

**Sussidi didattici per il corso di
GESTIONE DEL CANTIERE E SICUREZZA**

Prof. Ing. Francesco Zanghì



RISCHIO ESPLOSIONE

AGGIORNAMENTO 01/12/2017

Esplosione



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

In funzione della velocità di propagazione, l'esplosione si diversifica in:

- **Deflagrazione:** → **velocità subsonica** (qualche centinaio di m/sec) → **gas e polveri**
- **Detonazione:** → **velocità supersonica** (qualche migliaio di m/sec) → **sostanze esplosive**

L'energia per dar luogo a una deflagrazione è dell'ordine dei mJ, per la detonazione è richiesta un'energia più grande.

Atmosfera esplosiva

Per atmosfera esplosiva si intende una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri combustibili in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta.

Non è il liquido ad accendersi, ma i suoi vapori

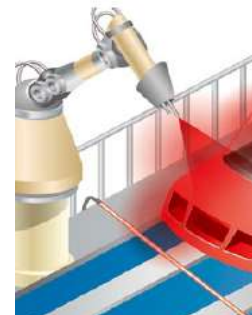
Per condizioni atmosferiche si intendono condizioni nelle quali la concentrazione di ossigeno nell'atmosfera è approssimativamente del **21%** e che includono variazioni di pressione e temperatura al di sopra e al di sotto dei livelli di riferimento, denominate condizioni normali:



($p=101325\text{Pa}=1\text{Atm}$; $T=293=25^\circ\text{C}$)

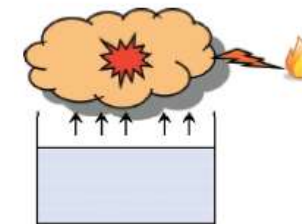
<https://www.youtube.com/watch?v=jXIPq7VnX1s>

<https://www.youtube.com/watch?v=g6DSro1tRXI>



L'esplosione è condizionata dai seguenti parametri:

a) Il **Punto di infiammabilità** (o punto di fiamma o temperatura di infiammabilità flash point) è la temperatura minima alla quale, alla pressione atmosferica, una sostanza, generalmente liquida, rilascia una quantità sufficiente di gas o vapore combustibile in grado di accendersi all'applicazione di una sorgente di accensione efficace.



- Se la temperatura di infiammabilità è superiore alla temperatura ambiente o alla temperatura di lavorazione, le probabilità di esplosione sono basse (oli combustibili).
- Se la temperatura di infiammabilità è bassa, come per esempio per la benzina che emette vapori infiammabili a temperature inferiori a 0°C, la probabilità di esplosione è grande.

b) Affinché l'esplosione avvenga è necessario che la concentrazione in aria della sostanza infiammabile, in condizioni atmosferiche, sia compresa entro un limite inferiore detto LEL (*Lower Explosion Limit*) ed uno superiore detto UEL (*Upper Explosion Limit*): questi parametri, detti **limiti di esplodibilità**, individuano il **range di esplosione**.



- c) La **Concentrazione limite di ossigeno** LOC è la massima concentrazione di ossigeno in una miscela infiammabile, nella quale non si verifica un'esplosione.
- d) L'**Energia minima di accensione** MIE è la più bassa energia, fornita da una sorgente di innesco, sufficiente affinché la combustione superi quel punto critico oltre il quale è in grado di auto-sostenersi, permettendo al fronte di fiamma di propagarsi da solo senza apporto di energia dall'esterno.

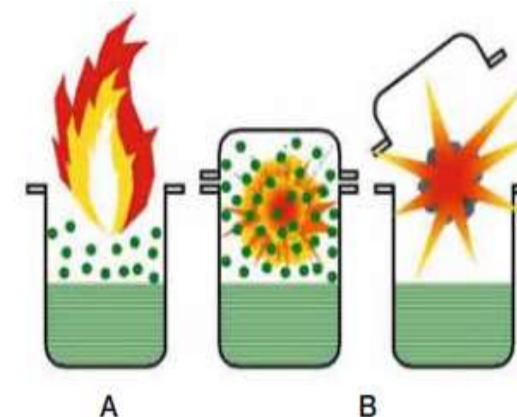
Condizioni per generare un'esplosione di un gas e/o vapore:

1. La sostanza o combustibile è infiammabile;
 2. La sostanza ha un giusto grado di dispersione → ambiente confinato (chiuso);
 3. La concentrazione della sostanza in aria è compresa tra i limiti LEL e UEL;
 4. L'atmosfera esplosiva è significativa e supportata dal comburente;
 5. È presente una sorgente di innesco con energia minima di accensione sufficiente.
- *Se manca una delle condizioni elencate da 1 a 4 non si possono formare atmosfere esplosive.*
 - *Se manca la condizione 6 la sostanza non si innesca.*

**Condizioni per generare un'esplosione di una polvere:**

1. La polvere sia combustibile;
2. È dispersa in modo da formare una nube ben amalgamata → ambiente confinato(chiuso);
3. La granulometria è tale da propagare la fiamma;
4. La concentrazione è tra i limiti LEL e UEL;
5. Nell'ambiente vi è sufficiente Ossigeno;
6. È presente una sorgente di innesco con energia minima di accensione sufficiente.

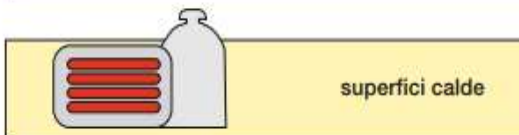
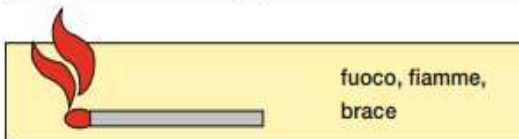
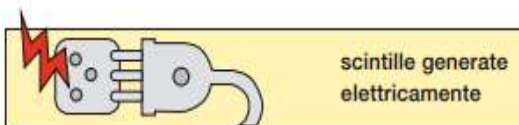
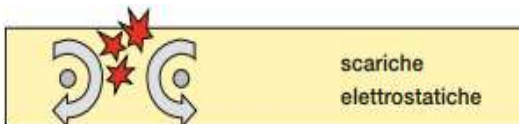
- *Se manca una delle condizioni elencate da 1 a 5 non si possono formare atmosfere esplosive.*
- *Se manca la condizione 6 la sostanza non si innesca.*



A: sistema aperto, incendio
B: sistema chiuso, esplosione

In analogia al [triangolo del fuoco](#), che rappresenta le condizioni di infiammabilità (e conseguentemente di esplosività) per i combustibili liquidi e gassosi, nel caso delle polveri, gas, vapori o nebbie ci si riferisce al cosiddetto "**pentagono dell'esplosione**".

Cause d'innescio



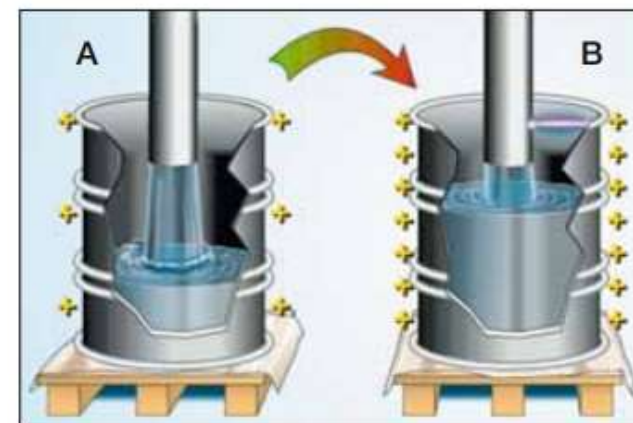
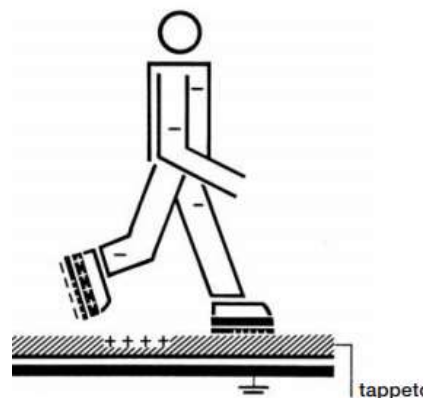
Una sorgente d'innescio si considera efficace quando è in grado di fornire all'atmosfera esplosiva una energia sufficiente a provocare l'accensione.

- Le fiamme libere e le braci, generate soprattutto da bruciatori o da lavori di saldatura e di taglio, possono essere considerate le fonti di accensione più efficaci.

- Non è necessario che una superficie sia incandescente; anche le superfici calde con temperature di 500° C possono liberare energia sufficiente ad innescare una miscela esplosiva di combustibile-aria (anche nel caso di oli con un elevato punto di infiammabilità). La temperatura della superficie non deve mai superare la temperatura di accensione del combustibile.

- Le scintille di origine elettrostatica sono fonti di innesco soprattutto in due casi:

- travaso, trasporto, mescolamento, nebulizzazione di liquidi non polari (ad es. idrocarburi, etere);
- strofinio di soles isolanti su superfici ad es. tappeti o pavimenti rivestiti in materiale sintetico.



Le direttive ATEX (ATmosphere EXplosive)



Il **Titolo XI** del *D.Lgs. n. 81/08 - Protezione da atmosfere esplosive*, recepisce la **direttiva ATEX 1999/92/CE** che riguarda i requisiti minimi per il miglioramento della tutela, della *sicurezza e della salute dei lavoratori* esposti al **rischio di atmosfere esplosive** e che richiede tra l'altro anche di **classificare le aree con rischio esplosione**. Inoltre la **Direttiva ATEX 94/9/CE** recepita dal **DPR 126/98** prescrive di installare apparecchi, elettrici e non, aventi categoria compatibile con la *classificazione delle aree*. Tale Direttiva di prodotto è sostituita a partire dal 20/04/16 dalla **nuova Direttiva ATEX 2014/34/UE** recepita dal **D.Lgs. n. 159 del 1/8/2016**.

Per prevenire le esplosioni il datore di lavoro ha l'obbligo di adottare, sulla base della *valutazione dei rischi*, le misure tecniche e organizzative adeguate alla natura dell'attività svolta.

Qualora l'attività non consente di prevenire la formazione di **atmosfere esplosive**, egli deve:

- a) evitare l'accensione di **atmosfere esplosive**;
- b) attenuare gli effetti pregiudizievoli di un'**esplosione**.

Settori interessati



AGROALIMENTARE ED ALIMENTARE

TIPOLOGIA AZIENDE: Mulini, Biscottifici, Pastifici, Semolifici, Zuccherifici, Impianti e Macchine per processi Alimentari, Torrefazione Caffè, Macinazione Cereali e Cacao, Panificatori, Distillerie.

LE ZONE PERICOLOSE: Movimentazione di materiali stoccati nei silos con conseguente emissione nell'ambiente di polveri e zone potenzialmente esplosive ATEX. Durante il trasporto e lo stoccaggio dei cereali possono formarsi polveri esplosive. L'essiccazione, la macinazione e la raffinazione di materiale agroalimentare

produce rischio di esplosione. Nelle industrie alimentari vengono spesso utilizzate sostanze alcoliche per la sterilizzazione degli ambienti controllati.



SERRAMENTISTI E METALMECCANICI

TIPOLOGIA AZIENDE: Infissi metallici, Accessori metallici per infissi, Profilatura fine, Lavorazione superficiale metalli.

LE ZONE PERICOLOSE: Atmosfera potenzialmente esplosiva per presenza di polveri metalliche fini causate da lavorazioni nel ciclo produttivo. Presenza sulle pareti nel tempo di micropolveri e accumulo in interstizi e nei macchinari automatici. Polveri da levigazione. Nella produzione di pezzi stampati di metallo, durante il trattamento della superficie (smerigliatura) possono formarsi polveri metalliche esplosive.



AERONAUTICA, AEROSPAZIALE, NAVALE, AUTOMOTIVE, FERROVIE

TIPOLOGIA AZIENDE: Costruzione aerei, treni, automobili Manutenzione, Meccanica di precisione, Settore elettronico per aerospaziale, Cabine di verniciatura, Lavorazione resine.

LE ZONE PERICOLOSE: Presenze di micro-polveri nella lavorazione di componenti Hi-Tech. Lavorazione della carlinga degli aeromobili. Polveri prodotte da test di vibrazione su componenti elettronici. Trattamento di propellenti nel settore aerospaziale. Aspirazione di carburanti dal serbatoio. Procedure di manutenzione degli aeromobili. Residui nei motori di materiale esplosivo. Costruzione imbarcazioni in legno, resina e presenza di esalazione esplosive. Operazioni in Sala macchine e riciclo di idrocarburi.



CHIMICA

TIPOLOGIA AZIENDE: Vernici, Colori, Soda, Alcool, Prodotti Chimici, Solventi, Oli

LE ZONE PERICOLOSE: Presenza di solventi ed esalazioni durante il ciclo produttivo. Produzione di Idrogeno nelle reazioni chimiche. Trasformazione di materiali solidi, liquidi e gassosi con conseguenze rischio di creazione di atmosfere esplosive. Utilizzo di polveri o liquidi esplosivi per la sintesi dei prodotti. Perdite da flange. Solventi vari: acetato, acetilene, acetone, alcool, etilene, ecc.



COMBUSTIBILI, BENZINA, ENERGIA, METALLURGIA

TIPOLOGIA AZIENDE: Impianti di raffinazione, Benzinai, Impianti che trattano gas quali ad esempio gasolio e metano, Metallurgia, Produzione energia elettrica.

LE ZONE PERICOLOSE: Perdite accidentali ed operazioni straordinarie di riversamento. Gli idrocarburi trattati nelle raffinerie sono tutti infiammabili e a seconda del punto d'infiammabilità, possono generare un'atmosfera esplosiva già a temperatura ambiente.



RICERCA, UNIVERSITÀ E LABORATORI

TIPOLOGIA AZIENDE: Bombe ossigeno, Glove Box, Banchi di prova o Analisi

LE ZONE PERICOLOSE: Area adibita a magazzino per bombole di ossigeno o gas infiammabili. Glove box per lavorazioni di materiale esplosivo o tossico. Presenze di micro-polveri nella lavorazione di componenti Hi-Tech. Utilizzo di solventi nei test da laboratorio. La sterilizzazione delle camere avviene utilizzando etanolo o solventi.



PLASTICA E GOMMA

TIPOLOGIA AZIENDE: Lavorazioni Plastiche e gomme.

LE ZONE PERICOLOSE: Durante il trasporto e lo stoccaggio di plastica o granulato di gomma possono formarsi polveri esplosive. Nei macinatori, nei sistemi di deposito, e nella separazione delle polveri. Alcune gomme sono realizzate con soluzioni liquide infiammabili.



MOBILIFICI, FALEGNAMERIE, LAVORAZIONE PELLE, CONCIERIE, TESSILE

TIPOLOGIA AZIENDA: Produzione cucine, Produzione mobili in legno, Lavorazione legname, compensato, pannelli truciolati. Produzione infissi e porte. Calzaturifici, Pelletterie, Impianti Tessili.

LE ZONE PERICOLOSE: Nelle operazioni di lavorazione del legno si producono polveri di legno che possono formare miscele esplosive polvere/aria.



SMALTIMENTO RIFIUTI ESPLOSIVI

TIPOLOGIA AZIENDA: Discariche, Tiri a segno Nazionali, Automotive.

LE ZONE PERICOLOSE: Produzione e stoccaggio di razzi, fumogeni, cartucce very, boette fumogene, fuochi a mano. Nel trattamento delle acque di scarico presso i depuratori, i biogas derivanti possono formare miscele esplosive gas/aria. Microcariche per sistemi di sicurezza quali Air Bag o simili. Smaltimento di polveri, dinamiti, detonanti, artifici e munizioni di sicurezza.



CARTIERE

TIPOLOGIA AZIENDA: Produzione di carta.

LE ZONE PERICOLOSE: Nelle operazioni di lavorazione della carta, durante il ciclo produttivo, in particolare durante il caricamento, il taglio e nella lavorazione in genere, si creano accumuli di polvere potenzialmente esplosiva.

Classificazione delle aree

La *valutazione dei rischi* che dovrà considerare la [classificazione delle aree con rischio di esplosione](#).

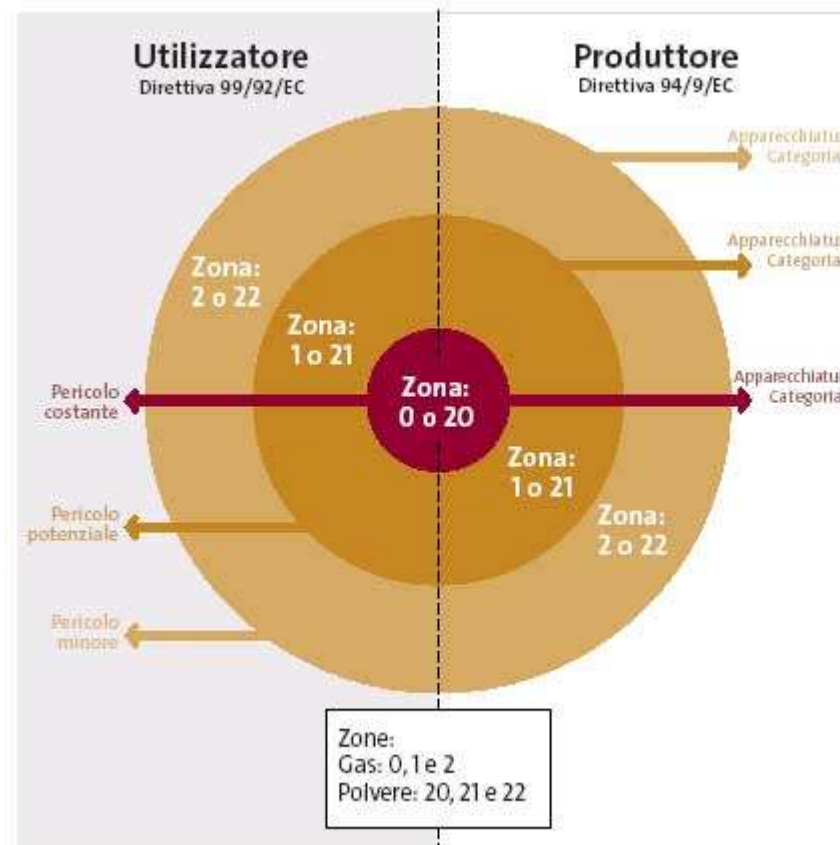
La classificazione in zone è una misura di protezione contro il pericolo di esplosione, in quanto ad esse è associato un **livello di probabilità** di presenza di un'atmosfera esplosiva. È così possibile evitare che sorgenti di accensione efficaci si trovino in tali zone, mediante la scelta di apparecchiature con un adeguato livello di protezione ed adottare le opportune misure di sicurezza di tipo tecnico ed organizzativo.

Il datore di lavoro deve ripartire (classificare) i luoghi di lavoro in zone specifiche in base a **frequenza** e **durata** della presenza di atmosfere esplosive.

Ricordiamo di seguito le definizioni delle **"Zone ATEX"** con cui vengono classificati gli ambienti, ai sensi dell'allegato XLIX del D.lgs. 81/08.

Atmosfera esplosiva causata dalla presenza di miscela di gas, vapori o nebbie infiammabili

- **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. → **PERICOLO COSTANTE**
- **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. → **PERICOLO POTENZIALE**
- **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 verifici, sia unicamente di **breve durata**. → **PERICOLO MINORE**


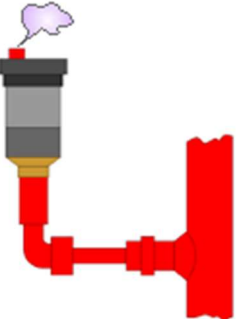
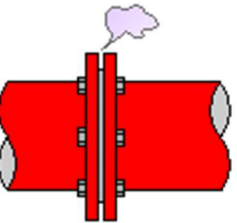


Atmosfera esplosiva causata da polveri combustibili

- **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. → **PERICOLO COSTANTE**
- **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. → **PERICOLO POTENZIALE**
- **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 verifici, sia unicamente di **breve durata**. → **PERICOLO MINORE**

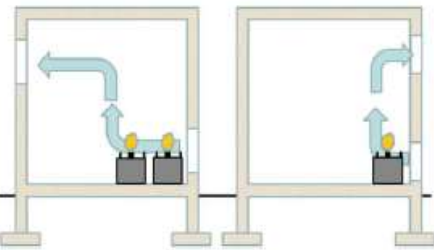
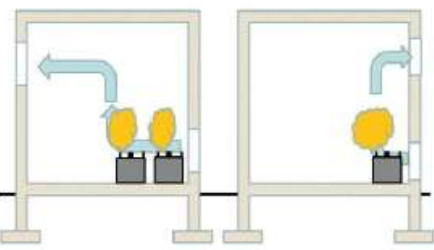
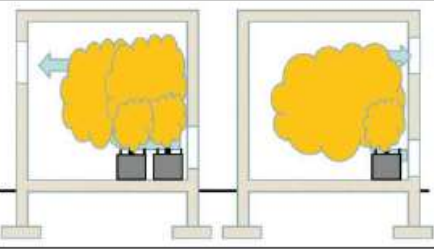
Grado della sorgente di emissione

In relazione alla possibile frequenza e durata, l'emissione di sostanza infiammabile nell'atmosfera si classifica come in tabella. Alcune apparecchiature possano presentare più di un grado di emissione.

Grado di emissione		Esempi di sorgenti di emissione
	<p>Grado continuo</p> <p>Emissione continua o per lunghi periodi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La superficie di un liquido infiammabile in un serbatoio a tetto fisso. • La superficie di un liquido infiammabile esposta all'atmosfera continuamente o per lunghi periodi.
	<p>Primo grado</p> <p>Emissione periodica oppure occasionale che si può manifestare nel normale funzionamento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le tenute di pompe, di compressori o di valvole, quando si prevede che possano emettere sostanze infiammabili durante il funzionamento normale. • I punti di drenaggio dell'acqua da recipienti che contengono liquidi infiammabili, che possono emettere sostanze infiammabili nell'atmosfera drenando acqua durante il funzionamento normale. • I punti di campionamento quando si prevede che possano emettere sostanze infiammabili nell'atmosfera durante il funzionamento normale. • Le valvole di sicurezza, gli sfiati e le altre aperture quando si prevede che possano emettere sostanze infiammabili nell'atmosfera durante il funzionamento normale.
	<p>Secondo grado</p> <p>Emissione normalmente non prevista e che può manifestarsi solo in caso di guasto o per brevi periodi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le tenute di pompe, compressori o valvole quando si prevede che non emettano sostanze infiammabili durante il funzionamento normale dell'apparecchiatura. • Le flange, le giunzioni ed i raccordi delle tubazioni, quando si prevede che non emettano sostanze infiammabili durante il funzionamento normale. • I punti di campionamento quando si prevede che non emettano sostanze infiammabili durante il funzionamento normale. • Le valvole di sicurezza, gli sfiati e le altre aperture quando si prevede che non emettano sostanze infiammabili nell'atmosfera durante il funzionamento normale.

Classificazione in base al grado di ventilazione

Esistono diversi metodi per effettuare la classificazione delle aree che fanno riferimento a norme, guide e raccomandazioni. La norma **EN 60079-10-1** si basa sugli effetti della **ventilazione** ed in particolare sul grado di ventilazione e propone un metodo analitico attraverso il quale si determina il tipo di zona.

<p>Grado di ventilazione alto</p> <p>VA</p>	<p>Si ha quando la ventilazione è in grado di ridurre la concentrazione in prossimità della sorgente di emissione in modo praticamente istantaneo, limitando la concentrazione al di sotto del limite inferiore di esplosibilità. Ne risulta una zona di estensione trascurabile.</p> <p>Tuttavia, quando la disponibilità della ventilazione non è buona, un altro tipo di zona può circondare la zona di estensione trascurabile.</p>	
<p>Grado di ventilazione medio</p> <p>VM</p>	<p>Si ha quando la ventilazione è in grado di controllare la concentrazione, determinando una zona limitata stabile, sebbene l'emissione sia in corso, e dove l'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non persista eccessivamente dopo l'arresto dell'emissione.</p> <p>L'estensione ed il tipo della zona sono condizionati dalle grandezze caratteristiche di progetto.</p>	
<p>Grado di ventilazione basso</p> <p>VB</p>	<p>Si ha quando la ventilazione non è in grado di controllare la concentrazione mentre avviene l'emissione e/o non può prevenire la persistenza eccessiva di un'atmosfera esplosiva dopo l'arresto dell'emissione.</p>	

Analogamente avviene per le polveri, per le quali la norma **EN 60079-10-2** propone un metodo non analitico, in cui il tipo di zona è determinato in base alla probabilità che si presenti un'atmosfera pericolosa, mentre la relativa estensione è prefissata e dipende dal tipo di zona.

La probabilità che il flusso d'aria fresca sia presente più o meno costantemente si definisce **disponibilità di ventilazione**. Può essere:

- **BUONA:** quando la ventilazione è presente con continuità e con la portata pressoché costante;
- **ADEGUATA:** quando la ventilazione è presente con portata pressoché costante durante il funzionamento dell'impianto;
- **SCARSA:** quando pur mancando i requisiti di buona o di adeguata, si può contare su un significativo.

Ventilazione		Grado della sorgente di emissione		
Grado	Disponibilità	Continuo	Primo	Secondo
Alto	Buona	Zona NON PERICOLOSA	Zona NON PERICOLOSA	Zona NON PERICOLOSA
	Adeguata	2	2	Zona NON PERICOLOSA
	Scarsa	1	2	2
Medio	Buona	0	1	2
	Adeguata	0 ÷ 2	1 ÷ 2	2
	Scarsa	1	2	2
Basso	Buona	0	1	1
	Adeguata	0	1	1
	Scarsa	0	0	0

Il “documento sulla protezione contro le esplosioni” - DPCE

Il datore di lavoro deve elaborare e tenere aggiornato un “**documento sulla protezione contro le esplosioni**” (art. 294 del D.Lgs. 81/08), dove si precisa in particolare:

- che i **rischi di esplosione** sono stati individuati e valutati;
- che saranno prese misure adeguate per raggiungere gli obiettivi del Titolo XI del *D.Lgs. 81/08*;
- quali sono i luoghi che sono stati classificati nelle zone di cui all'allegato XLIX;
- quali sono i luoghi in cui si applicano le prescrizioni minime di cui all'allegato L;
- 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;
- che, ai sensi del Titolo III del *D.Lgs. 81/08*, sono stati adottati gli accorgimenti per l'impiego sicuro di attrezzature di lavoro.

L'analisi del rischio d'esplosione comprende i seguenti elementi:

- a) individuazione delle sostanze infiammabili presenti e delle loro caratteristiche di esplosività;
- b) determinazione della probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva pericolosa;
- c) determinazione della presenza e della probabilità di sorgenti d'accensione efficaci;
- d) determinazione dei possibili effetti di un'esplosione;
- e) stima e valutazione del rischio.

Se il rischio non è accettabile, occorre individuare delle misure di eliminazione o minimizzazione del rischio.

Le attività relative ai punti a) e b) vengono svolte durante la fase di classificazione delle aree. Nel DPCE vengono più specificatamente sviluppati i punti successivi, e vengono inoltre stabilite eventuali misure necessarie alla riduzione o mitigazione del rischio determinato.

Il “**documento sulla protezione contro le esplosioni**” è a tutti gli effetti parte integrante del [documento di valutazione dei rischi di cui all'art. 17 del D.Lgs. 81/08](#).

Valutazione del rischio

La valutazione del rischio si effettua in funzione della **probabilità** di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale **danno** procurato sia sotto il profilo della salute che della sicurezza dei lavoratori.

GRADO DI PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE "P"	DEFINIZIONE QUALITATIVA	Valore	Livello	Definizioni/criteri
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.	4	Gravissimo	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
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 verificatisi in circostanze analoghe.	3	Grave	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
P = 3	L'esplosione è PROBABILE quando è legata ad un evento o a più eventi concorrenti che possono innescare l'atmosfera esplosiva.	2	Lieve	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico con effetti reversibili.
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.	1	Trascurabile	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione con inabilità rapidamente reversibile. • Piccoli infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

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

La probabilità **P** che si verifichi un'esplosione dipende dai seguenti parametri:

- Probabilità che la sorgente di emissione SE generi una atmosfera esplosiva, correlabile al tipo di zona → **P_{SE}**
- Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva → **P_{INN}**

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

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, leggendo il valore corrispondente ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate:

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

Il danno D può essere espresso come somma di alcuni parametri, funzione del tipo di confinamento, dello spessore dello strato di polvere, del volume di atmosfera potenzialmente esplosiva, indice di esplosione (K_G o K_{ST}), ecc.:

- Per i gas: **$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{Exp} + F_{VZ} + F_C$**
- Per le polveri: **$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{Exp} + I_S + F_C$**

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

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

V_z [dm ³)	F_{VZ}
≤ 10	0
$10 < V_z \leq 100$	0,25
> 100	0,50

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

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

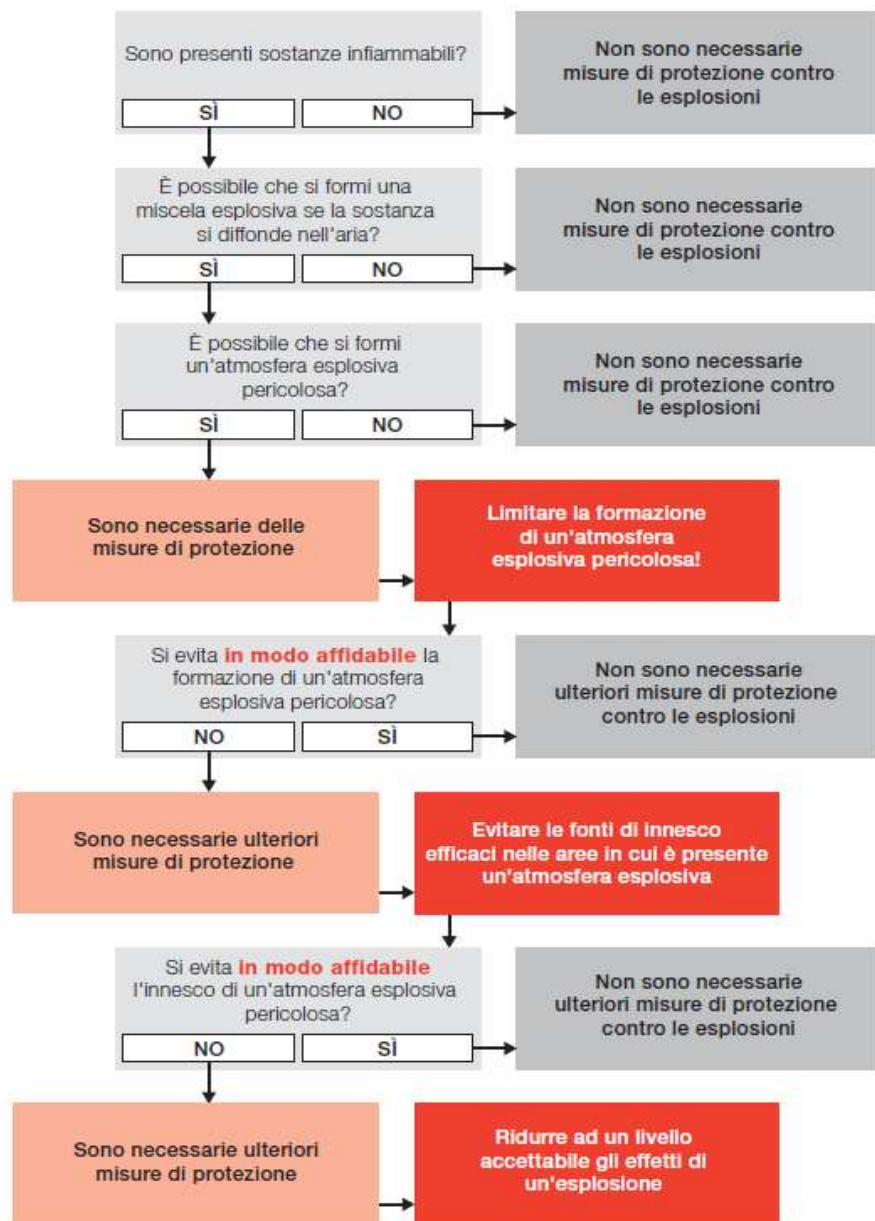
K_{ST} [bar m/s)	K_{Exp}
≤ 2500	0
$200 < K_{ST} \leq 300$	0,25
> 300	0,50

Spessore S dello strato di polvere [mm]	I_S
≤ 5	0
$5 < S \leq 50$	0,25
> 50	0,50

Misure di prevenzione e protezione

In linea di principio, basandosi sulla classificazione del Rischio, possono essere programmate le misure di Prevenzione e Protezione come indicato in tabella:

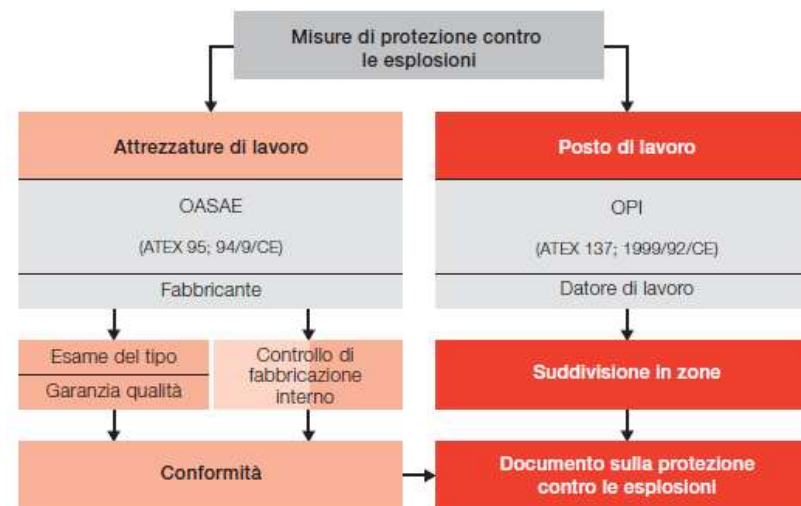
RISCHIO	MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE
ALTO	Sono richieste misure di prevenzione e protezione urgenti poiché determinano i presupposti per l'accadimento di un possibile infortunio di GRAVISSIMA entità.
MEDIO	Grado di rischio che implica la sussistenza di una condizione di rischio grave, ma non imminente 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.



Le misure destinate ad impedire la formazione di un'atmosfera esplosiva sono prioritarie a tutte le altre misure di protezione contro le esplosioni.

Le misure volte ad evitare le fonti di innesco sono considerate solitamente misure accessorie e, solitamente non sono sufficientemente affidabili tuttavia esse dovrebbero essere sempre applicate.

Accanto alle misure di prevenzione, volte ad impedire la formazione di un'atmosfera esplosiva e ad eliminare le fonti di innesco efficaci, è possibile raggiungere il grado di protezione voluto anche modificando la costruzione o l'equipaggiamento degli impianti tramite **misure costruttive**, volte a limitare gli effetti di un'esplosione fino a renderli irrilevanti.

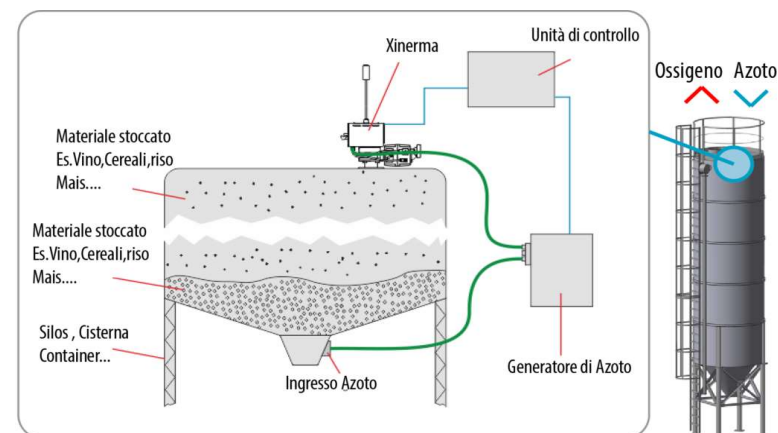


Misure di prevenzione

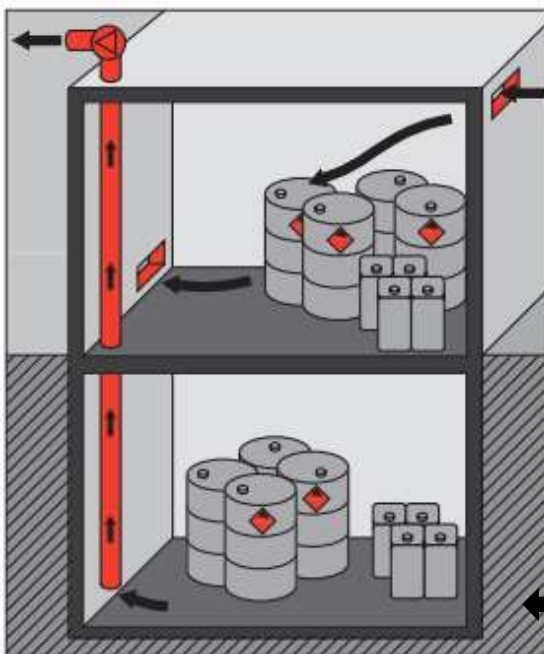
Inertizzazione → Allo scopo di impedire che si verifichi l'esplosione di una miscela aria/gas o vapori infiammabili o di una nube di polveraria è possibile aggiungere alla atmosfera del gas inerte (azoto, biossido di carbonio, ossido di carbonio, vapore acqueo) allo scopo di limitare la presenza di ossigeno e mantenerla sotto il limite inferiore di esplosività per impedire che la miscela innescata esploda.

Questo metodo, tuttavia, non è applicabile in alcune industrie, come l'industria alimentare e farmaceutica, a causa delle impurità presenti nel gas.

Esempio di sistema di inertizzazione di un silos



Limitare la presenza di ossigeno impedisce la formazione di atmosfere esplosive.



Agire sul range di esplosione → Per evitare che un'atmosfera esplosiva si inneschi, in alcuni casi si può agire sulla concentrazione di materiale infiammabile allo scopo di mantenerla al di fuori dei limiti di esplosività, inferiore (per le polveri) o superiore (per i gas o i liquidi dotati di sufficiente tensione di vapore).

- Nel caso dei *liquidi* si può limitare la fuoriuscita dei vapori dai contenitori o il rientro di aria disponendo **valvole di respiro** con dispositivi arrestafiamma.
- Un'adeguata **ventilazione**, naturale o meccanica, contribuisce a controllare la concentrazione delle polveri e asportare aeriformi infiammabili.



Piani fuori terra: ventilazione naturale (possibile).
Piani sotterranei: ventilazione artificiale (obbligatoria).

Eliminazione delle fonti di ignizione



➤ Nel caso in cui le fonti di ignizione siano fiamme libere è necessario proibire al personale di fumare, di utilizzare accendini e fiammiferi nelle zone a rischio.

➤ Nel caso in cui le fonti di ignizione siano superfici calde, in atmosfera con presenza di polveri si può agire mediante:

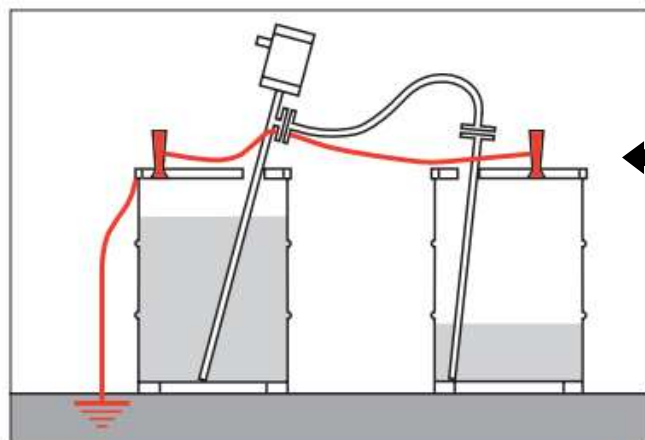
- la **rimozione della polvere accumulata** sulle superfici calde e l'adozione di misure per impedirne l'accumulo;
- l'isolamento delle superfici calde mediante custodie;
- l'utilizzo di **apparecchiature elettriche certificate** ad essere utilizzate in ambiente esplosivo per le quali il rischio di *surriscaldamento* sia minimo;
- l'elaborazione di procedure di **ispezione e manutenzione** che minimizzino il rischio di *surriscaldamento* per le apparecchiature.



➤ Evitare che nei processi di lavorazione si abbiano degli **impatti meccanici** ripetuti in alcuni punti in quanto tali impatti provocano un aumento superficiale della temperatura e/o scintille che possono essere causa di ignizione.

➤ In caso di cariche elettrostatiche si raccomandano alcune misure di sicurezza:

- usare materiali conduttori o materiali che abbiano una bassa capacità dielettrica (=poco isolanti) in tutte quelle parti di impianto in cui si possono accumulare cariche elettriche;



➤ I **collegamento equipotenziale** e la **messa a terra** sono misure importanti contro la formazione di cariche elettrostatiche.

- dotare il personale di **calzature conduttive (C)**;



Misure di protezione

DPI

A differenza di altri fattori di rischio lavorativo, non si dispone di DPI in grado di proteggere le persone dalle conseguenze dirette e, soprattutto, indirette di un'esplosione. Tra i DPI per le atmosfere esplosive assume particolare rilevanza il **respiratore**. Può trattarsi di maschere o semi-maschere, leggere in modo da non recare troppo disturbo all'operatore e il cui ruolo è proteggere dall'inalazione di polveri e gas.

La protezione di gruppi particolarmente esposti di persone richiede:

- la segregazione delle aree pericolose;
- l'eliminazione della presenza stabile di persone;
- la riduzione del personale che in esse interviene.



Dispositivi per lo sfogo di esplosioni

Introducono un "elemento debole" nell'involucro a pressione dell'attrezzatura destinato a rompersi in caso di esplosione, scaricando così la pressione interna.

I dispositivi di sfogo "**venting**" proteggono dall'esplosione facendola sfogare attraverso delle aperture che si aprono al momento opportuno.

I dischi di **rottura**, i **pannelli di sfogo** e i **portelli antiesplosione** sono esempi tipici dei dispositivi di sfogo passivi.



Compartimentazione

✓ Valvole di flusso passive

Le valvole di flusso passive sono chiuse dalla forza dell'onda di pressione dell'esplosione stessa e non richiedono un'alimentazione di energia esterna, né detectors o unità di controllo. Le valvole sono progettate per chiudersi entro pochi millisecondi, creando una barriera meccanica contro fiamma e pressione.

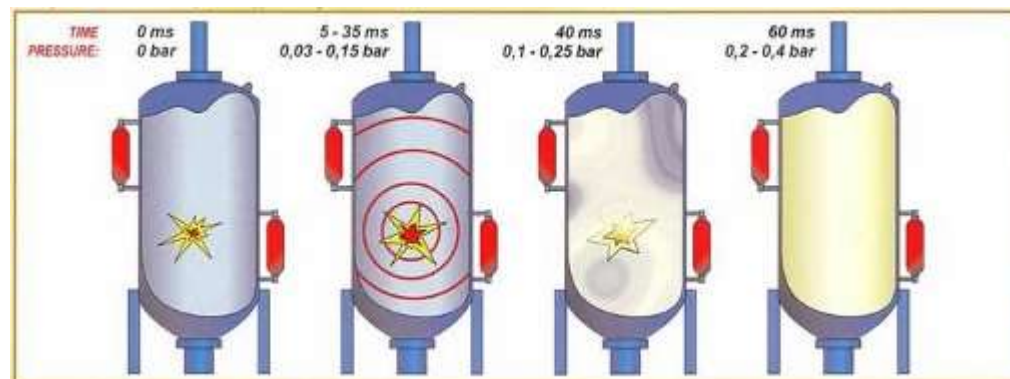


✓ Barriere chimiche

L'isolamento chimico delle esplosioni si ottiene tramite la scarica rapida di un soppressore chimico delle esplosioni. Un detector di esplosioni attiva il rilascio di un agente estinguente quando rileva una pressione di deflagrazione o un fronte di fiamme, impedendo la propagazione dell'incendio e di materiali infiammanti.

✓ Valvole ultrarapide a ghigliottina

Quando viene attivata, mediante l'azione di appositi sensori, la valvola interrompe il flusso di prodotto (polvere, gas, o miscele ibride) molto rapidamente e con grande forza, garantendo così l'isolamento dell'attrezzatura di processo.



✓ Arrestatori di fiamma

Secondo la definizione dalla norma EN ISO 16852:2010 l'arrestatore di fiamma è "un dispositivo di sicurezza, montato sulle aperture di recipienti o su tubazioni, che permette il passaggio di flusso ma previene la trasmissione di fiamma".

Fonti

- https://www.vegaformazione.it/dettagli-corso.php?id_corso=110&seminario=0&slide_edizione=1840
- <http://www.scame.com/doc/ZP00750-I-4.pdf>
- INAIL- Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE
- http://www.zenomoretti.com/rischi/atexatmosfesplosive/atex_atmosfere_esplosive.htm
- https://www.firest.eu/documenti/1289205672SUVA_Esplosioni-Pericoli_misure_protezione.pdf
- <http://www.utensilidisicurezza.com/aziende-e-settori-atex.html>
- Associazione USI - Unione Sicurezza Informazione
- http://www.elektro.it/atmosfere_splosive/atmosfere_splosive_2.html
- http://www.puntosicuro.info/documenti/documenti/150317_suva_prevenzione_protezione_rischio_esplosioni.pdf
- http://www.ulss5.it/binary/ulss5/contspec_spisal/Suva_ck_esplosioni_SUVA.1203084968.pdf
- https://www.inail.it/cs/internet/docs/misure_di_prevenzione_pdf.pdf?section=attivita
- <http://www.xearpro.com/inertizzazione/>
- <http://www.cipres.it/odsavani-pilin.html>
- <http://kasco.eu/dispositivi-protezione-individuale/respiratore-cleanspace-ex-con-maschera-facciale/>
- <http://www.protezioneesplosioni.it/pannelli-stuvent.html>
- <http://www.eteasicurezza.it>
- <http://www.lupicm.it/prodotti/arrestatori-di-fiamma/>
- <http://www.fike.it/products/valvola-di-isolamento-esplosioni-ventex/>
- http://www.irmaco.be/ckfinder/userfiles/files/Irmaco%20Nieuwsbrief_9_IT.pdf