UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale

Incidenza dei gas espandenti ecologici sul trattamento di fine vita dei frigoriferi: un approccio applicativo alla Direttiva Macchine 2006/42/CE con particolare riferimento al relativo RES esplosione

Relatore:
Ing. Lorenzo Baraldo

Tesi di laurea
Andrea Masala
Matricola: 1219088

Anno Accademico 2020/2021

Sommario

1. INTRODUZIONE 1
1.1. Riciclaggio dei frigoriferi 1
1.2. Struttura e componenti di un frigorifero 1
1.3. Il poliuretano 3
1.4. Il poliuretano rigido espanso 6
1.4.1. Caratteristiche del poliuretano rigido espanso 7
1.4.2. Storia dell'utilizzo dei gas espandenti 11
1.4.3. Il gas espandente contenuto nelle schiume poliuretaniche 13
1.5. Il ciclopentano 13
2. PROBLEMATICA DEI GRANULATORI NEL TRATTAMENTO DI FRIGORIFERI E CONGELATORI 16
3. OBIETTIVO DELLA TESI 17
4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E DEL PROCESSO DI TRATTAMENTO DEI FRIGORIFERI E CONGELATORI 17
4.1. Sostante infiammabili processate 20
5. DESCRIZIONE DEL GRANULATORE E SPECIFICHE TECNICHE 22
5.1. Descrizione generale 22
5.2. Principio di funzionamento 22
5.3. Principali componenti della macchina 23
5.3.1. Basamento e motorizzazione 24
5.3.2. Alimentazione 24
5.3.3. Gruppo rotore e camera di macinazione 25
5.3.4. Gruppo di scarico 26
5.3.5. Impianto idraulico 26
5.4. Impianto di inertizzazione dei granulatori 28
5.5. Impianto di aspirazione dei granulatori 29
5.6. Classificazione ATEX dei granulatori 29
6. LA VALUTAZIONE DEI RISCHI ATEX 31
7. LA NORMATIVA 39
7.1. La Direttiva Macchine 2006/42/CE 39
7.1.1. RES 1.5.7 – Esplosione 39
7.2. La Direttiva ATEX 2014/34/UE 42
7.3. D.Lgs. 81/08: Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro 45
7.3.1. Titolo XI – Protezione da atmosfere esplosive 46

7.3.2. Allegato XLIX – Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive 48

7.3.3. Allegato L – Prescrizioni minime per il miglioramento della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive 49

7.3.4. Allegato LI – Segnale di avvertimento per indicare le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive 50

7.4. Norma UNI EN 1127-1:2019 - Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia 51

8. COME SODDISFARE IL RES 1.5.7 DELLA DIRETTIVA MACCHINE 2006/42/CE PER I GRANULATORI 58

9. CONCLUSIONI 65

10. APPENDICE 67

10.1. Scheda di sicurezza del ciclopentano 67

11. BIBLIOGRAFIA 79

1. INTRODUZIONE

1.1. Riciclaggio dei frigoriferi

La crescente diffusione di apparecchi elettrici ed elettronici (AEE) sta determinando un maggior rischio di abbandono nell'ambiente con conseguenze di inquinamento del suolo, dell'aria, dell'acqua e con ripercussioni sulla salute umana. Pertanto, è importante riciclare con cura queste apparecchiature, in quanto i principali problemi derivanti da questo tipo di rifiuto sono la presenza di sostanze tossiche per l'ambiente e la non biodegradabilità di tali apparecchi. Inoltre, il riciclo dei frigoriferi, è un processo fondamentale per il recupero delle materie prime (come ad esempio, alluminio, rame, ferro, ecc.), evitando così lo spreco di risorse che possono essere riutilizzate.

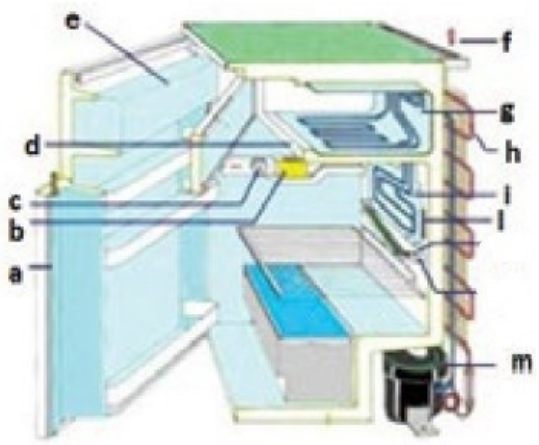
L'attuale norma in vigore per i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) è la Direttiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2012, relativa ai rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, recepita in Italia con il D.Lgs. 49/14 – ''*Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)*''. Secondo tale direttiva, lo smaltimento dei frigoriferi rientra nel raggruppamento R1 – Apparecchiature refrigeranti.

1.2. Struttura e componenti di un frigorifero

Un normale frigorifero domestico è composto da:

- Una scocca esterna in lamiera;
- Una cella interna, in genere costituita da materiale plastico o da alluminio;
- Un rivestimento interno in materiale isolante (schiuma poliuretanica) che garantisce l'isolamento termico del vano interno del frigorifero;
- Un impianto frigorifero, corredato dal relativo impianto elettrico.

In Fig. 1 viene data una rappresentazione più dettagliata della struttura e dei componenti di un frigorifero.



a) Porta
b) Lampadina
c) Regolatore termostato
d) Cella frigorifera
e) Vano portaoggetti
f) Distanziatore
g) Serpentina/evaporatore
h) Condensatore
i) Serpentina/evaporatore
l) Scarico gocciolatoio
m) Compressore

Figura 1: Struttura e componenti di un frigorifero

Il peso medio a fine vita di un frigorifero risulta essere di circa 42 kg. Nel suo complesso, è composto dai materiali: ferro, compressore, poliuretano, plastica, alluminio, rame e CFC; mostrati in Tabella 1 con le relative percentuali (Manuale per le aziende di trattamento del CDC RAEE, 2018):

Tabella 1: Percentuale di materiali che compongono un frigorifero

Materiale	**%**
Ferro	47,2
Compressore	21,0
Poliuretano	15,3
Plastica	10,5
Alluminio e rame	5,1
CFC	0.6
Altro	0,3

1.3. Il poliuretano

Con il termine poliuretano, abbreviato come PUR, si va ad indicare una vasta famiglia di polimeri estremamente versatili che consentono di ottenere una vasta gamma di prodotti con proprietà e impieghi molto diversi. Il mattone alla base del polimero è il legame uretanico -NHCOO-, mostrato in Fig. 2, che si forma dalla reazione di poliaddizione fra un di-isocianato e un poliolo, con aggiunta di catalizzatori, per aumentare la velocità della reazione, e additivi che conferiscono diverse proprietà al materiale in base al risultato finale che si vuole ottenere (https://it.wikipedia.org/wiki/Poliuretano#Produzione).

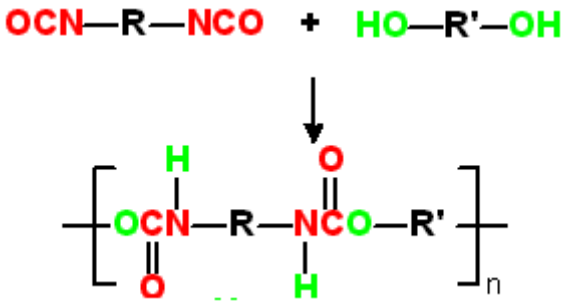


Figura 2: Struttura base di un poliuretano

Gli isocianati che possono partecipare alla reazione sono una classe di sostanze chimiche caratterizzate da una grande reattività e versatilità. Essi sono caratterizzati dalla presenza del gruppo isocianato (Fig. 3). La loro proprietà chimica più rilevante è l'elevata reattività con altre molecole aventi idrogeni attivi. Tale caratteristica si ritrova in molecole quali alcoli, ammine e anche nell'acqua. La reazione di polimerizzazione ha luogo se si manifesta la capacità di propagazione, dando luogo a reazioni multiple che legano fra loro le molecole, per cui sono necessarie sostanze che abbiano almeno due gruppi isocianato. Le principali molecole di isocianato impiegate nella sintesi di poliuretano sono (Kirk-Othmer, 2011):

- Il toluene diisocianato (TDI) (Fig. 4);
- Il difenilmetano diisocianato (MDI) (Fig. 5);
- Il difenilmetano diisocianato polimerico (pMDI), formato da diverse molecole di MDI unite (Fig. 5).

La produzione del TDI avviene in fasi successive con l'utilizzo di diverse sostante tossiche e pericolose fra cui toluene, acido nitrico e fosgene. La produzione annuale nel mondo di TDI è superiore a 2 milioni di tonnellate. Per quanto riguarda MDI e pMDI, essi rappresentano il più grande volume nel mercato degli isocianati, con una produzione annua

a livello mondiale superiore a 4 milioni di tonnellate. La sintesi di queste specie chimiche avviene in diverse fasi a partire da anilina e formaldeide e, anche in questo caso, è previsto l'utilizzo di fosgene per giungere al prodotto finale richiesto. Attualmente nei processi industriali si favorisce l'uso di MDI e pMDI per la loro minore volatilità rispetto al TDI e per la loro reattività uniforme. Inoltre, il TDI viene quasi completamente sostituito da MDI e pMDI per la produzione di schiume poliuretaniche rigide. In caso di applicazioni particolari, che necessitano di un polimero non soggetto ad ingiallimento, vengono utilizzati isocianati alifatici. Questa tipologia di sostanze ha una diffusione limitata a causa della loro lentezza di reazione e del loro costo, inoltre vengono utilizzati solamente dove è necessaria un'elevata resa estetica.

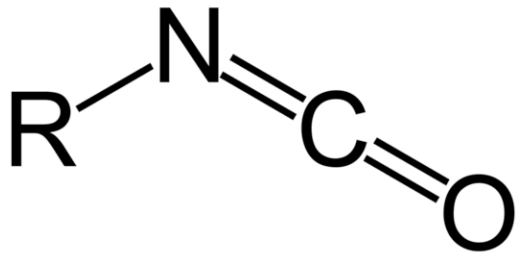


Figura 3: Gruppo isocianato

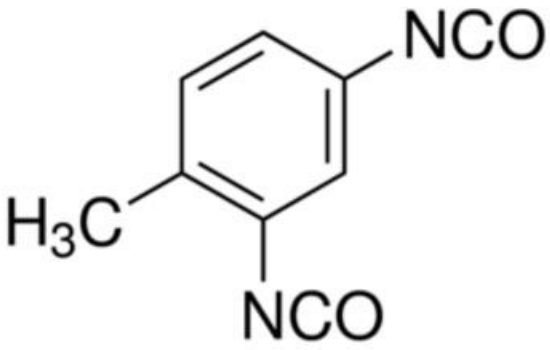


Figura 4: Toluene diisocianato

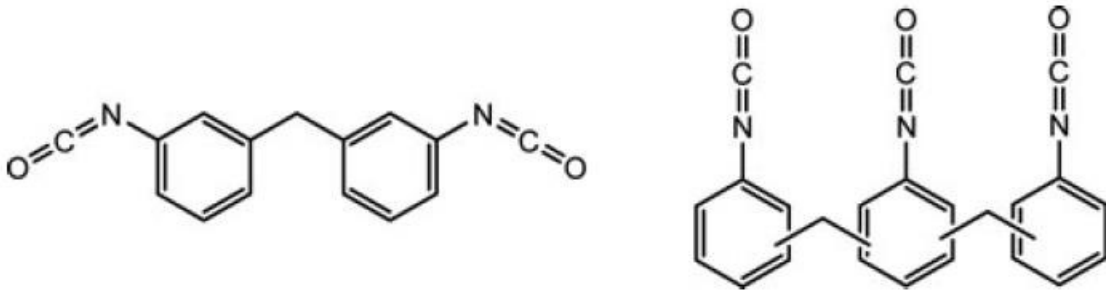


Figura 5: Difenilmetano diisocianato (MDI) e il Difenilmetano diisocianato polimerico (pMDI)

Il secondo componente fondamentale per la produzione di poliuretano sono i polioli, che rappresentano la maggior quantità di materia prima necessaria per la produzione di poliuretano, che va dal 35% al 90% in peso a seconda dell'applicazione, e hanno il compito di fornire morbidezza e flessibilità al prodotto finale. Resistenza e rigidità vengono forniti invece dagli isocianati. Queste molecole sono formate da una catena oligomerica contenente 2 o più gruppi ossidrile (Kirk-Othmer, 2011). Anche per i polioli esiste una grande varietà di molecole che vengono impiegate nella pratica industriale, ma le due principali categorie impiegate sono (Vairo G. et al., 2002):

1) Polioli polieteri: derivano dalla reazione fra uno starter contenente idrogeni attivi (ad esempio glicoli, trioli) con ossido di etilene e/o propilene. I trioli polieteri con elevato peso molecolare (intorno a 3000 Da[1]) sono utilizzati per la produzione di schiume flessibili, mentre i polioli con peso molecolare inferiore (intorno ai 500 Da) sono utilizzati per schiume rigide e superfici di ricoprimento (http://lschimica.unipr.it/Poliuretani.pdf);
2) Polioli poliesteri: derivano dalla condensazione di un di- o poli-acido (ad esempio adipico, aromatici), con glicoli o trioli. In passato i poliesteri sono stati i primi prodotti impiegati nello sviluppo dei polimeri poliuretanici, ma sono stati successivamente superati dai polieteri (http://lschimica.unipr.it/Poliuretani.pdf).

Oltre ai polieteri ed ai poliesteri vengono utilizzati altri composti poliossidrilati come olio di ricino, polimeri e copolimeri del butadiene ossidrilati (Vairo G. et al., 2002).

[1] Da: unità di massa atomica, chiamata Dalton, che corrisponde alla dodicesima parte della massa di un atomo di carbonio-12 ovvero a 1,66x10-27 kg (https://www.chimica-online.it/download/uma.htm)

Un aspetto positivo di questa famiglia di polimeri sta nel fatto che è possibile realizzare diversi materiali, ognuno con diverse caratteristiche e applicazioni. Per lo studio in esame verrà preso in considerazione il poliuretano rigido espanso.

1.4. Il poliuretano rigido espanso

Il poliuretano rigido espanso è un materiale bifase con struttura cellulare a celle chiuse, composto da una matrice polimerica termoindurente altamente reticolata e da una fase gassosa che rappresenta generalmente più del 95% del volume totale del prodotto (Vairo G. et al., 2002). È prodotto dalla reazione di due componenti principali quali polioli e poliisocianati, con l'aggiunta di un agente espandente (in genere idrocarburi, CO_2 o altre miscele) e di altri additivi (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html). Le schiume rigide rappresentano circa il 25% della produzione totale di poliuretano.

La struttura a celle chiuse di questo tipo di schiuma è caratterizzata da una dimensione delle celle di alcune centinaia di nanometri che permettono di intrappolare aria all'interno della struttura in modo tale da massimizzare l'isolamento termico della schiuma.

La densità media va da 0,025 g/cm^3 a 0,04 g/cm^3. Questa caratteristica isolante la rende ampiamente efficiente nel campo dell'edilizia e della refrigerazione. La capacità di isolamento termico è dovuta per il 75% all'aria che rimane intrappolata nelle bolle della schiuma, il calore viene così trasmesso solamente per conduzione, riducendo al minimo il calore trasmesso per convezione. Per incrementare le prestazioni isolanti e per migliorare la formazione della schiuma vengono iniettati gas (denominati gas espandenti) nella fase di formazione che rimangono intrappolati all'interno delle celle sostituendo l'aria. Per questo scopo sono quindi necessari gas inerti che abbiano ottime qualità di isolamento termico, e che siano liquidi a temperatura ambiente. Inoltre, essi devono avere una bassa solubilità nel polimero e devono essere compatibili con le sue caratteristiche chimiche (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html).

Questa tipologia di schiume viene principalmente prodotta in lastre continue sagomate in seguito, oppure laminato in continuo iniettando i reagenti fra due lastre di cartone, alluminio, ferro o gesso a seconda dell'applicazione necessaria (Kirk-Othmer, 2011).

1.4.1. Caratteristiche del poliuretano rigido espanso

Il poliuretano rigido espanso presenta una serie di proprietà che gli permettono di essere utilizzato in diversi campi, quali pannelli per l'edilizia, impianti idraulici e chimici, applicazioni in loco, industria navale e industria del freddo. Tra le più importanti caratteristiche abbiamo la conducibilità termica, in quanto, con il poliuretano rigido espanso è possibile ottenere le migliori prestazioni di isolamento termico con spessori decisamente ridotti rispetto a quelli necessari nel caso si utilizzino altri materiali isolanti, andando anche a risparmiare in termini di volume occupato (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html). Esso presenta un valore di conducibilità termica stabile nel tempo, compreso tra 0.022 e 0,028 W/mK, in funzione del tipo di schiuma (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html). In Tab. 1 vengono mostrati i valori di conducibilità termica iniziale e conducibilità termica dichiarata di diversi prodotti realizzati in poliuretano rigido espanso (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html):

Tabella 1: Range di valori di conducibilità termica iniziale e conducibilità termica dichiarata di diversi prodotti in poliuretano espanso rigido

	Conducibilità termica iniziale λ_i, 10°C W/mK	**Conducibilità termica dichiarata λ_D, 10°C W/mK**
Pannelli in poliuretano espanso rigido con rivestimenti impermeabili	0,020 - 0,022	0,022 - 0,024
Pannelli in poliuretano espanso rigido con rivestimenti permeabili	0,022 - 0,024	0,025 - 0,028
Schiuma poliuretanica applicata a spruzzo	0,022 - 0,024	0,028 - 0,031

All'interno del valore di conducibilità termica dichiarata λ_D sono compresi anche degli incrementi del valore di conducibilità dovuti all'invecchiamento del materiale, a seguito di analisi eseguite sui prodotti marcati CE (https://www.stiferite.com/poliuretano.html). Per cui i valori presenti in tabella rappresentano il valore medio della prestazione isolante per 25 anni di esercizio, nonostante abbia una vita utile superiore ai 50 anni.

Un'altra caratteristica interessante è la capacità di aderire, in fase di espansione, a quasi tutti i rivestimenti o supporti, e di non subire trasformazioni, nelle normali condizioni di utilizzo, causate da assorbimento di acqua, compressione, insaccamenti, ecc.; tutto questo grazie alla sua struttura a celle chiuse.

Una caratteristica da non sottovalutare è la resistenza meccanica del poliuretano rigido espanso, in quanto esso è un materiale leggero ma robusto; infatti, la densità delle schiume in genere varia tra i 30 e i 40 kg/m^3; all'interno di questo range la resistenza alla compressione al 10% di deformazione varia tra i 100 e i 200 kPa, valori del tutto accettabili e idonei per soddisfare le comuni esigenze applicative (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html). Osservando il grafico in Fig. 6 è possibile osservare la resistenza al creep[2] di un pannello in poliuretano rigido espanso rivestito in alluminio millesimale, con una densità di 33 kg/m^3 e un carico costante applicato di 40 kPa: come si può vedere vi è una minima deformazione, passando dall'1,4% dopo due anni all'1,9% dopo cinquanta anni (BING, 2006).

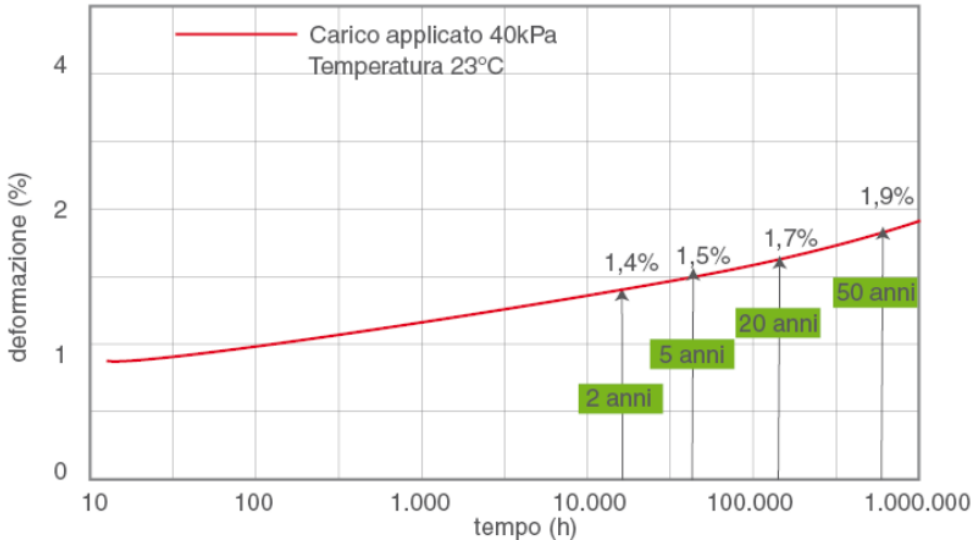


Figura 6: Deformazione di un pannello in PUR nel tempo

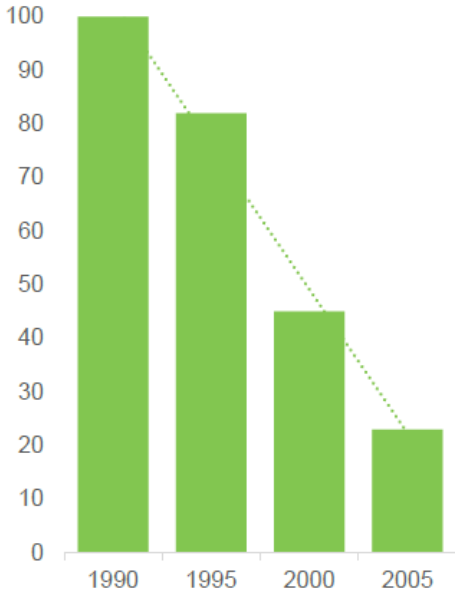
Va precisato che nel caso sia necessario sopportare dei carichi meccanici elevati e/o temperature elevate si andrà ad incrementare la densità delle schiume.

Una caratteristica, che rende il poliuretano rigido espanso idoneo per essere utilizzato nell'industria del freddo, è l'elevata resistenza alle temperature: grazie alla sua natura termoindurente esso offre eccellenti prestazioni di resistenza sia alle basse che alle alte temperature. In condizioni di esercizio continue, i prodotti destinati all'isolamento termico possono essere utilizzati in un intervallo di temperature che va dai -40°C ai 100°C, fino ad

[2] Resistenza al creep: è la deformazione di un materiale sottoposto a sforzo costante (https://it.wikipedia.org/wiki/Scorrimento_viscoso#:~:text=Lo%20scorrimento%20viscoso%20(talvolta%20chiamato,lunghi%20periodi%20ad%20alta%20temperatura)

arrivare, in base al tipo di schiuma poliuretanica, a temperature superficiali di picco superiori ai 250°C (https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html).

La catena del freddo è fondamentale per lo sviluppo del settore primario, in quanto garantisce sicurezza ed igienicità degli alimenti, ma il corretto mantenimento di questa catena richiede elevati consumi energetici. Infatti, si stima che in Italia i soli frigoriferi domestici determinino circa il 3,5% del totale dei consumi elettrici (Anni R., 2019). Il poliuretano rigido espanso, grazie alla sua efficienza e alla sua leggerezza, permette di andare a ridurre sia il volume che il peso dello strato di isolante dei frigoriferi, ne consegue quindi anche una diminuzione del volume e del peso delle merci con una conseguente riduzione di tutti i consumi energetici, compresi quelli relativi ai trasporti, installazione e smaltimento e/o riciclo a fine vita. La ricerca da sempre è impegnata per lo sviluppo di schiume poliuretaniche ancora più efficienti, che consentano di andare a ridurre ulteriormente i consumi. Infatti, come si può notare dalla Fig. 7, nel 1990 i frigoriferi consumavano 670 kWh/anno con una spesa di 100€/anno, mentre nel 2005 i consumi si sono ridotti drasticamente, arrivando a 165 kWh/anno per una spesa di 25€/anno (Anni R., 2019).



kWh/giorno	1,8	1,5	0,9	0,5
kWh/anno	670	550	330	165
€/anno	100	82	46	25

Figura 7: Consumi energetici e spese frigoriferi domestici dal 1990 al 2005

1.4.2. Storia dell'utilizzo dei gas espandenti

Inizialmente il primo materiale isolante utilizzato per la realizzazione di frigoriferi e congelatori era la lana di roccia, come mostrato in Fig. 8, conferendo al prodotto un elevato peso e una elevata resistenza.

Figura 8: Lana di roccia

A partire dagli anni '70 la lana di roccia è stata progressivamente sostituita dalle schiume poliuretaniche rigide espanse con CFC R11, ovvero triclofluorocarburi (Manuale per le aziende di trattamento del CDC RAEE, 2018), ma con la Legge n. 549/93, riportante ''*Misure a tutela dell'ozono stratosferico e dell'ambiente*'', in Italia si instaura il divieto di produzione e utilizzo dei CFC impiegati per la produzione di frigoriferi a partire dal 1° gennaio 1994. Tuttavia, a livello internazionale, l'interesse nei confronti dei CFC e del loro effetto sullo strato di ozono si è manifestato ben prima, col Protocollo di Montréal.

Il Protocollo di Montréal è un trattato internazionale il cui scopo è quello di andare a ridurre la produzione e l'uso di quelle sostanze che minacciano lo strato di ozono, in particolare i gas CFC o clorofluorocarburi. È stato firmato il 16 settembre 1987 ed è entrato in vigore il 1° gennaio 1989, con ulteriori revisioni negli anni successivi (1990 Londra, 1992 Copenaghen, 1995 Vienna, 1997 Montréal e 1999 Pechino). L'obiettivo ultimo del Protocollo è la messa al bando totale, entro il 2030, delle sette categorie di alogenuri alchilici (tra cui appunto i CFC) considerati responsabili dei danni allo strato di ozono. L'Unione Europea ha reso quindi operativo il Protocollo di Montréal nel 1994 con il Regolamento CE

3093/94, il quale è stato successivamente abrogato dal Regolamento CE 2037/00. Tale regolamento va ad anticipare al 2015 la messa al bando totale di produzione ed utilizzo dei CFC.

Una ricerca svolta da un team della NASA, pubblicata all'inizio del 2018, ha mostrato che vi è una correlazione diretta tra la presenza di CFC in atmosfera e la distruzione dell'ozono. I risultati della ricerca hanno dimostrato che una costante riduzione dei CFC sopra l'Antartide (nella misura dello 0.8% annuo) ha portato e sta portando ad una progressiva riduzione della distruzione dell'ozono e questo dimostra che il Protocollo di Montréal sta funzionando (https://it.wikipedia.org/wiki/Protocollo_di_Montr%C3%A9al).

Il problema dei CFC risiede nel fatto che, a causa della combinazione tra cloro e fluoro, la loro composizione è talmente stabile che può rimanere invariata anche a distanza di decine di anni una volta immesse nell'atmosfera: il gas raggiunge la zona alta della stratosfera, dove il cloro in esso contenuto è libero di reagire con l'ozono, generando il fenomeno del buco dell'ozono, e quindi diminuendo la capacità dell'ozonosfera di assorbire i raggi ultravioletti generati dalle radiazioni solari. Inoltre, un altro problema è dovuto alla stabilità chimica dei CFC, che gli permette di accumularsi negli anni in atmosfera, contribuendo quindi ad accentuare l'effetto serra (Mancini M. et Zampetti G.). A partire dal 1° gennaio 1994 quindi, i CFC sono stati sostituiti da gas, fra cui pentafluoropropano, tetrafluoroetano, ciclopentano o isopentano per ottenere l'espansione delle schiume isolanti (la tipologia di gas utilizzata può essere di solito dedotta dal retro del frigorifero, come mostrato in Fig. 9).

Figura 9: Retro frigorifero domestico

1.4.3. Il gas espandente contenuto nelle schiume poliuretaniche

La quantità media di poliuretano utilizzato per la realizzazione di un frigorifero di ‘’dimensioni standard’’ è di 4 kg, di questi circa 250 g sono di gas espandenti come il ciclopentano (Manuale per le aziende di trattamento del CDC RAEE, 2018). Nonostante il ciclopentano sia un idrocarburo ecologico, in quanto non lesiona lo strato di ozono e non causa effetto serra, esso può, tuttavia, causare delle esplosioni se non captato adeguatamente, per cui è necessario evitare perdite diffuse negli impianti di lavorazione.

1.5. Il ciclopentano

I cicloalcani sono composti organici monociclici saturi (ossia che non contengono legami doppi o tripli tra gli atomi di carbonio) costituiti solamente da atomi di carbonio e idrogeno, per cui fanno parte della più ampia classe degli idrocarburi, inoltre appartengono alla classe dei composti aliciclici. I cicloalcani presentano formula bruta C_nH_{2n} (https://it.wikipedia.org/wiki/Cicloalcani). Il ciclopentano fa parte della famiglia dei cicloalcani, con formula bruta C_5H_{10} (Fig. 10). In appendice è presente la scheda di sicurezza del ciclopentano.

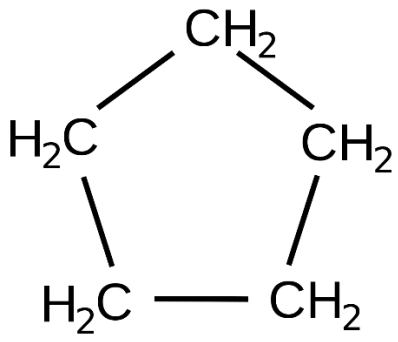


Figura 10: Struttura della molecola Ciclopentano

Il ciclopentano è un idrocarburo leggero ed incolore, sotto forma di liquido, utilizzato prevalentemente come agente espandente per schiume poliuretaniche rigide, per la produzione di pannelli isolanti e nell’industria del freddo come isolante termico specifico. Gli elettrodomestici in genere consumano una buona quantità di energia, in particolare quando si parla di frigoriferi e congelatori: dopo tutto, funzionano 24 ore su 24, 7 giorni su 7 e non vengono mai spenti. Ne consegue un’elevata richiesta di elettrodomestici ad alta efficienza energetica. Per cui, se si vuole ottenere il massimo rendimento per un frigorifero, e quindi avere un’elevata capacità di raffreddamento con consumi energetici ridotti, esso

deve essere ben isolato e ciò si ottiene appunto per mezzo delle schiume poliuretaniche espanse con ciclopentano. Questo perché il ciclopentano garantisce elevate prestazioni di isolamento con un basso spessore di isolamento, in quanto la larghezza e la profondità di un frigorifero o di un congelatore sono standardizzati e quindi l'isolamento deve essere di un certo spessore in modo da avere un volume interno elevato. Il ciclopentano svolge un ruolo importante in quanto consente di ottenere uno strato isolante sottile ma altamente efficiente, poiché rimane in parte nelle celle della schiuma di poliuretano come gas dopo la formazione della schiuma (Böckemeier H. 2021). Un altro aspetto positivo del ciclopentano è che è un idrocarburo ecologico, privo di potenziale di riduzione dell'ozono (ODP[3]) e basso *global warming potential* (GWP[4]) (Wiegmann W., 1994). Grazie a questo suo aspetto ecologico, il ciclopentano è una valida alternativa al CFC per la produzione delle schiume poliuretaniche. In passato un gas espandente con buone prestazioni era il CFC-11, il cosiddetto triclorofluorometano, ma è stato messo al bando col Protocollo di Montréal. Il ciclopentano consente di ottenere delle schiume poliuretaniche con prestazioni buone quasi quanto le schiume ottenute con CFC-11: tra i motivi vi è il loro punto di ebollizione favorevole, come mostrato in Tab. 2, la loro bassa solubilità nella matrice della schiuma poliuretanica e la bassa conduttività termica, di particolare importanza per l'industria dei frigoriferi. Se si va a combinare con speciali formulazioni di polioli su misura il ciclopentano è possibile ottenere valori di conducibilità termica quasi buoni come i valori delle schiume espanse con CFC (Wiegmann W., 1994).

Tabella 2: Proprietà fisiche ciclopentano rispetto al CFC-11

Sostanza	**Ciclopentano**	**CFC-11**
Formula chimica	C_5H_{10}	CCl_3F
Peso molecolare [g/mol]	70	137
Punto di ebollizione [°C]	49	24
Conducibilità termica [mW/mK]	12,1	8,8

[3] ODP: il potenziale di riduzione dell'ozono di un composto chimico è il valore relativo di degrado della fascia di ozono che esso può causare (https://it.wikipedia.org/wiki/Ozone_Depletion_Potential).
[4] GWP: il *global warming potential* esprime il contributo all'effetto serra di un gas serra relativamente all'effetto della CO_2, il cui riferimento è pari a 1 (https://it.wikipedia.org/wiki/Global_Warming_Potential).

È stato anche condotto uno studio per quanto riguarda l'invecchiamento del poliuretano espanso con ciclopentano rispetto al CFC-11 ed è stato riscontrato che la conduttività termica di un campione contenente ciclopentano era di circa 5% in più all'inizio dello studio. Durante lo stoccaggio, tuttavia, l'aumento è stato meno pronunciato e, nei campioni di schiuma invecchiati, la conduttività termica della schiuma contenente ciclopentano era effettivamente inferiore, come mostrato in Fig. 11.

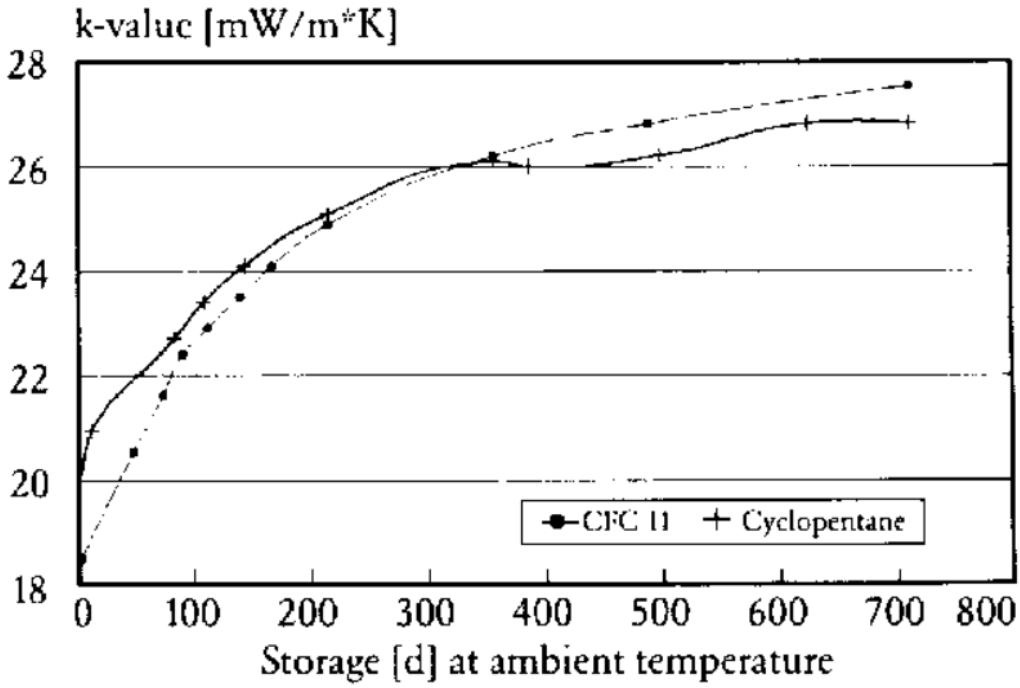


Figura 11: Confronto tra il coefficiente termico di schiume poliuretaniche espanse con ciclopentano e CFC-11 stoccate a temperatura ambiente (modificare l'immagine)

A suo sfavore però, a differenza del CFC-11, il ciclopentano è molto infiammabile e il suo vapore forma miscele esplosive con l'aria se non captato adeguatamente, per cui è necessario evitare perdite diffuse negli impianti di lavorazione. Nella Tab. 3 sono mostrate alcune proprietà fisico-chimiche del ciclopentano (https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclopentano):

Tabella 3: Proprietà fisico-chimiche del ciclopentano

Stato fisico	Liquido
Colore	Incolore
Odore	Di benzina
Temperatura di fusione [°C]	- 93,9
Temperatura di ebollizione [°C]	49
Temperatura di infiammabilità [°C]	- 37

LEL [vol.%]	1,5
UEL [vol.%]	8.7
Densità a 20°C [kg/m^3]	750
Densità relativa all'aria del gas/vapore	2,4

2. PROBLEMATICA DEI GRANULATORI NEL TRATTAMENTO DI FRIGORIFERI E CONGELATORI

Una delle problematiche riscontrate nei granulatori per la macinazione dei frigoriferi e congelatori è dovuta alla dissociazione del poliuretano rigido espanso durante le fasi di macinazione, con conseguente rilascio di ciclopentano (utilizzato come gas espandente nelle schiume poliuretaniche) che, essendo infiammabile, può causare esplosioni. Inoltre, all'interno dei granulatori sono presenti in movimento polveri fini di plastica, rame e alluminio che possono partecipare alla formazione dell'atmosfera esplosiva. Può capitare che alcuni frammenti di acciaio/ferro (incandescenti a seguito della frizione durante le fasi precedenti di frantumazione della carcassa) non vengano captati adeguatamente dal sistema di separazione dei metalli ferrosi (ad esempio dai nastri magnetici) e si introducano all'interno dei granulatori; nel caso si presentino le condizioni ideali con elevate concentrazioni di ciclopentano, i frammenti di acciaio/ferro incandescenti possono fungere da innesco per l'atmosfera esplosiva, con conseguente esplosione. Non si esclude che il gas possa fuoriuscire dai punti di giunzione della macchina e/o impianto a causa di punti di giunzione allentati, inoltre, poiché la macchina genera delle polveri molto sottili, esse possono fuoriuscire dalla macchina andando a depositarsi sulla stessa e nella zona circostante, come mostrato in Fig. 12; se la macchina si trova all'interno di un sistema chiuso (per esempio un sistema di insonorizzazione) l'atmosfera esplosiva si può formare non solo all'interno della macchina ma anche al di fuori di essa. Oltretutto questo tipo di macchine, secondo quanto riportato nel loro manuale di istruzioni per l'uso e la manutenzione, non può essere utilizzata in atmosfera esplosiva ed in nessun caso è consentito immettervi materiali esplosivi, corrosivi o che possano dare luogo ad emissioni di sostanze soggette ad incendio o di gas nocivi alla persona.

Figura 12: Deposito di polvere

3. OBIETTIVO DELLA TESI

Tenendo conto delle caratteristiche chimiche del poliuretano rigido espanso con ciclopentano, delle problematiche riscontrate nei granulatori che trattano frigoriferi e congelatori, l'obiettivo della tesi è quello di analizzare le varie componenti della macchina, dell'impianto di cui fa parte, le varie fasi del processo di trattamento e la normativa, in modo tale da poter comprendere i meccanismi che portano alla formazione di atmosfere esplosive e di definire quali possano essere le misure di miglioramento applicabili per soddisfare il RES 1.5.7, relativo alle esplosioni, della Direttiva Macchine 2006/42/CE.

4. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO E DEL PROCESSO DI TRATTAMENTO DEI FRIGORIFERI E CONGELATORI

In genere le linee di trattamento e triturazione RAEE sono composte da vari processi consequenziali. Inizialmente i RAEE vengono stoccati in ambienti protetti e isolati, evitando così la dispersione nell'ambiente di sostanze nocive contenute al loro interno. A seguire la fase di pretrattamento, smontaggio e recupero dei componenti, dove un operatore si occuperà appunto di smontare le apparecchiature e di estrarre oli e/o gas contenuti all'interno. L'apparecchiatura viene inoltre messa in sicurezza in quanto al suo interno potrebbero esserci materiali dannosi (es. interruttori al mercurio e i condensatori). Successivamente il materiale bonificato viene caricato sul nastro trasportatore che scarica il materiale all'interno della tramoggia di carico, cosicché il materiale venga triturato da un trituratore (bialbero o quadrialbero). Il materiale uscito dal trituratore può attraversa ulteriori fasi di triturazione a seconda della pezzatura desiderata. Infine, il materiale triturato viene estratto da un nastro, posto in corrispondenza di un separatore magnetico che effettua la separazione del materiale ferroso; il resto dei materiali non ferrosi viene ulteriormente separato, per esempio attraverso correnti indotte, e scaricato in appositi contenitori. (https://camec.net/risorse/impianti-di-riciclaggio-raee/)

Più nello specifico, gli impianti per lo smaltimento di frigoriferi e congelatori sono composti dalle seguenti sequenze operative:

1) FASE 1: consiste nel pretrattamento e bonifica degli apparecchi da smaltire e disassemblaggio e recupero dei componenti. La procedura prevede la rimozione del refrigerante e del lubrificante all'interno dei circuiti dei frigoriferi. L'operazione consiste nella foratura del tubo del refrigerante liquido del circuito per mezzo di pinze a scatto dotate di ago e relativa guarnizione di tenuta in grado di penetrare la parete del tubo. Questi aghi di prelievo sono collegati all'unità di recupero per mezzo di tubo flessibile e consentono il recupero del liquido grazie ad una pompa a vuoto. Il sistema è altresì dotato di un impianto di compressione per la condensazione delle fasi gassose. Una volta evacuato il contenuto dei frigoriferi, si procede allo smontaggio e al recupero dei componenti, come per esempio compressore, evaporatore, condensatore, tubazioni in rame, ecc.;
2) FAE 2: consiste nelle fasi di frantumazione e macinazione nonché il recupero del poliuretano. Le carcasse entrano nella sezione di macinazione mediante un nastro trasportatore inclinato. La sezione di macinatura è costituita da due differenti stazioni, una bialbero che esegua una prima macinazione grossolana ed una quadrialbero che esegue una macinazione più fine. Entrambi i macinatori sono inertizzati con azoto. A questo punto il prodotto macinato entra in una tramoggia vibrante che provvede a distribuire il prodotto su un nastro magnetico per la separazione dei materiali ferrosi e il successivo trasferimento su un nastro trasportatore inclinato che lo scarica all'interno di un cassone di recupero. In corrispondenza della testata di scarico del nastro magnetico e del nastro inclinato sono montate due cappe di aspirazione, con lo scopo di andare ad aspirare il poliuretano privo di residui metallici (circa l'80% del totale). Il materiale in uscita dal separatore magnetico entra in un trasportatore a coclea inclinato, in modo da provvedere all'alimentazione della sezione di granulazione dei materiali non ferrosi. Il granulatore provvede quindi ad una ulteriore sminuzzatura del prodotto. Anche in questo caso, il granulatore è inertizzato con azoto;
3) FASE 3: consiste nella separazione del poliuretano, plastica, alluminio e rame. Nella parte inferiore del granulatore è presente una tramoggia di scarico che consente di trasferire il prodotto sminuzzato in una coclea inclinata che alimenta due separatori a zig-zag posti in serie. Questi due separatori consentono di separare il poliuretano

restante dal resto dei materiali, quali plastica, alluminio e rame. Il poliuretano, essendo più leggero, durante la fase di caduta viene catturato dal sistema di aspirazione ed inviato ad un filtro a maniche. Il resto dei materiali fuoriesce dal secondo separatore a zig-zag e vengono convogliati, mediante nastro trasportatore obliquo, sopra un piatto vibrante che consente di distribuire in modo uniforme il prodotto sul nastro interno di un separatore a correnti parassite. Tali correnti caricano le particelle metalliche (rame ed alluminio) consentendone la rimozione dal nastro e lo scarico in un contenitore apposito. La plastica restante viene inviata ad un secondo separatore a correnti parassite per ottimizzare il processo di separazione. Infine, la plastica libera dal rame e dall'alluminio viene raccolta in appositi contenitori

4) FASE 4: consiste nella pellettizzazione del poliuretano. A seguito dei processi di separazione aeraulica, il poliuretano in forma granulare viene raccolto in apposito silos e successivamente inviato alla bocca di carico della pellettizzatrice, dove il poliuretano viene appunto pellettizzato e raccolto negli appositi cassoni.

Gli impianti di macinazione, che comprendono la fase di frantumazione e quella di granulazione, vengono mantenuti inerti grazie al funzionamento di un apposito impianto di inertizzazione. Per motivi di sicurezza, questi tipi di impianti sono dotati di un sistema automatico di controllo dell'esplosività il quale provvede a verificare che la concentrazione di ossigeno all'interno dei macchinari di processo venga mantenuta sotto il 5%, impedendo ai gas infiammabili presenti di formare miscele esplosive. Inoltre, l'impianto di inertizzazione, oltre a provvedere al recupero dei gas grezzi, provvede anche alla condensazione degli stessi allo stato liquido. I gas allo stato liquido vengono poi stoccati in appositi serbatoi a tenuta di pressione. Il controllo della concentrazione di ossigeno all'interno dei macchinari di processo è costante durante tutto il tempo di lavoro tramite un'apposita apparecchiatura analizzatrice preposta alla sorveglianza, inoltre periodicamente viene effettuata una calibrazione del sistema di controllo atta a testare le funzionalità degli analizzatori di ossigeno. Nel caso in cui le concentrazioni di ossigeno rilevate dagli analizzatori superino il ''range'' impostato, o nel caso di malfunzionamento degli analizzatori, l'impianto produttivo si ferma automaticamente, mantenendo solo in funzione l'impianto di estrazione e/o recupero e condensazione dei gas grezzi al fine di evitare di liberare gas pericolosi in atmosfera.

4.1. Sostante infiammabili processate

Nelle normali condizioni ambientali, gli impianti di trattamento di frigoriferi e congelatori, processano una serie di sostanze infiammabili, da considerarsi pericolose ai fini della classificazione delle zone a rischio di esplosione per la presenza di gas, vapori o nebbie dell'impianto. Le sostanze sono:

- Ciclopentano
- Propano
- Isobutano
- Polvere di poliuretano

Il propano e l'isobutano sono presenti in qualità di fluidi refrigeranti contenuti all'interno dei circuiti frigoriferi, per cui la loro presenza si ritiene limitata alla zona di impianto di svuotamento circuiti e smontaggio compressori. Il maggior pericolo di esplosione è associato alla presenza di gas ciclopentano, rilasciato durante le fasi di frantumazione e macinazione dal poliuretano rigido espanso, e alla presenza di polvere di poliuretano. In genere, il processo di lavorazione non crea quantità significative di polveri metalliche (rame, ferro e alluminio) e neppure materiale plastico, ma una presenza combinata di queste polveri con quelle poliuretaniche può favorire la formazione di atmosfere esplosive. Nella seguente tabella (Tab. 4) vengono riportate le caratteristiche delle sostanze infiammabili processate (Wikipedia, 2021):

Tabella 4: Caratteristiche delle sostanze infiammabili processate

Nome	**Ciclopentano**	**Isobutano**	**Propano**
Composizione	C_5H_{10}	C_4H_{10}	C_3H_8
Densità relativa all'aria del gas/vapore	2,48	2,01	1,56
Massa molecolare (kg/mol)	72,151	58,12	44,09
Rapporto tra calori specifici (c_p/c_v)	1,09	1,11	1,14
Massa volumica del liquido (kg/m^3)	630	600	585
Calore specifico a temperatura ambiente (J/kg K)	2210	2299	2470
Coefficiente di diffusione del gas (m^2/h)	0,030	0,033	0,039
Temperatura di ebollizione (°C)	49	- 11,7	- 42,2

Temperatura di accensione (°C)	361	460	450
Temperatura di infiammabilità (°C)	- 37	- 83	- 104
LEL (%)	1,50	1,40	2,10
UEL (%)	8,70	8,40	9,50

5. DESCRIZIONE DEL GRANULATORE E SPECIFICHE TECNICHE

5.1. Descrizione generale

Il granulatore a lame è una macchina specificatamente concepita per tagliare, scheggiare e ridurre pezzi, parti e scarti di materiali termoplastici, fino ad ottenere granuli delle dimensioni richieste. La macchina si compone essenzialmente della tramoggia di carico, della camera di taglio e del dispositivo di raccolta del materiale. Una griglia consente la selezione del materiale granulato. La tramoggia e la griglia sono movimentate tramite cilindri idraulici comandati da apposita centralina.

5.2. Principio di funzionamento

Il processo di granulazione avviene come di seguito descritto (Fig. 13):

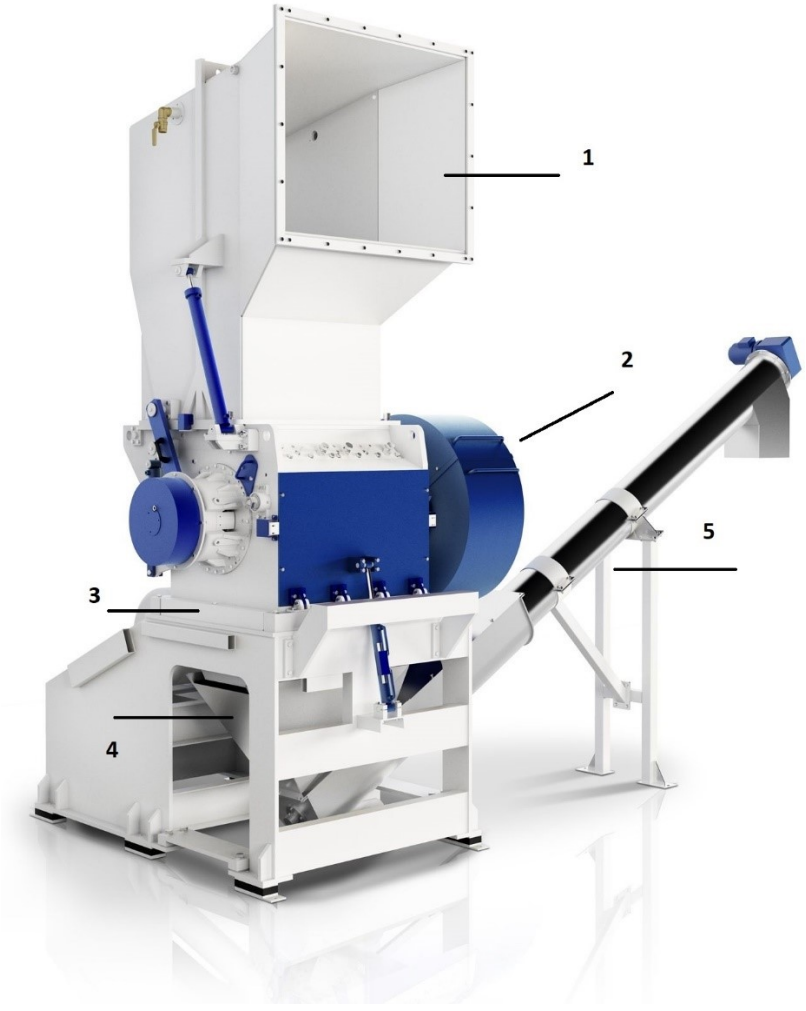


Figura 13: Sequenza processo di granulazione

L’elemento da macinare viene lasciato cadere tramite dispositivi adeguati, quali manipolatori meccanici, nastri trasportatori e coclee, all’interno della tramoggia di alimentazione (1). Seguendo il percorso indicato dalle frecce in figura, il pezzo precipita all’interno della camera di taglio (2), dove viene sminuzzato dal corpo rotante (rotore) su cui sono applicate delle lame temprate. L’azione di taglio si produce per effetto forbice tra lame rotanti e contro-lame fisse, in posizione diametralmente opposte all’interno della camera. Una griglia forata (3), posta sotto il rotore, consente ai granuli di defluire nel contenitore (4). La pezzatura dei granuli varia in funzione della dimensione dei fori sulla griglia. A questo punto i granuli sono pronti ad essere prelevati tramite sistema di aspirazione o con trasporto meccanico (5).

5.3. Principali componenti della macchina

Il granulatore è costituito dai seguenti componenti principali (Fig. 14):

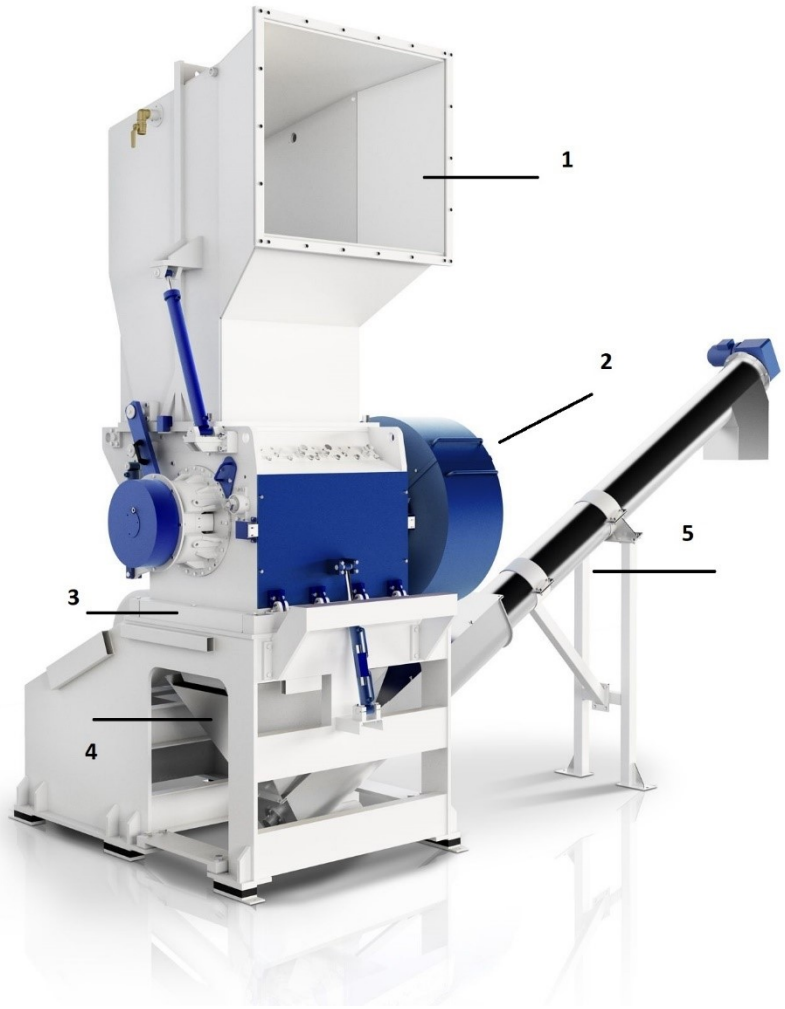


Figura 14: Componenti del granulatore

1. Basamento e motorizzazione
2. Tramoggia di alimentazione
3. Camera di taglio con rotore
4. Unità di raccolta e prelievo
5. Coclea di estrazione

5.3.1. Basamento e motorizzazione

È costituito da una struttura di supporto in lamiera e profilati di acciaio al carbonio, su cui è montato il motore di azionamento del rotore (Fig. 15). La trasmissione avviene tramite cinghie e due pulegge di riduzione: la puleggia di diametro minore è applicata all'albero motore mentre quella di diametro maggiore all'albero del rotore della camera di taglio. Le cinghie di trasmissione trasferiscono potenza al rotore, svolgendo allo stesso tempo un'azione di smorzamento delle vibrazioni nella direzione opposta. Inoltre, la trasmissione a cinghia svolge il ruolo di frizione di emergenza: in caso di blocco istantaneo del rotore, infatti, la cinghia, slittando sulla puleggia motore, produce un'azione di attenuazione nella propagazione delle forze.

Figura 15: Basamento e motorizzazione

5.3.2. Alimentazione

Il mulino viene alimentata attraverso la tramoggia. L'elemento da macinare viene trasportato per mezzo di una coclea e lasciato cadere in corrispondenza della bocca di alimentazione attraverso la quale raggiunge la camera di taglio. La tramoggia viene aperta è chiusa tramite cilindro idraulico controllato da distributore a leva e centralina (Fig. 16).

Figura 16: Cilindro idraulico per apertura e chiusura tramoggia

5.3.3. Gruppo rotore e camera di macinazione

La camera di macinazione è la zona all'interno della quale il rotore sminuzza il materiale che viene introdotto attraverso la tramoggia di alimentazione (Fig. 17). Il taglio avviene in corrispondenza delle contro-lame fisse solidali con la camera di taglio. Il filo dei taglienti del rotore è inclinato rispetto al filo della lama fissa, in modo da produrre il taglio inclinato ed aumentare gli effetti dell'intaglio sul materiale, riducendo il consumo energetico.

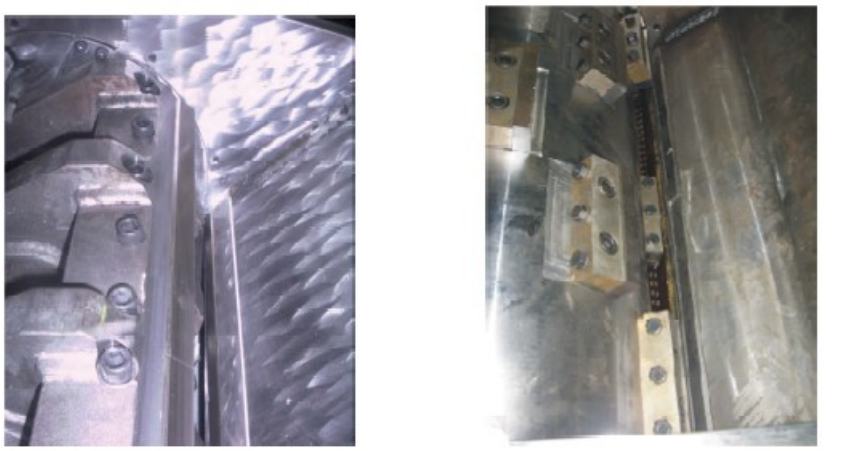


Figura 17: Rotore vuoto a lame e rotore pieno a placchette

5.3.4. Gruppo di scarico

Il gruppo di scarico è composta da:

- Griglia selezionatrice (Fig. 18)
- Tramoggia di raccolta granuli

La fase di granulazione continua finché il materiale assume la pezzatura (dimensione) richiesta, ottenuta tramite la griglia forata situata nella zona di scarico della camera di taglio. I fori, distribuiti in maniera uniforme sulla griglia, costituiscono il solo passaggio dei granuli verso l'uscita. In questo modo la pezzatura è determinata dal diametro dei fori. I granuli, per caduta, terminano la loro corsa nella tramoggia di raccolta, da dove vengono successivamente prelevati in modo automatico o manuale.

Figura 18: Griglia selezionatrice

5.3.5. Impianto idraulico

Per l'apertura e la chiusura della tramoggia di alimentazione e l'estrazione e l'inserimento della griglia selezionatrice, il granulatore è provvisto di sistema idraulico (Fig. 19) costituito da una centralina idraulica con distributori di comando a leva. Il selettore di inserzione centralina e gli indicatori di stato di funzionamento sono installati a fronte del quadro elettrico. In Tab. 5 una descrizione dei vari componenti dell'impianto idraulico.

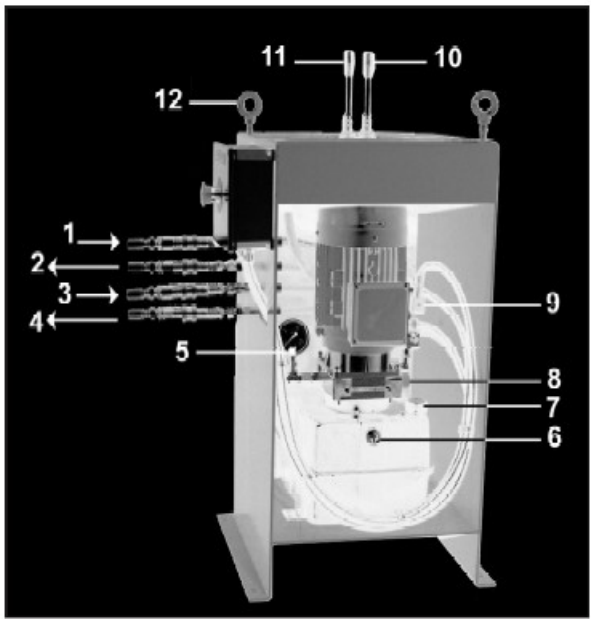


Figura 19: Impianto idraulico del granulatore

Tabella 5: Componenti dell'impianto idraulico

Posizione	Descrizione
1	Ingresso olio idraulico movimentazione griglia
2	Uscita olio idraulico movimentazione griglia
3	Ingresso olio idraulico movimentazione tramoggia
4	Uscita olio idraulico movimentazione tramoggia
5	Manometro indicatore pressione olio
6	Indicatore livello olio
7	Tappo carico olio
8	Valvola massima pressione
9	Elettrovalvola NC per scarico pompa con tramoggia a fine corsa
10	Distributore a leva di comando: ↑ apre tramoggia

	↓ chiude tramoggia
11	Distributore a leva di comando: ↑ apre griglia ↓ chiude griglia
12	Golfare di sollevamento

5.4. Impianto di inertizzazione dei granulatori

Una delle misure di prevenzione adottate contro le esplosioni è l'inertizzazione per mezzo di apposito impianto. Il compito dell'impianto di inertizzazione è quello di andare a sostituire parzialmente o totalmente l'ossigeno (comburente) contenuto nell'aria, presente nel sistema che deve essere protetto dall'esplosione, con un gas inerte, fino a ridurne il contenuto al di sotto di una data concentrazione alla quale l'esplosione non si può verificare. Affinché l'impianto operi nei migliori dei modi è importante riporre un'adeguata attenzione nella realizzazione delle misure di monitoraggio e controllo, in modo da garantire efficacia e affidabilità. Esistono tre metodi differenti di inertizzazione (Baldassin M., 2015):

1. Inertizzazione in pressione: il metodo consiste in una serie di cicli di pressurizzazione con gas inerte e sfiato in atmosfera, fino a raggiungere il valore di concentrazione di ossigeno previsto. Il sistema chiuso deve essere in grado di resistere alle sovrappressioni;
2. Inertizzazione sottovuoto: il metodo consiste in una serie di cicli di vuoto e nel successivo ripristino della pressione atmosferica con gas inerte, fino a raggiungere il valore di concentrazione di ossigeno previsto. Il sistema chiuso deve essere in grado di resistere a variazioni di pressione negative rispetto alla pressione atmosferica;
3. Inertizzazione con flussaggio: il metodo consiste nel flussaggio continuo con gas inerte all'interno del sistema da inertizzare con scarico in atmosfera. Tale metodo è valido solo nell'ipotesi di una perfetta miscelazione del gas inerte con l'aria.

5.5. Impianto di aspirazione dei granulatori

I granulatori sono dotati di un sistema di aspirazione che gli consente di mantenere una leggera depressione al suo interno, in modo da poter aspirare i gas estratti dal poliuretano (ciclopentano) durante le fasi di lavorazione. Oltre alla portata dei gas presenti nel poliuretano, il sistema di aspirazione dovrà anche rimuovere la portata di azoto immessa per inertizzare i vani interni del granulatore stesso.

5.6. Classificazione ATEX dei granulatori

In caso di assenza del sistema di inertizzazione i volumi interni dei granulatori dovrebbero essere classificati come zona 0 (al capitolo 7.3.2 è presente un approfondimento in merito alla classificazione delle zone). La presenza di un sistema di inertizzazione però modifica la classificazione di area in funzione della Tab. 7 della norma EN 60079-10-1:

Tabella 7: Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

Grado di emissione	Efficacia della Ventilazione						
	Diluizione Alta			Diluizione Media			Diluizione Bassa
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)[a]	Zona 2 (Zona 0 NE)[a]	Zona 1 (Zona 0 NE)[a]	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)[a]	Zona 2 (Zona 1 NE)[a]	Zona 2 (Zona 1 NE)[a]	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 oppure Zona 0[c]
Secondo[b]	Non pericolosa (Zona 2 NE)[a]	Non pericolosa (Zona 2 NE)[a]	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e persino Zona 0[c]

[a] Zona 0 NE, 1 NE oppure 2 NE indica una zona teorica nella quale, in condizioni normali, l'estensione è trascurabile.

[b] Il luogo classificato zona 2 creato da una sorgente di emissione di grado secondo potrebbe eccedere le condizioni attribuibili ad un'emissione di grado primo o continuo; in questo caso, dovrebbe essere applicata la distanza maggiore.

[c] Sarà zona 0 se la ventilazione è così debole e l'emissione è tale che, in pratica, un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas esiste virtualmente in continuazione (avvicinandosi cioè ad una condizione di "assenza della ventilazione").

'+' significa "circondata da".

La disponibilità della ventilazione negli spazi chiusi naturalmente ventilati non deve mai essere considerata buona.

Nel valutare la disponibilità dei sistemi di inertizzazione deve essere considerata l'affidabilità delle apparecchiature e del gas inertizzante. La disponibilità buona richiede normalmente, in caso di interruzione del servizio, l'adozione di sistemi di protezione sostitutivi. Tuttavia, se vengono presi dei provvedimenti per prevenire l'emissione

nell'ambiente della sostanza infiammabile quando viene meno l'inertizzazione (per esempio a causa di un arresto automatico del processo), non è necessario modificare la classificazione determinata con l'inertizzazione in funzione, cioè la disponibilità può essere assunta come buona. Tale condizione corrisponde esattamente al caso preso in esame. Nei granulatori, infatti, in caso di interruzione dell'erogazione del gas inertizzante l'impianto di estrusione viene arrestato e non avviene nessuna emissione nell'ambiente di sostanza infiammabile.

In base a quanto sopra riportato la disponibilità del sistema di inertizzazione può essere definita come buona e quindi, nonostante l'emissione sia di tipo continuo, la classificazione interna al granulatore può essere definita come zona 2.

6. LA VALUTAZIONE DEI RISCHI ATEX

Le normative tecniche in materia di rischio di esplosione non stabiliscono un metodo univoco né per la valutazione né per la comparazione con un valore di rischio "accettabile". 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.

Prima di parlare di valutazione dei rischi è importante comunque definire due concetti chiave: pericolo e rischio. Secondo le definizioni del D.Lgs. 81/08 si intende:

- Pericolo: proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni;
- Rischio: probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego e/o di esposizione, nonché dimensioni possibili del danno stesso.

A seguire viene proposta una metodologia qualitativa, proposta dall'INAIL, per la stima del rischio da esplosioni, che va ad integrare il documento sulla protezione dalle esplosioni previsto dall'art. 294 del D.lgs. 81/08 (Pera F. et Giuffrida M., 2013).

Come prima cosa è essenziale verificare che siano presenti sostanze infiammabili (sotto forma di gas, vapori, nebbie, liquidi, polveri e fibre) e valutare se i processi produttivi possano dar luogo ad atmosfere potenzialmente esplosive. Una volta individuati i pericoli è necessario:

- Individuare le sorgenti di emissione;
- Valutare la probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva e la sua durata;
- Valutare se i volumi di atmosfera esplosiva sono pericolosi;
- Valutare se esistono sorgenti di accensione efficaci e con quale probabilità;
- Valutare i possibili effetti di una esplosione (es. onda di pressione ed i danni ad essi connessi (relativi alla presenza di persone).

Una volta eseguito quanto sopra riportato, si procede alla realizzazione di misure finalizzate a:

- Evitare la formazione di atmosfere esplosive (nel caso in cui non fosse possibile bisogna intervenire sostituendo le sostanze pericolose con altre meno pericolose,

limitazione delle concentrazioni, inertizzazione, ventilazione, classificazione delle aree);

- Evitare sorgenti efficaci;
- Adottare misure di tipo tecnico (es. sistemi di soppressione dell'esplosione);
- Adottare misure di tipo organizzativo (es. segnalazione, procedure scritte, manutenzione programmata).

La metodologia prevede la determinazione del rischio in funzione della probabilità di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale danno procurato sia sotto il profilo della salute che della sicurezza dei lavoratori. L'entità del rischio R è definita come prodotto tra la Probabilità P che si verifichi un determinato evento e la magnitudo del Danno D che tale evento, una volta verificatosi, può determinare. Il fattore di probabilità P racchiude al suo interno tutta una serie di parametri che influiscono sul possibile verificarsi di una esplosione (es. livello di manutenzione delle attrezzature e degli impianti, presenza di sorgenti di innesco, ecc.).

La probabilità P che possa avvenire un'esplosione 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 di seguito indicata. In Tab. 8 vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello:

Tabella 8: Probabilità P di esplosione

GRADO DI PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE "P"	DEFINIZIONE QUALITATIVA
P = 1	L'esplosione è **IMPROBABILE** 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 **POCO PROBABILE** 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 **MOLTO PROBABILE** 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.

In linea generale, si può considerare che la probabilità P che si verifichi una esplosione dipenda dai seguenti parametri:

- Probabilità che la sorgente di emissione SE generi una atmosfera esplosiva, che si può indicare con P_{se};
- Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva P_{inn}.

La probabilità Pse 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 0/20, 1/21, 2/22 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 0/20 e finisce con il valore 1 per quelle NE, come indicato nella Tab. 9:

Tabella 9: Probabilità P_{se} di formazione dell'atmosfera esplosiva

P_{SE}	DEFINIZIONE	Punti
P_{SE} 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
P_{SE} 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
P_{SE} 2	**Zona 2/22** - Area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione 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
P_{SE} 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

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 mostrato in Tab. 10. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

Tabella 10: Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva

P_{INN}	DEFINIZIONE	Punti
P_{INN} 4 (Molto probabile)	Le sorgenti di accensione sono presenti in maniera continua o frequente durante il normale funzionamento.	4
P_{INN} 3 (Probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze rare a seguito di malfunzionamenti.	3
P_{INN} 2 (Poco probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze molto rare a seguito di malfunzionamenti.	2
P_{INN} 1 (Improbabile)	Sorgenti di accensione assenti o, se presenti, praticamente non efficaci	1

Una volta determinati P_{se} e P_{inn}, la probabilità P che si verifichi un'esplosione può essere ricavata dalla matrice che segue (Fig. 20), leggendo il valore corrispondente ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate.

P_{INN} \ P_{SE}	1	2	3	4
4	1	3	4	4
3	1	2	4	4
2	1	2	2	3
1	1	1	1	1

Figura 20: Matrice per la valutazione della probabilità P

Invece, il danno D può essere qualitativamente suddiviso in 4 livelli cioè trascurabile, lieve, grave e gravissimo, a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella tabella di seguito indicata. Nella Tab. 11 vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello:

Tabella 11: Il danno D

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.
1	Trascurabile	• Infortunio o episodio di esposizione con inabilità rapidamente reversibile. • Piccoli infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

La magnitudo del danno è funzione dei seguenti parametri:

- Classificazione della zona CL_{zona};
- Presenza di lavoratori esposti L_{esp};
- Fattore di esplodibilità dell'atmosfera K_{exp};
- Indice relativo al volume V_z pericoloso F_{vz};
- Indice relativo allo spessore di strati di polvere I_s;
- Fattore di confinamento F_c (Un'atmosfera esplosiva confinata o localizzata in una zona molto congestionata da strutture, impianti, che ne ostacolano l'espansione o lo sfogo ha una probabilità maggiore di produrre danni elevati).

Per il parametro CL_{zona} vengono definiti 4 livelli associati al tipo di zona e ad ognuno viene attribuito un valore numerico crescente con la pericolosità della zona, come indicato in Tab. 12:

Tabella 12: Parametro CL_{zona}

Zona	CL_{zona}
Zona 0	2
Zona 1	1
Zona 2	0,5
Zona NE (Non Estesa)	0

Per il parametro L_{esp} vengono definiti 3 livelli associati alla presenza di persone che può essere nulla, saltuaria o continua e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato in Tab. 13:

Tabella 13: Parametro L_{esp}

Presenza Lavoratori	L_{esp}
Nulla	0
Saltuaria	0,25
Continua	0,50

Per il parametro K_{exp} vengono definiti 3 livelli associati al valore dell'indice di esplosione K_g o K_{st}, a seconda che si tratti di gas (Tab. 14) oppure di polveri (Tab. 15) e ad ognuno viene attribuito un valore numerico:

Tabella 14: Paramentro K_{exp} per gas

K_G [bar m/s]	K_{Exp}
≤ 500	0
500 < K_{ST} ≤ 1000	0,25
> 1000	0,50

Tabella 15: Parametro K_{exp} per polveri

K_{ST} [bar m/s]	K_{Exp}
≤ 2500	0
200 < K_{ST} ≤ 300	0,25
> 300	0,50

Per il parametro F_{vz}, relativo ad atmosfere esplosive generate da miscele di gas ed aria, vengono definiti 3 livelli associati al valore del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato in Tab. 16:

Tabella 16: Parametro F_{vz}

V_z [dm³]	F_{vz}
≤ 10	0
10 < V_z ≤ 100	0,25
> 100	0,50

Per il parametro I_s, relativo alla presenza di strati di polvere combustibile, vengono definiti 3 livelli associati alla presenza di strati di polvere e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato in Tab. 17:

Tabella 17: Parametro I_s

Spessore S dello strado di polvere [mm]	I_s
≤ 5	0
5 < S ≤ 50	0,25
> 50	0,50

Infine, il parametro F_c vengono definiti 3 livelli associati al confinamento dell'atmosfera potenzialmente esplosiva e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato in Tab. 18:

Tabella 18: Parametro F_c

Tipo Confinamento	F_c
Non confinata	0
Parzialmente confinata	0,25
Completamente confinata	0,50

Il danno D sarà la somma dei parametri sopra indicati secondo le relazioni seguenti, valide rispettivamente per i gas e le polveri:

- $D= CL_{zona} + L_{esp} + K_{exp} + F_{vz} + F_c$
- $D= CL_{zona} + L_{esp} + K_{exp} + I_s + F_c$

Il rischio, per ciascuna zona di emissione R_{se} può essere calcolato con la formula R=P x D, arrotondando il valore alla cifra intera. L'intervallo di risultato ottenibile per R è compreso tra 1 e 16. Questi valori possono essere raggruppati in 4 intervalli, ad ognuno dei quali è associato un livello di rischio cioè, trascurabile, basso, medio, alto come indicato in Tab. 19:

Tabella 19: Livelli di rischio

1 ≤ R ≤ 2	2 ≤ R ≤ 4	4 ≤ R ≤ 9	9 ≤ R ≤ 16
TRASCURABILE	BASSO	MEDIO	ALTO

In linea di principio, basandosi sulla classificazione del rischio, possono essere programmate le misure di prevenzione e protezione secondo la Tab. 20:

Tabella 10: Misure di prevenzione e protezione

RISCHIO	MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE
ALTO	Sono richieste misure di prevenzione e protezione **urgenti** poiché determinano i presupposti per l'accadimento di un possibile infortunio di **GRAVISSIMA** 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.

Quanto riportato nella tabella precedente ha la sola funzione di evidenziare una tipologia di approccio all'attuazione di misure preventive e protettive. Termini come "urgenti" e "medio termine" assumono in questo contesto una importanza relativa. Il datore di lavoro e il servizio di prevenzione e protezione stabiliscono di volta in volta quale valenza temporale attribuire agli interventi di prevenzione e/o tecnici, finalizzati a minimizzare sia la probabilità di formazione di atmosfere esplosive, sia i relativi fattori di danno conseguente.

7. LA NORMATIVA

7.1. La Direttiva Macchine 2006/42/CE

La Direttiva Macchine 2006/42/CE è una direttiva di prodotto che definisce i requisiti essenziali, in materia di salute e sicurezza, a cui un determinato prodotto deve rispondere per poter circolare liberamente sul mercato della Comunità Europea. L'obiettivo è quello di regolamentare il mercato, stabilendo quali siano i requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute richiesti per le macchine, e imponendo che le macchine immesse nel mercato della Comunità Europea rispettino tali requisiti. I requisiti fondamentali imposti ai progettisti delle macchine sono quattro:

1) Funzionalità
2) Sicurezza
3) Manutenibilità
4) Ergonomia

La completa osservanza di questi quattro punti garantisce che una macchina possa essere considerata un manufatto a ''regola d'arte''. Inoltre, le macchine che rispettano tutti i requisiti previsti dalla norma sono definite ''Marcate CE''. Il campo di applicazione delle Direttiva Macchine è costituito da:

a) Macchine
b) Attrezzature intercambiabili
c) Componenti di sicurezza
d) Accessori di sollevamento
e) Catene, funi e cinghie
f) Dispositivi amovibili di trasmissione meccanica
g) Quasi-macchine

7.1.1. RES 1.5.7 – Esplosione

Secondo il requisito essenziale di sicurezza 1.5.7. della Direttiva Macchine relativo alle esplosioni:

''La macchina deve essere progettata e costruita in modo da evitare qualsiasi rischio di esplosione provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, polveri, vapori od altre sostanze prodotti o utilizzati dalla macchina.

La macchina deve essere, per quanto riguarda i rischi da esplosione dovuti all'utilizzo in atmosfera potenzialmente esplosiva, conforme alle specifiche direttive comunitarie.''

Il primo periodo del requisito si applica ai rischi di esplosione dovuti al funzionamento stesso della macchina o ai materiali o sostanze usati o prodotti dalla macchia. Le esplosioni si possono verificare se la combustione di queste concentrazioni di sostanze infiammabili, quali gas, vapori, nebbie o polveri dell'aria, è innescata da una fonte di accensione avente l'energia sufficiente. L'esplosione comporterà quindi una propagazione molto rapida e autoalimentata della reazione di combustione, con un accumulo di alta pressione. Il danno provocato dalle esplosioni a persone o cose è dovuto alla violenta irradiazione di fiamme, calore, onde di pressione e l'emissione di frammenti volanti e sostanze pericolose. La gravità del danno potenziale dipende principalmente dalla quantità di miscela esplosiva presente e dalla sua natura. La prevenzione del rischio di esplosione comporta una combinazione dei seguenti accorgimenti:

- Evitare l'accumulo di miscele esplosive nei settori all'interno della macchina o nelle zone vicino, evitando i materiali e le sostanze infiammabili o mantenendo in permanenza la loro concentrazione nell'aria con valori diversi dai limiti di esplosione minimi e massimi;
- Evitare la presenza di fonti di innesco nelle zone pericolose;
- Ridurre la concentrazione di ossigeno nelle zone pericolose, senza generare un ulteriore rischio per le persone.

Nel caso in cui il rischio di esplosione non possa essere completamente evitato, si devono adottare misure di prevenzione aggiuntive per limitare le conseguenze di un'eventuale esplosione. Tali misure comprendono, per esempio, una progettazione resistente alle esplosioni, la dotazione di dispositivi di scarico delle esplosioni (sfiatatoi), la dotazione di sistemi o dispositivi automatici di rilevamento e soppressione delle esplosioni per evitare la propagazione delle fiamme. Le specifiche generali per la valutazione, la prevenzione e la protezione contro il rischio da esplosione sono indicate dalla norma EN 1127-1, che verrà spiegata successivamente. Per quanto concerne il secondo periodo del requisito 1.5.7, le macchine destinate ad essere utilizzate all'interno di atmosfere potenzialmente esplosive sono soggette alle disposizioni della direttiva ATEX, per cui dovranno rispettare specifici requisiti di marcatura (Fraser I., 2010).

Per cui non necessariamente, se vi è il rischio di esplosione per una macchina, essa deve essere analizzata secondo la Direttiva ATEX. L'analisi secondo il RES 1.5.7 deve essere effettuata indipendentemente dal fatto che la macchina sia o meno installata in ambiente già potenzialmente esplosivo, e che quindi richiederebbe marcatura ATEX. Bisogna quindi valutare se l'atmosfera esplosiva che si crea all'interno della macchina possa fuoriuscire. Sono possibili tre diversi scenari (Granchi M. et Trinastich C., 2013):

1) Installazione in ambiente inerte e macchina con pericolo di esplosione interno: non vi è alcuna possibilità che l'atmosfera esplosiva possa fuoriuscire dalla macchina, per cui si procede con l'analisi del punto 1.5.7 dell'Allegato I della Direttiva Macchine;
2) Installazione in ambiente inerte con possibilità che l'atmosfera esplosiva fuoriesca dalla macchina: in questo caso dovrà essere effettuata un'analisi secondo il punto 1.5.7 delle Direttiva Macchine più un'analisi di quanto l'atmosfera esplosiva interna alla macchina possa diffondersi nell'ambiente. La macchina dovrà quindi avere marcatura ATEX;
3) Installazione in ambiente ATEX e macchina con pericolo esplosione interna: in questo caso dovrà essere effettuata un'analisi secondo il punto 1.5.7 delle Direttiva Macchine per quanto riguarda la parte interna della macchina, più un'analisi ai sensi della Direttiva ATEX per quanto riguarda la zona esterna alla macchina. In questo caso è importante valutare se l'ambiente esplosivo dentro la macchina può venire a contatto con quello esterno, andando così a modificare la zonizzazione.

Per cui, negli ultimi due casi, l'utilizzatore deve provvedere, come da D.lgs. 81/08, alla zonizzazione dell'area. Rimane compito del fabbricante specificare come e in che quantità il prodotto esplosivo lavorato dalla macchina può uscire e invadere l'ambiente circostante. Nel primo caso invece, in pratica si effettuerebbe una zonizzazione interna alla macchina, in modo da determinare la probabilità con cui si potrebbe generare l'atmosfera esplosiva e dunque di conseguenza implementare il livello di protezione: per far ciò il fabbricante può incorporare attrezzature e/o componenti, già immessi nel mercato, in modo da prevenire esplosioni interne, ma dovranno essere conformi alla Direttiva ATEX. Quindi se l'atmosfera esplosiva rimane confinata all'interno della macchina non serve che essa sia marcata ATEX, ma i dispositivi, attrezzature e/o componenti posti al suo interno si. (Granchi M. et Trinastich C., 2013)

7.2. La Direttiva ATEX 2014/34/UE

La Direttiva ATEX 2014/34/UE è stata recepita in Italia con D.Lgs 85/16 e si applica ai prodotti messi in commercio e/o in servizio a partire dal 20 aprile 2016. Essa riguarda l'armonizzazione delle legislazioni degli stati membri relative alle apparecchiature e ai sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera esplosiva. L'obiettivo di questa direttiva è quello di garantire la libera circolazione dei prodotti ai quali si applica nel territorio dell'Unione Europea.

Tale direttiva si applica ai seguenti prodotti:

- Apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva;
- Dispositivi di sicurezza, di controllo e di regolazione destinati ad essere utilizzati al di fuori di atmosfere potenzialmente esplosive ma necessari o utili per il funzionamento sicuro degli apparecchi e sistemi di protezione, rispetto ai rischi esplosione;
- Componenti destinati ad essere inseriti negli apparecchi e sistemi di protezione.

I prodotti che rientrano all'interno della Direttiva 2014/34/UE vengono suddivisi in gruppi e categorie, secondo l'allegato I ''Criteri per la classificazione dei gruppi di apparecchi in categorie'', in modo da poter determinare in seguito la procedura da seguire per la valutazione di conformità.

I prodotti sono quindi suddivisi in due gruppi differenti:

- Gruppo I: comprende gli apparecchi destinati a lavori in sotterraneo nelle miniere e nei loro impianti di superficie, esposti a rischio di sprigionamento di grisù e/o di polveri combustibili;
- Gruppo II: comprende gli apparecchi destinati a essere utilizzati in altri ambienti in cui è presente la probabilità che si manifestino atmosfere esplosive.

A loro volta, i due gruppi sono suddivisi in categorie a seconda del livello di protezione garantito contro il rischio di innesco dell'atmosfera potenzialmente esplosiva. I prodotti che appartengono al Gruppo I sono ulteriormente suddivisi in due categorie:

- Categoria M1: comprende i prodotti progettati e, se del caso, dotati di mezzi di protezione speciali supplementari per funzionare conformemente ai parametri

operativi stabiliti dal fabbricante e assicurare un livello di protezione molto elevato. In particolare, i prodotti di questa categoria devono rimanere operativi in atmosfera esplosiva, anche in caso di guasto eccezionale dell'apparecchio e sono caratterizzati da mezzi di protezione tali che in caso di guasto di uno dei mezzi di protezione, almeno un secondo mezzo indipendente assicuri il livello di protezione richiesto, oppure qualora si manifestino due guasti indipendenti uno dall'altro, sia garantito il livello di protezione richiesto;

- Categoria M2: comprende i prodotti progettati per funzionare conformemente ai parametri operativi stabiliti dal fabbricante e basati su un livello di protezione elevato. In particolare, l'alimentazione di energia dei prodotti di questa categoria deve interrompersi in presenza di atmosfera potenzialmente esplosiva. È tuttavia possibile che si possano manifestare atmosfere esplosive durante il funzionamento degli apparecchi appartenenti alla categoria M2, a causa dell'impossibilità di interrompere immediatamente l'alimentazione di energia. È quindi necessario incorporare mezzi di protezione tali da garantire un livello di sicurezza elevato. Le misure di protezione riguardanti i prodotti di questa categoria assicurano un livello di protezione sufficiente durante il funzionamento normale, anche in condizioni di funzionamento più gravose, segnatamente quelle risultanti da forti sollecitazioni e da continue variazioni delle condizioni ambientali.

I prodotti che appartengono invece al Gruppo II sono a loro volta suddivisi in tre categorie:

- Categoria 1: comprende i prodotti progettati per funzionare conformemente ai parametri operativi stabiliti dal fabbricante e garantire un livello di protezione molto elevato per l'uso previsto in ambienti in cui si rileva, sempre, spesso o per lunghi periodi, un'atmosfera esplosiva dovuta a miscele di aria e gas, vapori, nebbie o miscele di aria e polveri. I prodotti di questa categoria sono caratterizzati da mezzi di protezione tali che in caso di guasto di uno dei mezzi di protezione, almeno un secondo mezzo indipendente assicuri il livello di protezione richiesto, oppure qualora si manifestino due guasti indipendenti uno dall'altro, sia garantito il livello di protezione richiesto;
- Categoria 2: comprende i prodotti progettati per funzionare conformemente ai parametri operativi stabiliti dal fabbricante e garantire un livello di protezione elevato per l'uso previsto in ambienti in cui vi è la probabilità che si manifestino atmosfere

esplosive dovute a gas, vapori, nebbie o miscele di aria e polveri. I mezzi di protezione relativi agli apparecchi di questa categoria garantiscono il livello di protezione richiesto anche in presenza di anomalie ricorrenti o difetti di funzionamento degli apparecchi di cui occorre abitualmente tener conto;

- Categoria 3: comprende i prodotti progettati per funzionare conformemente ai parametri operativi stabiliti dal fabbricante e garantire un livello di protezione normale per l'uso previsto in ambienti in cui vi sono scarse probabilità che si manifestino, e comunque solo per breve tempo, atmosfere esplosive dovute a gas, vapori, nebbie o miscele di aria e polveri. I prodotti di questa categoria garantiscono il livello di protezione richiesto a funzionamento normale.

Per cui le varie categorie di apparecchi devono essere in grado di funzionare in conformità ai parametri operativi, stabiliti dal costruttore, ad un certo livello di protezione secondo la Tab. 21 seguente (Balassi I. et al., 2018):

Tabella 21: Condizioni di funzionamento dei prodotti in base al livello di protezione

Livello di protezione	**Gruppo I**	**Gruppo II**	**Prestazioni di protezione**	**Condizioni di funzionamento**
Molto elevato	Cat. M1		Due mezzi di protezione indipendenti o sicurezza garantita anche qualora si manifestino due guasti indipendenti uno dall'altro.	Gli apparecchi restano alimentati e in funzione anche in presenza di atmosfera esplosiva.
Molto elevato		Cat. 1	Due mezzi di protezione indipendenti o sicurezza garantita anche qualora si manifestino due guasti indipendenti uno dall'altro.	Gli apparecchi restano alimentati e in funzione nelle zone 0,1,2 per i gas e/o 20,21,22 per le polveri.
Elevato	Cat. M2		Adatte al funzionamento normale e a	Agli apparecchi viene interrotta l'alimentazione di

			condizioni di funzionamento gravose.	energia in presenza di atmosfera esplosiva.
Elevato		Cat. 2	Adatte a condizioni di funzionamento normali e a disturbi frequenti o apparecchi un cui occorre abitualmente tener conto dei guasti.	Gli apparecchi restano alimentati e in funzione delle zone 1,2 per i gas e/o 21,22 per le polveri.
Normale		3	Adatta al funzionamento normale.	Gli apparecchi restano alimentati e in funzione nelle zone 2 per i gas e/o 22 per le polveri.

Affinché i prodotti siano conformi alla Direttiva 2014/34/UE, devono soddisfare i requisiti essenziali di sicurezza e di salute definiti nell'allegato II '' Requisiti essenziali in materia di salute e di sicurezza per la progettazione e la costruzione di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva'' della suddetta direttiva. All'interno di questo allegato vengono forniti i requisiti relativi agli apparecchi e sistemi di protezione, comuni e non comuni.

7.3. D.Lgs. 81/08: Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

Il D.Lgs. n.81 del 9 aprile 2008, noto come ''Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro'', è un documento che riporta norme generali e particolari sulla prevenzione degli infortuni, delle malattie professionali e sull'igiene nei luoghi di lavoro. Il decreto aggiorna, integra e sostituisce le prescrizioni che erano comprese nelle seguenti disposizioni di legge, ormai abrogate:

- D.P.R. 547/55 – Prevenzione di infortuni sul lavoro
- D.P.R. 164/56 – Prevenzione di infortuni nelle costruzioni

- D.P.R. 303/56 – Norme per l'igiene del lavoro
- D. Lgs. 277/91 – Protezione da esposizione all'amianto e rumore
- D. Lgs. 626/94 – Sicurezza e salute dei lavoratori
- D. Lgs. 493/96 – Segnaletica di sicurezza
- D. Lgs. 494/96 – Cantieri temporanei o mobili
- D. Lgs. 187/05 – Vibrazioni meccaniche
- Legge 123/07, artt. 2, 3, 5, 6, 7 – Misure in tema di sicurezza sul lavoro

Per cui l'obiettivo è quello di evitare o comunque ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori a rischi legati all'attività lavorativa. La differenza rispetto al passato è che il testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro sposta l'attenzione sulla prevenzione, introducendo l'obbligo della valutazione preventiva dei rischi presenti in azienda; a seguito della valutazione vanno poi pianificati e adottati gli interventi necessari a migliorare la salute e sicurezza dei lavoratori. Vengono inoltre definiti gli obblighi e le responsabilità in materia di salute e sicurezza per le figure in ambito aziendale.

Di seguito viene fornito un approfondimento di alcune parti del decreto legislativo, di particolare interesse per questo studio, riguardo al:

- Titolo XI – Protezione da atmosfere esplosive;
- Allegato XLIX – Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive;
- Allegato L – Prescrizioni minime per il miglioramento della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive;
- Allegato LI – Segnale di avvertimento per indicare le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive.

7.3.1. Titolo XI – Protezione da atmosfere esplosive

Il presente Titolo prescrive le misure per la tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive. Per atmosfera esplosiva si intende ''*una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga*

nell'insieme della miscela incombusta'' (INAIL, 2019). Sulla base della valutazione dei rischi e dei principi generali di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori, il datore di lavoro adotta le misure tecniche e organizzative adeguate alla natura dell'attività; in particolare il datore di lavoro previene la formazione di atmosfere esplosive. Se la natura dell'attività non consente di prevenire la formazione di atmosfere esplosive, il datore di lavoro deve:

a) Evitare l'accensione di atmosfere esplosive;
b) Attenuare gli effetti pregiudizievoli di un'esplosione in modo da garantire la salute e la sicurezza dei lavoratori.

Nel caso in cui le suddette misure non siano sufficienti, esse dovranno essere combinate e integrate con altre, contro la propagazione delle esplosioni, e dovranno essere periodicamente riesaminate e, in ogni caso, ogniqualvolta si verificano cambiamenti significativi.

Il datore di lavoro ha quindi l'obbligo di valutare i rischi specifici, secondo l'art. 17 co. 1, derivanti da atmosfere esplosive, tenendo conto almeno dei seguenti elementi:

a) Probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive;
b) Probabilità che le fonti di accensione, comprese le scariche elettrostatiche, siano presenti e divengano attive ed efficaci;
c) Caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processi e loro possibili interazioni;
d) Entità degli effetti prevedibili.

Per cui, al fine di salvaguardare la salute e la sicurezza dei lavoratori, il datore di lavoro prende i provvedimenti necessari affinché:

a) Dove possono svilupparsi atmosfere esplosive in quantità tale da mettere in pericolo la sicurezza e la salute dei lavoratori o di altri, gli ambienti di lavoro siano strutturati in modo da permettere di svolgere il lavoro in condizioni di sicurezza;
b) negli ambienti di lavoro in cui possono svilupparsi atmosfere esplosive in quantità tale da mettere in pericolo la sicurezza e la salute dei lavoratori, sia garantito un adeguato controllo durante la presenza dei lavoratori, in funzione della valutazione del rischio, mediante l'utilizzo di mezzi tecnici adeguati.

Obbligo importante del datore di lavoro è l'elaborazione e l'aggiornamento del documento sulla protezione contro le esplosioni, in cui viene precisato:

a) che i rischi di esplosione sono stati individuati e valutati;
b) che saranno prese misure adeguate per raggiungere gli obiettivi del presente Titolo;
c) quali sono i luoghi che sono stati classificati nelle zone stabilite dall'allegato XLIX;
d) quali sono i luoghi in cui si applicano le prescrizioni minime di cui all'allegato L;
e) che i luoghi e le attrezzature di lavoro, compresi i dispositivi di allarme, sono concepiti, impiegati e mantenuti in efficienza tenendo nel debito conto la sicurezza;
f) che sono stati adottati gli accorgimenti per l'impiego sicuro di attrezzature di lavoro.

Tale documento dovrà essere compilato prima dell'inizio del lavoro ed essere riesaminato qualora i luoghi di lavoro, le attrezzature o l'organizzazione del lavoro abbiano subito modifiche, ampliamenti o trasformazioni rilevanti.

È essenziale che i lavoratori esposti al rischio di esplosione vengano informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi, con particolare riguardo:

a) alle misure adottate in applicazione del presente Titolo;
b) alla classificazione delle zone;
c) alle modalità operative necessarie a minimizzare la presenza e l'efficacia delle sorgenti di accensione;
d) ai rischi connessi alla presenza di sistemi di protezione dell'impianto;
e) ai rischi connessi alla manipolazione ed al travaso di liquidi infiammabili e/o polveri combustibili;
f) al significato della segnaletica di sicurezza e degli allarmi ottico/acustici;
g) agli eventuali rischi connessi alla presenza di sistemi di prevenzione delle atmosfere esplosive, con particolare riferimento all'asfissia;
h) all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuale e alle relative indicazioni e controindicazioni all'uso.

7.3.2. Allegato XLIX – Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive

Il presente allegato fornisce una classificazione delle aree in cui possono formarsi delle atmosfere esplosive. Tali aree sono ripartite in diverse zone, in base alla frequenza e alla durata della presenza di atmosfere esplosive:

- Zona 0: 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 o nebbia;
- Zona 1: area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori o nebbia, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività;
- Zona 2: area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore o nebbia o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata;
- Zona 20: area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria;
- Zona 21: area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività;
- Zona 22: area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata.

7.3.3. Allegato L – Prescrizioni minime per il miglioramento della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive

L'allegato fornisce una serie di prescrizioni minime da adottare al fine di ottenere il miglioramento dei livelli di protezione di sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive. Tali prescrizioni si applicano sia nelle aree classificate come pericolose in conformità dell'allegato XLIX, sia alle attrezzature in aree non esposte a rischio di esplosione ma necessarie al funzionamento delle attrezzature che si trovano nelle aree a rischio di esplosione. Tra le prescrizioni minime troviamo:

- Provvedimenti organizzativi: il datore di lavoro dovrà provvedere ad una sufficiente e adeguata formazione in materia di protezione dalle esplosioni dei lavoratori impegnati in luoghi dove possono formarsi atmosfere esplosive. Inoltre, ove stabilito dal documento sulla protezione contro le esplosioni, il lavoro nelle aree a rischio si effettua secondo le istruzioni scritte impartite dal datore di lavoro e deve essere

applicato un sistema di autorizzazioni al lavoro, per le attività pericolose o che possono diventare pericolose, quando interferiscono con altre operazioni di lavoro:

- Misure di protezione contro le esplosioni: vengono fornite una serie di misure di protezione contro le esplosioni quali ad esempio deviazione/rimozione di fughe e emissioni di gas, vapori, nebbie o polveri combustibili, utilizzo di indumenti di lavoro realizzati con materiali che non producono scariche elettrostatiche che possono causare l'accensione dell'atmosfera esplosiva, etc.

Il presente allegato definisce anche i criteri da adottare per la scelta degli apparecchi e dei sistemi di protezione. Questo perché in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive sono appunto impiegati apparecchi e sistemi di protezione, conformi alle categorie di cui al decreto del Presidente della Repubblica n. 126 del 23 marzo 1998. In tali aree sono quindi impiegate le seguenti categorie di apparecchi, purché adatti, a seconda dei casi, a gas, vapori o nebbie e/o polveri:

- Nella zona 0 o nella zona 20, apparecchi di categoria 1;
- Nella zona 1 o nella zona 21, apparecchi di categoria 1 o di categoria 2;
- Nella zona 2 o nella zona 22, apparecchi di categoria 1, 2 o 3.

7.3.4. Allegato LI – Segnale di avvertimento per indicare le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive

Le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive devono essere segnalate mediante il segnale di avvertimento riportato in Fig. 21:

Figura 21: Segnale avvertimento atmosfera esplosiva

Per una corretta comprensione del segnale, inoltre, al di sotto di esso deve essere riportata la dicitura ''PERICOLO DI ESPLOSIONE'' o ''DANGER EXPLOSION''.

7.4. Norma UNI EN 1127-1:2019 - Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia

La norma UNI EN 1127-1:2019 specifica i metodi per l'identificazione e la valutazione delle situazioni pericolose che conducono all'esplosione e le misure di progettazione e costruzione adeguate alla sicurezza richiesta. Ciò si ottiene mediante un'adeguata valutazione del rischio con conseguenti misure di riduzione del rischio. La sicurezza delle apparecchiature, dei sistemi di protezione e dei componenti può essere ottenuta mediante: un'adeguata progettazione (senza l'utilizzo di protezioni), tutela, informazioni per l'uso e ogni altra misura preventiva. L'obiettivo di questa norma è quello di fornire metodi generali di progettazione e costruzione per aiutare i progettisti e i produttori a raggiungere la sicurezza contro le esplosioni nella progettazione di apparecchiature, sistemi di protezione e componenti. È importante precisare che il documento si applica esclusivamente a prodotti di categoria II, definiti dalla Direttiva ATEX 2014/34/UE.

La valutazione del rischio, secondo la UNI EN 1127, deve tener conto del pericolo di accensione e di esplosione derivante da:

- Le apparecchiature, i sistemi di protezione e i componenti stessi;
- L'interazione tra le apparecchiature, i sistemi e i componenti di protezione e le sostanze manipolate;
- Il particolare processo eseguito nelle apparecchiature, nei sistemi di protezione e nei componenti;
- L'ambiente circostante alle apparecchiature, i sistemi e i componenti di protezione, nonché la possibile interazione con i processi adiacenti.

Il rischio di esplosione è in genere correlato ai materiali e alle sostanze trattate, utilizzate e/o rilasciate dalle apparecchiature, sistemi di protezione e componenti. A differenza della combustione di un incendio, l'esplosione è un fenomeno rapido e violento, conseguente a una reazione chimica che comporta la decomposizione di una sostanza instabile (esplosivo), innescata da cause meccaniche (urti, attriti) o termiche (scintille, aumento temperatura), con produzione di una notevole massa gassosa e di calore in tempo molto brevi. È bene precisare che le caratteristiche di sicurezza non sono costanti ma dipendono ad esempio dalle tecniche utilizzate per la loro misurazione.

Poiché in questo contesto non è il materiale stesso che rappresenta il potenziale pericolo di esplosione, ma il suo contatto o miscelazione con l'aria, devono essere determinate le proprietà della sostanza infiammabile/combustibile con l'aria. Queste proprietà sono importanti perché consentono di avere informazioni sul comportamento di combustione di una determinata sostanza e se potrebbe dar luogo a possibili incendi o esplosioni. I dati rilevanti sono ad esempio:

- Limite inferiore di esplosività (può essere sostituito dal limite inferiore di infiammabilità se non è presente il limite inferiore di esplosività);
- Limiti inferiori e superiori di esplosività (LEL, UEL);
- Limitazione della concentrazione di ossigeno.

La probabilità che si verifichi un'atmosfera esplosiva pericolosa dipende: dalla presenza di una sostanza infiammabile/combustibile, dal grado di dispersione della sostanza infiammabile/combustibile (es. gas, vapori, nebbie), dalla concentrazione della sostanza infiammabile/combustibile nell'aria all'interno del campo di esplosione, quantità di atmosfera esplosiva sufficiente a causare lesioni o danni in caso di accensione. Per poter determinare la probabilità che si verifichi un'atmosfera esplosiva pericolosa è necessario prendere in considerazione:

a) Presenza di una sostanza infiammabile/combustibile: la presenza di sostanze infiammabili/combustibili viene considerata come presenza di materiali che possono formare un'atmosfera esplosiva (a meno che un'indagine sulle loro proprietà non abbia dimostrato che nella miscela con l'aria sono incapaci di generare un'esplosione). Per la valutazione della probabilità che si verifichi un'atmosfera esplosiva devono essere prese in considerazione le reazioni chimiche, pirolisi e processi biologici dei materiali presenti;
b) Grado di dispersione delle sostanze infiammabili/combustibili: per loro stessa natura, i gas, i vapori e le nebbie hanno un grado di dispersione sufficientemente elevato da produrre un'atmosfera esplosiva pericolosa. Mentre per le polveri il verificarsi di un'atmosfera esplosiva pericolosa può essere assunto se la frazione granulometrica è uguale o inferiore a 0,5 mm.
c) Concentrazione di sostanze infiammabili/combustibili: un'esplosione è possibile solo quando la concentrazione della sostanza infiammabile/combustibile dispersa in aria raggiunge un valore minimo (LEL). Va precisato che comunque l'esplosione

non avviene se viene superato il limite superiore di esplosività (UEL). Per le polveri non vale quanto detto sopra, in quanto le nuvole di polveri sono generalmente disomogenee.

d) Quantità di atmosfera esplosiva pericolosa: la valutazione se l'atmosfera esplosiva è presente in quantità pericolose dipende dai possibili effetti dell'esplosione.

Una delle prime cosa da fare è l'identificazione delle sorgenti di innesco, in modo da determinare quali tipi di sorgenti sono possibili e quali sono legate all'apparecchiatura. A seguire si valuta la probabilità che si verifichi la potenziale fonte di innesco (si tiene conto anche delle fonti di innesco che possono essere introdotte per esempio durante le fasi di pulizia o manutenzione). Proprietà da prendere in considerazione sono l'energia di accensione, la temperatura minima di accensione e la temperatura di autoaccensione. Successivamente le fonti di innesco verranno classificate in base alla probabilità di diventare efficaci:

a) Sorgenti di accensione che possono verificarsi continuamente o frequentemente;
b) Sorgenti di accensione che possono verificarsi in situazioni rare;
c) Sorgenti di accensione che possono verificarsi in situazioni molto rare.

Se si fa riferimento alle apparecchiature, sistemi di protezione e componenti, la classificazione si considera nel modo seguente:

a) Sorgenti di accensione che possono verificarsi durante il normale funzionamento;
b) Sorgenti di accensione che possono verificarsi esclusivamente a causa di malfunzionamenti;
c) Sorgenti di accensione che possono verificarsi esclusivamente a causa di rari malfunzionamenti.

Nel caso in cui non sia possibile stimare la probabilità che si verifichi una fonte di accensione efficace, si considera l'ipotesi di fonte di accensione sempre presente.

Successivamente si stimano i possibili effetti dell'esplosione, considerando: onda di pressione, fiamme e gas caldi, radiazione termica, proiezione di frammenti, rilascio pericoloso di materiali.

Tra le possibili fonti di accensione, limitatamente al caso in esame, troviamo:

- Superfici calde: se un'atmosfera esplosiva entra in contatto con una superficie riscaldata può verificarsi un'accensione, ma non è solo questo il caso, anche uno strato di polvere o di combustibile può essere una potenziale fonte di accensione. La capacità di una superficie riscaldata di provocare l'accensione dipende sia dal tipo di sostanza che dalla concentrazione della stessa con l'aria. Questa capacità aumenta all'aumentare sia della temperatura che della superficie. Inoltre, la temperatura di accensione dipende da vari fattori quali ad esempio la forma e le dimensioni del corpo riscaldato, dalla velocità del flusso dell'atmosfera esplosiva intorno alla superficie calda, ecc. Se l'atmosfera esplosiva rimane a contatto con la superficie calda per un tempo relativamente lungo, possono verificarsi reazioni preliminari, ad esempio fiamme fredde, che formano prodotti di decomposizione facilmente infiammabili, i quali favoriscono l'accensione dell'atmosfera esplosiva. Oltre alle superfici calde facilmente riconoscibili (ad esempio radiatori, armadi, ecc.), possono portare a temperature pericolose anche i processi meccanici e di lavorazione. Questi processi comprendono apparecchiature, sistemi di protezione e componenti che convertono l'energia meccanica in calore (ad esempio tutti i tipi di frizione);
- Impatto, attrito e abrasioni generate meccanicamente: a causa dei processi di attrito, abrasione o impatto, come la molatura, le particelle, le quali si separano dai materiali solidi, si surriscaldano a causa dell'energia utilizzata nel processo di separazione. Se queste particelle sono costituite da particelle ossidabili, ad esempio ferro o acciaio, possono subire un processo di ossidazione raggiungendo così temperature ancor più elevate. Queste particelle (scintille) possono accendere i gas infiammabili e determinate miscele di polvere e aria. Inoltre, nelle polveri depositate, la combustione senza fiamma può essere causata dalle scintille e questo può essere una potenziale fonte di accensione per un'atmosfera esplosiva. L'ingresso di materiali estranei all'interno di apparecchiature, sistemi di protezione e componenti (ad esempio pietre, ferro) può causare la formazione di scintille. Le scintille possono essere causate anche dallo sfregamento per attrito tra metalli ferrosi (in alcuni casi anche alcuni tipi di ceramiche). Inoltre, quando l'acciaio inossidabile è coinvolto in un impatto, nell'attrito o nella molatura, può generare facilmente superfici calde e quindi un'efficace fonte di accensione. Altre possibili fonti sono gli impatti tra metalli leggeri (o loro leghe) e ruggine, impatti tra metalli leggeri quali titanio e zirconio o rischi di accensione nei lavori di saldatura;

- Apparecchiature e componenti elettrici: in questo caso possono formarsi scintille elettriche o superfici calde a causa di:
    - Circuiti elettrici aperti o chiusi;
    - Collegamenti allentati;
    - Correnti vaganti;
    - Per sovraccarico o raffreddamento insufficiente;
    - Cortocircuito.

Si precisa che una tensione molto bassa non è una misura adatta alla protezione contro le atmosfere esplosive.

A seguire la norma propone una serie di misure di prevenzione e protezione:

- Prevenzione: evitare o ridurre le atmosfere esplosive pericolose; l'obiettivo è raggiungibile modificando la concentrazione della sostanza infiammabile/combustibile ad una valore diverso dall'intervallo di esplosione, oppure andando a modificare la concentrazione di ossigeno ad un valore inferiore alla concentrazione limite di ossigeno. È importante evitare ogni possibile fonte di innesco efficace;
- Protezione: arrestare e/o limitare l'esplosione ad un livello sufficiente per mezzo di metodi di protezione (es. soppressione e contenimento, isolamento, sfogo, ecc.).

La riduzione del rischio si ottiene applicando o misure di prevenzione o misure di protezione, oppure per mezzo di una loro combinazione. Ove possibile, le sostanze infiammabile/combustibili devono essere sostituite con sostanze non infiammabili/combustibili, e questo si può ottenere mediante la sostituzione o riduzione della quantità di sostanze che sono in grado di formare atmosfere esplosive. Tali misure devono essere monitorate e tenute sotto controllo (ad esempio per mezzo di rilevatori di gas o di flusso, accoppiati con allarmi); durante queste misure di controllo, la concentrazione delle sostanze infiammabili/combustibili deve essere sufficientemente al di sotto o al di sopra del range di infiammabilità. Nel caso della polvere, è difficile evitare atmosfere esplosive pericolose limitando la concentrazione poiché le miscele polvere-aria sono generalmente disomogenee.

Un'altra misura che propone la norma è l'inertizzazione. L'aggiunta di gas inerte (ad esempio azoto, anidride carbonica, gas nobili), vapore acqueo o polvere inerte (ad esempio carbonato di calcio) possono impedire la formazione di atmosfere esplosive pericolose. L'inertizzazione mediante gas inerti si basa sulla riduzione di concentrazione di ossigeno nell'atmosfera, rendendola non esplosiva. In pratica si definisce la concentrazione di ossigeno massima consentita, applicando un fattore di sicurezza alla concentrazione limite di ossigeno (funzione del gas inerte utilizzato).

Per ridurre al minimo il rischio di esplosione all'esterno dell'apparecchiatura, dei sistemi di protezione e dei componenti, a causa di una perdita di sostanze infiammabili/combustibili, tali apparecchiature devono essere progettati, costruiti e azionati in modo tale da rimanere durevolmente privi di perdite. Ciò può essere conseguito, ad esempio, per mezzo di una chiusura e/o deviazione dei vapori in fuga in una zona dove non vi siano rischi di accensione. È chiaro che si dovrà prestate particolarmente attenzione alla selezione dei materiali da costruzione (ad esempio guarnizioni, giunti), alla tenuta dei raccordi (i collegamenti devono essere limitati al minimo), drenaggio e ventilazione del locale.

Un fattore molto importante è la ventilazione, aspetto da prendere in considerazione nel controllo degli effetti dei rilasci di gas e vapori infiammabili. Essa può essere impiegata sia all'interno che all'esterno delle apparecchiature, sistemi di protezione e componenti. Per le polveri, di norma la ventilazione fornisce una protezione sufficiente solo nel caso in cui la polvere venga aspirata dal luogo di origine, evitando così depositi pericolosi di polvere combustibile. Al fine di prevenire la formazione di un'atmosfera esplosiva pericolosa derivante dalla dispersione di depositi di polvere nell'aria, le apparecchiature, sistemi di protezione e componenti devono essere costruiti in modo che per quanto possibile si evitino i depositi di polvere. Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione dei sistemi di trasporto e rimozione delle polveri, i quali devono esser basati sui principi della dinamica del flusso, e nella predisposizione di un'adeguata attività di pulizia (l'attrezzatura per la pulizia deve essere adatta all'uso con polvere combustibile).

A seguire la norma fornisce una serie di requisiti per la progettazione e la costruzione di apparecchiature, sistemi di protezione e componenti per evitare le fonti di accensione efficaci. Se sono possibili rischi di innesco si dovrà intervenire con ogni mezzo per rimuovere tali fonti. È importante che tali apparecchiature, sistemi di protezione e

componenti siano dotati di adeguati sistemi di misura e controllo, affinché sia minima la probabilità che si verifichi una fonte di innesco efficace.

È chiaro che, in caso di emergenza, siano necessarie misure di emergenza speciali quali: arresto di emergenza dell'intero impianto o di parti di esso, svuotamento di emergenza di parti di impianto, interrompere i flussi di materia tra le parti dell'impianto o allagamento di parti dell'impianto con sostanze idonee (ad esempio azoto, acqua).

8. COME SODDISFARE IL RES 1.5.7 DELLA DIRETTIVA MACCHINE 2006/42/CE PER I GRANULATORI

Come già spiegato precedentemente, secondo il RES 1.5.7 della Direttiva Macchine 2006/42/CE, le macchine devono essere progettate e costruite in modo da evitare qualsiasi rischio di esplosione provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, vapori od altre sostanze prodotte o utilizzate dalla macchina, per cui i granulatori che trattano frigoriferi e congelatori non rispettano il sopracitato RES. Inoltre, in genere i granulatori non possono essere utilizzati in atmosfera esplosiva ed in nessun caso è consentito immettervi materiali esplosivi o che possano dar luogo ad emissioni di sostanze soggette ad incendio. Durante la macinazione di frigoriferi e congelatori viene rilasciato ciclopentano dalla macinazione del poliuretano rigido espanso, il quale, avendo temperatura di infiammabilità sotto i 0°C (-37°C), a temperatura e pressione ambiente i vapori dell'idrocarburo sono infiammabili. Per cui prendendo in considerazione tali evidenze, risulta che i granulatori non possano essere utilizzati per la macinazione di frigoriferi e congelatori.

Nonostante il fabbricante della macchina ritenga utilizzo improprio l'impiego del granulatore in atmosfera esplosiva, l'utilizzatore potrebbe pensare di andare a modificare la macchina in modo da soddisfare il RES 1.5.7 e ottenere quindi la certificazione per la stessa. Di seguito vengono fornite una serie di accorgimenti in modo tale che la macchina possa rispondere al requisito della Direttiva Macchine:

- Prendendo in considerazione la classificazione ATEX della norma EN 60079-10-1, come mostrata in Tab. 22, i volumi interni della macchina dovrebbero essere classificati come Zona 0.

Tabella 22: Influenza dei sistemi di inertizzazione sui tipi di zone

Grado di emissione	Efficacia della Ventilazione						
	Diluizione Alta			Diluizione Media			Diluizione Bassa
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)[a]	Zona 2 (Zona 0 NE)[a]	Zona 1 (Zona 0 NE)[a]	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)[a]	Zona 2 (Zona 1 NE)[a]	Zona 2 (Zona 1 NE)[a]	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 oppure Zona 0[c]
Secondo[b]	Non pericolosa (Zona 2 NE)[a]	Non pericolosa (Zona 2 NE)[a]	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e persino Zona 0[c]

Nel caso in cui la macchina sia dotata di un sistema di inertizzazione, nelle condizioni ottimali di funzionamento si ottiene una classificazione all'interno del granulatore come Zona non pericolosa; ciò significa che un'eventuale esplosione non determinerebbe un danno. Però, se si vuole realizzare la macchina a favore della sicurezza, essa può essere dotata di apparecchiature di categoria 3, secondo l'Allegato I - Criteri per la classificazione dei gruppi di apparecchi in categorie – della Direttiva ATEX 2014/34/UE. Inoltre, tali apparecchi di categoria 3 devono soddisfare i requisiti supplementari di cui all'Allegato II, punto 2.3, secondo cui:

- Per quanto riguarda le atmosfere esplosive dovute alla presenza di gas, vapori o nebbie: '' Gli apparecchi devono essere progettati e costruiti in modo da evitare le sorgenti di innesco prevedibili durante il funzionamento normale. Nelle condizioni di funzionamento previste, le temperature superficiali non devono superare le temperature massime indicate. Un eventuale superamento è tollerabile, in casi eccezionali, se il fabbricante adotta misure di protezione speciali supplementari.''
- Per quanto riguarda le atmosfere esplosive dovute alla presenza di miscele aria-polveri: '' Gli apparecchi devono essere progettati e costruiti in modo che le sorgenti di innesco prevedibili in condizioni normali di funzionamento non rischino di infiammare le miscele aria-polveri. Per quanto concerne le temperature superficiali, si applica il requisito di cui al punto 2.1.2.3. Gli apparecchi, comprese le entrate dei cavi e dei raccordi previsti, devono essere fabbricati tenendo conto delle dimensioni delle particelle di polveri per impedire la formazione di miscele potenzialmente esplosive aria-polveri o di depositi di polvere pericolosi all'interno.''

Deve essere altresì rispettato il punto 1 - Requisiti comuni relativi agli apparecchi e sistemi di protezione, allegato II, della Direttiva ATEX, secondo cui:

''Le apparecchiature e i sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva devono essere progettati secondo il principio della sicurezza integrata contro le esplosioni''

Per ottenere ciò il fabbricante della macchina deve prendere idonee misure affinché:

- si eviti, per quanto possibile, che gli apparecchi e i sistemi di protezione producano o liberino essi stessi atmosfere esplosive;
- sia impedito l'innesco all'interno di un atmosfera esplosiva tenendo in considerazione la natura di ciascuna sorgente potenziale di innesco, elettrica o non elettrica;
- sì soffochi immediatamente e/o si circoscriva la zona colpita dalle fiamme e dalla pressione derivante dall'esplosione, secondo un livello di sicurezza sufficiente, qualora, malgrado tutto, si produca un'esplosione che può mettere in pericolo persone e/o cose.

La progettazione degli apparecchi e i sistemi di protezione deve comunque tener conto di eventuali difetti di funzionamento, in modo da evitare situazioni ancor più pericolose.

- Il compito del granulatore è quello di andare a ridurre il prodotto in polvere sottile e può capitare che queste polveri possano fuoriuscire dalla macchina andando a depositarsi sulla stessa e nell'ambiente circostante. Le polveri che derivano dalla granulazione dei frigoriferi e congelatori sono un mix di alluminio, rame, plastica e poliuretano rigido espanso, le quali nelle giuste condizioni sono infiammabili. È quindi necessario eseguire una classificazione delle aree per polveri come definito nell'Allegato XLIX – Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive – del D.Lgs. 81/08. La presenza di queste polveri genera il deposito delle stesse e, secondo l'Allegato II della Direttiva ATEX 2014/34/UE punto 1.2.4 – Depositi di polvere, gli apparecchi e i sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in zone polverose devono essere progettati in modo da non provocare l'infiammazione dei depositi di polveri che si formano sulla loro superficie. Questo poiché gli strati di polvere possono accendersi e comportarsi come sorgenti di accensione per un'atmosfera esplosiva, in particolare se perturbati naturalmente o artificialmente. È necessario quindi garantire un'idonea e frequente pulizia degli apparecchi e far sì che le temperature superficiali delle parti degli apparecchi siano nettamente inferiori alle temperature di accensione in strato delle polveri che vi si depositano. È inoltre importante che la macchina sia sottoposta a idonea manutenzione, in modo da poter verificare che i punti di giunzione siano a tenuta stagna ed evitino così la fuoriuscita delle polveri. Infatti, secondo l'allegato IV, punto

2.2 – Difesa contro le polveri, del D.Lgs. 81/08 il datore di lavoro è tenuto a adottare provvedimenti per impedire o ridurre lo sviluppo e la diffusione di polveri di qualunque specie nell'ambiente di lavoro. La norma CEI EN 60079-14:2015-04 mette a disposizione un grafico per valutare la riduzione della temperatura massima superficiale delle apparecchiature per gli strati di polvere superiore a 5 mm: quando sull'apparecchiatura possono formarsi strati di polvere superiori a 5 mm e fino a 50 mm, la massima temperatura superficiale ammissibile deve essere ridotta. Il grafico rappresentato in Fig. 22 fornisce esempi della riduzione della temperatura superficiale massima ammissibile dell'apparecchiatura, utilizzati, in funzione dell'incremento dello spessore, in presenza di polveri con temperature minime di accensione pari o superiori a 250 °C per uno strato di 5 mm. È necessario quindi che il datore di lavoro ripartisca in zone (20,21,22), a norma dell'allegato XLIX del D.Lgs. 81/08, le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive per le polveri combustibili. Dovendo inoltre dotare la macchina di apparecchiature di categoria 3, è necessario che tali apparecchiature rispettino il punto 2.3.2 – Atmosfera esplosiva dovuta alla presenza di miscele aria-polvere – dell'allegato II della Direttiva ATEX 2014/34/UE;

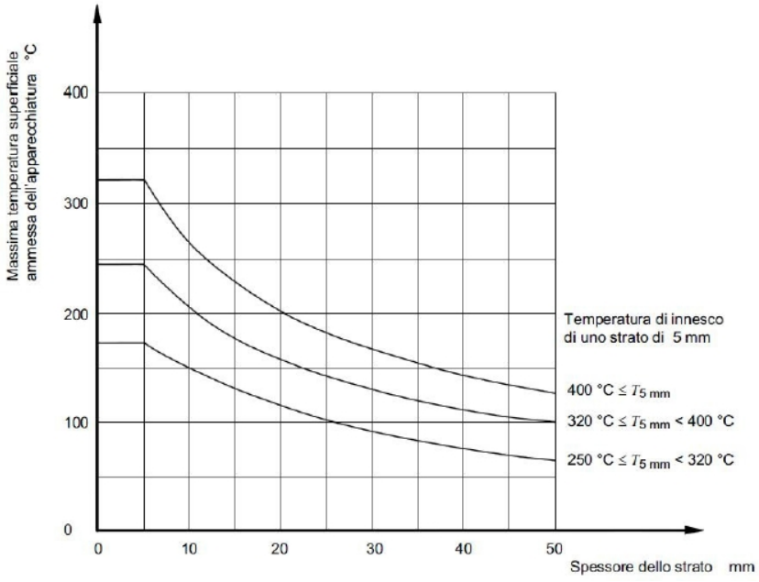


Figura 22: Grafico per valutare la riduzione della temperatura massima superficiale delle apparecchiature per gli strati di polvere superiore a 5 mm

- I granulatori per poter lavorare in sicurezza hanno bisogno di idoneo impianto di inertizzazione. Tali impianti sono in genere dotati di un sistema automatico di

controllo dell'esplosività il quale provvede a verificare che la concentrazione di ossigeno all'interno della macchina venga mantenuta al di sotto del 5%, impedendo così ai gas infiammabili fuoriusciti dalla macinazione del poliuretano rigido espanso di formare miscele esplosive. Il sistema automatico, in quanto apparecchiatura analizzatrice preposta alla sorveglianza, è da considerarsi un sistema di sicurezza ed è quindi necessario andare a quantificare la sua affidabilità SIL (Safety Integrity Level) in modo da essere conforme allo standard IEC 61508, standard internazionale che disciplina l'intero ciclo di vita dei prodotti e dei sistemi elettrici, elettronici o elettronici programmabili (E/E/PE) relativi alla sicurezza, inclusi la loro applicazione, progettazione, utilizzo e manutenzione;

- Allo scopo di rendere conforme e più sicuro l'impianto di inertizzazione del granulatore, è possibile implementare l'impianto tramite:
    - Installazione di flussometri completi di display (strumento utilizzato per misurare il flusso o la portata di massa per liquidi o gas), regolatori di portata e valvole di non ritorno lungo i collettori di alimentazione;
    - Installazione sul condotto di alimentazione dell'azoto gassoso di una valvola solenoidale normalmente chiusa.

  Di conseguenza è importante che il sistema di controllo sia conforme alla ISO 13849-1 la quale fornisce requisiti di sicurezza e una guida ai principi per la progettazione e l'integrazione delle parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza, inclusa la progettazione del software. Inoltre, secondo l'allegato II della Direttiva ATEX 2014/34/UE al punto 1.5.8 – Rischi provenienti dal software, già in fase di progettazione degli apparecchi, dei sistemi di protezione e dei dispositivi di sicurezza comandati da software, occorre tenere conto particolarmente dei rischi provenienti dalle anomalie dei programmi. Tale sistema dovrà poi essere valutato da Organismo Notificato, conformemente alla ISO13849-2;

- Il sistema di aspirazione può essere implementato mediante:
    - Installazione sul condotto di aspirazione del granulatore di una valvola di regolazione manuale;
    - Installazione, a monte della valvola di regolazione manuale, di un flussimetro a diaframma e un trasmettitore di pressione differenziale in grado di monitorare la presenza costante di una leggera depressione all'interno del

condotto, in modo da garantire il contenimento dell'atmosfera carica di ciclopentano all'interno dell'impianto. Nel caso in cui il valore della depressione rilevato scenda al di sotto del valore impostato oppure il valore del flusso ecceda il valore massimo impostato, il funzionamento del granulatore si interrompe.

- Nei casi in cui non sia possibile eliminare totalmente la fonte di innesco è necessaria l'adozione di sistemi di soppressione dell'esplosione. Tali sistemi sono progettati per rilevare e sopprimere chimicamente un'esplosione nelle sue fasi più precoci, prima che possa causare danni elevati. Il dispositivo, una volta rilevata la prima fase di formazione dell'esplosione, rilascia immediatamente all'interno del volume interessato dall'esplosione una determinata sostanza (acqua, sostanze chimiche estinguenti, polveri). Di norma tale sostanza è contenuta all'interno di sistemi a rilascio rapido, denominati HRD (High Rate Discharge). Questi sistemi prevedono l'immagazzinamento della sostanza di soppressione sotto pressione, la quale viene direttamente immessa all'interno dell'area interessata dall'esplosione. L'azione che svolge il dispositivo è quello di andare ad abbassare la pressione di esplosione ad un valore detto P_{red}, il cui andamento è riportato nel grafico in Fig. 23 (Pera F. et Giuffrida M., 2013):

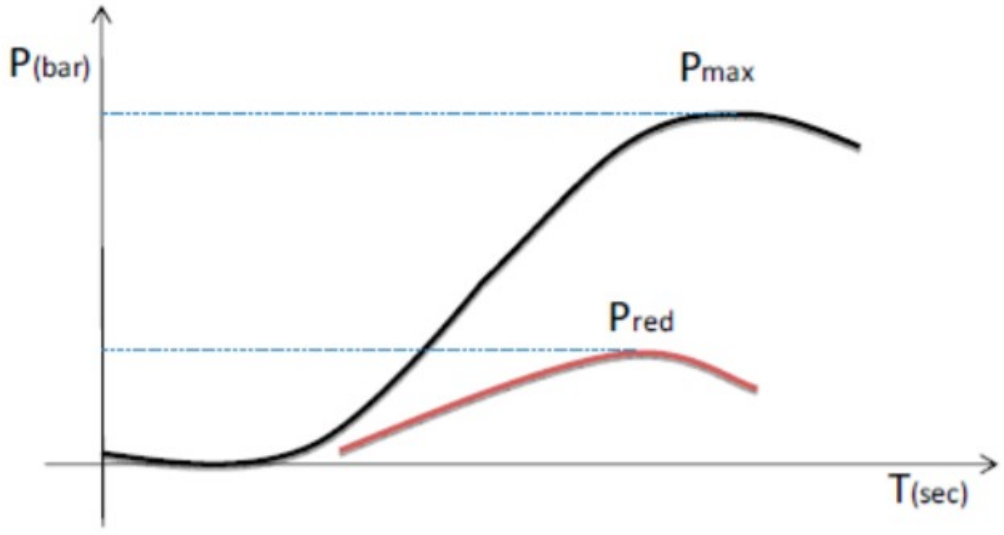


Figura 23: Andamento della pressione all'interno del volume di esplosione

La curva nera sta ad indicare l'andamento della pressione all'interno del volume interessato dall'esplosione. Il compito dei soppressori è quello di andare a ridurre la pressione fino al valore P_{red}. Di solito i valori pericolosi della pressione di esplosione

si raggiungono in meno di 50 ms, per cui i sistemi di soppressione devono essere in grado di intervenire entro tale limite di tempo. Oggigiorno, con i sistemi di rilevazione a centralina elettronica, il tempo che intercorre tra il segnale di scarico e l'effettiva apertura della valvola del soppressore non supera i 3,5 ms. Risulta importante quindi posizionare in maniera adeguata i sensori di rilevamento dell'esplosione (in genere negli ambienti chiusi si preferiscono i sensori di pressione piuttosto che i sensori ottici, UV e IR) (Pera F. et Giuffrida M., 2013). È chiaro che, come detto precedentemente, i sensori, in quanto apparecchiature analizzatrici preposte alla sorveglianza, sono da considerarsi sistemi di sicurezza ed è quindi necessario andare a quantificare la sua affidabilità SIL conformemente allo standard IEC 61508.

In Fig. 24 sono rappresentati alcuni tipi di sistemi di soppressione.

Figura 24: Sistemi di soppressione

9. CONCLUSIONI

La tesi si era posta come obiettivo quello di comprendere i meccanismi che portano alla formazione di atmosfere esplosive durante l'impiego dei granulatori utilizzati per il trattamento di frigoriferi e congelatori, in modo tale da poter poi andare a definire delle misure di prevenzione e protezione che potessero soddisfare il RES 1.5.7 della Direttiva Macchine.

Alla luce di quanto emerso dallo studio, risulta importante l'impatto del ciclopentano, utilizzato come gas espandente per ottenere il poliuretano rigido espanso, nel trattamento dei frigoriferi e congelatori. Nonostante sia un idrocarburo ecologico privo di potenziale di riduzione dell'ozono (ODP) e basso *global warming potential* (GWP) il quale conferisce eccellenti prestazioni alle schiume poliuretaniche, esso risulta essere molto infiammabile e il suo vapore forma miscele esplosive con l'aria. Negli ultimi anni preme sempre di più la lotta all'inquinamento e al cambiamento climatico; infatti, col Protocollo di Montréal sono stati messi al bando i clorofluorocarburi (CFC), precedentemente impiegati come gas espandenti, in quanto altamente lesivi per lo strato di ozono, ma ciò ha avuto delle ripercussioni sul trattamento di fine vita dei frigoriferi e congelatori e di conseguenza un riverbero sulla sicurezza nei luoghi di lavoro e sulla salute dei lavoratori. Impiegando il ciclopentano come gas espandente si è spostato il problema dall'ambiente alla sicurezza nei luoghi di lavoro, per cui è importante che in futuro la progettazione delle macchine e delle attrezzature tenga conto sia dell'aspetto ambientale ed ecologico ma anche della sicurezza delle stesse.

È importante inoltre sottolineare l'importanza del manuale d'uso e manutenzione della macchina che permette di identificare bene quali siano le migliorie che possono essere apportate. Sebbene in genere i granulatori non possano lavorare in atmosfera esplosiva, l'utilizzatore può decidere di apportare delle modifiche per mettere la macchina in sicurezza, ma riuscire a soddisfare il RES 1.5.7 relativo alle esplosioni risulta essere molto difficile a posteriori: pur adottando delle soluzioni consone dal punto di vista tecnico, le soluzioni riportate nel capitolo precedente richiederebbero una più adeguata valutazione in termini di componenti di sicurezza e di affidabilità SIL; questo poiché devono essere presenti contemporaneamente diversi requisiti quali presenza di depressione all'interno del granulatore, presenza continua di azoto da parte dell'impianto di inertizzazione, percentuale di ossigeno inferiore al 5%, etc. Ne consegue che l'utilizzatore del granulatore deve valutare

bene quali siano le migliorie da apportare alla macchina per soddisfare il RES 1.5.7, prendendo in considerazione anche l'aspetto economico: essendo difficile raggiungere un elevata sicurezza contro le esplosioni l'utilizzatore può andare incontro a delle spese ingenti, cosicché la soluzione migliore potrebbe essere quella di virare verso diversi tipi di macchine.

10. APPENDICE

10.1. Scheda di sicurezza del ciclopentano

SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

Data di preparazione	Data di revisione	Numero di revisione

SEZIONE 1: IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA O DELLA MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

1.1. Identificatore del prodotto

Nome del prodotto	Ciclopentano
Cat No. :	A14697
Sinonimi	Pentamethylene
N. CAS	287-92-3
N. CE.	206-016-6
Formula bruta	C5 H10
Numero di registrazione REACH	-

1.2. Usi identificati pertinenti della sostanza o della miscela e usi sconsigliati

Uso Raccomandato	Sostanze chimiche di laboratorio.
Settore d'uso	SU3 - Impieghi industriali: Impieghi di sostanze come tali o in preparazioni presso siti industriali
Categoria di podotto	PC21 - Sostanze chimiche di laboratorio
Categorie di processo	PROC15 - Uso come reagente da laboratorio
Categoria a rilascio nell'ambiente	ERC6a - Impiego industriale con la produzione di un'altra sostanza (uso di agenti intermedi)
Usi sconsigliati	Nessuna informazione disponibile

1.3. Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza

Società

Indirizzo e-mail

1.4. Numero telefonico di emergenza

SEZIONE 2: IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

2.1. Classificazione della sostanza o della miscela

CLP classificazione - Regolamento (CE) n. 1272/2008

Pericoli fisici

Liquidi infiammabili	Categoria 2 (H225)
Pericoli per la salute	
Tossicità da aspirazione	Categoria 1 (H304)
Tossicità specifica per organi bersaglio - (esposizione singola)	Categoria 3 (H336)
Pericoli per l'ambiente	
Tossicità cronica per l'ambiente acquatico	Categoria 3 (H412)

Testo completo Indicazioni di Pericolo: vedere Sezione 16

2.2. Elementi dell'etichetta

Avvertenza **Pericolo**

Indicazioni di Pericolo

H225 - Liquido e vapori facilmente infiammabili
H304 - Può essere letale in caso di ingestione e di penetrazione nelle vie respiratorie
H336 - Può provocare sonnolenza o vertigini
H412 - Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata
EUH066 - L'esposizione ripetuta può provocare secchezza o screpolature della pelle

Consigli di Prudenza

P210 - Tenere lontano da fonti di calore, superfici calde, scintille, fiamme libere o altre fonti di accensione. Non fumare
P303 + P361 + P353 - IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE (o con i capelli): togliersi di dosso immediatamente tutti gli indumenti contaminati. Sciacquare la pelle o fare una doccia
P301 + P310 - IN CASO DI INGESTIONE: contattare immediatamente un CENTRO ANTIVELENI o un medico
P331 - NON provocare il vomito
P261 - Evitare di respirare la polvere/i fumi/i gas/la nebbia/i vapori/gli aerosol
P304 + P340 - IN CASO DI INALAZIONE: trasportare l'infortunato all'aria aperta e mantenerlo a riposo in posizione che favorisca la respirazione

2.3. Altri pericoli

Sostan non considerate come persistenti, bioaccumulanti o tossiche (PBT) / molto persistenti e nemmeno molto bioaccumulanti (vPvB)

SEZIONE 3: COMPOSIZIONE/INFORMAZIONI SUGLI INGREDIENTI

3.1. Sostanze

Componente	N. CAS	N. CE.	Percentuale in peso	CLP classificazione - Regolamento (CE) n. 1272/2008

Ciclopentano	287-92-3	EEC No. 206-016-6	<=100	Flam. Liq. 2 (H225) STOT SE 3 (H336) Asp. Tox. 1 (H304) Aquatic Chronic 3 (H412) EUH066

Numero di registrazione REACH	-

Testo completo Indicazioni di Pericolo: vedere Sezione 16

SEZIONE 4: MISURE DI PRIMO SOCCORSO

4.1. Descrizione delle misure di primo soccorso

Avvertenza generica Se il sintomo persiste, rivolgersi ad un medico.

Contatto con gli occhi Sciacquare immediatamente con molta acqua, anche sotto le palpebre, per almeno 15 minuti. Consultare un medico.

Contatto con la pelle Lavare immediatamente con molta acqua per almeno 15 minuti. Se l'irritazione cutanea persiste, rivolgersi ad un medico.

Ingestione Pulire la bocca con acqua e bere poi molta acqua. NON provocare il vomito. Chiamare subito un medico o un centro antiveleni. Se il vomito si verifica naturalmente, piegare in avanti la vittima.

Inalazione Rimuovere all'aria fresca. In caso di assenza di respirazione, praticare la respirazione artificiale. Consultare un medico se si verificano i sintomi. Rischio di seri danni ai polmoni (per aspirazione).

Autoprotezione del primo soccorritore Assicurarsi che il personale medico sia consapevole del materiale coinvolto, prendere precauzioni per proteggersi e prevenire la diffusione della contaminazione.

4.2. Principali sintomi ed effetti, sia acuti che ritardati

Nessuno ragionevolmente prevedibile. I sintomi da sovraesposizione possono essere mal di testa, vertigini, stanchezza, nausea e vomito: L'inalazione o concentrazioni elevate di vapori possono causare sintomi come mal di testa, vertigini, stanchezza, nausea e vomito

4.3. Indicazione dell'eventuale necessità di consultare immediatamente un medico e di trattamenti speciali

Note per i Medici Trattare sintomaticamente. I sintomi possono essere differiti.

SEZIONE 5: MISURE ANTINCENDIO

5.1. Mezzi di estinzione

Mezzi di Estinzione Idonei
Uso:. Schiuma. Anidride carbonica (CO2). Prodotto chimico secco. La nebulizzazione di acqua può essere usata per raffreddare contenitori chiusi.

Mezzi estinguenti che non devono essere utilizzati per ragioni di sicurezza
L'acqua può essere inefficace. Non utilizzare l'acqua come getto pieno perché potrebbe causare dispersione e far propagare l'incendio.

5.2. Pericoli speciali derivanti dalla sostanza o dalla miscela

La decomposizione termica può provocare il rilascio di gas e vapori irritanti. Se riscaldati, i contenitori possono esplodere. I vapori possono formare miscele esplosive con l'aria. I vapori possono spostarsi verso la fonte di accensione e creare possibili ritorni di fiamma. Estremamente infiammabile.

Prodotti di combustione pericolosi
Monossido di carbonio (CO), Anidride carbonica (CO_2).

5.3. Raccomandazioni per gli addetti all'estinzione degli incendi

Come in caso di incendio in generale , indossare un respiratore autonomo con erogazione a domanda, MSHA/NIOSH (approvato o equivalente) e tuta integrale protettiva.

SEZIONE 6: MISURE IN CASO DI RILASCIO ACCIDENTALE

6.1. Precauzioni personali, dispositivi di protezione e procedure in caso di emergenza

Utilizzare il dispositivo di protezione individuale richiesto. Garantire un'aerazione sufficiente. Rimuovere tutte le sorgenti di accensione. Evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche.

6.2. Precauzioni ambientali

Non deve essere rilasciato nell'ambiente. Non svuotare nelle acque di superficie o nei servizi igienici.

6.3. Metodi e materiali per il contenimento e per la bonifica

Asciugare con materiale assorbente inerme. Conservare in contenitori idonei chiusi per lo smaltimento. Rimuovere tutte le sorgenti di accensione. Utilizzare strumenti antiscintille e apparecchiature a prova di esplosione.

6.4. Riferimento ad altre sezioni

Riferirsi alle misure di protezione elencate nella sezione 8 e 13.

SEZIONE 7: MANIPOLAZIONE E IMMAGAZZINAMENTO

7.1. Precauzioni per la manipolazione sicura

Indossare il dispositivo di protezione individuale/il viso. Evitare l'ingestione e l'inalazione. Garantire un'aerazione sufficiente. Evitare il contatto con gli occhi, la pelle o gli indumenti. Tenere lontano da fiamme libere, superfici riscaldate e fonti di accensione. Utilizzare solo utensili antiscintillamento. Al fine di evitare l'accensione dei vapori causata dalle scariche elettrostatiche, tutte le parti metalliche della macchina, dovranno essere collegate a terra. Evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche.

Misure igieniche
Maneggiare nel rispetto delle buone norme igieniche e di sicurezza industriali. Conservare lontano da alimenti o mangimi e da bevande. Non mangiare, né bere, né fumare durante l'uso. Togliersi di dosso e lavare gli indumenti e i guanti contaminati, incluse le parti interne, prima di indossarli nuovamente. Lavare le mani prima delle pause e dopo il lavoro.

7.2. Condizioni per lo stoccaggio sicuro, comprese eventuali incompatibilità

Conservare il recipiente chiuso e in un luogo fresco, ben ventilato e asciutto. Area per composti infiammabili. Conservare lontano dal calore, dalle scintille e dalle fiamme.

7.3. Usi finali particolari

Uso nei laboratori

SEZIONE 8: CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE/PROTEZIONE INDIVIDUALE

8.1. Parametri di controllo

Limiti di esposizione
Lista fonte

Componente	Unione Europea	Il Regno Unito	Francia	Belgio	Spagna
Ciclopentano			TWA / VME: 600 ppm (8 heures). TWA / VME: 1720 mg/m³ (8 heures).	TWA: 600 ppm 8 uren TWA: 1800 mg/m³ 8 uren	TWA / VLA-ED: 600 ppm (8 horas) TWA / VLA-ED: 1745 mg/m³ (8 horas)

Componente	Italia	Germania	Portogallo	i Paesi Bassi	Finlandia
Ciclopentano			TWA: 600 ppm 8 horas		

Componente	Austria	Danimarca	Svizzera	Polonia	Norvegia
Ciclopentano		TWA: 300 ppm 8 timer TWA: 850 mg/m³ 8 timer	TWA: 600 ppm 8 Stunden TWA: 1720 mg/m³ 8 Stunden		

Componente	Bulgaria	Croazia	Irlanda	Cipro	Repubblica Ceca
Ciclopentano			TWA: 600 ppm 8 hr. TWA: 1720 mg/m³ 8 hr. STEL: 1800 ppm 15 min STEL: 5160 mg/m³ 15 min		

Componente	Estonia	Gibraltar	Grecia	Ungheria	Islanda
Ciclopentano			TWA: 600 ppm TWA: 1720 mg/m³		TWA: 300 ppm 8 klukkustundum. TWA: 850 mg/m³ 8 klukkustundum. Ceiling: 600 ppm Ceiling: 1700 mg/m³

Valori limite biologici
Questo prodotto, così come fornito, non contiene alcun materiale pericoloso con valori limite biologici fissati dagli organi di regolamentazione specifici della regione

Metodi di monitoraggio
EN 14042:2003 Identificazione del titolo: Atmosfere nei luoghi di lavoro. Guida all'applicazione e all'uso di procedure destinate alla valutazione dell'esposizione ad agenti chimici e biologici.

Livello Derivato Senza Effetto (DNEL) Nessun informazioni disponibili

Via di esposizione	Effetto acuto (locale)	Effetto acuto (sistemica)	Effetti cronici (locale)	Effetti cronici (sistemica)
Via orale				
Dermico				
Inalazione				

Predicted No Effect Concentration (PNEC, Concentrazione Prevedibile Priva di Effetti) Nessun informazioni disponibili.

8.2. Controlli dell'esposizione

Controlli tecnici
Assicurarsi che le postazioni di lavaggio oculare e le docce di sicurezza siano collocate in prossimità della postazione di lavoro. Garantire una ventilazione adeguata, specialmente in aree ristrette. Usare apparecchiature elettriche/ventilatori/illuminazione a prova di esplosione.
Ove possibile, adottare misure di controllo tecnico, quali l'isolamento o la delimitazione del processo, l'introduzione di modifiche a processo o apparecchiature per ridurre al minimo il rilascio o il contatto e l'uso di impianti di ventilazione concepiti appositamente al fine di controllare i materiali pericolosi alla sorgente

Dispositivi di protezione individuale

Protezione degli occhi Indossare occhiali di protezione con schermi laterali (o occhialoni) (Norma UE - EN 166)

Protezione delle mani Guanti di protezione

Materiale dei guanti	Tempo di penetrazione	Spessore dei guanti	Norma UE	Guanto commenti
Gomma nitrilica Viton (R)	Vedere le raccomandazioni dei produttori	-	EN 374	(requisito minimo)

Protezione pelle e corpo Indossare guanti e indumenti protettivi adeguati per evitare l'esposizione della pelle.

Controllare i guanti prima dell'uso.
Vogliate osservare le istruzioni riguardo la permeabilità ed il tempo di penetrazione indicati dal fornitore di guanti (fare riferimento alle informazioni del produttore/fornitore) Assicurarsi che i guanti siano adeguati all'uso previsto: compatibilità chimica, destrezza, condizioni operative, sensibilità dell'utilizzatore ad esempio effetti indesiderati, prendendo in considerazione le condizioni ambientali specifiche in cui il prodotto è utilizzato, come il rischio di taglio o abrasione.
Rimuovere i guanti con cura evitando la contaminazione della cute.

Protezione respiratoria Quando i lavoratori sono esposti a concentrazioni superiori al limite di esposizione devono utilizzare respiratori certificati idonei.
Al fine di proteggere l'operatore, gli apparecchi di protezione delle vie respiratorie devono essere della misura adeguata e sottoposti a manutenzione e a uso corretti

Larga scala / Uso di emergenza Utilizzare un respiratore approvato da NIOSH/MSHA o dallo Standard Europeo EN 136 se vengono superati i limiti di esposizione o se vengono rilevati irritazione o altri sintomi
Tipo di Filtro raccomandato: basso punto di ebollizione solvente organico Tipo AX Marrone conforme alla EN 371

Piccola scala / Uso di laboratorio Utilizzare un respiratore approvato da NIOSH/MSHA o dallo Standard Europeo EN 149:2001 se vengono superati i limiti di esposizione o se vengono rilevati irritazione o altri sintomi
Semimaschera consigliato: - Valvola di filtraggio: EN405; oppure; Mezza maschera: EN140; oltre a filtri, EN141
Quando RPE viene utilizzato un pezzo di prova volto collare deve essere condotta

Controlli dell'esposizione ambientale Impedire che il prodotto penetri negli scarichi.

SEZIONE 9: PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE

9.1. Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

Stato Fisico Liquido

Aspetto Incolore
Odore Forte simile agli idrocarburi
Soglia dell'Odore Nessun informazioni disponibili

Punto/intervallo di fusione	-94 °C / -137.2 °F	
Punto di smorzamento	Nessun informazioni disponibili	
Punto di ebollizione/intervallo	50 °C / 122 °F	@ 760 mmHg
Infiammabilità (liquido)	Facilmente infiammabile	Sulla base di dati di prova
Infiammabilità (solidi, gas)	Non applicabile	Liquido
Limiti di esplosione	**Inferiore** 1.5 vol% **Superiore** 8.7 vol%	
Punto di Infiammabilità	-20 °C / -4 °F	**Metodo** - Nessun informazioni disponibili
Temperatura di Autoaccensione	361 °C / 681.8 °F	
Temperatura di decomposizione	Nessun informazioni disponibili	
pH	Nessun informazioni disponibili	
Viscosità	0.44 mPa.s at 20 °C	
Idrosolubilità	Non solubile	
Solubilità in altri solventi	Nessun informazioni disponibili	
Coefficiente di ripartizione (n-ottanolo/acqua):		
Componente	**log Pow**	
Ciclopentano	3	
Pressione di vapore	360 mbar @ 20 °C	
Densità / Peso specifico	0.745	
Peso specifico apparente	Non applicabile	Liquido
Densità del Vapore	2.42	(Aria = 1.0)
Caratteristiche delle particelle	Non applicabile (liquido)	

9.2. Altre informazioni

Formula bruta	C5 H10
Peso molecolare	70.15
Proprietà esplosive	I vapori possono formare miscele esplosive con l'aria

SEZIONE 10: STABILITÀ E REATTIVITÀ

10.1. Reattività

Nessuno noto in base alle informazioni fornite

10.2. Stabilità chimica

Stabile in condizioni normali.

10.3. Possibilità di reazioni pericolose

Polimerizzazione pericolosa	Non si presenta una polimerizzazione pericolosa.
Reazioni pericolose	Nessuno durante la normale trasformazione.

10.4. Condizioni da evitare

Prodotti incompatibili. Calore in eccesso. Tenere lontano da fiamme libere, superfici riscaldate e fonti di accensione.

10.5. Materiali incompatibili

Agenti ossidanti forti.

10.6. Prodotti di decomposizione pericolosi

Monossido di carbonio (CO). Anidride carbonica (CO2).

SEZIONE 11: INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE

11.1. Informazioni sulle classi di pericolo definite nel regolamento (CE) n. 1272/2008

Informazioni sul prodotto

a) tossicità acuta;

Via orale	In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti
Dermico	In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti
Inalazione	In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

Componente	LD50 Orale	LD50 Dermico	Inalazione di LC50
Ciclopentano	LD50 = 11400 mg/kg (Rat)	-	LC50 = 106 mg/L, vapour (Rat)

b) corrosione/irritazione cutanea; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

c) lesioni oculari gravi/irritazioni oculari gravi; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

d) sensibilizzazione respiratoria o cutanea;

Respiratorio	In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti
Cute	In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

e) mutagenicità delle cellule germinali; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

f) cancerogenicità; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

Questo prodotto non contiene sostanze chimiche cancerogene note

g) tossicità per la riproduzione; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

h) tossicità specifica per organi bersaglio (STOT) — esposizione singola; Categoria 3

Risultati / Organi bersaglio Sistema nervoso centrale (SNC).

i) tossicità specifica per organi bersaglio (STOT) — esposizione ripetuta; In base ai dati disponibili, i criteri per la classificazione non sono soddisfatti

Organi bersaglio: Nessuno noto.

j) pericolo in caso di aspirazione; Categoria 1

Sintomi / effetti, sia acuti che ritardati I sintomi da sovraesposizione possono essere mal di testa, vertigini, stanchezza, nausea e vomito. L'inalazione o concentrazioni elevate di vapori possono causare sintomi come mal di testa, vertigini, stanchezza, nausea e vomito.

11.2. Informazioni su altri pericoli

Proprietà di interferenza con il sistema endocrino Pertinenti ai fini della valutazione delle proprietà di interferenza con il sistema endocrino per la salute umana. Questo prodotto non contiene alcuna sostanza perturbatrice del sistema endocrino nota o presunta.

SEZIONE 12: INFORMAZIONI ECOLOGICHE

12.1. Tossicità

Effetti di ecotossicità Nocivo per gli organismi acquatici, può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico. Il prodotto contiene le seguenti sostante che sono dannose per l'ambiente.

Componente	Pesce d'acqua dolce	pulce d'acqua	Alghe d'acqua dolce
Ciclopentano		EC50: = 10.5 mg/L, 48h (Daphnia magna)	

12.2. Persistenza e degradabilità

Persistenza Non facilmente biodegradabile

Degrado in impianti di depurazione La persistenza è improbabile, in base alle informazioni fornite. Contiene sostanze riconosciute come pericolose per l'ambiente o non degradabili in impianti di trattamento di acqua di scolo.

12.3. Potenziale di bioaccumulo La bioaccumulazione è improbabile

Componente	log Pow	Fattore di bioconcentrazione (BCF)
Ciclopentano	3	Nessun informazioni disponibili

12.4. Mobilità nel suolo Il prodotto contiene composti organici volatili (COV) che evaporano facilmente da tutte le superfici È probabile che sia mobile nell'ambiente a causa della sua volatilità. Si disperde rapidamente nell'atmosfera

12.5. Risultati della valutazione PBT e vPvB Sostan non considerate come persistenti, bioaccumulanti o tossiche (PBT) / molto persistenti e nemmeno molto bioaccumulanti (vPvB).

12.6. Proprietà di interferenza con il sistema endocrino

Informazioni sulla Sostanza Perturbatrice del Sistema Endocrino Questo prodotto non contiene alcuna sostanza perturbatrice del sistema endocrino nota o presunta

12.7. Altri effetti avversi

Inquinanti organici persistenti Questo prodotto non contiene sostanze del riconosciute o sospette

Potenziale depauperamento dell'ozono Questo prodotto non contiene sostanze del riconosciute o sospette

SEZIONE 13: CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO

13.1. Metodi di trattamento dei rifiuti

Rifiuti derivanti da residui/prodotti inutilizzati I rifiuti sono classificati come pericolosi. Eliminare rispettando le Direttive Europee che riguardano i rifiuti o i rifiuti pericolosi. Smaltire in conformità alle normative locali.

Imballaggio contaminato Smaltire questo contenitori in un punto di raccolta rifiuti pericolosi o speciali. I contenitori vuoti conservano un residuo di prodotto, (liquido e/o vapore) e possono essere pericolosi. Conservare il prodotto e il contenitore vuoto lontano da calore e scintille.

Catalogo Europeo dei rifiuti (EWC) Secondo l'European Waste Catalog (Catalogo europeo dei rifiuti), i codici dei rifiuti non sono specifici per prodotto bensì per applicazione.

Altre informazioni Non svuotare nelle fognature. I codici rifiuti devono essere assegnati dall'utente in base all'applicazione per cui il prodotto è stato impiegato. Può essere messo in discarica o incenerito, se in conformità ai regolamenti locali. Non immettere questo composto chimico nell'ambiente. Non gettare i residui nelle fognature.

SEZIONE 14: INFORMAZIONI SUL TRASPORTO

IMDG/IMO

14.1. Numero ONU	UN1146
14.2. Nome di spedizione dell'ONU	Ciclopentano
14.3. Classi di pericolo connesso al trasporto	3
14.4. Gruppo di imballaggio	II

ADR

14.1. Numero ONU	UN1146
14.2. Nome di spedizione dell'ONU	Ciclopentano
14.3. Classi di pericolo connesso al trasporto	3
14.4. Gruppo di imballaggio	II

IATA

14.1. Numero ONU	UN1146
14.2. Nome di spedizione dell'ONU	Ciclopentano
14.3. Classi di pericolo connesso al trasporto	3
14.4. Gruppo di imballaggio	II

14.5. Pericoli per l'ambiente	Non ci sono pericoli identificati
14.6. Precauzioni speciali per gli utilizzatori	Non sono richieste particolari precauzioni
14.7. Trasporto marittimo alla rinfusa conformemente agli atti dell'IMO	Non applicabile, merci imballate

SEZIONE 15: INFORMAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE

15.1. Disposizioni legislative e regolamentari su salute, sicurezza e ambiente specifiche per la sostanza o la miscela

Inventari Internazionali
X = quotati, Europa (EINECS/ELINCS/NLP), U.S.A. (TSCA), Canada (DSL/NDSL), Filippine (PICCS), Cina (IECSC), Japan (ENCS), Australia (AICS), Korea (ECL).

Componente	EINECS	ELINCS	NLP	TSCA	DSL	NDSL	PICCS	ENCS	IECSC	AICS	KECL
Ciclopentano	206-016-6	-		X	X	-	X	X	X	X	KE-09297

Regolamento (UE) n. 649/2012 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 4 luglio 2012, sull'esportazione e importazione di sostanze chimiche pericolose
Non applicabile

Disposizioni Nazionali

Classificazione WGK Vedere la tabella per i valori

Componente	Germania Water Classificazione (VwVwS)	Germania - TA-Luft Classe

Ciclopentano	WGK1	

Componente	Francia - INRS (tabelle delle malattie professionali)
Ciclopentano	Tableaux des maladies professionnelles (TMP) - RG 84

15.2. Valutazione della sicurezza chimica

Una relazione sulla sicurezza chimica di valutazione / (CSA / CSR) non è stata effettuata

SEZIONE 16: ALTRE INFORMAZIONI

Testo integrale di Dichiarazioni-H di cui alle sezioni 2 e 3
H304 - Può essere letale in caso di ingestione e di penetrazione nelle vie respiratorie
H336 - Può provocare sonnolenza o vertigini
H412 - Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata
EUH066 - L'esposizione ripetuta può provocare secchezza o screpolature della pelle
H225 - Liquido e vapori facilmente infiammabili

Legenda

CAS - Chemical Abstracts Service

EINECS/ELINCS : Inventario europeo delle sostanze chimiche esistenti a carattere commerciale /Lista europea delle sostanze chimiche notificate

PICCS - Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances (Inventario delle Sostanze Chimiche delle Filippine)
IECSC - China Inventory of Existing Chemical Substances (Inventario cinese delle sostanze chimiche esistenti)
KECL - Korean Existing and Evaluated Chemical Substances (Sostanze Chimiche Esistenti e Valutate in Corea)

TSCA - Sezione 8(b) United States Toxic Substances Control Act (Decreto Statunitense per il Controllo delle Sostanze Tossiche), Inventario

DSL/NDSL - Canadian Domestic Substances List/Non-Domestic Substances List (Lista delle Sostanze non Nazionali/delle Sostanze Nazionali Canadesi)

ENCS - Japan Existing and New Chemical Substances (Sostanze chimiche nuove ed esistenti in Giappone)
AICS - Inventario Australiano delle Sostanze Chimiche (Australian Inventory of Chemical Substances)
NZIoC - New Zealand Inventory of Chemicals (Inventario delle Sostanze Chimiche in Nuova Zelanda)

WEL - Limite di esposizione sul posto di lavoro
ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferenza Americana degli Igienisti Industriali Governativi)
DNEL - Il livello senza effetto derivato

RPE - Dispositivi di protezione delle vie respiratorie
LC50 - Concentrazione letale 50%
NOEC - Concentrazione senza effetti osservabili
PBT - Persistente, bioaccumulabile, tossico

TWA - Media ponderata
IARC - International Agency for Research on Cancer

Predicted No Effect Concentration (PNEC, Concentrazione Prevedibile Priva di Effetti)
LD50 - Dose letale 50%
EC50 - Concentrazione efficace al 50%
POW - Coefficiente di ripartizione ottanolo: acqua
vPvB - molto persistente, molto bioaccumulabile

ADR - Accordo europeo relativo al trasporto internazionale di merci pericolose su strada
IMO/IMDG - Organizzazione marittima internazionale/codice marittimo internazionale per merci pericolose
OECD - Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo
BCF - Fattore di bioconcentrazione (BCF)

ICAO/IATA - Association Organizzazione internazionale dell'Aviazione Civile/Associazione internazionale del Trasporto aereo
MARPOL - Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento causato da navi
ATE - Tossicità acuta stimata
VOC - (composto organico volatile)

Principali riferimenti bibliografici e fonti di dati
https://echa.europa.eu/information-on-chemicals
Fornitori scheda di sicurezza, Chemadvisor - LOLI, Merck indice, RTECS

Indicazioni sull'Addestramento
Corsi di formazione dedicati alla consapevolezza sui rischi chimici, che comprendono etichette, schede dati di sicurezza, dispositivi di protezione individuale e misure igieniche.
Uso dei dispositivi di protezione individuale, con la selezione adeguata, la compatibilità, le soglie di fessurazione, la cura, la manutenzione, l'adeguatezza e gli standard EN.
Misure di pronto soccorso per l'esposizione alle sostanze chimiche, tra cui l'uso di una stazione lavaocchi e di docce di emergenza.

Prevenzione e misure antincendio, individuazione di rischi e pericoli, elettricità statica, atmosfere esplosive generate da vapori e polveri.
Corsi di formazione dedicati alla risposta agli incidenti chimici.

Preparato da	Reparto sicurezza prodotti Tel. +49(0)7275 988687-0
Data di preparazione	16-gen-2009
Data di revisione	11-mar-2021
Riepilogo delle revisioni	Sezioni SDS aggiornate, 2, 3, 9.

Questa scheda di sicurezza rispetta le prescrizioni del Regolamento (CE) Num. 1907/2006 REGOLAMENTO (UE) 2020/878 DELLA COMMISSIONE che modifica l'allegato II del regolamento (CE) n. 1907/2006

Dichiarazione di non responsabilità

Le informazioni riportate in questa Scheda di Dati di Sicurezza sono corrette secondo le nostre migliori conoscenze del prodotto al momento della pubblicazione. Tali informazioni vengono fornite con l'unico scopo di consentire l'utilizzo, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento del prodotto nei modi più corretti e non devono considerarsi una garanzia o una specifica della qualità del prodotto. Le informazioni precedenti si riferiscono solo al materiale qui indicato e possono essere non valide per lo stesso materiale usato in combinazione con altri materiali o in qualche procedimento, salvo nel caso in cui si trovino indicazioni nel testo

Fine della Scheda di Dati di Sicurezza

11. BIBLIOGRAFIA

- Anni R. (2019), *''Il poliuretano espanso rigido nell'economia circolare''*
- ANPE – Associazione Nazionale Poliuretano Espanso rigido (2021), *'Poliuretano: le prestazioni''* da https://www.poliuretano.it/Poliuretano.html
- Balassi I. et al. (2018), *''Guida pratica alla Direttiva 2014/34/UE – ATEX''*
- Baldassin M. (2015), *''Inertizzazione: affidabilità del sistema di monitoraggio e controllo''*
- Bing (2006), '' Thermal insulation materials made of rigid polyurethane foam''
- Böckemeier H. (2021), ''Cyclopentane for more effective insulation of refrigerators'' da https://www.haltermann-carless.com/blog/cyclopentane-for-more-effective-insulation-of-refrigerators?hs_amp=true
- Camec (2021), da https://camec.net/risorse/impianti-di-riciclaggio-raee/
- CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87):2016-11 *''Atmosfere esplosive – Parte 10-1: classificazione dei luoghi – Atmosfere esplosive per la presenza di gas''*
- Centro di coordinamento RAEE (2018). *''Manuale per le aziende di trattamento del CDC RAEE''*
- Chimica-online (2021) da https://www.chimica-online.it/download/uma.htm
- Decreto legislativo 9 aprile 2008, n81, *''Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro''*
- Direttiva 2006/42/CE: *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 maggio 2006 relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE*
- Direttiva 2012/19/UE: *Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio del 4 luglio 2012 sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche* (RAEE)
- Direttiva 2014/34/UE: *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 26 febbraio 2014 concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva*
- Fraser I. (2010), *'Guida all'applicazione delle direttiva macchine 2006/42/CE''*
- Granchi M. et Trinastich C. (2013), *''Il rischio esplosione di una macchina''*
- IEC 61508 - *Standard internazionale che disciplina l'intero ciclo di vita dei prodotti e dei sistemi elettrici, elettronici o elettronici programmabili (E/E/PE) relativi alla sicurezza, inclusi la loro applicazione, progettazione, utilizzo e manutenzione*

- INAIL (2019), *''Atmosfere esplosive''* da https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/conoscere-il-rischio/atmosfere-esplosive.html#:~:text=Si%20intende%20per%20%22Atmosfera%20esplosiva,insieme%20della%20miscela%20incombusta%20(d.
- Ischimica, *''Poliuretani''* da http://lschimica.unipr.it/Poliuretani.pdf
- Kirk-Othmer (2011). *''Encyclopedia of Chemical Technology''*. John Wiley & sons, Inc.
- Legge 25 dicembre 1993 n. 549: *''Misure a tutela dell'ozono stratosferico e dell'ambiente''*
- Mancini M. et Zampetti G., *''I gas refrigeranti in Italia''*
- Pera F. et Giuffrida M. (2013), *''Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE''*
- Stiferite (2021), *''Poliuretano rigido espanso''* da https://www.stiferite.com/poliuretano.html
- UNI EN 1127-1:2019 - *Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia*
- UNI EN ISO 13849-1:2016 - *Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Parte 1: Principi generali per la progettazione*
- UNI EN ISO 13849-2:2013 - *Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Parte 2: Validazione*
- Vairo G. et al., (2002). *''Le formulazioni poliuretaniche''*
- Wiegmann W. (1994), *'' Un'alternativa per la produzione di schiuma rigida: ciclopentano - una nuova tecnologia di isolamento adatta ai paesi in via di sviluppo''* da http://www.nzdl.org/cgi-bin/library.cgi?e=d-00000-00---off-0hdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-------0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-10&a=d&c=hdl&cl=CL3.22&d=HASH0145e99a94ae7fd450cd0966.6.5
- Wikipedia (2021), *''Cicloalcani''* da https://it.wikipedia.org/wiki/Cicloalcani
- Wikipedia (2021), *''Ciclopentano''* da https://it.wikipedia.org/wiki/Ciclopentano
- Wikipedia (2021), *''Global warming potential''* da https://it.wikipedia.org/wiki/Global_Warming_Potential
- Wikipedia (2021), *''Isobutano''* da https://it.wikipedia.org/wiki/Isobutano

- Wikipedia (2021, *‘’ Ozone Depletion Potential’’* da https://it.wikipedia.org/wiki/Ozone_Depletion_Potential
- Wikipedia (2021), *‘’Poliuretano’’* da https://it.wikipedia.org/wiki/Poliuretano#Produzione
- Wikipedia (2021), *‘’Propano’’* da https://it.wikipedia.org/wiki/Propano
- Wikipedia (2021), *‘’Protocollo di Montréal’’* da https://it.wikipedia.org/wiki/Protocollo_di_Montr%C3%A9al
- Wikipedia (2021), *‘’Scorrimento viscoso’’* da https://it.wikipedia.org/wiki/Scorrimento_viscoso#:~:text=Lo%20scorrimento%20viscoso%20(talvolta%20chiamato,lunghi%20periodi%20ad%20alta%20temperatura.