Valutazione e gestione del rischio

Relatore: Ing. Michele Di Pasquale
Presentazione: Ing. Paolo de Santis

Programma

- Esplosività: concetti generali, triangolo dell'esplosione, L.E.L., U.E.L., ecc.
- Fattori che infuenzano l'esplosività: gas e vapori, polveri
- Quadro normativo, valutazione dei rischi
- La classificazione delle aree
- Documento di Protezione contro le Esplosioni (DPCE)

Definizione

ATEX

*(**AT**mosphere* ed ***Ex**plosion)*

«atmosfera esplosiva»

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.

(D.Lgs. 81/2008 - Titolo XI - Capo I - Art. 288)

Definizione

«Condizioni atmosferiche»

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 atmosferiche normali (pressione pari a 101325 Pa = 1 atm, temperatura pari a 293 K = 20°C), purché tali variazioni abbiano un effetto trascurabile sulle proprietà esplosive della sostanza infiammabile o combustibile.

(D.Lgs. 81/2008 - Titolo XI - Capo I - Art. 288)

Definizione

«Condizioni atmosferiche»

La Direttiva 94/9/CE non definiva le condizioni atmosferiche. Tuttavia, occorre notare che i prodotti elettrici (casi più frequenti) sono normalmente progettati e testati per essere impiegati all'interno di una gamma di temperatura circostante compresa tra -20°C e +60°C e una gamma di pressione compresa tra 0,8 bar e 1,1 bar, in conformità con le norme armonizzate (Linee Guida Direttiva 94/9/CE).

I casi di condizioni operative al di fuori delle suddette gamme non sono coperti dalle suddette norme ed i relativi prodotti non sono nei tali casi idonei: occorreranno quindi costruzioni speciali che richiedono normalmente l'accordo tra il fabbricante e l'utente.

Definizione

«Condizioni atmosferiche»

Nota:	In conformità della definizione giuridica di "atmosfera esplosiva" in base alla direttiva 1999/92/CE, anche la guida si riferisce solo a *condizioni atmosferiche*. La direttiva e la guida non hanno quindi applicazione in condizioni non atmosferiche, il che comunque non solleva in alcun modo il datore di lavoro dai propri doveri in materia di protezione contro le esplosioni, ambito nel quale continuano a valere i requisiti di cui alle restanti disposizioni per la tutela dei lavoratori.

ESPLOSIONE:

“reazione di rapida ossidazione o decomposizione che produce un aumento della temperatura, della pressione o di entrambe simultaneamente”

EN 13237

Le Direttive Comunitarie relative al Rischio Esplosione

LE DIRETTIVE

Come ormai ben noto, le direttive ATEX nascono con un duplice scopo:

il primo, rimarcato dalla cosiddetta direttiva sociale, ha lo scopo di migliorare le condizioni di sicurezza nei luoghi di lavoro ove sono presenti zone a rischio di esplosione;

il secondo, rimarcato dalla cosiddetta direttiva di prodotto, ha lo scopo di definire i **RES** (requisiti essenziali di sicurezza) degli **apparecchi** e **sistemi di protezione** da utilizzare all'interno delle zone a rischio esplosione.

LE DIRETTIVE

la Direttiva **ATEX 2014/34/UE** è rivolta agli "apparecchi", ovvero alle apparecchiature, ai dispositivi fissi o mobili, ai componenti di controllo e strumentazione, nonché i sistemi di prevenzione che, separatamente o congiuntamente, sono destinati alla produzione, al trasporto, allo stoccaggio, alla misurazione, al controllo e alla conversione di energia, in grado, a causa di proprie sorgenti di innesco, di provocare un'esplosione.

Inoltre, risultano essere soggetti al campo di applicazione di tale direttiva anche i 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 di esplosione.

LE DIRETTIVE

la Direttiva **1999/92/CE** (**ATEX 137)** fissa le prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive.

In base all'articolo 11 della direttiva la Commissione Europea ha elaborato una guida pratica di natura non vincolante, base delle guide nazionali destinate ad aiutare le piccole e medie imprese a migliorare sia la propria sicurezza che la propria redditività.

Guida di buona pratica a carattere non vincolante in vista dell'attuazione della direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive

LINEA GUIDA alla Direttiva 1999/92/CE (ATEX 137)

Conformemente all'articolo 1 della direttiva 1999/92/CE, la guida non è applicabile per:

le aree utilizzate direttamente per le cure mediche dei pazienti, nel corso di esse;

l'uso degli apparecchi a gas a norma della direttiva 90/396/CEE;

la manipolazione di esplosivi o sostanze chimicamente instabili;

le industrie estrattive di minerali di cui alle direttive 92/91/CEE o 92/104/CEE;

l'impiego di mezzi di trasporto terrestre, marittimo, fluviale e aereo per i quali si applicano le pertinenti disposizioni degli accordi internazionali (ad esempio ADNR, ADR, ICAO, IMO e RID), nonché le direttive della Comunità che attuano detti accordi. Non sono esclusi i veicoli destinati ad essere utilizzati in *atmosfera potenzialmente esplosiva*.

LINEA GUIDA alla Direttiva 1999/92/CE (ATEX 137)

Nota: La valutazione dei rischi di esplosione è incentrata in primo luogo:

- **sulla formazione di atmosfere esplosive pericolose**

  e inoltre

- **sulla presenza e sull'efficacia delle fonti di ignizione.**

Nel processo di valutazione, la considerazione dei probabili effetti è di significato secondario, poiché nel caso di un'esplosione ci si deve aspettare sempre un'elevata dimensione del danno, che può estendersi da notevoli danni alle cose fino a ferimenti e morti. Nella protezione contro le esplosioni, la prevenzione di atmosfere esplosive è prioritaria rispetto all'esame quantitavo dei rischi.

$$R = F(P ; D)$$

- **SCOPO**

  Stabilire dei requisiti minimi per la protezione dei lavoratori operanti in aree a potenziale rischio di Atmosfere Esplosive.

- **DESTINATARI**

  Datori di Lavoro - Imprese industriali

- **OBBLIGHI**

  Classificazione delle Aree

  Valutazione del Rischio

  Formalizzazione della valutazione in un Documento specifico

  Utilizzazione di apparecchiature e protezioni idonee

  Procedure idonee

  Formazione idonea
  Verifiche e manutenzioni

DOCUMENTO SULLA PROTEZIONE CONTRO LE ESPLOSIONI

NON E' UN DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

NON E' LA VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI

Nel DPcE la considerazione dei probabili effetti originati dall'evento esplosivo deve assumere una valenza secondaria, poiché nel caso di un'esplosione ci si deve aspettare sempre un'elevata dimensione del danno.

Nella protezione contro le esplosioni, la prevenzione di atmosfere esplosive è prioritaria rispetto all'esame quantitativo degli effetti dei rischi (Guida di buone prassi redatta dalla Commissione CE)

CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE IN SICUREZZA ATEX

CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE IN SICUREZZA ATEX

CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE IN SICUREZZA ATEX

L'obiettivo è ridurre al minimo il Rischio da Esplosione

1. riducendo al minimo il numero delle sorgenti di possibile emissione di gas, vapori o polveri infiammabili;
2. riducendo al minimo il tempo di emissione delle sorgenti;
3. prevedendo dispositivi di tenuta dei fluidi pericolosi di grande affidabilità;
4. ventilando al massimo i locali chiusi;
5. organizzando sistemi di sorveglianza e manutenzione della massima efficienza;
6. allontanando dalle zone pericolose le sorgenti di innesco.

PRESCRIZIONI MINIME

a) Formazione professionale lavoratori

b) Istruzioni scritte e abilitazione al lavoro

c) Controllo di fughe ed emissioni

d) Controllo di cariche elettrostatiche

e) Utilizzo di impianti e attrezzature adeguate

f) Riduzione del rischio residuo, relativo all'esplosione

g) Presenza di allarmi e sistemi di evacuazione

h) Messa in servizio e collaudo impianto in zone ATEX

i) Gruppo di continuità per alimentazione sistemi di controllo e di emergenza

j) Segnale apposito nelle aree classificate

ESPLOSIONE

Cause:

chimiche

- *combustione di sostanze infiammabili (gas/vapori/polveri)*
- *reazioni "fuggitive" (run away)*

fisiche

- *vaporizzazione rapida di gas liquefatti (BLEVE)*

CHE COS'E' IL FUOCO?

Il fuoco è un fenomeno dovuto ad una reazione chimica **(reazione di ossidazione)** che avviene tra due sostanze diverse **combustibile** e **comburente**, con sviluppo di **energia (reazione esotermica)**.

IL PERICOLO D'ESPLOSIONE

IL TRIANGOLO DEL FUOCO

Gli elementi essenziali affinchè avvenga l'esplosione sono:

- il *combustibile* *(sotto forma di gas, vapori, nebbie e/o polveri);*
- il *comburente* *(l'ossigeno presente nell'aria in conc. del 21%)*
- l'*innesco*, *elettrico (scintilla provocata da una scarica, etc.)*

oppure termico (temperature eccessive provocate da fiamme, etc.).

IL PERICOLO D'ESPLOSIONE

IL TRIANGOLO DEL FUOCO

- Per poter parlare, però, propriamente di "esplosione", è necessario che sussistono alcune condizioni fondamentali:

- *Vi è la presenza di materiali infiammabili con temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura a cui sono sottoposti;*
- *la concentrazione di gas, vapori infiammabili o polveri emesse all'intorno del punto d'innesco è contenuta entro i limiti di infiammabilità;*
- *esiste almeno un punto entro il volume occupato dai gas, dai vapori o dalle polveri in concentrazione pericolosa con temperatura non inferiore alla temperatura di accensione oppure altra fonte di innesco;*
- *la quantità di combustibile e comburente presente nell'ambiente è sufficiente ad alimentare l'esplosione, cioè a determinare un aumento di volume tale da creare un' onda d'urto capace di provocare danni.*

DIFFERENZA TRA INCENDIO, DEFLAGRAZIONE E DETONAZIONE

Combustione

Incendio

Combustione con fiamma libera e bassa velocità del fronte di fiamma, che avviene con sviluppo di calore, fiamma, gas di combustione, fumo e luce

Esplosione

Combustione molto rapida con elevata velocità del fronte di fiamma, che avviene con produzione di calore, luce ed un forte aumento di pressione

Deflagrazione

Fronte di fiamma a velocità subsonica

(qualche centinaio di m/s)

Detonazione

Fronte di fiamma a velocità supersonica

(qualche migliaio di m/s)

take challenge!

Esplosione (luogo confinato)

Conseguenze esplosione:

- **sovrapressioni**
  - **0,03 bar => rottura vetri**
  - **0,07 bar => danni gravi alla salute**
  - **0,30 bar => crollo di strutture/edifici**
  - **0,35 bar => rottura dei timpani**
  - **0,60 bar => letalità diretta**
- **irraggiamento termico**
  - **5 kW/m² => danni gravi alla salute**
  - **7 kW/m² => possibili effetti letali**
  - **12,5 kW/m² => letalità diretta**

La **sovrapressione** generata da un'esplosione risulta pressoché inversamente proporzionale alla ***distanza*** dal suo epicentro e dipende da molti fattori, tra cui la ***massa*** coinvolta e la ***geometria*** dell'ambiente in cui essa avviene.

INAIL

- **VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ESPLOSIONE**

Quantità minima di sostanza pericolosa

Volume di atmosfera esplosiva ritenuto pericoloso > 10 litri ovvero > 1/10.000 del volume ambiente.

Spessore minimo dello strato di polveri combustibili ritenuto pericoloso = 0,8 mm.

Figura 2.4: Anche piccole quantità di liquidi infiammabili possono, evaporando, causare una massiccia quantità di vapori infiammabili (ad esempio, propano liquefatto). Nota: 1 l di propano liquido, trasformato in gas e diluito nell'aria al limite di esplosione inferiore, darà orgine a 13.000 l di atmosfera esplosiva.[4]

IL PERICOLO D'ESPLOSIONE

Il pericolo di esplosione può essere generato da:

- GAS O LIQUIDI INFIAMMABILI
(metano, acetilene, gpl, idrogeno, benzine, solventi, ecc.)

- POLVERI INFIAMMABILI (O COMBUSTIBILI)
(legno, carta, zucchero, caffe', mais, farina, latte, polietilene, resine epossidiche, alluminio, zinco, zolfo, titanio, ferro, PVC, ecc.)

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

Limiti di infiammabilità: ***sono le concentrazione limiti (minima e massima)*** che rendono infiammabile la miscela aria-gas di sostanze combustibili.

Adottando un buon margine di sicurezza, al di sotto del 30% del limite di infiammabilità l'ambiente non è da considerare pericoloso. In particolare interessa il "Limite Inferiore d'Esplodibilita" (LEL: Lower Esplosive Limit) che può essere espresso in volume (rapporto alla pressione atmosferica tra il volume del gas, del vapore o delle polveri e quello dell'aria, generalmente espresso in percentuale), oppure in peso (kg di combustibile/m^3 di aria).
Esiste anche e il "Limite Superiore d'Esplodibilita" (UEL: Upper Esplosive Limit).

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

Limiti di infiammabilità

FATTORI CHE INFLUENZANO L'ESPLOSIONE: GAS E VAPORI

Perché una miscela di una sostanza infiammabile in aria possa esplodere, la concentrazione deve essere compresa tra il campo di esplosività:

- > Limite Inferiore di Esplosività (L.I.E. o L.E.L.)
- < Limite Superiore di Esplosività (L.S.E. o U.E.L.)

Esempi:

SOSTANZE	Campo di infiammabilità (% in volume)	
	limite inferiore	limite superiore
acetone	2,5	13
ammoniaca	15	18
benzina	1	6,5
gasolio	0,6	6,5
idrogeno	4	75,6
metano	5	15

Nelle analisi di rischio di esplosione viene considerato normalmente anche un valore di soglia pari a metà (o 25%) del L.I.E. per tener in conto la presenza di sacche di gas

INAIL

Dominio di esplosività per alcuni gas combustibili

Si noti l'ampiezza dell'intervallo per l'idrogeno, che lo rende
un gas estremamente pericoloso.

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

Temperatura di infiammabilità: *è la temperatura minima alla quale, alla* pressione atmosferica, una sostanza, generalmente liquida, emette vapori con concentrazioni entro i limiti di infiammabilità.

Se la temperatura di infiammabilità è superiore alla temperatura ambiente o alla temperatura di lavorazione, le probabilità di esplosione sono basse (olii combustibili)

→ NO Rischio ATEX.

Es. cisterna di carico/scarico olii combustibili

$$T_{inf} > T_{lav}$$

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

→ Rischio ATEX.

Es. cisterna di carico/scarico benzina

$$T_{inf} < T_{lav}$$

INAIL

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

- *Temperatura di infiammabilità o flash point*

• *Gas e Vapori*

Punti di Infiammabilità (Flash Point) di alcuni liquidi.
Si noti come la benzina si collochi a valori decisamente bassi mentre il gasolio abbia un valore elevato.

- ***Gas e Vapori***

ATTENZIONE ALLE CONTAMINAZIONI

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

- ***Temperatura di autoaccensione:*** *è la temperatura minima alla quale può* innescarsi autonomamente la combustione o l'esplosione.
Questa temperatura è molto importante per la scelta del materiale elettrico installabile nelle zone pericolose che deve essere tale da non produrre punti caldi a temperatura superiore a quella di innesco.

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

Le caratteristiche di esplosività dei vapori dipendono pure da un altro parametro del liquido:

la tensione di vapore

Etanolo 60, 5 mbar a 20 °C

Acetilene (Gas disciolto in acetone o DMF) 15 bar a 20°C

Tensione di vapore

tensione di vapore etanolo - acetone

tensione di vapore GPL

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

- ***Portata di emissione di gas o di vapore:***

- *è la quantità di sostanze pericolose* che la sorgente di emissione può immettere nell'ambiente nell'unità di tempo (in genere espressa in kg/s o in dm^3/s).
- La portata di emissione è fondamentale per calcolare il grado di ventilazione conformemente alla Norma CEI 31-10; essa dipende da un complesso di circostanze che sono la causa principale della difficoltà di classificazione delle zone pericolose.

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

***Portata d'aria di ventilazione**: è la quantità di aria espressa in genere in* m^3/s che partecipa alla diluizione del gas o del vapore immessi nell'ambiente: dai rapporti tra la portata di emissione della sorgente di emissione e la portata d'aria di ventilazione dipende sia il livello di pericolo che l'estensione della zona pericolosa.

Il calcolo di tale portata è alquanto complicato e contribuisce assieme a quello della portata di emissione, a complicare la difficoltà di classificazione delle zone pericolose che in questi richiami saranno valutate solo sotto l'aspetto qualitativo.

Ventilazione abbondante → zona di pericolo piccola

Ventilazione scarsa → zona di pericolo elevata

INAIL

Grade of release	Ventilation Degree						
	High			Medium			Low
	good	fair	poor	good	fair	poor	good, fair or poor
Continuos	(Zone 0 NE) N.H.	(Zone 0 NE) Zone 2	(Zone 0 NE) Zone 1	Zone 0	Zone 0 + Zone 2	Zone 0 + Zone 2	Zone 0
Primary	(Zone 1 NE) N.H.	(Zone 1 NE) Zone 2	(Zone 1 NE) Zone 2	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 0 or Zone 1
Secondary	(Zone 2 NE) N.H.	(Zone 2 NE) N.H.	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 and even Zone 0

NE: negligible extent
N.H.: non-hazardous area

(cfr. EN-60079)

INAIL

Captazione degli inquinanti:

- racchiudere il più possibile la fonte di dispersione degli inquinanti;
- disegnare la cappa in relazione alla possibilità di avvicinarsi il più possibile alla sorgente di inquinamento;
- operare una scelta mirata delle **velocità di cattura** e, conseguentemente, delle **portate** necessarie.

La scelta della velocità deve trovare un giusto equilibrio che eviti la formazione di correnti d'aria fastidiose anche progettando una adeguata immissione di aria dall'esterno

Capture Velocity (V_c): [Plain Opening]

$Q = V_c (10x^2 + A)$

X = distance of source from hood face

Individuazione della fonte d'emissione
Individuazione della fase specifica della lavorazione nella quale avviene l'immissione in ambiente di lavoro di agenti chimici

- Carico prodotti in mescolatore
- Scarico prodotto finito
- Prelievo prodotto per controllo
- Emissione fumi durante saldatura
- Emissioni fumi durante stampaggio plastiche
- Nebbie oleose da esercizio macchine utensili
- ....

↓

Individuazione delle caratteristiche delle sostanze emesse
Si desume dalla scheda di sicurezza e / o altre fonti informative note dalla letteratura. Se la /le sostanze emesse non sono note occorre effettuare una analisi quali quantitativa delle emissioni

- Tossicità
- Stato fisico
- Velocità di evaporazione nelle condizioni date
- Densità dei vapori rispetto all'aria

↓

Caratteristiche strutturali della emissione

- Conformazione della fonte di emissione (vasca, tramoggia, imbuto, bocchettone .....)
- Durata dell'emissione
- Presenza di correnti d'aria che possono favorire la dispersione degli inquinanti
- Vincoli di posizionamento di un organo di captazione

↓

Definizione delle caratteristiche tecniche della cappa

- Interventi sulla riduzione della sorgente di emissione
- Conformazione e dimensionamento della cappa
- Distanza dalla sorgente
- Velocità di cattura necessaria
- Portata necessaria

	Aspirazione a fessura
	Aspirazione a fessura flangiata
A = W/L	**Aspirazione ad apertura piana**
	Aspirazione ad apertura piana flangiata

Tabella A 3: velocità dell'aria di aspirazione ottimale (Target) nelle varie postazioni di lavoro	
Modalità di dispersione	**Velocità cattura consigliata**
Evaporazione da fusti, bacinelle, mescolatori, cisternette, in correnti d'aria nell'ambiente molto ridotte	0,25÷0,50 m/s
Svuotamenti liquidi in correnti d'aria nell'ambiente molto ridotte	0,5÷1 m/s
Svuotamento solidi polverulenti in correnti d'aria nell'ambiente molto ridotte	0,5÷1 m/s

Table 7-3 Capture Velocities for Various Types of Booths

Process	Type of Hood	Capture Velocity (fpm)
Aluminum furnace	Enclosed hood, open one side	150–200
	Canopy or island hood	200–250
Brass furnace	Enclosed hood, open one side	200–250
	Canopy hood	250–300
Chemical lab	Enclosed hood, front opening	100–150
Degreasing	Canopy hood	150
	Slotted sides, 2"–4" slots	1500–2000
Electric welding	Open front booth	100–150
	Portable hood, open face	200–250
Foundry shakeout	Open front booth	150–200
Kitchen ranges	Canopy hoods	125–150
Paint spraying	Open front booth	100–175
Paper-drying machine	Canopy hood	250–300
Pickling tanks	Canopy hood	200–250
Plating tanks	Canopy hood	225–250
	Slotted sides	250 cfm per foot of tank surface
Steam tanks	Canopy hood	125–175
Soldering booth	Enclosed booth, open one side	150–200

Courtesy Hoyes-Albion Corporation

0,5 ÷ 0,89 m/s

UNI EN 12215:2005

Key

1 Entrance of fresh air plane
2 Measurement plane
3 Measurement points
4 Exhaust fan
5 Actual surface of exhausted air
6 Workpiece be coated
7 Measurement plane
8 Operator
9 Entrance of fresh air plane

Dispersione di gas e vapori

La dispersione dei vapori e dei gas dipende da un loro parametro importantissimo: la densità relativa all'aria

Esistono gas/vapori più leggeri dell'aria:

Metano → $\rho = 0,55$

Idrogeno → $\rho = 0,07$

Esistono gas/vapori più pesanti dell'aria:

Etanolo → $\rho = 1,59$

GPL → $\rho \approx 2$

Dispersione di gas e vapori

Dispersione di gas e vapori

GAS/VAPORI PESANTI ALL'APERTO

GAS/VAPORI PESANTI NELLE FOGNE

GAS/VAPORI PESANTI IN EDIFICIO MULTIPIANO

RILASCIO DI VAPORI DI SOLVENTI ORGANICI

ETANOLO

Rilascio da tubazione DN25 a 4 barg e 20 °C - Meteo: classe F, vento 2 m/s

L'etanolo è un composto organico bassobollente (Teb = 78°C) che a 20 °C presenta una tensione di vapore di 60 mbar ed evapora rapidamente.

L'etanolo è percepibile dall'olfatto a concentrazioni inferiori al millesimo del Limite Inferiore di Esplosività (84 p.p.m. di sostanza in aria).

Rilascio da tubazione DN25 a 4 barg e **20** °C - Meteo: classe F, vento 2 m/s

I vapori di etanolo sono più densi dell'aria e si disperdono restando prossimi al suolo.

Dispersione di gas e vapori

Ricapitolando, gas e i vapori in aria si disperdono:

per diffusione molecolare (fenomeno lento dovuto ai moti delle particelle gassose);

per la turbolenza dei moti dell'aria (vento o aspirazione forzata).

Il fenomeno dipende perciò da molti fattori, fra cui:

- ***portata*** dei vapori emessi in atmosfera
- ***densità*** e ***temperatura*** dei vapori
- ***condizioni meteorologiche*** (stabilità atmosferica e velocità del vento)
- ***portata aria di aspirazione***

Questi fattori determinano quindi la ***quantità di sostanza*** che si trova nel ***campo di esplosività*** e la distanza a cui un possibile innesco può attivare l'esplosione della miscela.

Dispersione di gas e vapori

L'altezza, di un camino forzato, per essere fluidinamicamente efficiente, deve essere non meno di 1,3 volte l'altezza dell'edificio

Dispersione di gas e vapori

GRANDEZZE FISICHE CARATTERISTICHE

***Energia minima di accensione**: è l'energia che l'elemento caldo deve trasmettere* alla miscela esplosiva circostante affinché si origini la reazione chimica che poi si propaga e provoca l'esplosione; se tale energia è insufficiente l'innesco non avviene.

Tale energia è dell'ordine di decini di mJ per i gas e delle decine o centinaia di mJ per le polveri.

Queste energie sono piuttosto basse ove si consideri che un'energia di 1 mJ si libera semplicemente dalla caduta di un corpo della massa di 1g da una altezza di 10 cm: solo specialissimi componenti elettrici appositamente costruiti non sono in grado di innescare l'esplosione.

Effetto della variazione di Temperatura sui limiti di esplosione

La temperatura influenza notevolmente i valori dei limiti di infiammabilità in quanto essa agisce sulla velocità di reazione e sulla tensione di vapore

In generale l'aumento di temperatura comporta un allargamento dell'intervallo di infiammabilità, vale a dire il limite inferiore si abbassa ed il limite superiore si alza.

La *composizione stechiometrica* si ha quando combustibile e comburente sono presenti in miscela negli esatti rapporti molari della reazione di combustione.

Il *Flash Point*, o punto di infiammabilità, è la minima temperatura alla quale i vapori in equilibrio col liquido possono infiammarsi.

La *Temperatura di auto-ignizione* è la minima temperatura che causa l'accensione spontanea della miscela.

ESPLOSIVITÀ DELLE POLVERI

IL PERICOLO D'ESPLOSIONE: LE POLVERI

IL PENTAGONO DEL FUOCO

Nel caso particolare delle polveri entrano in gioco altri due fattori:

- il *grado di confinamento;*
- il *grado di dispersione delle polveri nell'aria.*

- **Per le polveri i parametri da considerare sono:**

Minima temperatura di autoignizione (in nube)
Minima temperatura di autoignizione (in strato)
Minima energia di ignizione (MIE)
Campo di esplosività (limite inf.)
Pressione massima di esplosione
Massima velocità di incremento di pressione $(dp/dt)_{\mathbf{max}}$
Velocità di incremento di pressione $K_{\mathbf{St}}$ (legge cubica)

$$K_{St}=(dp/dt)_{max} * V^{1/3}$$

Classe di esplosività per polveri St (0, 1, 2 e 3)
Classe di infiammabilità Bz (1-5)
Resistività elettrica

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

- Per le polveri esiste un parametro che influenza **DIRETTAMENTE** le caratteristiche di esplosività:

- **La granulometria**

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

Perché le caratteristiche di esplosività variano significativamente con la granulometria di una sostanza?

- **La superficie specifica cresce al diminuire del diametro delle particelle e fornisce un maggior numero di "siti" possibili per avviare un fenomeno esplosivo in presenza di aria e di un innesco efficace.**

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

- **Se il D_{50} è > 400÷500 μ**
- **le caratteristiche di pericolosità della polvere diventano trascurabili !**

- Variazione delle caratteristiche di esplosività in funzione del d_{50}

Classificazione della "pericolosità" delle sostanze
In base all'effetto esplosivo

Classi St	0	Non esplosive
	1	Moderata esplosione
	2	Forte esplosione
	3	Severa esplosione

Class St1:	**$0 < K_{St} < 200$ bar·m/s**
Class St2:	**$200 < K_{St} < 300$ bar·m/s**
Class St3:	**$K_{St} > 300$ bar·m/s**

Classificazione della "pericolosità" delle sostanze In base alla sensibilità all'innesco

Classi MIE :

<1	altissima sensibilità
1-5	alta sensibilità
5-15	media sensibilità
15-100	media bassa sensibilità
>100	bassa sensibilità

Valori espressi in mJ

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

- Polveri con distribuzioni di particelle concentrate verso piccoli diametri (ad es. <20 micron) tendono a:

- dare dispersioni persistenti in aria (nubi)
- mostrare elevate superfici specifiche e quindi elevate possibilità di avere siti preferenziali dove avviare fenomeni di accensione in caso di presenza di inneschi

Normalmente al crescere della superficie specifica diminuisce la MIE e quindi aumenta la probabilità che sorgenti di modesta o piccola entità possano risultare efficaci ai fini di una esplosione da polveri.

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

In prima approssimazione, vale la regola: la MIE è proporzionale al cubo del diametro delle particelle

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

In prima approssimazione, vale la regola: la MIE è proporzionale al cubo del diametro delle particelle

Dm = 51 µ MIE ≈ 100 mJ

Dm = 30 µ MIE ≈ 20 mJ

Matrice di valutazione della sensibilità all'esplosione delle polveri				
Particle Size Media d_m=µm	MIE mJ			
	MIE≦5	5<MIE≦15	15<MIE≦100	MIE>100
d_m<40µm (ovvero >50% della polvere sotto 40µm)	4 ALTA SENSIBILTA' (nubi di polvere persistenti, alta superficie specifica)	3 MEDIA SENSIBILTA'	2 MEDIA BASSA SENSIBILTA'	1 BASSA SENSIBILTA'
40µm<d_m<160µm	IMPROBABILE	3 MEDIA SENSIBILTA'	2 MEDIA BASSA SENSIBILTA'	1 BASSA SENSIBILTA'
d_m>160µm (ovvero >50% della polvere sopra 160µm)	FORTEMENTE IMPROBABILE	IMPROBABILE	2 MEDIA BASSA SENSIBILTA'	1 BASSA SENSIBILTA' (nubi non persistenti, bassa superficie specifica)

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

L'umidità influenza l'esplosività di una polvere

ESPLOSIVITÀ DELLE SOSTANZE

CONDIZIONI NECESSARIE PER ESPLOSIONE POLVERE

Si verifica un'esplosione da polveri

- La polvere è COMBUSTIBILE
- La polvere FORMA UNA NUBE IN ARIA
- La polvere ha UN'IDONEA GRANULOMETRIA
- La concentrazione della polvere e' nel CAMPO DI ESPLODIBILITA'
- Presenza di una SORGENTE DI INNESCO DI ENERGIA SUFFIC.
- L'atmosfera in cui si genera la NUBE deve avere SUFF. O_2

FATTORI CHE INFLUENZANO L'ESPLOSIONE: POLVERI

Perché una miscela di una sostanza infiammabile in aria possa esplodere, la concentrazione deve essere compresa tra il campo di esplosività:

≥ Concentrazione Minima (M.E.C.)

Esempi per polveri (MEC):

- Magnesio = 30 gr/mc
- Caffè = 60 gr/mc
- Farina di patate = 125 gr/mc
- Carbone = 60 gr/mc

Altri Fattori per le polveri

- **Temperatura di accensione dello strato di polvere**
- **Temperatura di accensione della nube di polvere**
- **Granulometria**
- **Umidità**
- **Turbolenze**
- **Contaminazione**

CONDIZIONI NECESSARIE PER ESPLOSIONE POLVERE

CONDIZIONI INIBENTI L'ESPLOSIONE DELLE POLVERI

Concentrazione di ossigeno

POLVERI COMBUSTIBILI + GAS O VAPORI INFIAMMABILI → MISCELE IBRIDE → EFFETTO SINERGICO

Esempio di Sistema Errato per Aggiunta di Polveri

POLVERI COMBUSTIBILI + GAS O VAPORI INFIAMMABILI → MISCELE IBRIDE → EFFETTO SINERGICO

Esempio di Aggiunta di Polvere ad un'Atmosfera Infiammabile

(Tramoggia chiusa e valvola di sezionamento)

ACCETTABILE

Esempio di Aggiunta di Polvere ad un Reattore Contenente un Vapore Infiammabile

ACCETTABILE

ESPLOSIONI DA POLVERI: EFFETTO DOMINO

ESPLOSIONI DA POLVERI: EFFETTO DOMINO

PREVENZIONE: RIMOZIONE DEGLI STRATI DI POLVERI

Strati di polvere combustibile:

La National Fire Protection Agency (NFPA) avverte che uno strato di 0,8 millimetri di polvere combustibile depositato su una superfice maggiore del 5% del pavimento del locale è da considerarsi come un pericolo di esplosione!!

• VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ESPLOSIONE

ATMOSFERA ESPLOSIVA PERICOLOSA

ATMOSFERA ESPLOSIVA PERICOLOSA

EVITARE LE FONTI DI INNESCO EFFICACI:

QUALI SONO LE FONTI DI INNESCO EFFICACI?

UNI 1127-1 : tredici tipi

UNI 1127-1 : TREDICI TIPI DI INNESCO

1	superfici calde
2	fiamme e gas caldi
3	scintille di origine meccanica
4	impianti elettrici (CEI EN 50014, 31-08)
5	correnti elettriche vaganti, protezione contro la corrosione catodica
6	elettricità statica (CEI CLC/TR 50404, 31-55; CEI R044-001, 44-13; NFPA 77/2007)
7	fulmine
8	campi elettromagnetici con frequenza compresa tra 9 kHz e 300 GHz (BS 6656)
9	onde elettromagnetiche a radiofrequenza da 300 GHz a $3x10^6$ GHz o con lunghezza d'onda da 1000 µm a 0,1 µm (campo spettrale ottico)
10	radiazioni ionizzanti
11	ultrasuoni
12	compressione adiabatica, onde d'urto, fuoriuscita di gas
13	reazioni chimiche.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Michele Di Pasquale

Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Roma