcola considerando i seguenti contributi:

 Contributo dell'innesco statico: funzione del materiale rilasciato così come la pressione relativa del processo.

$$POII_{static} = 0.003 \cdot \sqrt[3]{P} \cdot MIE^{-0.6}$$

P = [psi]

MIE = [m]

Il *POII_{static}* deve avere un valore massimo di 0.9 per garantire che l'innesco ritardato sia preso in considerazione.

 Contributo dell'autoignizione: dipende dal rapporto tra la temperatura del processo e l'AIT della sostanza:

$$\begin{split} &\frac{T}{AIT} < 0.9 \rightarrow P_{ai} = 0 \\ &\frac{T}{AIT} > 1.2 \rightarrow P_{ai} = 1 \\ &0.9 < \frac{T}{AIT} < 1.2 \rightarrow P_{ai} = 1 - 5000 \cdot e^{\left[-9.5\left(\frac{T}{AIT}\right)\right]} \end{split}$$

Per materiali piroforici $\rightarrow P_{ai} = 1$

L' algoritmo definitivo che tiene conto dei due contributi si esprime come:

$$POII_{Level\ 2} = P_{ai} + (1 - P_{ai}) \cdot POII_{static}$$

Per il $POII_{Level\ 2}$ si fissa un valore massimo di 0,99.

Probabilità di innesco ritardato PODI:

Anche per il calcolo della probabilità di innesco ritardato si tiene conto di diversi fattori, quali:

• Contributo della forza e durata dell'esposizione alla fonte di innesco:

$$PODI_{S_{/_{D}}} = 1 - [(1 - S^{2}) \cdot e^{-St}]$$

Dove t = [min] e la S è un valore che dipende dalla fonte di innesco.

Ignition Source Type	Ignition Source	Strength "S"	Source
Point Sources	Fired heater	0.9	Moosemiller
	Boiler (outside)	0.45	TNO
	Boiler (inside)	0.23	TNO
	Flare	1.0	TNO, HSE
	Motor vehicle	0.3	TNO
	Ship	0.4	TNO
	Diesel train	0.4	TNO
	Electric train	0.8	TNO
	Hot surfaces	See discussion below table	

		1990/2	
Line Sources	High-power electrical line	0.001 x length of line covered by cloud (ft)	TNO, Moosemiller
	Roadway (if area of cloud is known)	1 - 0.7 ^V (V=average number of vehicles covered by the cloud)	Moosemiller
	1	,	
Area Sources	Process unit (if area of cloud is known)	0.9 x fraction of unit covered by the flammable cloud	Modified TNO
	Residential population (if area of cloud is known)	1 - 0.99° (N=number of people covered by the cloud)	Modified TNO, Moosemiller
	High-density process area (outdoor)	0.25 ^(a)	UKEI/HSE
	Medium-density process area (outdoor)	0.15 ^(a)	UKEI/HSE
	Low-density process area	0.1	UKEI/HSE
	Confined space with ~ no equipment	0.02	Moosemiller
	Process area outdoor storage	0.1	HSE, Moosemiller
	Remote outdoor storage area	0.025	Assumed, relative to previous row
	Office space	0.05	UKEI

Tabella 47: Valori di S

Contributo della magnitudine del rilascio: si assumono dei valori medi per ricavare il rapporto tra questi ed i valori misurati. In questo caso si propongono delle relazioni in base ai dati disponibili (quantità o diametro del foro) e della fase in cui avviene il rilascio.

$$M_{MAG_{amount_release(liq)}} = \left(\frac{Q}{5000}\right)^{0.3}$$

$$M_{MAG_{amount_release(vap)}} = \left(\frac{Q}{1000}\right)^{0.5}$$

$$M_{MAG_{Hole\ diameter(lig)}} = d^{0.6}$$

$$M_{MAG_{Hole\ diameter(vap)}} = a$$

Dove:

Q = quantità rilasciata [Lb]

d = diametro foro [in]

Il $M_{MAG_{amount_release}}$ può assumere un valore massimo di 2, mentre per il $M_{MAG_{Hole,diameter}}$ il valore può essere compreso tra 0,3 e 3.

Contributo per il materiale:

$$M_{MAT} = 0.5 - 1.7 \log(MIE)$$

In questo caso si fissano i limiti tra 0,1 e 3.

Contributo per le temperature di processo, punto di infiammabilità e punto di ebollizione: questo si applica in caso di rilascio di sostanze liquide e può esprimersi in termini del NBP (Normal Boiling Point) oppure dal FP (Flash Point).

$$M_T = 1 - \frac{(NBP - T)}{230}$$

$$M_T = 0.4 - \frac{(T - 1.3 \cdot FP)}{230}$$

In questo caso si ha \rightarrow 0,001 < M_T < 1.

Contributo per la localizzazione: il luogo in cui avviene il rilascio influenza la probabilità di innesco, essendo più alta all'interno di uno spazio confinato rispetto ad un'ambiente aperto dove si può disperdere più facilmente.

$$M_{IN/OUT} = 1.5 \rightarrow Indoor \, releases$$

 $M_{IN/OUT} = 1 \rightarrow Outdoor \, releases$

L'algoritmo definitivo, tenendo conto di tutti i fattori, sarebbe:

$$PODI_{Level\ 2} = PODI_{S_{/D}} \cdot M_{MAG} \cdot M_{MAT} \cdot M_{T} \cdot M_{IN/OUT}$$

Probabilità di esplosione con innesco ritardato POEGDI:

$$POEGDI_{Level2} = 0.3 \cdot M_{CHEM} \cdot M_{MAGE} \cdot M_{IN/OUT}$$

Questo modello può assumere un valore massimo di 1 e i tre contributi sono determinati in questo modo:

Sostanza chimica:

$$M_{CHEM} = 0.5 \rightarrow FBV < 45 \ cm/s \ (Reattivita bassa)$$
 $M_{CHEM} = 1 \rightarrow 45 < FBV < 75 \ cm/s \ (Reattività media)$ $M_{CHEM} = 2.0 \rightarrow FBV > 75 \ cm/s \ (Reattività alta)$

Dove:

FBV = velocità di combustione (Fundamental Burning Velocity)

Magnitudine del rilascio:

$$POEGDI\ M_{MAGE} = (PODI\ M_{MAG})^{0.5}$$

Localizzazione:

$$M_{IN/OUT}=1,5~Indoor$$
 $M_{IN/OUT}=1~Outdoor~in~area~di~processo$
 $M_{IN/OUT}=0,5~Outdoor~in~area~remota$

Per il caso studio si fa la considerazione che la polvere abbia delle dimensioni sufficientemente piccole in modo che la nube di polvere si possa trattare come un vapore.

Probabilità di innesco immediato POII

Contributo dell'innesco statico:

La pressione in questo caso è quella atmosferica, quindi in termini di pressione relativa sarà 0 psig, mentre il *MIE* riportato per la polvere è 5 mJ

$$POII_{static} = 0.003 \cdot 0^{1/3} \cdot 5^{-0.6} = 0$$

Contributo dell'auto ignizione:

Nel caso delle polveri non si riporta la Temperatura di auto ignizione ma in linea di massima si potrebbe relazionare alla *MIT* (temperatura di minima accensione), la quale risulta essere 330°C, ovvero 626 °F. Questa rispetto alla temperatura di lavoro, che sarebbe quella dell'ambiente porta ad avere:

$$\frac{T}{AIT} < 0.9 \rightarrow P_{ai} = 0$$

Algoritmo per *POII*:

Dai risultati precedenti si ha che la probabilità di innesco immediato è zero.

$$POII_{Level 2} = 0 + (1 - 0) \cdot 0 = 0$$

Probabilità di innesco ritardato PODI

Contributo della forza e durata dell'esposizione alla fonte di innesco: come visto nella Tabella 46, sono presenti più di una possibile sorgente di accensione, per cui si usa la sezione di "area source" dove si raggruppano tutte. Si usa il fattore *S* per un'area di processo di bassa densità, quindi S=1, per il tempo di esposizione si fissa t=1, visto che la principale sorgente potrebbe essere una scintilla che sparisce immediatamente.

$$PODI_{S/_{D}} = 1 - \left[(1 - 0.1^{2}) \cdot e^{-1\left(\frac{1}{60}\right)} \right] = 0,0264$$

• Contributo della magnitudine del rilascio: tenendo conto che l'area totale della camera fresatrice è di 28,8 m² e che lo spessore massimo di polvere accumulabile è 5 mm, si ha quindi un volume totale di polvere di 0.144 m³. Da questo volume e la densità assoluta di 100 Kg/m³ si ha che la quantità di polvere eventualmente dispersa in aria sarebbe 14,4 Kg ovvero 31,75 Lb

$$M_{MAG_{amount_release(vap)}} = \left(\frac{31,75}{1,000}\right)^{0.5} = 0,1943$$

Contributo per il materiale:

$$M_{MAT} = 0.5 - 1.7 \log(5) = -0.6883$$

Dato che il valore ottenuto è minore di 0,1 si prende questo limite come risultato.

- Contributo per le temperature di processo, punto di infiammabilità e punto di ebollizione:
 Non applica per il vapore quindi non si terrà in considerazione per il calcolo finale.
- Contributo per la localizzazione:
 L'area in studio si trova al chiuso.

$$M_{IN/OUT} = 1.5$$
 Indoor releases

• Algoritmo per *POII*:

$$PODI_{Level\ 2} = 0.0264 \cdot 0,1943 \cdot 0,1 \cdot 1,5 = 0,000769$$

Probabilità di esplosione dato un innesco ritardato POEGDI

Sostanza chimica:

Nel caso delle polveri si ha un parametro importante che da un'idea riguardo la reattività, la Classe di esplosione la cui dipende dal valore di K_{st} o velocità di esplosione. Per la resina in studio il K_{st} ha un valore di 146 bar m/s classificandosi allora in un St 1, ovvero in "esplosione moderata". Allora si definisce una reattività media.

$$M_{CHEM} = 1.0$$
 (Reattività media)

Magnitudine del rilascio:

$$POEGDI M_{MAGE} = (0.1943)^{0.5} = 0.4408$$

Localizzazione

$$M_{IN/OUT} = 1.5$$
 Indoor

Algoritmo per *POEGDI*:

$$POEGDI_{Level2} = 0.3 \cdot 1 \cdot 0.4408 \cdot 1.5 = 0.1984$$

In riassunto:

$$POII_{Level 2} = 0$$

$$PODI_{Level 2} = 0,000769$$

$$POEGDI_{Level 2} = 0,1984$$

il valore della *P*_{INN} risulta molto basso o quasi nullo, dovuto al fatto che la procedura utilizzata ha un livello di accuratezza e precisione mirata alle varie situazioni. A scopo precauzionale, può essere arrotondato per eccesso e porlo uguale a 1. Tutto questo ricordando che si è preso in esame il caso della presenza di scintille di origine meccanica.

8.11 Determinazione valore di rischio tramite procedura indicizzata INAIL

Come detto nel Capitolo 7, il rischio viene determinato in funzione della probabilità di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale danno, tramite la seguente relazione:

$$R = (P_{SE} \cdot P_{INN}) \cdot D = P \cdot D$$

Dove:

R = entità del rischio

 P_{SE} = presenza di atmosfera esplosiva

 P_{INN} = presenza di una fonte d'innesco efficace

D = possibili lesioni o danni

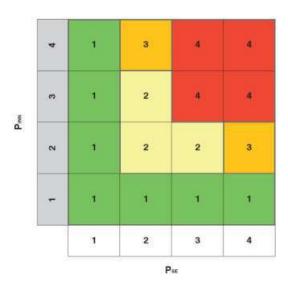
 $(P_{SE} \cdot P_{INN}) = P = probabilità che si verifichi l'esplosione$

Per quanto riguarda la Sorgente di Emissione SE001, le cui caratteristiche e zone pericolose risultanti sono state espletate nelle Tabelle 42 e 43, possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- *P*_{INN} = 2; valore ricavato dalla check-list delle possibili fonti d'innesco in Tabella 46;
- · $P_{SE} = 3$ (Zona pericolosa 21 dovuta all'emissione)
- · P_{SE} = 2 (Zona pericolosa 22 dovuto allo strato)

Leggendo i valori corrispondenti ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate della matrice di probabilità che si ripropone di seguito, si ottiene:

- $P_{EMISSIONE} = 2$
- $P_{STRATO} = 2$



Si riassumono i risultati nella seguente Tabella 48:

Sigla SE	Zona pericolosa SE	Zona pericolosa STRATO	P _{SE(SE)}	P _{SE(STRATO)}
SE001	21	22	3	2

Sigla SE	P _{INN(SE)}	P _{INN(STRATO)}	P _{SE(SE)}	P _{SE(STRATO)}	PSE	PSTRATO
SE001	2	2	3	2	2	2

Tabella 48: Probabilità esplosione

Per la determinazione del danno *D* ricordando che:

$$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{EXP} + I_S + F_C$$

dove:

 $CL_{ZONA} = Classificazione della zona$

 $L_{ESP} = Presenza di lavoratori esposti$

 K_{EXP} = Fattore di esplodibilità dell'atmosfera

 I_S = Indice relativo allo spessore degli strati di polvere

 F_C = Fattore di confinamento

Si riassumono i risultati in Tabella 49:

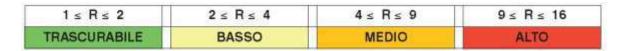
Sigla SE	CL _{ZONA}	L _{ESP}	K _{ESP}	Is	F _C	D
SE001 _{SE}	1	0,25	0	0	0,25	1,5
SE001 _{STRATO}	0,5	0,25	0	0	0,25	1

Tabella 49: Danno esplosione

In fine si valuta e calcola l'entità del Rischio moltiplicando i valori di D e di P ottenuti, sia per l'emissione che per lo strato, tenendo presente gli intervalli descritti nel capitolo 7, ottenendo un Rischio Basso nel primo caso e un Rischio Trascurabile nel secondo:

$$R = P \cdot D = 2 \cdot 1,5 = 3$$

 $R = P \cdot D = 2 \cdot 1 = 2$



Al fine delle misure di protezione e prevenzione da adottare, ne consegue che gli interventi di adeguamento corrispondenti al presente livello di priorità possono essere programmati nel tempo in funzione della fattibilità degli stessi.

9. CONCLUSIONI

Nonostante i grandi passi avanti fatti nell'ambito della Sicurezza nei Luoghi di Lavoro nell'ultimo decennio, la valutazione dei Rischi racchiude in se una serie di incertezze inevitabili che, fanno si che spesso nel mondo si verifichino incidenti legati ad esplosioni causate da atmosfere esplosive.

Questo aspetto è risultato ancor più evidente in ambito ATEX da polveri in quanto, come detto più volte, non è possibile generalizzare ed uniformare certe informazioni relative alle caratteristiche del materiale trovate ad esempio sul web, anche se frutto di test mirati e specifici. Per avere una visione completa e il più possibile veritiera dei possibili scenari di rischio che possono verificarsi, bisognerebbe infatti simulare e riprodurre al meglio le condizioni dell'ambiente che si va ad analizzare.

Quindi il Rischio di esplosione, come avviene per il Rischio incendio, è uno di quelli che non può essere del tutto annullato e sempre in agguato.

I danni e le conseguenze dovute a un'esplosione, su cose e/o persone, possono essere ben più gravi di quanto si possa immaginare, per questo motivo la prudenza e la scrupolosità delle misure di prevenzione e protezione non devono essere mai sottovalutate, anche non badando a spese.

Un continuo monitoraggio e controllo da parte delle aziende che lavorano con materiali anche apparentemente non infiammabili o esplodibili è strettamente necessario per essere sempre al corrente di eventuali aggiornamenti delle caratteristiche chimico-fisiche.

Negli ultimi paragrafi si è visto come la procedura indicizzata INAIL risulti essere più precauzionale rispetto a quella CCPS. In quest'ultima infatti, nonostante sia stata studiata solo per gas e vapori, la probabilità di innesco è risultata essere quasi nulla, grazie ad un ambiente moderatamente confinato come quello della cabina di fresa e dalla quasi improbabile possibilità che i pannelli in resina da lavorare siano assemblati tramite elementi metallici.

Ne consegue che, un adeguato impianto di aspirazione conforme alle direttive

ATEX, correlato da un piano di pulizia ordinario e sistematico al fine di evitare la formazione di strati di polvere potenzialmente pericolosi, è largamente sufficiente per ridurre al minimo il Rischio esplosione.

RINGRAZIAMENTI

Questi due anni e mezzo sono risultati fondamentali per la mia crescita personale, professionale e soprattutto umana. Stare lontano da casa, dalle proprie abitudini, dai propri luoghi di riflessione, dalla gente con cui sei cresciuto, dal mare, mi ha fatto riscoprire un amore per la mia terra che non pensavo di avere così accentuato. Spesso capita di pensare che l'erba del vicino sia sempre la più verde, concentrandoci inevitabilmente su quello che non si ha e che si vorrebbe avere e perdendo di vista la bellezza e il valore delle cose che abbiamo. Se si prende consapevolezza di questo, la felicità è a portata di mano.

Per tanti motivi resteranno anni impressi, particolari, diversi, difficili ed ovviamente a tutto questo hanno contribuito, per mia fortuna, tantissime persone.

Professionalmente, un doveroso ringraziamento alla Prof.ssa Demichela, la mia relatrice, per la fiducia conferitami dal momento che ho deciso di trattare un argomento non proprio in linea con il mio corso di Laurea, ma in cui ho voluto cimentarmi per arricchire il mio bagaglio culturale. Grazie a lei ho avuto anche la possibilità di svolgere il mio tirocinio curriculare in un'azienda di livello mondiale come Italdesign Giugiaro, in cui ho tastato con mano la realtà aziendale e la quale ringrazio di conseguenza. Quindi grazie ad Emanuele Peyron, il mio tutor aziendale, persona squisita e preparatissima e a tutto lo staff dell'ente HSE che ha fatto sempre in modo di farmi sentire a casa fin dal primo giorno.

Grazie ai miei genitori, punti cardini della mia vita, per i sacrifici di ogni genere fatti in tutti questi anni e per avermi sempre dato la libertà di scegliere da solo quello che fosse più giusto per me, senza pressioni.

A mia sorella Claudia, il mio bagno di autostima preferito nei momenti più duri.

Grazie a Giorgio, Paola, Giulia B., Ilaria, Isa, Serena, Claudio, Giulia P., compagni di percorso e persone fantastiche, che hanno reso questa permanenza a Torino indimenticabile e in cui ho trovato dei veri amici.

Grazie a Martina, Daniele e Andrea, i coinquilini peggiori sulla faccia della terra.

Grazie ai miei amici di sempre, che mi sono stati vicino anche se lontani, i quali anno dopo anno diventano sempre più una seconda famiglia: Tatiana, Alessia, Mirko, Simone, Nino, Peppe, Stefania, Marco, Ivan, Alberto, Luca, Tommaso, Federica, Giulia.

Ed infine, un grazie particolare a chi in quest'ultimo periodo non mi ha apprezzato a pieno, facendomi soffrire e rendendo tutto più tortuoso, perché in fondo anche per questo sono la persona che sono oggi.

A cui vorrei dire solo una cosa: "Alla fine, CE L'HO FATTA!"

Ognuno dovrebbe voler bene se stesso un po' di più!

BIBLIOGRAFIA

- Marzio Marigo, Rischio atmosfere esplosive ATEX. Classificazione, valutazione, prevenzione e protezione, III edizione, Milano, Wolters Kluwer Italia, 2017.
- D.lgs. 81/2008 e smi "Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro", Titolo XI.
- Norma UNI EN 14034-1 Determinazione delle caratteristiche di esplosione di nubi di polvere. Parte 1: Determinazione della pressione massima di esplosione di nubi di polvere.
- B. Basso, F. Bellamino, G. Carpegna, M. Alviano, S. Iannello e G.M. Sai, *La prevenzione delle esplosioni da polvere. Caso studio: le attività molitorie*, Torino, www.arpa.piemonte.it, 2015.
- Fabio Pera, Massimo Giuffrida, Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE, Milano, Tipolitografia INAIL, 2013.
- Ing. Michele Saracino, Esplosioni da polvere, www.ordingtaranto.it/wp-content/uploads/downloads/tematiche/818//ESPLOSIONI%20DA%20POLV ERE%20-%20rev2.pdf, Direzione Regionale VVF Puglia, Self Publishing.
- Norma UNI ISO 80079-36, Explosive atmospheres, Parte 36: Attrezzature non elettriche per atmosfere esplosive.
- Norma UNI EN 1127-1:2007, Explosive atmospheres Explosion prevention and protection, Parte 1: Basic concepts and methodology.
- Norma UNI EN 26184-1, Sistemi di protezione contro le esplosioni., Parte 1:
 Determinazione degli indici di esplosione di polveri combustibili in aria.
- CEI 31-56, Costruzioni per atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili. Guida all'applicazione della norma CEI EN 61241-10 (CEI 31-66) "Classificazione delle aree dove sono o possono essere presenti polveri esplosive".
- CEI EN 61241-10, Costruzioni elettriche destinate ad essere utilizzate in presenza di polveri combustibili. Parte 10: Classificazione delle aree dove sono o possono essere presenti polveri combustibili.

ALLEGATI



POLITECNICO DI TORINO DIPARTIMENTO DI SCIENZA APPLICATA E TECNOLOGIA

Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle

Atmosfere Esplosive C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (Italy)

Report #: 119/14

Screening di infiammabilità ed esplosività di materiali polverulenti

Per: ITALDESIGN - GIUGIARO S.p.A.

VIA ACHILLE GRANDI 25

10024 MONCALIERI (TORINO) • ITALY,

Contatto: Emanuele Peyron, e-mail: emanuele.peyron@italdesign.it

Preparato da: Luca Marmo

(Direttore del Centro)

10 Ottobre 2014

Centro Sperimentale per la Sicurezza	Contatti:
Industriale sulle Atmosfere Esplosive	+39 011 0904697
Presso Politecnico di Torino	+39 339 1531629
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino	luca.marmo@polito.it

Sommario

Questo report descrive i metodi d'indagine applicati a un campione di materiale di natura solida particellare fornito da ITALDESIGN-GIUGIARO S.p.A. al fine di stabilire se esso è potenzialmente in grado di provocare un'esplosione.

Il test descritto nel presente report prevede un risultato positivo/negativo, inteso a individuare i campioni pericolosi. Non è un test inteso a determinare il valore numerico dei parametri deflagranti.

Il test si compone delle seguenti prove:

- determinazione dell'umidità.
- determinazione del diametro corrispondente al decimo, cinquantesimo e novantesimo percentile e della frazione inferiore a 75μm mediante diffrazione laser a secco o, se non applicabile, setacciatura.
- osservazione morfologica al microscopio ottico.
- prova d'innesco in nube ad alta temperatura mediante forno Godbert Greenwald (GG).
- Prova d'innesco in strato ad alta temperatura mediante piastra riscaldante.
- Prova d'innesco in nube a temperatura ambiente mediante arco elettrico continuo.
- Prova d'innesco in nube a temperatura ambiente mediante filo caldo.

I campioni sono stati recapitati in data 22/09/2014 di persona presso il laboratorio.

In questo rapporto sono discusse le metodologie, le ipotesi metodologiche, gli esiti dei test.

Tavola dei contenuti

1		Obiettivi	4
2		Materiali	7
3		Metodi	8
	3.1	Determinazione dell'umidità	8
	3.2	Determinazione delle dimensioni del campione	8
	3.3	Determinazione morfologica al microscopio ottico	8
	3.4	prova d'innesco in nube ad alta temperatura mediante forno Godbert Greenwald (Forno GG)	8
	3.5	Prova d'innesco in strato ad alta temperatura mediante piastra riscaldante	9
	3.6	$Prova\ d'innesco\ in\ nube\ a\ temperatura\ ambiente\ mediante\ arco\ elettrico\ continuo\ .$	9
	3.7	Prova d'innesco in nube a temperatura ambiente mediante filo caldo	9
4		Risultati1	
	4.1	Campione "119_14"	0
5		Discussione e raccomandazioni	2
	5.1	Raccomandazioni	2
6		Allegati1	.3

1 Obiettivi

Questo test ha l'obiettivo di stabilire se una polvere possa risultare infiammabile e pertanto presentare o meno un pericolo di esplosione. Il campione è sottoposto ad una serie di test d'innesco in condizioni particolarmente critiche:

- 1. superficie calda, campione disperso in nube (Forno Godbert Greenwald, 800 °C),
- 2. superficie calda, campione in strato (piastra, 400 °C),
- 3. dispersione in nube in tubo di Hartmann ed innesco mediante filo caldo (≈850 °C),
- 4. dispersione in nube in tubo di Hartmann ed innesco mediante arco elettrico continuo.

Ogni singola prova è effettuata a diverse concentrazioni di polvere (ad eccezione della seconda perché non applicabile). Per ogni condizione di ciascuna prova è effettuato un numero di tentativi tale da fornire una adeguata base statistica.

Il campione è sottoposto a esame morfologico che consiste in determinazione dimensionale mediante diffrattometria laser per la determinazione del decimo, cinquantesimo e novantesimo percentile e della frazione minore di 75 µm. Nel caso in cui il campione abbia una natura tale da non poter essere trattato al granulometro laser (p.es. campioni fibrosi e/o spiccatamente flocculanti, frazione superiore a 1000 µm) le frazioni sopra indicare sono determinate per setacciatura. Il campione è inoltre sottoposto ad esame visivo al microscopio ottico a trasmissione.

Quando anche solo un test tra quelli di cui ai punti 1 e 2 dia risultato positivo (con riferimento alla definizione contenuta nella rispettiva norma tecnica di riferimento), il campione è classificato come "infiammabile ad alta temperatura".

Quando anche solo un test tra quelli di cui ai punti 3 e 4 dia risultato positivo, il campione è classificato come "infiammabile a temperatura ambiente".

Qualora nessuna prova dia esito positivo il campione è definito "non infiammabile" (NI).

Le caratteristiche di infiammabilità di polveri, vapori o gas dipendono essenzialmente da 3 famiglie di parametri che determinano il livello di pericolo che il materiale comporta:

- 1. Infiammabilità: capacità del materiale di bruciare e in quali condizioni,
- 2. Sensibilità all'innesco: energia e/o temperatura necessaria per l'innesco,

_

¹ Automaticamente ciò comporta che il campione è anche infiammabile ad alta temperatura.

3. Conseguenze all'innesco: tipo e velocità di combustione, sviluppo di pressione durante l'esplosione.

Le caratteristiche di infiammabilità di gas o liquidi sono facilmente reperibili in letteratura, almeno per le specie di più largo utilizzo. Al contrario le informazioni relative alla polveri sono meno affidabili, in quanto, sebbene vi siano ampie banche dati, le caratteristiche fisiche e morfologiche (dimensione delle particelle, forma, contenuto di umidità, ecc.) influenzano in modo marcato le caratteristiche di infiammabilità.

È pertanto opportuno misurare i parametri delle polveri di processo. L'utilizzo di dati più generici può potenzialmente risultare pericoloso.

Il pericolo conseguente alla manipolazione di una sostanza polverulenta è definito dai seguenti parametri e relativi test.

1. Caratterizzazione dell'infiammabilità: La maggior parte delle polveri trattate dall'industria derivano da materiali combustibili o comunque ossidabili (sostanze organiche, molti metalli). Queste polveri possono potenzialmente risultare combustibili, specialmente quando dispersi in forma di nube in aria oppure se depositati in strato.

Al fine di determinare se ciò avviene è possibile sottoporre il materiale alla classificazione d'infiammabilità (quella relativa al presente report). Questa prova permetter di determinare se il materiale sia capace di formare una nube di polvere infiammabile ad alta temperatura o a temperatura ambiente.

- 2. Sensibilità all'innesco: la determinazione della sensibilità all'innesco permette di comprendere quali fonti d'innesco siano in grado d'innescare una nube di una data polvere infiammabile. Le fonti d'innesco possono essere svariate. Tra le più comuni: arco elettrico, elettricità statica, alta temperatura, attrito o urto. Al fine di individuare quali fonti d'innesco debbano essere eliminate laddove si manipola una data polvere, si può ricorrere ai seguenti test:
 - a) Energia Minima di innesco (MIE): Indica la minima energia che deve sviluppare un arco elettrico o una scarica elettrostatica al fine di innescare una nube di polvere.
 - b) Temperatura minima di innesco in nube (MIT_C): Indica la massima temperatura che una superficie può raggiungere senza che questa possa provocare l'innesco di una nube di una data polvere. Ha rilievo in

- particolare laddove l'impiantistica possa far si che esistano superfici calde, per esempio per la presenza di impianti e apparecchi elettrici.
- c) Temperatura minima di innesco in strato (MIT_L): Analoga alla precedente, ma generalmente assume valori differenti. Indica la massima temperatura che una superficie può raggiungere senza che questa possa provocare l'innesco di uno strato di polvere depositato. Si effettua generalmente su strati da 5 o 12.5mm).
- 3. Conseguenze dell'innesco: la gravità di un esplosione dipende naturalmente dalla quantità di materiale coinvolta e dalla conformazione degli ambienti in cui questa avviene (volumi, geometrie, congestione) ma anche largamente, da due proprietà intrinseche della polvere stessa, ossia la massima pressione e la massima velocità di aumento della pressione (Pmax e k_{st}). Entrambi questi parametri si determinano mediante l'apparecchiatura a sfera da 20 l. questi parametri sono la base di progetto indispensabile per il dimensionamento di molti sistemi di protezione quali i sistemi di soppressione quelli di sfogo.
- 4. Classificazione delle aree. Le aree classificate ATEX sono quelle dove è possibile il sussistere, a vario grado di probabilità, di un'atmosfera infiammabile. Nel caso delle polveri ciò avviene quando la concentrazione può superare il Limite Inferiore d'Infiammabilità (LEL). Questo parametro è determinabile mediante l'apparecchiatura a sfera da 20 l (Sfera di Siwek) ed è fondamentale per la definizione delle aree classificate.

Anche nel caso di materiali solidi di cui è nota la stabilità termica, i test di screening sono raccomandati per determinare se ci sia o meno qualche effettivo rischio relativo alle specifiche condizioni del materiale alle condizioni di processo. Qualora lo screening identifichi un rischio specifico, è raccomandabile condurre prove mirate al fine di identificare con certezza le condizioni alle quali il pericolo insorge.

A tale scopo, alla luce dell'esatta conoscenza degli ambienti, dell'impianto e delle operazioni, è possibile ricorrere ad uno o più dei test specifici indicati ai punti da 2 a 4 al fine di identificare con precisione il pericolo, stimare il livello di rischio e definire le misure di prevenzione e protezione tali da minimizzare i rischi del processo.

2 Materiali

Il materiale da sottoporre a prova è una polvere che origina dagli scarti di lavorazione di una macchina fresatrice per modelli in scala 1:1.

Il materiale è stato campionato a cura ITALDESIGN-GIUGIARO e recapitato a mani. Esso è contenuto in un sacco di plastica trasparente. Nella Tabella seguente sono indicati la denominazione cliente e la denominazione interna.

Tabella 1: Denominazione campione.

Campione (rif. Cliente)	Campione (Rif, interno)	Note
	119_14	

Il campione 119_14 è di colore rosa pastello, costituito da una matrice pulverulenta predominante di natura poliuretanica, particelle a forma pseudo sferica di natura probabilmente polimerica e particelle disomogenee di dimensioni più consistenti (costituenti il sopravaglio a 2000 um) di natura probabilmente cellulosica. Esso è costituito da una miscela di materiali polverulenti di cui ITALDESIGN-GIUGIARO ha fornito le schede di sicurezza.

Il materiale contiene una ridotta quantità di aggregati e/o particelle più grossolane che si separano come sopravaglio a 500 µm. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso.



3 Metodi

Metodi e procedure sono conformi ad UNI EN ISO 17025 (2005).

Metodi apparecchi e procedure impiegati per il test di screening sono definiti dalla

Istruzione di Lavoro I.L. 07 rev. 0 2013 salvo laddove diversamente specificato.

Tutte le norme richiamate nel presente report sono da intendersi nella revisione

corrente salvo laddove diversamente specificato.

3.1 DETERMINAZIONE DELL'UMIDITÀ

L'umidità è determinata secondo il metodo ISO 562:2010, per via gravimetrica

portando a peso costante una porzione di campione in stufa ad una temperatura tale da

non alterare il campione stesso.

3.2 DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DEL CAMPIONE

Questa prova è generalmente effettuata mediante Granulometro Laser Malvern

2000E (Malvern Mastersizer MS2000E, s/n MAL1070280, versione software 5.6) con

dispersore a secco di tipo venturi (Scirocco), secondo la I.L. 8 rev. 01 2013. Lo strumento

ha campo di misura 0.01-1000 µm.

Taluni campioni non possono essere trattati con questa metodologia. In particolare si

tratta dei campioni con spiccata tendenza a formare aggregati di tipo fibroso non

disperdibili nemmeno mediante getto d'aria e quelli formati da particelle di forma molto

differente da quella sferica (fibre, dischi, ecc.).

3.3 DETERMINAZIONE MORFOLOGICA AL MICROSCOPIO OTTICO.

La prova è effettuata mediante microscopio ottico a trasmissione secondo la I.L. 10

rev. 0 2013.

3.4 PROVA D'INNESCO IN NUBE AD ALTA TEMPERATURA MEDIANTE FORNO

GODBERT GREENWALD (FORNO GG)

La prova è effettuata disperdendo il campione in nube in un forno verticale mediante

getto di aria compressa. Nel caso del test di screening la prova è effettuata alla

temperatura di 800°C, iniettando pesi diversi di campione (0.1, 0.3, 0.5 g) per simulare

Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle Atmosfere Esplosive

diverse concentrazioni in aria. Il test è ripetuto 5 volte per ciascuna condizione, a meno

che si verifichi un innesco. L'innesco è definito come da CEI EN 50281-2-1 Met. B.

3.5 PROVA D'INNESCO IN STRATO AD ALTA TEMPERATURA MEDIANTE PIASTRA

RISCALDANTE

La prova è effettuata su piastra riscaldante con superficie in Alluminio alla

temperatura di 400 °C, disponendo il campione in strato all'interno di un anello di altezza

pari a 12.5 mm.

Un sistema di controllo e acquisizione dati consente di monitorare la temperatura del

campione e della piastra. la prova è ripetuta 3 volte a meno di osservare l'innesco del

campione. L'innesco è definito come da CEI EN 50281-2-1 Met. A.

PROVA D'INNESCO IN NUBE A TEMPERATURA AMBIENTE MEDIANTE ARCO 3.6

ELETTRICO CONTINUO

La prova è effettuata in tubo di Hartmann modificato, di volume pari a 1.21, in vetro.

Il campione è sospeso nel tubo mediante un getto d'aria compressa, a formare una nube

nell'area dove insiste un arco elettrico continuo generato tra due elettrodi metallici.

La prova è ripetuta sospendendo diversi quantitativi di campione a simulare diverse

concentrazioni. Ad ogni condizione il test è ripetuto 5 volte a meno di osservare un

innesco.

PROVA D'INNESCO IN NUBE A TEMPERATURA AMBIENTE MEDIANTE FILO 3.7

CALDO

La prova è effettuata in tubo di Hartmann modificato, di volume pari a 1.21, in vetro.

Il campione è sospeso nel tubo mediante un getto d'aria compressa, a formare una nube

nell'area dove è situato un filamento metallico riscaldato mediante passaggio di corrente

elettrica.

La prova è ripetuta sospendendo diversi quantitativi di campione a simulare diverse

concentrazioni. Ad ogni condizione il test è ripetuto 5 volte a meno di osservare un

innesco.

4 Risultati

I risultati del test sono contenuti nei rapporti di prova allegati e sono commentati nel seguito.

4.1 CAMPIONE "119 14".

Il campione è composto da una matrice predominante di particelle di natura regolare e con scarsa tendenza all'aggregazione. Si presenta di colore rosa, con attitudine a disperdere in aria le frazioni più fini.

Il materiale contiene una modesta quantità di particelle di dimensione superiore ai 500 µm, che vengono separate mediante setacciatura a secco è rimosse. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso. La morfologia del sottovaglio a 500µm consente la determinazione per via granulometrica mediante misura laser. I risultati sono riassunti nella Tabella 2.

Tabella 2: Distribuzione granulometrica, campione 119 14 su frazione <500 µm

Misura me	diante setacciatura	
Percentile, %		Diametro, μm
90		489.85
50		170.77
10		36.51

L'umidità è pari al 11.1% in peso.

Il sottovaglio a 75 μm è pari al 20.6 % peso².

Nella Tabella 3 sono riassunti gli esiti delle varie prove del test di screening. Il test è stato effettuato sul sottovaglio a 500 µm del campione tal quale, in ragione dell'alto tenore di umidità misurato.

Tabella 3: Screening d'infiammabilità su frazione <500 µm. I: Innesco, NI, nessun innesco, n.a.: non applicabile (p.es. perché già verificato un innesco in test precedenti della stessa tipologia

Bassa temperatura					
Test	1° prova	2° prova	3° prova	4° prova	5° prova
Hartmann, arco continuo, 0.3g	NI	NI	NI	NI	NI
Hartmann, arco continuo, 0.5g	Dubbio	I	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, arco continuo, 1.0g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, filo caldo, 0.3g	I	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, filo caldo, 0.5g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Hartmann, filo caldo, 1.0g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

 $^{^{2}}$ Percentuale riferita alla frazione inferiore a 500 μ m.

Alta temperatura							
Test	1° prova	2° prova	3° prova	4° prova	5° prova		
GG 0.1 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
GG 0.3 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
GG 0.5 g	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
Test	1° 1	prova	2° prova	3°	prova		
Piastra 12.5 mm n		ı.a.	n.a.		n.a.		



5 Discussione e raccomandazioni

I risultati del test di screening hanno dimostrato che il campione 119_14 è da

classificarsi come "Esplodibile a temperatura ambiente".

Esso deve pertanto essere ritenuto capace di dar luogo ad atmosfere esplosive

quando disperso in ambiente in forma di nube a temperatura ambiente o ad alta

temperatura.

5.1 RACCOMANDAZIONI

I risultati dei test sono ampiamente influenzati dalla composizione e dallo stato fisico

del campione. Molte variabili influenzano i risultati dei test di esplosività/infiammabilità

delle polveri, ad esempio la distribuzione granulometrica, il contenuto di umidità, la

forma delle particelle, lo stato di ossidazione superficiale, il metodo di preparazione.

Per questo qualunque modifica del processo di fabbricazione o manipolazione o

nella composizione del materiale dovrebbe richiedere una revisione dei dati salienti.

I test condotti a temperatura ambiente dimostrano come in presenza di sorgenti

d'innesco energetiche, con i sistemi di dispersione del campione previsti dalla norme di

riferimento per le misure in tubo di Hartmann modificato (UNI 13821:2004), il materiale

risulta infiammabile. Le sorgenti d'innesco utilizzate in questo studio (arco elettrico

continuo e filamento caldo) sono tali da rappresentare i livelli energetici della maggior

parte degli inneschi che comunemente possono avvenire durante la manipolazione dei

materiali. Non è escluso che inneschi meno energetici, quali scariche elettrostatiche,

possano innescare il materiale.

Quanto contenuto in questo report si basa esclusivamente sui dai raccolti dai

campioni esaminati e quindi non sostituisce una analisi di rischio d'esplosione del

processo/impianto da cui i campioni provengono. Il lavoro di test dovrebbe essere

complementare ad una dettagliata analisi dei pericoli e conseguente valutazione dei rischi

ATEX, che comprenda la classificazione delle aree, la definizione delle opportune misure

di prevenzione e protezione e di una politica di revisione continua atta a verificare che

adeguate condizioni di sicurezza siano mantenute nel tempo.

6 Allegati

Rapporto di prova N° 119_14





POLITECNICO DI TORINO DIPARTIMENTO DI SCIENZA APPLICATA E TECNOLOGIA

Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle

Atmosfere Esplosive C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (Italy)

Report #: 124/14

Classificazione ST di materiali polverulenti

Per: ITALDESIGN - GIUGIARO S.p.A.
VIA ACHILLE GRANDI 25
10024 MONCALIERI (TORINO) ITALY,

Contatto: Emanuele Peyron, e-mail: emanuele.peyron@italdesign.it

Preparato da:

Luca Marmo (Direttore del Centro)

03 Dicembre 2014

Centro Sperimentale per la Sicurezza
Industriale sulle Atmosfere Esplosive
Presso Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
Contatti:
+39 011 0904697
+39 339 1531629
| uca.marmo@polito.it

Sommario

Questo report descrive la caratterizzazione di un campione di materiale di natura solida particellare fornito da ITALDESIGN-GIUGIARO S.p.A. mediante la misura di alcuni parametri deflagranti, ossia la massima pressione di esplosione (P_{max}), la violenza dell'esplosione (Kst).

Il report contiene, i metodi d'indagine applicati, i risultati delle misure di P_{max} e K_{st} AIT e la classificazione ST.

Il test si compone delle seguenti prove:

- determinazione dell'umidità.
- determinazione della frazione inferiore a 75μm e a 500μm mediante diffrazione laser a secco o, se non applicabile, setacciatura.
- Misura della *Pmax* e del *Kst* in autoclave da 20 l (sfera di Siwek) secondo UNI EN 14034-1 e 2:2006.

I campioni sono stati recapitati in data 22/09/2014 di persona presso il laboratorio per l'esecuzione preliminare del test di screening di cui al Report. N° 119/14.

In questo rapporto sono discusse le metodologie, le ipotesi metodologiche, gli esiti dei test.

Tavola dei contenuti

1		Obiettivi4
2		Materiali
3		Metodi8
	3.1	Determinazione dell'umidità
	3.2	Determinazione delle dimensioni del campione
	3.3	Determinazione di P_{max} , K_{st} e classificazione ST in autoclave da 20 l (Sfera di Siwek) 8
4		Risultati11
	4.1	Campione "124_14"
5		Discussione e raccomandazioni
	5.1	Raccomandazioni
6		Allegati

1 Obiettivi

Questa rapporto è relativo alla misura della P_{max} , del K_{st} e della *classe ST* di un campione di polvere.

La classificazione *ST* può essere utilizzata per valutare l'adeguatezza dei sistemi di protezione dalle esplosioni dell'impianto di abbattimento stesso. Questa valutazione non è obiettivo del presente report.

Questa indagine si compone di:

a) Misura di *Pmax*, *Kst* e valutazione della *classe ST*

La fase a) è descritta nel seguito del presente report. È stata effettuata presso i laboratori CSSIAEx del Politecnico di Torino secondo UNI EN 14034-1 e 2:2006.

Il campione è stato inoltre sottoposto a esame morfologico che consiste in determinazione dimensionale mediante setacciatura e/o diffrattometria laser.

Le caratteristiche di infiammabilità di polveri, vapori o gas dipendono essenzialmente da 3 famiglie di parametri che determinano il livello di pericolo che il materiale comporta:

- 1. Infiammabilità: capacità del materiale di bruciare e in quali condizioni,
- 2. Sensibilità all'innesco: energia e/o temperatura necessaria per l'innesco,
- 3. Conseguenze all'innesco: tipo e velocità di combustione, sviluppo di pressione durante l'esplosione.

Le caratteristiche di infiammabilità di gas o liquidi sono facilmente reperibili in letteratura, almeno per le specie di più largo utilizzo. Al contrario le informazioni relative alla polveri sono meno affidabili, in quanto, sebbene vi siano ampie banche dati, le caratteristiche fisiche e morfologiche (dimensione delle particelle, forma, contenuto di umidità, ecc.) influenzano in modo marcato le caratteristiche di infiammabilità.

È pertanto opportuno misurare i parametri delle polveri di processo. L'utilizzo di dati più generici può potenzialmente risultare pericoloso.

Il pericolo conseguente alla manipolazione di una sostanza polverulenta è definito dai seguenti parametri e relativi test.

1. Caratterizzazione dell'infiammabilità: La maggior parte delle polveri trattate dall'industria derivano da materiali combustibili o comunque ossidabili (sostanze organiche, molti metalli). Queste polveri possono potenzialmente risultare combustibili, specialmente quando dispersi in forma di nube in aria oppure se depositati in strato.

Al fine di determinare se ciò avviene è possibile sottoporre il materiale alla classificazione d'infiammabilità. Questa prova permette di determinare se il materiale sia capace di formare una nube di polvere infiammabile ad alta temperatura o a temperatura ambiente.

- 2. Sensibilità all'innesco: la determinazione della sensibilità all'innesco permette di comprendere quali fonti d'innesco siano in grado d'innescare una nube di una data polvere infiammabile. Le fonti d'innesco possono essere svariate. Tra le più comuni: arco elettrico, elettricità statica, alta temperatura, attrito o urto. Al fine di individuare quali fonti d'innesco debbano essere eliminate laddove si manipola una data polvere, si può ricorrere ai seguenti test:
 - a) Energia Minima di innesco (MIE): Indica la minima energia che deve sviluppare un arco elettrico o una scarica elettrostatica al fine di innescare una nube di polvere.
 - b) Temperatura minima di innesco in nube (MIT_C): Indica la massima temperatura che una superficie può raggiungere senza che questa possa provocare l'innesco di una nube di una data polvere. Ha rilievo in particolare laddove l'impiantistica possa far si che esistano superfici calde, per esempio per la presenza di impianti e apparecchi elettrici.
 - c) Temperatura minima di innesco in strato (MIT_L): Analoga alla precedente, ma generalmente assume valori differenti. Indica la massima temperatura che una superficie può raggiungere senza che questa possa provocare l'innesco di uno strato di polvere depositato. Si effettua generalmente su strati da 5 o 12.5mm).
- 3. Conseguenze dell'innesco: la gravità di un esplosione dipende naturalmente dalla quantità di materiale coinvolta e dalla conformazione degli ambienti in cui questa avviene (volumi, geometrie, congestione) ma anche largamente, da due proprietà intrinseche della polvere stessa, ossia la massima pressione e la massima velocità di aumento della pressione (P_{max} e k_{st}). Entrambi questi parametri si determinano mediante l'apparecchiatura a sfera da 20 l. questi parametri sono la base di progetto indispensabile per il dimensionamento di molti sistemi di protezione quali i sistemi di soppressione quelli di sfogo.

4. Classificazione delle aree. Le aree classificate ATEX sono quelle dove è possibile il sussistere, a vario grado di probabilità, di un'atmosfera infiammabile. Nel caso delle polveri ciò avviene quando la concentrazione può superare il Limite Inferiore d'Infiammabilità (LEL). Questo parametro è determinabile mediante l'apparecchiatura a sfera da 20 l (Sfera di Siwek) ed è fondamentale per la definizione delle aree classificate.

Anche nel caso di materiali solidi di cui è nota la stabilità termica, i test di screening sono raccomandati per determinare se ci sia o meno qualche effettivo rischio relativo alle specifiche condizioni del materiale alle condizioni di processo. Qualora lo screening identifichi un rischio specifico, è raccomandabile condurre prove mirate al fine di identificare con certezza le condizioni alle quali il pericolo insorge.

A tale scopo, alla luce dell'esatta conoscenza degli ambienti, dell'impianto e delle operazioni, è possibile ricorrere ad uno o più dei test specifici indicati ai punti da 2 a 4 al fine di identificare con precisione il pericolo, stimare il livello di rischio e definire le misure di prevenzione e protezione tali da minimizzare i rischi del processo.

2 Materiali

Il materiale da sottoporre a prova è una polvere che origina dagli scarti di lavorazione di una macchina fresatrice per modelli in scala 1:1.

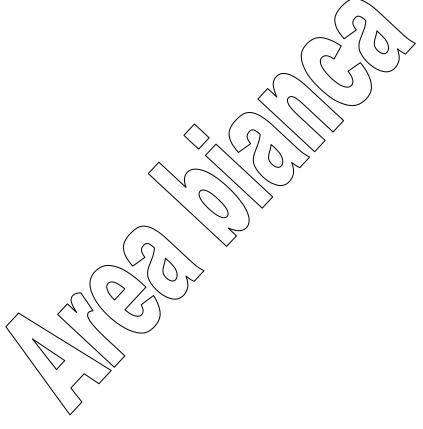
Il materiale è stato campionato a cura ITALDESIGN-GIUGIARO e recapitato a mani. Esso è contenuto in un sacco di plastica trasparente. Nella Tabella seguente sono indicati la denominazione cliente e la denominazione interna.

Tabella 1: Denominazione campione.

Campione (rif. Cliente)	Campione (Rif, interno)	Note
	124_14	

Il campione 124_14 è di colore rosa pastello, costituito da una matrice pulverulenta predominante di natura poliuretanica, particelle a forma pseudo sferica di natura probabilmente polimerica e particelle disomogenee di dimensioni più consistenti (costituenti il sopravaglio a 2000 um) di natura probabilmente cellulosica. Esso è costituito da una miscela di materiali polverulenti di cui ITALDESIGN-GIUGIARO ha fornito le schede di sicurezza.

Il materiale contiene una ridotta quantità di aggregati e/o particelle più grossolane che si separano come sopravaglio a 500 μm. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso.



.....

3 Metodi

Metodi e procedure sono conformi ad UNI EN ISO 17025.

Metodi apparecchi e procedure impiegati per il test di *Pmax*, *Kst* e classificazione *ST* sono definiti dalla UNI EN 14034-1 e 2:2006 salvo laddove diversamente specificato.

Tutte le norme richiamate nel presente report sono da intendersi nella revisione corrente salvo laddove diversamente specificato.

3.1 DETERMINAZIONE DELL'UMIDITÀ

L'umidità è determinata secondo il metodo ISO 562:2010, per via gravimetrica portando a peso costante una porzione di campione in stufa ad una temperatura tale da non alterare il campione stesso.

3.2 DETERMINAZIONE DELLE DIMENSIONI DEL CAMPIONE

Questa prova è generalmente effettuata mediante Granulometro Laser Malvern 2000E (Malvern Mastersizer MS2000E, s/n MAL1070280, versione software 5.6) con dispersore a secco di tipo venturi (Scirocco), secondo la I.L. 8 rev. 01 2013. Lo strumento ha campo di misura 0.01-1000 µm.

Taluni campioni non possono essere trattati con questa metodologia. In particolare si tratta dei campioni con spiccata tendenza a formare aggregati di tipo fibroso non disperdibili nemmeno mediante getto d'aria e quelli formati da particelle di forma molto differente da quella sferica (fibre, dischi, ecc.).

Dove non applicabile quanto sopra la caratterizzazione dimensionale è effettuata mediante setacciatura a secco o a umido (I.L. N 8 2013 Rev. 1)

3.3 DETERMINAZIONE DI P_{MAX} , K_{ST} E CLASSIFICAZIONE ST IN AUTOCLAVE DA 20 L (SFERA DI SIWEK)

La prova è effettuata secondo UNI EN 14034-1 e 2:2006. Il metodo prevede la dispersione del campione in nube in un'autoclave sferica (Kuhner, s.n. 100.001.979) del volume di 20 litri mediante getto di aria ad alta pressione (21 ATA). La corretta dispersione è garantita da un apposito ugello sito nella parte inferiore dell'autoclave (rebound nozzle). La prova è effettuata a temperatura ambiente, sospendendo quantitativi

diversi di campione (come definito da UNI EN 14034-1:2006) per ottenere diverse concentrazioni in aria. Questo allo scopo di individuare con certezza la concentrazione che massimizza la violenza d'esplosione (*Kst* massimo).

L'innesco è realizzato mediante due ignitori chimici (appositamente prodotti da Simexcontrol s.r.o., http://www.simexcontrol.cz) capaci di sviluppare un'energia totale pari a 10 kJ, a loro volta innescati mediante impulso elettrico generato dal sistema di controllo dell'apparecchio.

Il decorso dell'esplosione è monitorato mediante la misura e acquisizione dei valori di pressione in autoclave pressione effettuata mediante un sistema di acquisizione composto da due trasduttori di pressione ultra-rapidi (Kistler 701A) collegati ad un apposito sistema di acquisizione dati (KSEP 310, Kuhner). Un tipico andamento del tracciato P vs tempo è riprodotto nella Figura 1.

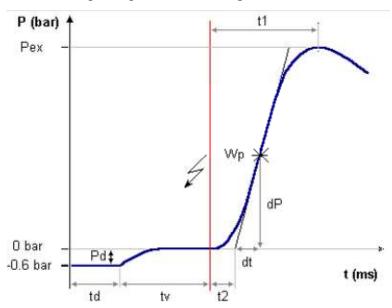


Figura 1: Esempio di tracciato pressione-tempo

La serie di dati è elaborata per la ricerca dei parametri caratteristici mediante software originale Kuhner (Ksep. 7.0).

Il valore di *Kst* dipende da numerosi fattori, tra cui sono rilevanti la concentrazione di polvere e il volume dell'apparecchio di prova. Per questo motivo esso è determinato sulla base della massima velocità di aumento di pressione, $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$, determinata in un intervallo di concentrazioni adeguato alle caratteristiche del campione in esame, corretto per tenere in considerazione il volume dell'apparecchio di prova.

Come noto questa correzione si effettua mediante la seguente relazione:

$$K_{st} = V^{1/3} \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$$

Dove V è il volume dell'apparecchio di prova, in m^3 .

La determinazione della *classe ST* è ottenuta in accordo con la tabella seguente

Tabella 2: Criteri di classificazione st.

Classe st	K_{st} [m bar s ⁻¹]
St1	0 <kst≤200< td=""></kst≤200<>
St2	200 <kst≤300< td=""></kst≤300<>
St3	Kst>300



Cantro Sparimentale par la Sigurazza Industriale

4 Risultati

I risultati del test sono contenuti nei rapporti di prova allegati e sono commentati nel seguito.

4.1 CAMPIONE "124 14".

Il campione è composto da una matrice predominante di particelle di natura regolare e con scarsa tendenza all'aggregazione. Si presenta di colore rosa, con attitudine a disperdere in aria le frazioni più fini.

Il materiale contiene una modesta quantità di particelle di dimensione superiore ai 500 µm, che vengono separate mediante setacciatura a secco e rimosse. Detta frazione costituisce il 16.4% in peso. La morfologia del sottovaglio a 500µm consente la determinazione per via granulometrica mediante misura laser. I risultati sono riassunti nella Tabella 3.

Tabella 3: Distribuzione granulometrica, campione 124 14 su frazione <500 µm

Misura mediante setacciatura	
Percentile, %	Diametro, μm
90	489.85
50	170.77
10	36.51

L'umidità è pari al 11.1% in peso.

Il sottovaglio a 75 μm è pari al 20.6 % peso¹.

I parametri deflagranti *Pmax* e *Kst* sono stati misurati mediante autoclave da 20 l (Sfera di Siwek, costruttore Kuhner, sn. 100.001.979) dotata di trasduttori di pressione ultra rapidi Kistler 701A e software d'interfaccia e acquisizione Ksep. 7.0.

Nella Tabella 4 sono indicati i parametri di misura, la procedura adottata è conforme a UNI EN 14034-1 e 2:2006.

Tabella 4: condizioni di misura per Pmax e Kst

Fluido di misura	Aria	
Temperatura	Ambiente	
Pressione in camera di prova	0.4 ATA	
Pressione in camera di dispersione	21 ATA	
Accenditori	2*5kJ, prodotti da Simex Control	
Tempo di ritardo	60 ms	

 $^{^{1}\,}$ Percentuale riferita alla frazione inferiore a 500 $\mu m.$

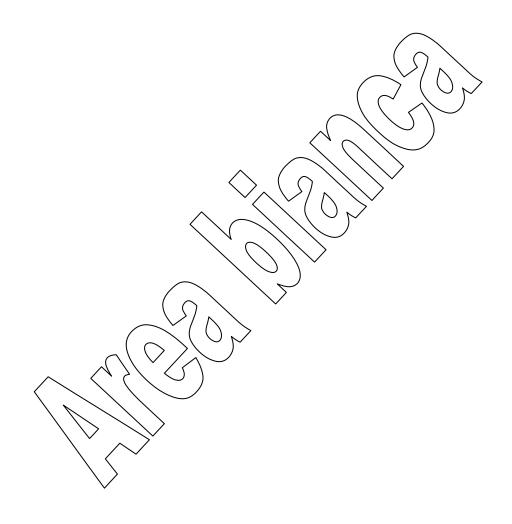
_

dispersore	Rebound nozzle
Massa campione	2,5, 5, 10, 15, 20 (125, 250, 500, 750, 1000 g/m ³)

I risultati della misura dei parametri deflagranti sono riassunti nella Tabella 5

Tabella 5: Risultati della misura di Pmax e Kst sul campione 124/14

Pmax	7,0 bar
Kst	146 bar*m/s
Classe ST	1



5 Discussione e raccomandazioni

I risultati dei test condotti in autoclave da 20l allo scopo di determinare la massima pressione di esplosione e la massima velocità di aumento della pressione hanno dimostrato che il campione è deflagrante, ossia in grado di provocare esplosioni a condizioni ambiente. Esso è da classificarsi in

Classe ST = 1

5.1 RACCOMANDAZIONI

I valori dei parametri deflagranti sono ampiamente influenzati dalla composizione e dallo stato fisico del campione. Molte variabili pertanto influenzano i risultati dei test di esplosività/infiammabilità delle polveri, ad esempio la distribuzione granulometrica, il contenuto di umidità, la forma delle particelle, lo stato di ossidazione superficiale, il metodo di preparazione.

Per questo qualunque modifica del processo di fabbricazione o manipolazione o nella composizione del materiale dovrebbe richiedere una revisione dei dati salienti.

Le metodiche di misura utilizzate sono quelle indicate dagli standard tecnici correnti.

Quanto contenuto in questo report si basa esclusivamente sui dati raccolti nel corso delle misure effettuate sul campione esaminato e quindi non sostituisce un'analisi di rischio d'esplosione del processo/impianto da cui i campioni provengono, nel suo complesso. Il lavoro di test dovrebbe essere complementare ad una dettagliata individuazione dei pericoli e conseguente valutazione dei rischi ATEX, che comprenda la classificazione delle aree, la definizione delle opportune misure di prevenzione e protezione e una politica di revisione continua, atta a verificare che adeguate condizioni di sicurezza siano mantenute nel tempo.

6 Allegati

Rapporto di prova N° 124_14





POLITECNICO DI TORINO

Dip. di Scienza Applicata e Tecnologia Centro Sperimentale per la Sicurezza Industriale sulle Atmosfere Esplosive tel: +39 011.090.4697 cell: +393391531629 CLIENTE: Italdesign Giugiaro s.p.a.

DATA

24-11-14

PAG. 1 di 1

RAPPORTO DI PROVA nº 124/14

DESCRIZIONE CAMPIONE

Campione di : Polveri

da Voi prelevato, a noi pervenuto in data 27/10/2014

Vostro riferimento : Campione di polveri di fresatura modelli - PUR - INTEGRAZIONE R.d.P. 119/14 del 10/10/14

PROVE		VALORE/ i.m.	UN. di MISURA	Data inizio Analisi Data fine Analisi	NOTE
Determinazione di:					
Pressione massima (Metodo: UNI EN 14034-1:2006)	(P max)	7.0	bar	29/10/2014 14/11/2014	
Kst (Metodo: UNI EN 14034-2:2006)		146	bar*m/s	29/10/2014 14/11/2014	
Classe st (Metodo: UNI EN 14034-2:2006)		1		29/10/2014 14/11/2014	

OSSERVAZIONI

s.s. = solido secco; i.m.= incertezza di misura; V.d.P.= Verbale di Prelievo

Tecnico Supervisore

Responsabile Laboratorio

Ing. Marmo Luca

Il presente rapporto di prova NON può essere riprodotto parzialmente

I risultati riportati sul presente rapporto sono rappresentativi del solo campione sottoposto a prova

L'incertezza di misura, ove indicata, è l'incertezza estesa calcolata con fattore di copertura K =2 con il 95% di confidenza

Mod 12.1 rev. 0



according to Regulation (EC) No 1907/2006

RAKU-TOOL SB-0470

Print date: 11.04.2013 Product code: SB-0470 Page 1 of 4

SECTION 1: Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking

1.1. Product identifier

RAKU-TOOL SB-0470

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture

model building material

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Company name: RAMPF Tooling GmbH & Co. KG

Street: Robert-Bosch-Str. 8-10
Place: D-72661 Grafenberg

Telephone: +49(0)7123-9342-1600 Telefax: +49(0)7123/93421666

e-mail:

1.4. Emergency telephone Emergency telephone: ++49 (0) 6132 / 84463 GBK Gefahrgut Buero GmbH,

number: Ingelheim

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Not classified as dangerous according to directive 1999/45/EEC

When milling: Risk of dust explosion.

2.2. Label elements

Additional advice on labelling

The product does not require a hazard warning label in accordance with EC directives/the relevant national laws.

SECTION 3: Composition/information on ingredients

3.1. Substances

Chemical characterization

Reactionproduct based on polyurethane

SECTION 4: First aid measures

4.1. Description of first aid measures

After inhalation

Take affected person into fresh air.

After contact with skin

Dust: Wash off with soap and plenty of water.

After contact with eyes

In case of contact with eyes rinse thoroughly with water. If eye irritation persists, consult a specialist.

SECTION 5: Firefighting measures

5.1. Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Any extinguishing means and measures are acceptable. Fire-extinguishing activities according to surrounding.



according to Regulation (EC) No 1907/2006

RAKU-TOOL SB-0470

Print date: 11.04.2013 Product code: SB-0470 Page 2 of 4

5.2. Special hazards arising from the substance or mixture

Nitrogen oxides (NOx), Carbon monoxide and carbon dioxide.

Under certain fire conditions traces of other toxic substances, such as hydrocyanic acid, cannot be

excluded.

SECTION 6: Accidental release measures

6.1. Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Dust may form explosive mixture in air. Keep away from sources of ignition - No smoking.

Avoid contact with eyes, skin or mucous membrane.

Do not breathe dust. Ensure adequate ventilation.

6.2. Environmental precautions

Do not discharge into the drains/surface waters/groundwater.

6.3. Methods and material for containment and cleaning up

Take up mechanically and collect in suitable container for disposal. Avoid dust formation.

SECTION 7: Handling and storage

7.1. Precautions for safe handling

Advice on safe handling

No special measures necessary if used correctly.

Avoid dust formation. Keep away from sources of ignition - No smoking.

7.2. Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Requirements for storage rooms and vessels

No special precautions required.

Advice on storage compatibility

Keep away from food, drink and animal feeding stuffs.

SECTION 8: Exposure controls/personal protection

8.1. Control parameters

8.2. Exposure controls

Occupational exposure controls

No specific precautions necessary.

Protective and hygiene measures

Dust may form explosive mixture in air. Keep away from sources of ignition - No smoking.

Respiratory protection

In case of dust formation wear micro dust mask.

Hand protection

Protective-gloves (dust-resistant)

Eye protection

Tightly fitting goggles (EN 166)

Skin protection

Light protective clothing, Safety footwear (EN 345)

SECTION 9: Physical and chemical properties

9.1. Information on basic physical and chemical properties

Physical state: Solid Colour: Apricot



according to Regulation (EC) No 1907/2006

RAKU-TOOL SB-0470

Print date: 11.04.2013 Product code: SB-0470 Page 3 of 4

Odour: Odourless

Test method

pH-Value: n.a.

Changes in the physical state

Density (at 20 °C): 0,38 - 0,52 g/cm³ Water solubility: Insoluble

SECTION 10: Stability and reactivity

10.4. Conditions to avoid

No special precautions required.

To avoid thermal decomposition, do not overheat. (> 200°C)

10.5. Incompatible materials

No special precautions required.

10.6. Hazardous decomposition products

Nitrogen oxides (NOx), Carbon monoxide and carbon dioxide.

Under certain fire conditions traces of other toxic substances, such as hydrocyanic acid, cannot be excluded.

SECTION 11: Toxicological information

11.1. Information on toxicological effects

Acute toxicity

No toxical dates available. Description of possible hazards to health effects is based on experience and/or toxicological characteristics of several components. The product was classified on the basis of the calculation procedure of the preparation directive (1999/45/EC).

Irritation and corrosivity

Dust particles, like other inert materials, are mechanically irritating the eyes.

SECTION 12: Ecological information

12.2. Persistence and degradability

Not degradable

Further information

Do not flush into surface water or sanitary sewer system.

SECTION 13: Disposal considerations

13.1. Waste treatment methods

Advice on disposal

Where possible recycling is preferred to disposal.

If recycling is not practicable, dispose of in compliance with local regulations.

Contaminated packaging

Contaminated packagings are to be treated like the product itself.

SECTION 14: Transport information



according to Regulation (EC) No 1907/2006

RAKU-TOOL SB-0470

Print date: 11.04.2013 Product code: SB-0470 Page 4 of 4

Other applicable information

No hazardous material as defined by the transport regulations. (ADR, RID, IMDG, IATA)

SECTION 15: Regulatory information

15.1. Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

National regulatory information

Water contaminating class (D): -- not water contaminating

SECTION 16: Other information

Further Information

Data of items 4 to 8, as well as 10 to 12, do partly not refer to the use and the regular employing of the product (in this sense consult information on use and on product), but to liberation of major amounts in case of accidents and irregularities.

The information describes exclusively the safety requirements for the product (s) and is based on the present level of our knowledge.

This data does not constitute a guarantee for the characteristics of the product(s) as defined by the legal warranty regulations.



Torino, 4 Giugno 2018

Spettabile

ITALDESIGN Via Achille Grandi, 25 10024 Moncalieri (To)

Cortese Attenzione

Sig Mauro Negro

mauro.negro@italdesign.it

OFFERTA N. 18199MR

Impianti di aspirazione reparto frese



PREMESSA

Gli impianti rispettano i limiti di emissione previsti dalla normativa vigente.

Vi faremo avere i dati necessari per la domanda di emissione in atmosfera.

Vi indichiamo la rumorosità dell'aspiratore in modo che possiate valutarne la compatibilità con i valori previsti nella vostra zona dal D.L. 277/91.

Vi ricordiamo che GRT DARMA è certificata ISO 9001 e ISO 14001 a garanzia della migliore qualità della nostra eventuale fornitura. Stiamo inoltre completando la certificazione 18001 per garantire ai nostri operatori e ai nostri clienti il migliore rispetto di tutte le norme sulla sicurezza del lavoro.

Impianto fresa lato opposto strada e fresa centrale esistente

DATI DI PROGETTO

Portata massima impianto 16.000 mc/h
Diametro massimo tubazione 480 mm
Velocità nelle tubazioni 25 m/sec
Diametro camino 700mm
Velocità di sfogo 11 m/s
Rumorosità aspiratore 75 dB +/- 2
Limite di emissione in atmosfera 10 mg/Nm3

CARATTERISTICHE TECNICHE

FILTRO ns mod 12-GCP-325-15

Filtro a cartucce a pulizia pneumatica

Struttura in lamiera zincata

Sostituzione cartucce dal tetto del filtro per evitare l'ingresso all'interno del filtro e la gestione dei rischi per i luoghi confinati Ringhiere e battipiede per messa in sicurezza accesso al tetto

Scala alla marinara con salvagente per accesso al tetto in sicurezza

Portello di ispezione camera cartucce

Superficie filtrante totale = 264 mg

Velocità di attraversamento = 0,016 m/sec

Scarico in continuo con valvola stellare

Conforme atex area 22

VALVOLA DI NON RITORNO

Posizionata a minimo 3 metri dal filtro

La tubazione tra la valvola e il filtro viene realizzata in lamiera nera saldata e verniciata spessore 2 mm

ASPIRATORE mod TR901

Ventola a pale rovesce in acciaio, equilibrata staticamente e dinamicamente Ad accoppiamento diretto Motore 4 poli 22 kW



QUADRO ELETTRICO

Avviamento aspiratore con inverter

Selettore funzionamento manuale e automatico

Funzionamento manuale: regolazione manuale velocità aspiratore

Funzionamento automatico: regolazione automatica velocità aspiratore con trasduttore di pressione

Avviamento valvola stellare (arresto ritardato per svuotamento tramoggia filtro)

Alimentazione centralina di pulizia (arresto ritardato per pulizia filtro a impianto fermo)

Allarme sonda triboelettrica

CAMINO OLTRE TETTO

Altezza di 1500 mm oltre il colmo

N.2 prese analisi a norme unichim tipo B

Il camino viene addossato al filtro garantendo l'accesso alle prese analisi dal tetto del filtro

Sonda triboelettrica per controllo presenza polvere oltre i limiti di emissione

N.1 CALATA SU FRESA GROSSA

Collegamento a linea interrata esistente (D=350 mm)

Valvola di regolazione manuale

Valvola pneumatica di apertura e chiusura aspirazione

N.1 CALATA SU FRESA PICCOLA

Collegamento a carter della macchina

Valvola di regolazione manuale

Valvola pneumatica di apertura e chiusura aspirazione

TUBAZIONE DI COLLEGAMENTO

In lamiera zincata

Giunzione tramite collari e siliconatura

TRASPORTO E MONTAGGIO

In normale orario di lavoro. Il personale farà uso di adeguati mezzi di protezione individuale

MEZZI DI SOLLEVAMENTO

Piattaforma elettrica articolata

Gru su camion per montaggio filtro

DOCUMENTAZIONE

Relazione tecnica con dati per denuncia in atmosfera

Disegni iniziali per approvazione

Disegni as built

Dichiarazione di conformità impianto

Libretti uso e manutenzione aspiratore e filtro



Impianto fresa lato strada e fresa centrale nuova

DATI DI PROGETTO

Portata massima impianto 16.000 mc/h
Diametro massimo tubazione 480 mm

Velocità nelle tubazioni 25 m/sec
Diametro camino 700mm

Velocità di sfogo 11 m/s
Rumorosità aspiratore 75 dB +/- 2
Limite di emissione in atmosfera 10 mg/Nm3

CARATTERISTICHE TECNICHE

FILTRO ns mod 12-GCP-325-15

Filtro a cartucce a pulizia pneumatica

Struttura in lamiera zincata

Sostituzione cartucce dal tetto del filtro per evitare l'ingresso all'interno del filtro e la gestione dei rischi per i luoghi confinati Ringhiere e battipiede per messa in sicurezza accesso al tetto

Alliginere e battipiede per messa in sicurezza accesso ai tetto

Scala alla marinara con salvagente per accesso al tetto in sicurezza

Portello di ispezione camera cartucce

Superficie filtrante totale = 264 mq

Velocità di attraversamento = 0,016 m/sec

Scarico in continuo con valvola stellare

Conforme atex area 22

VALVOLA DI NON RITORNO

Posizionata a minimo 3 metri dal filtro

La tubazione tra la valvola e il filtro viene realizzata in lamiera nera saldata e verniciata spessore 2 mm

ASPIRATORE mod TR901

Ventola a pale rovesce in acciaio, equilibrata staticamente e dinamicamente Ad accoppiamento diretto Motore 4 poli 22 kW

QUADRO ELETTRICO

Avviamento aspiratore con inverter

Selettore funzionamento manuale e automatico

Funzionamento manuale : regolazione manuale velocità aspiratore

Funzionamento automatico: regolazione automatica velocità aspiratore con trasduttore di pressione

Avviamento valvola stellare (arresto ritardato per svuotamento tramoggia filtro)

Alimentazione centralina di pulizia (arresto ritardato per pulizia filtro a impianto fermo)

Allarme sonda triboelettrica

CAMINO OLTRE TETTO

Altezza di 1500 mm oltre il colmo

N.2 prese analisi a norme unichim tipo B

Il camino viene addossato al filtro garantendo l'accesso alle prese analisi dal tetto del filtro

Sonda triboelettrica per controllo presenza polvere oltre i limiti di emissione



N.1 CALATA SU FRESA GROSSA

Collegamento a linea interrata esistente (D=400 mm) Valvola di regolazione manuale Valvola pneumatica di apertura e chiusura aspirazione

N.1 CALATA SU FRESA NUOVA

Collegamento a carter della macchina Valvola di regolazione manuale Valvola pneumatica di apertura e chiusura aspirazione

TUBAZIONE DI COLLEGAMENTO

In lamiera zincata Giunzione tramite collari e siliconatura

TRASPORTO E MONTAGGIO

In normale orario di lavoro. Il personale farà uso di adeguati mezzi di protezione individuale

MEZZI DI SOLLEVAMENTO

Piattaforma elettrica articolata Gru su camion per montaggio filtro

DOCUMENTAZIONE

Relazione tecnica con dati per denuncia in atmosfera Disegni iniziali per approvazione Disegni as built Dichiarazione di conformità impianto Libretti uso e manutenzione aspiratore e filtro

By-pass tra i due impianti

N.2 TUBAZIONI DI COLLEGAMENTO TRA I DUE IMPIANTI

Comprese valvole manuali per spostare l'aspirazione di una linea sul gruppo filtro aspiratore dell'altra linea

MEZZI DI SOLLEVAMENTO

Piattaforma elettrica articolata

DOCUMENTAZIONE

Disegni iniziali per approvazione Disegni as built



Separatamente quotiamo

CIRCUITO EROGAZIONE SALI

Centrale di controllo
Set di due bombole con sistema di pesatura e valvola rapida
Armadio per bombole
Ugelli diffusori
Cavi e accessori per installazione
Sonda pt100

Si prevede il collegamento di entrambi i filtri con lo stesso armadio bombole e con una centralina unica

QUADRI ELETTRICI (conformi industria 4.0)

Avviamento tramite inverter dell'aspiratore Regolazione automatica della portata in funzione delle utenze aperte

Pannello operatore da 4" per il controllo dei parametri di funzionamento

Connessione da remoto via lan o 3G

Telecontrollo con possibilità di variazione parametri inverter da remoto, invio mail fault impianto. (il tutto conforme ai dettami di industria 4.0)

BOX INSONORIZZAZIONE ASPIRATORI

Struttura in estrusi di alluminio Pannelli in lamiera zincata pressopiegata Rivestimento interno fonoassorbente in bugnato piramidale Griglie areazione per raffreddamento motore



CONDIZIONI DI FORNITURA

Prezzo	N.2 impianti di aspirazione e by-pass	€	81.700
	Oneri per la sicurezza	€	900
	<u>Optional</u>		
	Circuito erogazione sali	€	9.500
	Quadri elettrici per impianti conformi industria 4.0 (sovrapprezzo)	€	4.300
	Box insonorizzazione per i due aspiratori	€	3.000

Consegna 8 settimane da ricevimento ordine

Pagamento Da definire

Esclusioni Opere murarie

Impianti elettrici a valle e a monte del quadro

Mezzi di sollevamento

Manovalanza scarico e movimentazione materiali

Garanzia 12 mesi con l'obbligo di riparare o sostituire, a nostra discrezione, i

materiali difettosi.

La garanzia non copre danni provocati dal cattivo uso dell'impianto, da insufficiente manutenzione e dalla normale usura dei materiali

Validità 180gg



Marco Riva

Filtro GCP-325-15

Filtrazione a cartucce con pulizia automatica





Filtro con sistema di pulizia pneumatica per prolungare l'azione aspirante

Il filtro GCP viene impiegato per l'abbattimento di polveri con granulometria fine e concentrazione elevata.

Lo scarico delle polveri avviene in un contenitore carrellato o con valvola stellare, il sistema di pulizia delle cartucce è di tipo automatico tramite getti di aria compressa in controcorrente e una centralina elettronica varia la frequenza dei getti di pulizia in funzione dell'effettivo grado di intasamento delle cartucce, consentendo un risparmio di aria e una maggiore durata delle cartucce

Caratteristiche:

- Struttura in lamiera zincata
- Polmone con elettrovalvole integrate
- Pannelli antiscoppio
- Portello ispezione
- Contenitore di raccolta carrellato
- Cartucce d=325 mm h=1500 mm

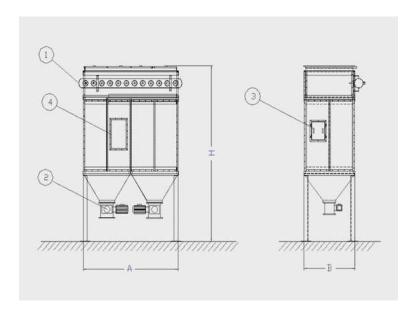
Optionals

- Valvola stellare per scarico in continuo
 - Sistema antincendio
 - Ringhiera
 - Scala di accesso a tetto
 - Cartucce di varie altezze e materiali
- Corpo filtro in acciaio inox



Specifiche tecniche

MODELLO	A (mm)	B (mm)	H (mm)	Tramogge (n)	Cartucce (n)	Pannelli antiscoppio (n)	Superficie totale (mq) Pieghe 135-175	Consumo aria con apertura 200 msec (lt/1) 5 bar - 6 bar
4-GCP-325-15	1140	1240	3700	1	4	1	68-88	192-242
6-GCP-325-15	1670	1240	3700	1	6	1	102-132	192-242
8-GCP-325-15	2200	1240	3700	1	8	1	136-176	192-242
9-GCP-325-15	1670	1770	3700	1	9	1	153-198	340-370
12-GCP-325-15	2200	1770	3700	1	12	1	204-264	340-370
15-GCP-325-15	2730	1770	4200	1	15	2	255-330	340-370
18-GCP-325-15	3260	1770	3700	2	18	2	306-396	340-370
21-GCP-325-15	3790	1770	3700	2	21	2	357-462	340-370



- 1. Polmone con elettrovalvole integrate
- 2. Valvola stellare per scarico in continuo
- 3. Portello ispezione
- 4. Pannelli antiscoppio

