INAIL

Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE

Ricerca

Edizione 2013

Pubblicazione realizzata da

INAIL
Settore Ricerca, Certificazione e Verifica
Dipartimento Tecnologie di Sicurezza

AUTORI
Fabio Pera
Massimo Giuffrida

CON LA COLLABORAZIONE DI
Francesca Ceruti

Edizione 2013

CONTATTI

INAIL - Settore Ricerca, Certificazione e Verifica
Dipartimento Tecnologie di Sicurezza
Via Alessandria, 220/E - 00198 Roma
r.dts@inail.it
www.inail.it

© 2013 INAIL
La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo.
È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-332-9

Tipolitografia INAIL - Milano, dicembre 2013

Introduzione

Il settore delle atmosfere potenzialmente esplosive è regolamentato dalle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE. La Direttiva 94/9/CE è stata recepita in Italia con il DPR n. 126 del 23 marzo 1998 (in vigore dal 1° luglio 2003) ed è una direttiva di prodotto che si rivolge ai costruttori con lo scopo di garantire all'interno della Comunità Europea la libera circolazione dei prodotti fissandone i requisiti essenziali di sicurezza e salute. La Direttiva 99/92/CE è stata recepita in Italia con il D.Lgs. n. 233 del 12 giugno 2003 (in vigore dal 10 settembre 2003) ed è una direttiva sociale che integra il D.Lgs. 81/08 con il Titolo XI, fissando una serie di obblighi per il datore di lavoro, in relazione alla tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori.
L'applicazione di queste direttive richiede un notevole impegno sia per il costruttore che per il datore di lavoro in quanto comporta azioni e valutazioni sulle attrezzature e sui luoghi e, non ultima, la stesura di un "documento sulla protezione contro le esplosioni".
Se da un lato è presumibile che la grande industria (farmaceutica, petrolifera...) sia preparata a tali cambiamenti o se non altro in grado di fronteggiare, per disponibilità di mezzi, le difficoltà e la complessità della nuova situazione, dall'altro è altrettanto probabile che questo non sia vero per la piccola industria per la quale non è stato possibile adeguarsi allo spirito delle due direttive.

In considerazione proprio delle eventuali esigenze di piccole e medie imprese, nell'attuare quanto previsto dalla legislazione e dalla normativa vigente in materia di protezione per la presenza di atmosfere potenzialmente esplosive, viene proposto un documento in cui si trattano i fenomeni, i parametri fisici ed i principi fondamentali della protezione contro le esplosioni, la cui conoscenza è essenziale per l'applicazione dei contenuti delle norme tecniche e di legge.
In questa dispensa viene trattato il rischio di esplosione connesso con la presenza di atmosfera esplosiva, così come definita all'interno delle Direttive Europee ATEX 94/9/CE e 99/92/CE cioè "miscela, in condizioni atmosferiche, di aria con sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri nella quale, dopo l'innesco, la combustione si propaga all'insieme della miscela non bruciata".

Non si prendono in considerazione le sostanze esplosive o instabili il cui utilizzo è regolamentato dal Testo Unico delle leggi di Pubblica Sicurezza, Regio Decreto 18/06/1931 n. 773.
A scopo informativo e come spunto per ulteriori approfondimenti vengono dati alcuni cenni sintetici sulla procedura di classificazione delle aree, mentre per informazioni più dettagliate si rimanda alle pubblicazioni del CEI (Comitato Elettrotecnico italiano) o ad altre raccomandazioni del settore.

Il presente documento è il risultato di un'attività di ricerca che raccoglie i contenuti delle disposizioni di legge vigenti e della normativa tecnica di base per la protezione contro le esplosioni e come tale può essere considerato un'introduzione alle problematiche relative ad ambienti ove possa verificarsi la presenza di sostanze infiammabili e combustibili in forma di gas, vapori, liquidi e polveri.

Indice

Capitolo 1
Miscele a rischio di esplosione e atmosfere potenzialmente esplosive 7

Capitolo 2
La Direttiva 94/9/CE 31

Capitolo 3
La Direttiva 99/92/CE 43

Capitolo 4
Sistemi di protezione dalle esplosioni 51

Capitolo 5
Caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle sorgenti di emissione 59

Capitolo 6
Protezione dalle esplesioni: criteri di valutazione 65

La normativa di riferimento 75

Bibliografia 76

CAPITOLO 1

Miscele a rischio di esplosione e atmosfere potenzialmente esplosive

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

Per *atmosfera esplosiva*[1], ai sensi del D.Lgs. 81/2008, si intende "una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche[2] di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta".
Le condizioni atmosferiche considerate ai fini della definizione di atmosfera esplosiva prevedono una concentrazione dell'ossigeno approssimativamente del 21% e livelli di riferimento per pressione e temperatura, rispettivamente pari a 101325 Pa e 293 K. Rispetto ai valori di riferimento di pressione e temperatura, sono ammesse delle variazioni, purché queste non incidano significativamente sulle proprietà esplosive della sostanza infiammabile o combustibile. A tal proposito le Linee Guida della Comunità Europea per l'Applicazione della Direttiva 94/9/CE suggeriscono di considerare, per le applicazioni, un intervallo intorno ai valori di riferimento pari a 0,8 bar e 1,1 bar per la pressione e pari a 20°C e 60°C per la temperatura.
Il comburente è la sostanza in presenza della quale il combustibile brucia; nel nostro caso si tratta dell'ossigeno contenuto nell'aria in percentuale pari a circa il 21% in volume.
Le sostanze che combinate con l'aria possono provocare la reazione esotermica di esplosione sono dette *infiammabili*, con l'eccezione delle polveri, per le quali si preferisce usare il termine *combustibili*: con queste accezioni verranno da questo punto in poi indicate tali sostanze.

Nella vecchia normativa, relativa alla Direttiva 67/548/CEE ed alle sue modifiche, le sostanze e le miscele infiammabili erano divise in classi (infiammabili, facilmente infiammabili, estremamente infiammabili) corrispondenti alle frasi di rischio, in funzione delle loro caratteristiche.

1 Art. 288 D.Lgs. 81/08 comma 1.
2 Art. 288 D.Lgs. 81/08 comma 1 bis.

Il nuovo regolamento CLP ha sostituito le frasi di rischio R, ad es. “estremamente infiammabile” con le frasi di pericolo H ad es. “gas infiammabile”. Per le sostanze Il regolamento CLP è oggi in vigore, mentre per le miscele è in atto una fase transitoria che termina il 1 giugno 2015 nella quale coesistono il vecchio ed il nuovo sistema. Affinché si possa verificare un’esplosione, la miscela esplosiva deve trovarsi in presenza di una sorgente di accensione efficace, cioè in grado di innescare la reazione. Questo è rappresentato in maniera grafica dal noto triangolo (figura1), dove i lati dello stesso indicano le tre condizioni necessarie affinché si possa verificare la reazione esplosiva.

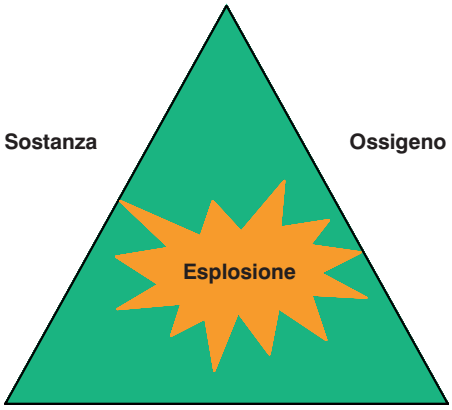


Figura 1: Triangolo dell’esplosione

La sorgente di innesco deve essere in grado di fornire alla miscela esplosiva, per una data concentrazione della sostanza in aria, una quantità di energia sufficiente affinché la combustione superi quel punto critico oltre il quale è in grado di auto-sostenersi, permettendo al fronte di fiamma di propagarsi da solo senza apporto di energia dall’esterno: tale energia è specifica di ogni sostanza ed il valore minimo è chiamato **energia minima di accensione**.

Parametri fisici fondamentali

Supponiamo che si abbia una miscela in aria di una sostanza infiammabile potenzialmente esplosiva: affinché l’esplosione avvenga è necessario che la sostanza infiammabile venga accesa trovandosi in una concentrazione in aria, in condizioni atmosferiche, compresa entro un limite inferiore detto LEL (*Lower Explosion Limit)* ed uno superiore detto UEL (*Upper Explosion Limit*): questi parametri individuano il **range di esplosione** (figura 2), cioè l’intervallo di concentrazione entro il quale la miscela infiammabile può esplodere. Ad esempio il metano è una sostanza infiammabile che in aria in concentrazione inferiore al 4.4 % in volume non esplode.

Il **LEL** e l'**UEL** sono anche chiamati limiti di esplodibilità e sono così definiti:

- **LEL**: concentrazione in aria di sostanza infiammabile al disotto della quale l'atmosfera non esplode;
- **UEL**: concentrazione in aria di sostanza infiammabile al disopra della quale l'atmosfera non esplode.

Figura 2: Range di esplosione

La più bassa energia necessaria a provocare l'accensione della miscela infiammabile è detta MIE (*Minimum Ignition Energy*), si verifica in corrispondenza di una specifica concentrazione della sostanza in aria e viene valutata in condizioni di prova specificate. Una sorgente di accensione con un'energia pari a MIE si dice efficace (figura 3).

Figura 3: Sorgente di accensione efficace

In tabella 1 sono indicati a titolo di esempio i valori di LEL, UEL e MIE per alcune sostanze di normale interesse.

Tabella 1: Valori di LEL e UEL di alcune sostanze

Sostanza	M.I.E *μJ*	L.E.L. % vol	U.E.L % vol
acetilene	19	2,3	100
etilene	85	2,7	36
idrogeno	20	4,0	75
metano	280	4,4	17
propano	260	2,1	9,5

Per le sostanze allo stato liquido, dalle cui superfici possono liberarsi vapori infiammabili, è importante considerare la **temperatura di infiammabilità o flash point**: essa indica la temperatura più bassa alla quale, in condizioni specifiche di test, il liquido libera in aria una quantità di vapori in grado di formare una miscela infiammabile (figura 4).

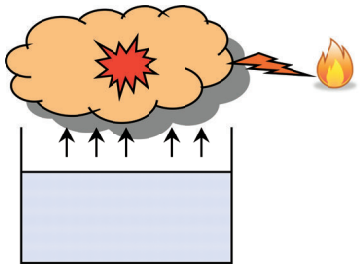


Figura 4: Flash point

Questo parametro è importante perché permette di valutare se nelle condizioni di temperatura in cui si trova il liquido (ambientali, di stoccaggio, di processo) esiste il pericolo di esplosione.
Il gasolio, per esempio, ha una temperatura di infiammabilità compresa fra 55 e 65 °C ed in condizioni ambientali non può formare una miscela esplosiva (solo rischio di incendio): potrebbe viceversa generarla se in un determinato processo venisse riscaldato a quella temperatura.
La temperatura di accensione di una atmosfera esplosiva per la presenza di gas, così come definita dalla norma IEC 60079-0, è "la minima temperatura di una superficie riscaldata alla quale, in condizioni specificate in accordo alla IEC 60070-4, avviene l'accensione di una sostanza infiammabile allo stato di gas o vapore in miscela con l'aria". Tale valore è utile per determinare le massime temperature raggiungibili dalle superfici delle apparecchiature che si trovano in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive (figura 5).

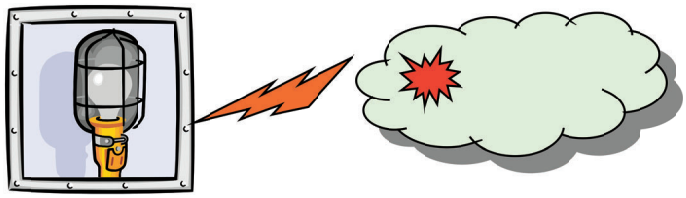


Figura 5: Temperatura di accensione

In tabella 2 sono riportati alcuni valori di temperatura di infiammabilità e temperatura di accensione per sostanze di normale interesse.

Tabella 2: Valori di temperatura di infiammabilità ed accensione

Sostanza	Temperatura di infiammabilità °C	Temperatura °C
acetilene	-18	305
etilene	-	425
idrogeno	-	500
metano	-	537
propano	-104	470

Per le polveri vengono rispettivamente definite la **temperatura di accensione di una nube** e la **temperatura di accensione di uno strato di polvere.**
La **temperatura di accensione di una nube è "la più bassa temperatura di una parete calda interna ad un forno alla quale si verifica l'accensione in una nube di polvere nell'aria contenuta al suo interno" (EN 60079-14-2:2010).** In genere si considerano pericolose polveri combustibili che hanno dimensioni delle particelle minori od uguali a 0,5 mm.
La **temperatura di accensione di uno strato di polvere** (figura 6) **è "la più bassa temperatura di una superficie calda alla quale si verifica l'accensione in uno strato di polvere di spessore specificato su una superficie calda" (EN 60079-14-2:2010).**

Figura 6: Temperatura di accensione di uno strato

Uno strato di polveri è considerato pericoloso sia perché può sollevarsi in nube sia perché può accendersi e dare origine ad esplosioni successive (effetto domino).
Tali parametri sono utilizzati, come vedremo più avanti, per la scelta delle apparecchiature analogamente a quanto detto per la temperatura di accensione dei gas.
Un altro parametro di notevole interesse è rappresentato dalla **classe di combustibilità BZ** che rappresenta l'attitudine della polvere a bruciare in strato. Più la polvere tende a bruciare, maggiori sono le condizioni di rischio sia per la presenza di sorgenti di accensione sia per la possibilità che lo strato possa sollevarsi in nube e provocare esplosioni successive. Nella tabella 3 che segue sono indicate le classi di combustibilità BZ.

Tabella 3: Classi di combustibilità

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

Infine si ricorda l'indice di esplosione K, che indica quanto forte può essere un'esplosione. Tale parametro si determina sperimentalmente con analisi di laboratorio in specificate condizioni e riveste una grande importanza soprattutto per le polveri, in quanto ne caratterizza il comportamento.
Esso è legato alla legge cubica che regola il fenomeno dell'esplosione con la formula seguente:

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} = K \cdot V^3$$

In particolare i valori dell'indice di esplosione per le polveri Kst sono suddivisi in 4 intervalli ad ognuno dei quali è associata una classe di esplosione St. A valori crescenti di St corrispondono valori di intensità crescente dell'esplosione come di seguito indicato (tabella 4).

Tabella 4: Classi di esplosione

Classe di esplosione	K_{st} bar·m·s^{-1}	Commento
St 0	0	Esplosione debole
St 1	> 0 fino a 200	Esplosione moderata
St 2	> 200 fino a 300	Esplosione forte
St 3	> 300	Esplosione severa

Sorgenti d'innesco

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

Le sorgenti di innesco possono essere:

- **scariche elettriche**: possono derivare dalla manovra di interruttori, relè, da correnti vaganti, da protezione catodica, dagli avvolgimenti dei motori elettrici, etc…
- **scariche elettrostatiche:** queste possono essere caratterizzate da energie dell'ordine di decine di mJ e potenziali di decine di kV.
  Le operazioni e le situazioni in cui si possono generare (figura 7a e 7b) riguardano l'uso di attrezzature di plastica o di fibre sintetiche, di indumenti isolanti (scarpe di gomma, fibre sintetiche) che si caricano per strofinio, specialmente su pavimenti isolanti, lo scorrimento di fluidi e polveri (riempimento di serbatoi, passaggio in tubazioni isolanti, scarico di gas compressi), l'agitazione di polveri e liquidi in recipienti.

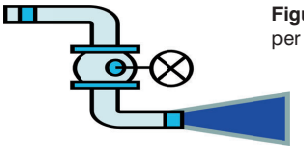


Figura 7a: Formazione di cariche elettrostatiche per scorrimento di fluidi e polveri

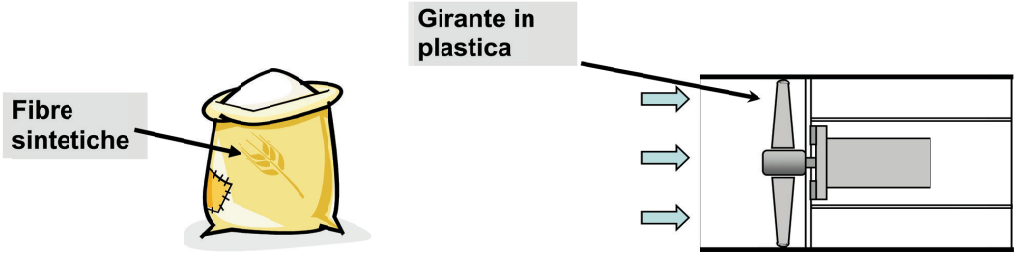


Figura 7b: Formazione di cariche elettrostatiche per scorrimento di fluidi e polveri

- **scariche atmosferiche:** si generano in seguito ai campi elettrici e magnetici connessi con il fenomeno della scarica atmosferica.
- **scintille generate meccanicamente:** si tratta di particelle metalliche prodotte per attrito ed urto e incendiate, per esempio durante le lavorazioni meccaniche, o prodotte a seguito dell'urto fra utensili o arnesi realizzati in metalli leggeri e pezzi con presenza di ruggine.
- **superfici calde:** le superfici calde di apparecchi, tubi radianti, cuscinetti, essiccatoi, etc. possono generare l'accensione dell'atmosfera esplosiva.
- **reazioni esotermiche:** si hanno reazioni chimiche esotermiche con sviluppo di calore non sufficientemente disperso e produzione di energia sufficiente per l'innesco, in presenza di depositi di farine (per fermentazione batterica), gomme, fertilizzanti, incrostazioni piroforiche, sali metallici e organici, olii e grassi.

- **fiamme libere:** presenti per esempio nelle operazioni di taglio e saldatura o nei bruciatori, sono evidentemente pericolose per il loro alto contenuto energetico. Tra le operazioni in cui porre maggiore attenzione vi è il taglio di recipienti chiusi contenenti residui di sostanze infiammabili.
- **impulsi di pressione:** generano calore a causa della compressione adiabatica nei restringimenti o per esempio nella fuoriuscita di gas.
- **onde elettromagnetiche:** la pericolosità dipende dalla potenza del campo emettitore in prossimità delle parti metalliche che fungono da antenna ricevente e che possono scaldarsi o generare scariche elettriche.
- **radiazioni ionizzanti:** la pericolosità è legata all'energia associata alla radiazione che può essere assorbita.
- **ultrasuoni:** le onde acustiche possono riscaldare la sostanza che le assorbe.

Le cariche elettrostatiche come sorgenti di innesco

Tra i principali fattori che possono configurarsi come sorgente di innesco di una atmosfera esplosiva vi è la formazione di campi elettrostatici in prossimità di parti di impianto in cui si formano atmosfere esplosive. Tale fenomeno può essere dovuto a fattori strettamente legati al processo produttivo, ovvero a cause esterne come ad esempio quelle legate a fenomeni di scariche atmosferiche.
Nel caso di aspetti legati a fattori produttivi, il principio di formazione dei campi elettrostatici è dovuto in larga parte al classico fenomeno dello ***strofinio.*** Ciò si verifica, nel caso di sostanze solide, durante le procedure di travaso di sostanze tra recipienti diversi o per strofinio durante i processi di lavorazione.
In entrambi i casi, la separazione elettrostatica delle cariche elettriche determina la formazione di una energia potenziale, o potenziale elettrostatico, che in qualsiasi momento, può dare origine ad un arco voltaico e al successivo innesco dell'eventuale atmosfera esplosiva.
Il fenomeno della separazione delle cariche elettrostatiche per strofinio, di per sé non rappresenta un pericolo. Lo diventa nel momento in cui tale accumulo raggiunge livelli tali da riuscire ad innescare l'eventuale atmosfera esplosiva.
Una classica esemplificazione del fenomeno è il caso di un recipiente che, per qualche ragione, si carica positivamente. Qualora l'accumulo di carica superficiale sia tale da superare il potenziale di innesco, la carica elettrostatica viene liberata attraverso la formazione di una scintilla (arco voltaico), che si comporta come una sorgente di innesco.

Generazione di cariche elettrostatiche

Le attività che possono dare origine a separazione di cariche elettrostatiche hanno quindi come fattore comune lo ***strofinio***.

Tra queste, nei processi industriali vi sono:
- travaso di prodotti;
- rotolamento tra nastri trasportatori e pulegge;
- flusso di un liquido attraverso le tubazioni;
- nebulizzazione di un liquido;
- svuotamento di grosse quantità di prodotti da sacchi o contenitori.

L'obiettivo principale, affinché non si produca una azione di innesco in atmosfera esplosiva, è quello di evitare che tali cariche si formino. Laddove tale fenomeno sia inevitabile, occorre che le cariche vengano disperse attraverso materiali conduttori mediante il principio della **messa a terra**.
La messa a terra è una delle metodiche utilizzate per neutralizzare le cariche elettrostatiche, facendo in modo che queste si disperdano verso il terreno attraverso dei conduttori. La caratteristica di questi conduttori è la bassa resistività rispetto agli altri materiali presenti nell'atmosfera potenzialmente esplosiva.
In relazione al processo produttivo, la messa a terra delle cariche può interessare sia i conduttori che le sostanze in essi contenuti. Attraverso appositi collegamenti, le sostanze possono disperdere le cariche accumulate, abbassando così il potenziale di innesco dell'eventuale atmosfera esplosiva. In ogni caso, affinché possa verificarsi l'innesco dell'atmosfera esplosiva, occorre che l'energia elettrostatica durante la scarica sia pari o superiore all'energia di innesco della sostanza.
Le scariche elettrostatiche si distinguono sia per la forma con la quale si manifestano sia per l'energia che riescono a liberare:
- scarica **disruptiva:** si innesca tra due corpi conduttori quando i valori di campo elettrostatico superano i valori di rigidità dielettrica dell'aria (isolante aria circa 3 kV/mm). In questo caso, l'energia minima di innesco dipende dalla quantità di carica accumulata dal condensatore equivalente secondo la relazione: $E=\frac{1}{2} CV^2$ (Capacità C[F] e Volt [V]);
- scarica a **fiocco:** ha una energia di innesco compresa tra 1 e 3 mJ. Si verifica principalmente in caso di svuotamento di sacchi o di carico di un contenitore;
- scarica per **effetto corona:** ha una energia di innesco inferiore a 1 mJ. Si verifica qualora vi siano dei conduttori aventi delle punte con raggio di curvatura minore di 1mm;
- scariche a **pennacchio**: presentano una energia di innesco di alcuni J e si manifestano in caso di:
  - trasporto di liquidi isolati ad alta velocità attraverso tubazioni isolanti o tubazioni conduttrici con pareti rivestite da materiale isolante;
  - scorrimento veloce di nastri trasportatori con cinghie di trasporto isolanti;
  - riempimento di sili isolanti;
- scariche **coniche:** si sprigionano dal cono di accumulo quando vengono accumulate grandi quantità di materiale all'interno di contenitori e silos. Hanno una energia di innesco di alcuni J.

La classificazione delle zone

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.

Si distinguono i seguenti tre tipi di zone per miscele pericolose in aria (in condizioni atmosferiche) di **gas, vapore e nebbie**:

- **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 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 sostanze infiammabili, sotto forma di gas, vapore o nebbia o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata".

  Analogamente per le **polveri**:

- **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 nell'aria o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata".

Le definizioni sono tratte dal Decreto legislativo del 12 giugno 2003, n. 233 (che integra il D.Lgs. 81/08 con il Titolo XI e gli Allegati XLIX, L e LI) con il quale è stata recepita in Italia la Direttiva 99/92/CE.
Per "normali attività" (in altri contesti si legge "normale funzionamento") si intende una situazione in cui il funzionamento rientra nei parametri di progetto comprendendo le fasi di avvio e fermata. Nelle normali attività non sono compresi i guasti che richiedono riparazioni e fermate. La tabella 5 che segue riassume sinteticamente quanto detto. Si noti che i valori di frequenza in un anno e durata sono stati inseriti a solo titolo indicativo per dare un'idea dell'ordine di grandezza a cui ci si riferisce.

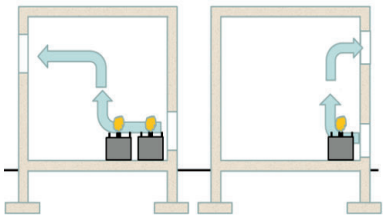
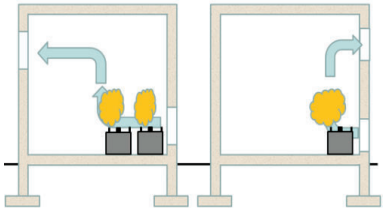
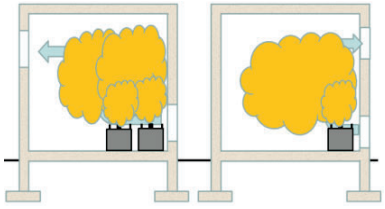
Tabella 5: Zone per atmosfere esplosive

Tipo di zona		Presenza atmosfera esplosiva	Frequenza in un anno	Durata
Gas, vapori, nebbie	Polveri		In 365 giorni	ore
0	20	Continua o per lunghi periodi	$>10^{-1}$	>1000
1	21	Periodica od occasionale nel funzionamento normale	$10^{-1}>P>10^{-3}$	1000>h>10
2	22	Non prevista nel funzionamento normale e solo per brevi periodi	$10^{-3}>P>10-5$	10>h>0,1

Criteri e procedure di classificazione delle aree

Esistono diversi metodi per effettuare la classificazione delle aree che fanno riferimento a norme, guide e raccomandazioni. Il D.lgs. 81/08 nell'All. XLIX afferma che si può, ma non è obbligatorio, fare riferimento alle norme europee EN 60079-10 (CEI 31-30) per atmosfere esplosive in presenza di gas ed alla norma EN 61241-10 (CEI 31-66) per atmosfere esplosive in presenza di polveri combustibili, nonché alle guide CEI 31-35 (gas) e CEI 31-56 (polveri). Le norme EN di cui sopra sono state recentemente sostituite rispettivamente dalle norme EN 60079-10-1 (gas) ed EN 60079-10-2 (polveri).
La norma EN 60079-10-1 si basa sugli effetti della ventilazione ed in particolare sul grado di ventilazione (vedi tabella 6) e propone un metodo analitico attraverso il quale si determina il tipo di zona. La guida CEI 31-35 si basa sulla norma europea e propone un procedimento per la valutazione dell'estensione della zona.

Tabella 6: Grado di ventilazione

Grado di ventilazione alto	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 esplodibilità. Ne risulta una zona di estensione trascurabile. Tuttavia, quando la disponibilità della ventilazione non è buona, un altro tipo di zona può circondare la zona di estensione trascurabile.	
Grado di ventilazione medio	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. L'estensione ed il tipo della zona sono condizionati dalle grandezze caratteristiche di progetto.	
Grado di ventilazione basso	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.	

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 guida CEI 31-56 propone, invece, un metodo più elaborato che porta fino alla determinazione dell'estensione della zona.

Cenni sulla procedura per gas secondo EN 60079-10-1 (CEI 31-87)

In questo paragrafo viene illustrata in maniera semplice e sintetica la procedura per la classificazione di ambienti dove può formarsi un'atmosfera pericolosa per miscele di aria con gas, secondo la norma EN 60079-10-1 (CEI 31-87).
Tale norma non è di facile applicazione per cui si fa riferimento alla relativa Guida CEI 31-35, alla quale si rimanda per una trattazione più esauriente e completa avendo, quanto sarà detto, solo lo scopo di fornire una visione d'insieme della metodologia e dare lo spunto per gli indispensabili ulteriori approfondimenti.

È evidente che la prima cosa da fare è individuare le sostanze pericolose determinando i parametri fisici che le caratterizzano, come per esempio:
- massa volumica;
- temperatura di accensione;
- temperatura d'infiammabilità;
- LEL;
- UEL.

Si ricorda che, nel caso di una miscela di sostanze infiammabili, il LEL può essere definito tramite la legge di Le Chatelier (vedi CEI 31-35).
Altri parametri possono essere necessari a seconda della specifica situazione (es. tensione di vapore). Successivamente, occorre individuare le possibili fonti di emissione di sostanze infiammabili registrandone ubicazione e caratteristiche.

Tali **sorgenti di emissione** vengono classificate individuando il grado di emissione fra tre possibili casi, come indicato nella tabella 7 seguente:

Tabella 7: Grado dell'emissione per gas

Grado dell'emissione	Frequenza e durata dell'emissione
Continuo	continua o per lunghi periodi
Primo	periodica od occasionale nel funzionamento normale
Secondo	non prevista nel funzionamento normale. Se avviene, è solo per brevi periodi.

Una sorgente di emissione di grado continuo è per esempio la superficie di un liquido, mentre sono di primo grado le emissioni occasionali da giunti, valvole o sfiati che si possono verificare nel normale funzionamento.
Sono di secondo grado, per esempio, le emissioni da flange, valvole o giunti che non sono previste nel normale funzionamento, ma solo in fase di guasto.
Si procede, quindi, calcolando le portate di emissione Q_g (kg/s) di tutte le sorgenti (esistono formule riportate nella guida CEI 31-35 per diversi casi).

Il passo successivo è valutare la ventilazione presente nell'ambiente considerato, distinguendo il caso di ambienti **aperti** ed **ambienti chiusi**.

Di seguito sarà esposta metodologia valida **all'aperto** riferendosi ad una singola sorgente di emissione.

Prima di tutto occorre valutare il numero di ricambi d'aria al secondo, nel volume interessato dalla zona pericolosa, definito come:

$$C_0 = \frac{Q_0}{V_0} (s^{-1});$$

dove:
- Q_0 è la portata effettiva (m^3/s) di ventilazione;
- V_0 è il volume da ventilare o meglio il volume interessato dall'emissione.

In ambiente aperto si suppone in genere che esista una velocità minima del vento pari a w=0,5 m/s (calma di vento). Questo non impedisce, però, di usare altri valori più appropriati per la situazione specifica.

Per valutare C_0 si deve determinare una lunghezza L_0 fittizia, rappresentativa del volume V_0 interessato. Se per semplicità si assimila V_0 ad un cubo di lato L_0, si ha:

$$C_0 = \frac{Q_0}{V_0} = \frac{w_a \bullet L_0^2}{L_0^3} = \frac{w_a}{L_0}$$

dove w_a è la velocità dell'aria.

La lunghezza L_0 si ricava a partire dalla determinazione della dimensione dz, che definisce la distanza dalla sorgente di emissione a cui la concentrazione è inferiore a k_{dz} * LEL (esistono formule riportate nella guida CEI 31-35 per diversi casi). Per esempio, nel caso di gas e vapori emessi a pressione relativa inferiore a 5 mbar, si applica la formula (equazione di Fauske modificata):

$$d_Z = k_Z \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_V \cdot w_a} \right)^{0,55}$$

- f_{SE} è il fattore di efficacia della ventilazione (vedi oltre);
- Q_g è la portata di emissione del gas (kg/s);
- M è la massa molare della sostanza infiammabile [kg/kmol];
- LEL_v è il LEL in percentuale di volume.

Nota. k_{dz} è un coefficiente il cui valore varia da 0,25 a 0,5 per emissioni di grado continuo e primo, da 0,5 a 0,75 per emissioni di grado secondo: la scelta è lasciata alla valutazione del tecnico incaricato.

Il coefficiente k_z, tiene conto dell'influenza sulla distanza dz della concentrazione della sostanza infiammabile e vale:

- all'aperto k_z=1;
- al chiuso $k_z = e^{\frac{k_1 X_m\%}{MLEL_V}}$

dove k_1 =13 se M<5, altrimenti k_1 =82 negli altri casi.

La concentrazione X_m% viene definita per ambienti chiusi.

Una volta determinato dz, la guida CEI chiede al classificatore di definire la grandezza "**a**" che rappresenta l'estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione e dispersione. Tale valore è almeno uguale a dz, ma preferibilmente maggiore, per esempio arrotondato alla prima cifra intera o addirittura al doppio in caso di evidenti incertezze (a seconda delle situazioni può essere un multiplo di dz, per esempio 1,2*dz.

Ciò fatto si definisce $L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE}$, dove D_{SE} è la dimensione lineare massima della sorgente di emissione e k_0 è un coefficiente, in genere pari a 2 e mai inferiore ad 1.

Il passo successivo è calcolare la minima quantità d'aria di ventilazione necessaria per portare la concentrazione di gas ad un valore pari a k*LEL, (dove k è un coefficiente di sicurezza pari a 0,25 per SE di grado continuo e 1° e 0,5 per il 2°; tali valori non sono comunque vincolanti) con:

$$\frac{Q_{a\min}}{Q_g} = \frac{1}{kLEL_m} \bullet \frac{T_a}{293}$$

Q_g (kg/s); Q_{amin} (m^3/s di aria); LEL_m (kg/m^3)

In caso di emissione di gas con velocità di emissione sonica, Q_g può essere calcolata con la formula:

$$Q_g = S\, Pc_p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT}} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)(\gamma-1)}$$

Dove:

c_p = calore specifico a pressione costante [J/(Kg K)];
c_v = calore specifico a volume costante [J/(Kg K)];
γ = indice di espansione c_p/c_v
S = sezione del foro di emissione[m^2];
P = pressione assoluta all'interno del contenitore [Pa];
T_a = temperatura ambiente (°K);
M = massa molare della sostanza infiammabile [kg/kmol];
T = temperatura di riferimento, o temperatura assoluta all'interno del sistema di contenimento nel punto di emissione (sorgente di emissione), o temperatura del liquido [K].

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_k in condizioni ideali di flusso di aria fresca e miscelazione istantanea ed omogenea è pari a:

$$V_k = \frac{Q_{a\min}}{C_0}$$

Il valore della portata minima di ventilazione Q_{amin} (m^3/s) è determinato dalla formula:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k\,LEL}\frac{T}{293}$$

Considerando un fattore di efficacia della ventilazione f_{SE}, che tiene conto delle condizioni effettive di diluizione e miscelazione dell'aria, il volume ipotetico di atmosfera esplosiva diventa V_z (m^3) ed è pari a:

$$V_z = f_{SE}\frac{Q_{a\min}}{C_0}$$

C_0 è il numero di ricambi d'aria nel volume considerato $\mathbf{C_0 = Q_0/V_0}$ ed f_{SE} è il fattore di efficacia della ventilazione, che varia da 1 (buona capacità di diluizione) a 5 (cattiva capacità di diluizione), in funzione della maggiore o minore capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva da parte della circolazione d'aria, in prossimità della sorgente di emissione.

Si noti bene che V_z non è il volume effettivo della zona pericolosa che definisce l'estensione della zona: il volume effettivo e le dimensioni della zona sono determinate dal parametro "**a**" precedentemente definito.
Il V_z è una stima del volume di atmosfera esplosiva prodotto ed è utilizzato per stabilire il grado della ventilazione dopo aver deciso se esso è trascurabile o non trascurabile (pericoloso o meno).

In ambienti aperti la normativa IEC 60079-10-1 suggerisce di considerare pericoloso un volume V_z dell'ordine di **100 dm³.**
La guida CEI 31-35, considerando che il rischio è determinato dalla probabilità di accadimento del danno e dalla gravità del danno, suggerisce di considerare il volume di miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} pari a:

$$V_{ex} = k \bullet V_Z$$

dove k è il coefficiente di sicurezza già definito (applicato al LEL).
Vengono adottati i valori sotto indicati:
- per la zona 0: $V_{ex} < 1$ dm³;
- per la zona 1: $V_{ex} < 10$ dm³;
- per la zona 2: $V_{ex} < 10$ dm³.

Un parametro importante che serve a valutare la durata e la pericolosità di un'atmosfera esplosiva è il tempo di persistenza della stessa t_{patm}, una volta cessata l'emissione. Questo si calcola con la seguente formula:

$$t_{patm} = \frac{-f_{SE}}{C_0} \ln \frac{KLEL_{\%vol}}{X_{0\%vol}}$$

dove:
X_0 è la concentrazione iniziale in V_0.
X_0 è pari al 50 % in volume se si tratta di gas o liquido che bolle;
Per evaporazione di liquidi al di sotto della temperatura di ebollizione vale la formula seguente:

$$X_0 = \frac{P_V}{P_a \bullet 2} 100$$

dove:
P_v è la tensione di vapore;
P_a è la pressione atmosferica.

La seguente tabella 8 stabilisce, in funzione della trascurabilità o meno del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva, il grado di ventilazione all'aperto. Si noti che all'aperto il grado di ventilazione può essere alto o medio, mai basso, in quanto si considera che un minimo di ventilazione è sempre presente.

Tabella 8: Grado della ventilazione all'aperto

Grado	V_z
Alto	Trascurabile
Medio	Non trascurabile, t_{patm} compatibile con la zona
Basso	Non considerato

Il grado di ventilazione è alto se V_z è trascurabile.
Il grado di ventilazione è considerato medio se V_z non è trascurabile con la condizione aggiuntiva che il tempo di persistenza al cessare dell'emissione sia compatibile con il tipo di zona.

Passiamo ora a vedere come si determina il grado di ventilazione per **ambienti chiusi**.
In ambiente chiuso può esistere la ventilazione naturale che deve essere calcolata e/o quella artificiale che invece è nota. Nella guida CEI 31-35 sono suggerite formule per il calcolo della prima in funzione delle aperture esistenti nel locale.
La portata di ventilazione artificiale e le attrezzature ad essa relative devono essere tali da ridurre l'estensione della zona a dimensioni trascurabili entro un volume prestabilito (V_{OL}).
La disponibilità della ventilazione naturale può essere buona o adeguata o scarsa. Se la disponibilità è buona, cioè presente con continuità, il tipo di zona dipende dal grado di emissione e le sue dimensioni (V_z) possono essere trascurabili.
La disponibilità della ventilazione è considerata adeguata se presente durante il funzionamento normale. Eventuali interruzioni devono essere poco frequenti e di breve durata. È scarsa invece quando non è né buona né adeguata e le interruzioni non hanno lunga durata.
Nel caso di grado di emissione continuo e primo, se la disponibilità è adeguata o scarsa, oltre alla prima zona, esiste una seconda zona di tipo zona 2, con dimensioni che dipendono dalla ventilazione residua. La ventilazione residua è quella presente quando la ventilazione artificiale viene a mancare.
La guida CEI 31-35 fornisce indicazioni specifiche procedurali per sorgenti di emissione a cui è applicata la ventilazione artificiale.

In ambienti chiusi si deve determinare la concentrazione media X_m (%) nel volume V_a del locale, detta anche concentrazione nel campo lontano. Il calcolo di questa concentrazione viene fatto separatamente rispettivamente per le emissioni di grado continuo, primo e secondo considerandone la contemporaneità.
Le emissioni di grado continuo sono tutte contemporanee, quindi:

$$X_m = \sum Xr\ \% \quad \text{dove } X_r\ \% = \frac{Q_g}{Q_a \bullet \rho_{gas}} \bullet 100$$

dove Q_a (m^3/s) è la portata di ventilazione calcolata.
Q_g è dovuta alla singola emissione continua e ρ_g è la densità del gas (kg/m^3). Per le emissioni continue si trascura il periodo transitorio iniziale dall'emissione della sostanza infiammabile in cui la concentrazione media del gas ha un andamento esponenziale: il periodo transitorio iniziale viene invece considerato per emissioni di grado primo e secondo.

Per emissioni di primo grado, X_m è pari al valore precedente, che comprende le emissioni continue presenti, a cui si sommano le concentrazioni al tempo te (durata dell'emissione) delle emissioni di 1° scelte come contemporanee:

$$X_m = \sum Xr\,\% + \sum X_{te\ primo\ grado}\,\%\quad \text{(contemporanee)}$$

dove:

$$X_{te}\ \%\ \text{(conc. dopo te)} = \frac{Q_g}{Q_a \bullet \rho_{gas}}\left(1 - e^{-C_a \bullet te}\right) \bullet 100$$

$C_a = \frac{Q_a}{V_a}$ è il numero di ricambi nel volume V_a dell'ambiente considerato.

Per le emissioni di secondo grado, X_m si calcola sommando tutte le emissioni continue e di 1° grado contemporanee più la X_{te} di ciascuna emissione di 2° grado presa singolarmente, a meno che non si sia in grado di individuare quella più gravosa.

$$X_m = \sum Xr\,\% + \sum X_{te\ primo\ grado}\,\%\quad \text{(contemporanee)} \quad + \quad X_{te\ secondo\ grado}\,\%$$

(singola o più gravosa)

La concentrazione media X_m% nel campo lontano deve essere confrontata con il parametro di riferimento kLEL%/f.
Se X_m% > kLEL%/f e/o il tempo di persistenza al crescere dell'emissione non è compatibile con il tipo di zona, allora il grado di ventilazione deve essere considerato basso e la zona pericolosa si estende a tutto l'ambiente V_a. Se l'emissione è continua si ha una zona 0, per un emissione di primo grado o secondo si può avere una zona 1 o addirittura 0 se la ventilazione è così bassa che l'atmosfera esplosiva è sempre presente.

Se viceversa è soddisfatta la seguente condizione:

$$X_m\% \leq \text{k LEL\%/f}$$

si può affermare che il volume interessato dall'atmosfera pericolosa V_o è più piccolo di quello dell'ambiente V_a o meglio che le zone con pericolo si trovano vicino alle sorgenti di emissione (campo vicino).

In tal caso si può procedere come all'aperto, utilizzando la procedura già indicata, **considerando le sorgenti singolarmente**, valutando **C_o** e **V_z** fino a definire con la seguente tabella 9 il grado della ventilazione:

Tabella 9: Grado della ventilazione al chiuso

Grado	V_z
Alto	V_z trascurabile con $X_m\% \leq$ kLEL%/f
Medio	V_z non trascurabile con $X_m\% \leq$ kLEL%/f t_{patm} compatibile con il tipo di zona
Basso	$X_m\%$ > kLEL%/f e/o t_{patm} non compatibile con il tipo di zona

Per il grado di ventilazione medio il V_z non è trascurabile ma il tempo di persistenza deve essere compatibile con la zona.
Il grado di ventilazione è basso se $X_m\%$ > kLEL%/f e/o il tempo di persistenza non è compatibile con il tipo di zona.
Successivamente, si valuta la disponibilità della ventilazione scegliendo fra i casi riportati nella tabella 10 seguente:

Tabella 10: Disponibilità della ventilazione

Disponibilità	Presenza
Buona	Continua
Adeguata	Presente nel funzionamento normale
Scarsa	Non sono previste interruzioni per lunghi periodi

In ambienti aperti la disponibilità è generalmente considerata buona se esiste una velocità del vento pari a 0,5 m/s.
Se la disponibilità è adeguata o scarsa significa che esiste una ventilazione primaria che, in determinate circostanze, può venir meno lasciando presente solo una ventilazione residua.

A questo punto sono disponibili tutti i dati per determinare il tipo di zona e sono:

- grado di emissione;
- grado della ventilazione;
- disponibilità della ventilazione.

Utilizzando questi dati all'interno della tabella 11 seguente si ricava il tipo di zona:

Tabella 11: Determinazione delle zone

Grado della emissione	Grado della ventilazione						
	alto			medio			basso
	Disponibilità della ventilazione						
	buona	adeguata	scarsa	buona	adeguata	scarsa	qualsiasi
Continuo	0 NE	0 NE + 2	0 NE + 1	0	0 + 2	0 + 1	0
Primo	1 NE	1 NE + 2	1 NE + 2	1	1 + 2	1 + 2	1/ 0
Secondo	2 NE	2 NE	2 NE	2	2	2	1/ 0

È possibile notare come in corrispondenza di disponibilità adeguata o scarsa per i gradi di emissione continuo e primo sussistano, come già accennato, due zone: la prima di queste zone deve essere valutata con il procedimento indicato con la ventilazione esistente durante il normale funzionamento. La seconda zona deve essere valutata con la stessa procedura, ma considerando solo la ventilazione residua che resta al venir meno di quella primaria.
L'estensione della zona pericolosa, quando essa non comprenda tutto l'ambiente in esame, è determinata dalla quota "a" già definita e dalle dimensioni della sorgente di emissione. La forma (figura 8) sarà scelta in funzione del tipo di emissione per esempio sfera, cilindro o cono, ricavando le dimensioni rappresentative con multipli o sottomultipli di "a".

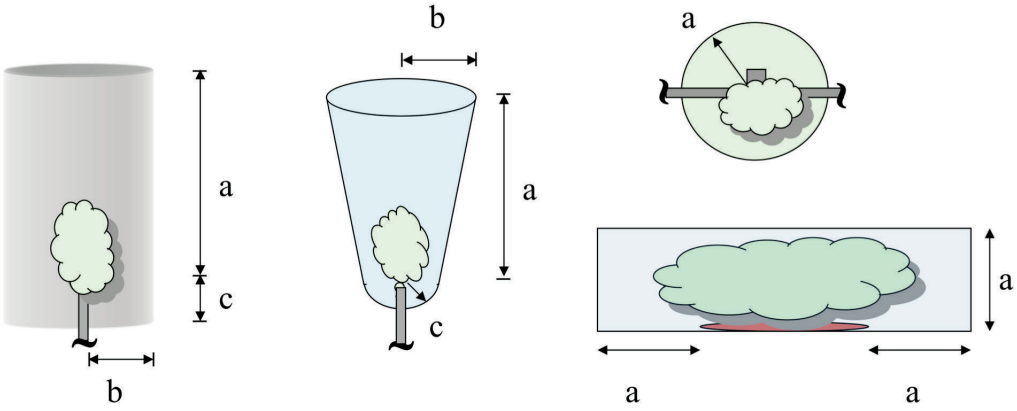


Figura 8: Determinazione dell'estensione delle zone

Per quanto concerne le aperture presenti negli ambienti, ricordiamo soltanto che esse possono permettere all'atmosfera esplosiva di diffondere e che quindi devono a loro volta essere considerate sorgenti di emissione: per la loro trattazione si rimanda alla guida CEI 31-35, che in particolari condizioni suggerisce metodi semplificativi di valutazione e calcolo (es. regola del filo teso).

Classificazione delle aree per presenza di polveri secondo EN 60079-10-2 (CEI 31-88)

In questo paragrafo viene illustrata in maniera semplice e sintetica la procedura per la classificazione di ambienti dove può formarsi un'atmosfera pericolosa per miscele di aria con polveri, secondo la norma EN 60079-10-2 (CEI 31-88), alla quale si rimanda per gli ulteriori necessari ed indispensabili approfondimenti.
Questa norma, come già detto, presenta un metodo non analitico a causa della natura delle nubi di polvere, caratterizzate da un comportamento aleatorio e da una distribuzione non omogenea nell'ambiente.
Il tipo di zona viene valutato in funzione della natura delle polveri e della frequenza e durata con cui può manifestarsi l'atmosfera esplosiva; per l'estensione sono fissate delle dimensioni minime in funzione del tipo di zona. Ne deriva che apparentemente il metodo è più semplice, in realtà occorre avere delle conoscenze che riguardano la sostanza pericolosa, il tipo di lavorazione e di processo, l'umidità, la ventilazione e la pulizia dell'ambiente.
Lo strato di polvere è considerato una sorgente di pericolo sia perché può sollevarsi e disperdersi in nube esplosiva nell'ambiente, sia perché può incendiarsi.
La definizione delle zone è peraltro unicamente riferita alla presenza di nubi di polvere.
Le polveri, secondo la denominazione internazionale, appartengono al Gruppo III delle sostanze che possono generare atmosfere potenzialmente esplosive, il quale a sua volta si divide in:
- Gruppo IIIA: particolato combustibile;
- Gruppo IIIB: polvere non conduttrice;
- Gruppo IIIC: polvere conduttrice.

I parametri più importanti che possono essere presi in considerazione per valutare la pericolosità delle polveri sono:
- Granulometria: è determinante per la sospensione in aria della polvere e per la sua pericolosità (è opportuno far notare che la granulometria è la distribuzione o intervallo delle dimensioni delle particelle contenute in un campione di polvere rappresentativo della sostanza in considerazione);
- Temperatura di accensione:
  - Temperatura minima di accensione di uno strato Tl (generalmente si fa riferimento ad uno strato di 5 mm);
  - Temperatura minima di accensione della nube Tcl.
- LEL (g/m^3);
- UEL (g/m^3);
- Energia minima di accensione (può variare da ~1 mJ a ~ 10 J);
- Conducibilità elettrica. Le polveri si dividono in elettroconduttrici (E) e non elettroconduttrici (NE). Sono conduttrici se la resistività è minore od uguale a 1 kΩm;
- Umidità: il contenuto crescente di umidità diminuisce la pericolosità.

È necessario, qualora non si conosca la natura della polvere in esame, procedere alla determinazione delle sue caratteristiche fisiche attraverso l'analisi da parte di un laboratorio specializzato.
Individuate le polveri pericolose occorre determinare le sorgenti, divise a seconda del grado di emissione, scegliendo fra tre possibili casi, come indicato nella tabella 12 seguente:

Tabella 12: Grado di emissione di polveri

Grado dell'emissione	Frequenza e durata di presenza della nube/emissione
Continuo	Nube di polvere continua o per lunghi periodi o per periodi brevi, ma frequenti.
Primo	Rilascio di polveri occasionale nel funzionamento normale.
Secondo	Rilascio di polveri non previsto nel funzionamento normale. Se avviene è per brevi periodi.

Ricordiamo ancora che uno strato è considerato sorgente di emissione e che la sua pericolosità può essere ridotta sia attraverso la scelta dell'apparecchiatura (temperatura delle superfici) sia per mezzo del controllo del livello di pulizia.
Le zone possono quindi essere determinate sulla base della seguente tabella 13:

Tabella 13: Determinazione delle zone per polveri

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

Come già evidenziato, la norma EN 60079-10-2 (CEI 31-88) non fornisce un metodo analitico, lasciando al classificatore l'onere della determinazione e dando altresì delle indicazioni generiche relativamente ad esempi di tipologie di zone.
Ne riportiamo di seguito e brevemente alcuni tipi, per chiarire la metodologia, rimandando alla norma stessa per una trattazione completa.

Esempi di Zone 20 possono essere:
- interno di sistemi di contenimento: tramogge, sili, filtri…;
- sistemi di trasporto delle polveri eccetto alcune parti dei trasportatori a nastro e a catena…;
- interno di miscelatori, macine, essiccatori, apparecchiature per insaccaggio…

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

Esempi di Zone 21 possono essere:
- aree esterne ai contenimenti di polvere con porte di accesso aperte frequentemente o dove si accumulano polveri a causa dei processi, in prossimità di punti di riempimento e svuotamento, stazioni di scarico camion, scarico dai nastri…;
- aree all'interno di contenimenti di polveri (sili o filtri), dove la formazione delle nubi è occasionale (riempimenti e svuotamenti occasionali).

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

Per quanto riguarda l'**estensione**:
La **zona 20** è in genere estesa a tutto l'interno di apparecchi e sistemi di contenimento dove la presenza di nubi o di strati di spessore elevato è continua.

Per le **zone 21** la norma ritiene spesso sufficiente un'estensione di 1 m dalla sorgente di emissione fino al terreno. Può peraltro essere necessario classificare, in funzione della situazione specifica, come zona 21 l'intera area di lavoro. Una zona 21 non limitata da strutture, posta all'interno è sempre circondata da una zona 22. Si tenga presente che, se le condizioni ambientali legate alla diffusione della polvere lo fanno ritenere opportuno, occorre classificare come pericolosa l'intera area di lavoro non delimitata.

Per le **zone 22** la norma ritiene spesso sufficiente un'estensione di 3 m al di là della zona 21 ed attorno alla sorgente di emissione con un'estensione verticale verso il basso fino a terra o fino al livello di un pavimento solido (come per le zone 21).

CAPITOLO 2

La Direttiva 94/9/CE

La Direttiva 94/9/CE del 23 Marzo 1994 è stata recepita in Italia con il D.P.R. del 23 Marzo 1998 n°126, la cui applicazione è obbligatoria dal 1 luglio 2003; a tale decreto di recepimento si intende fare riferimento nel presente documento anche quando si tratta della direttiva.
La direttiva è indirizzata principalmente ai **costruttori,** ma anche ai loro **rappresentanti**, agli **importatori,** ai **responsabili della messa in commercio ed in servizio**.
Si applica a tutti i prodotti messi in commercio ed in servizio dal 1 luglio 2003 nella Comunità Europea. Un prodotto si intende immesso sul mercato quando per la prima volta viene reso disponibile per la distribuzione e l'utilizzo nella Comunità Europea; lo stesso prodotto si intende invece messo in servizio quando per la prima volta viene utilizzato.

I **prodotti** oggetto della Direttiva e quindi del D.P.R. n° 126 sono rispettivamente:
- apparecchi;
- sistemi di protezione;
- dispositivi di sicurezza, controllo e regolazione utilizzati al di fuori di atmosfere esplosive, ma necessari per evitare rischi da esplosione;
- componenti.

Gli **apparecchi** sono così definiti: "Macchine, materiali, dispositivi fissi o mobili, organi di comando, strumentazione e sistemi di rilevazione e di prevenzione che, da soli o combinati, sono destinati alla produzione, trasporto, deposito, misurazione, regolazione e conversione di energia e al trattamento di materiale e che, per via delle potenziali sorgenti d'innesco che sono loro proprie, rischiano di provocare un'esplosione."

I **sistemi di protezione** sono prodotti destinati a limitare i danni prodotti dall'esplosione. Essi hanno una funzione autonoma e possono essere immessi separatamente sul mercato con una marcatura propria oppure fare parte integrale di un apparecchio. Si tratta di:
- sistemi di soppressione dell'esplosione;
- sistemi d'isolamento dell'esplosione (es. coclee, valvole di compartimentazione);

- barriere antifiamma, deviatori dell'esplosione, valvole;
- costruzioni resistenti all'esplosione con deformazioni permanenti e senza deformazioni permanenti;
- sistemi di scarico dell'esplosione.

I dispositivi di sicurezza, controllo e regolazione utilizzati al di fuori delle atmosfere esplosive sono dispositivi che si trovano fuori delle zone pericolose, ma che sono necessari per la sicurezza di prodotti situati in ambienti potenzialmente esplosivi: per esempio un relè termico, posto in un quadro in zona non pericolosa, che protegge un motore elettrico posto invece in una zona potenzialmente esplosiva.

I **componenti** (come gli involucri, i cuscinetti, i pulsanti, le morsettiere) sono prodotti che non hanno una funzione autonoma, ma sono essenziali per il funzionamento sicuro di apparecchi e sistemi di protezione, **non vengono marcati CE** ai sensi di questa Direttiva, ma si richiede un **attestato di conformità** (devono essere indicate le modalità d'uso).
La mancanza di marcatura CE non esclude i contrassegni richiesti dalla direttiva (Ex, Gruppo, D/G…) e dalle norme applicate. Su di essi si applicano le stesse procedure di conformità dei prodotti su cui devono essere incorporati.
La Direttiva si applica per tutti i prodotti sopra definiti, in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive, compresi i lavori in sotterraneo, nelle miniere, nelle gallerie e nei relativi impianti di superficie, esposti a rischio di grisù o polveri combustibili.
Sono escluse le apparecchiature mediche, i prodotti per i quali il rischio da esplosione è dovuto alla presenza di materie esplosive o instabili (tritolo,…), gli apparecchi per uso domestico o similare, i dispositivi di protezione individuale, i prodotti di genere militare, i mezzi di trasporto marittimo e quelli di persone e merci.

Analisi ATEX

L'analisi ATEX è il procedimento, introdotto dalla Guida della Comunità Europea per la Direttiva ATEX 94/9/CE, con cui si valuta se un prodotto rientra nel campo di applicazione della stessa.
Tale valutazione non è sempre agevole, in quanto la realtà operativa è molto variegata e complessa.
I sistemi di protezione rientrano sempre per definizione nel campo di applicazione della Direttiva 94/9/CE come anche i dispositivi di sicurezza e controllo.
I componenti possono essere invece costruiti senza avere la specifica destinazione d'uso, per esempio un diodo od un cuscinetto; in tal caso la loro valutazione rientrerà nella valutazione di conformità dell'apparecchio in cui sono stati inglobati. Se viceversa sono specificatamente destinati ad ambienti pericolosi, devono essere corredati da un attestato di conformità adeguato e da indicazioni per l'uso.

Gli apparecchi ricadono sotto la Direttiva ATEX se si verificano tutte le seguenti condizioni:

- l'apparecchio deve trovarsi in tutto o in parte all'interno di un'atmosfera esplosiva; l'atmosfera esplosiva può anche essere generata dall'apparecchio stesso;
- l'atmosfera esplosiva deve essere costituita da una miscela in aria di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapore, nebbia o polveri;
- tale miscela deve essere in condizioni atmosferiche, in genere:

$$0{,}8 \leq p\ (\text{bar}) \leq 1{,}1 \qquad -20\ ^{\circ}\text{C} \leq T \leq 60\ ^{\circ}\text{C}$$

- l'apparecchio deve avere una o più sorgenti d'innesco dell'atmosfera esplosiva.

In figura 9 è riportata l'immagine di un carrello elevatore destinato ad essere impiegato in un ambiente in cui può formarsi un'atmosfera potenzialmente esplosiva (zona 2) ed ha sorgenti d'innesco proprie: è quindi soggetto alla direttiva ATEX.

Figura 9: Carrello elevatore destinato ad una zona con atmosfera potenzialmente esplosiva

Requisiti essenziali di sicurezza (R.E.S.)

I prodotti, per essere conformi alla Direttiva ATEX, devono soddisfare i requisiti essenziali di sicurezza e salute indicati nell'allegato II. Questi sono requisiti minimi ed indicano caratteristiche del tutto generali (come per esempio: evitare difetti di funzionamento o progettare tenendo conto delle conoscenze tecnologiche) che vengono poi tecnicamente espresse dalle norme armonizzate. Queste ultime non sono obbligatorie, ma danno la presunzione di conformità alla direttiva.

Gruppi e categorie

La direttiva divide i prodotti in due gruppi I e II, il primo dei quali comprende gli apparecchi destinati alle miniere ed il secondo tutti gli altri.
A loro volta, all'interno dei gruppi i prodotti sono divisi in categorie a seconda del livello di protezione garantito contro il rischio di innesco dell'atmosfera potenzialmente esplosiva, come indicato nella tabella 14 seguente:

Tabella 14: Gruppi e categorie

Grado di protezione	Gruppo II	Gruppo I
	Categorie	
Molto elevato	Cat. 1	M1
Elevato	Cat. 2	M2
Normale	Cat. 3	----

Il livello di protezione normale è quello che garantisce la protezione nel normale funzionamento, adottando idonee soluzioni costruttive.
È una protezione idonea per ambienti in cui, nel normale funzionamento, non è probabile la presenza di atmosfera esplosiva (zona 2 per gas e 22 per le polveri). In caso di guasto questo livello non garantisce la protezione richiesta.

Il livello elevato garantisce la protezione oltre che nel funzionamento ordinario anche nel caso in cui si manifesti un guasto di cui occorre tener conto (anomalie ricorrenti): è adatto ad ambienti in cui nel funzionamento normale è probabile la presenza di atmosfera esplosiva (zona 1 per gas e 21 per le polveri). In caso di singolo guasto, disfunzione od anomalia, questo livello garantisce la protezione richiesta.

Il livello molto elevato garantisce la protezione anche nel caso di un guasto raro (anomalie rare) ed è idoneo per ambienti in cui l'atmosfera esplosiva è presente spesso o in maniera continua (zona 0 per gas e zona 20 per le polveri). In caso di doppio guasto questo livello garantisce la protezione richiesta.
Naturalmente un apparecchio appartenente ad una categoria superiore (nel senso della protezione) è idoneo, perché sovrabbondante, anche ad ambienti in cui è richiesto un livello di protezione inferiore.

Le principali caratteristiche delle singole categorie sono le seguenti:

M1
- zona di destinazione: miniere;
- livello di protezione: molto elevato;
- operatività in caso di guasto;
- operatività con atmosfere esplosive;

- mezzi di protezione: se si guasta un mezzo di protezione ne esiste un altro indipendente che assicura il livello di sicurezza richiesto oppure se si verificano due guasti indipendenti resta garantito il livello di sicurezza richiesto.

M2
- zona di destinazione: miniere;
- livello di protezione: elevato;
- in presenza di atmosfera esplosiva l'apparecchio deve essere de-energizzato;
- mezzi di protezione: nel funzionamento normale e gravoso con forti sollecitazioni e variazioni ambientali continue, assicurano il livello di protezione richiesto.

Cat. 1
- zona di destinazione: rispettivamente zona 0 per gas e zona 20 per polveri. Naturalmente gli apparecchi in categoria 1 sono adatti anche per le zone 1, 2 (gas) e 21, 22 (polveri);
- livello di protezione: molto elevato;
- mezzi di protezione: assicurano il livello di protezione richiesto in caso di guasto raro; se si guasta un mezzo di protezione ne esiste un altro indipendente che assicura il livello di sicurezza richiesto, oppure, se si verificano due guasti indipendenti resta garantito il livello di sicurezza richiesto.

Cat. 2
- zona di destinazione: rispettivamente zona 1 per gas e zona 21 per polveri. Naturalmente gli apparecchi in categoria 1 sono adatti anche per le zone 2 (gas) e 22 (polveri);
- livello di protezione: elevato;
- mezzi di protezione: assicurano il livello di protezione richiesto anche in presenza di anomalie ricorrenti o difetti di funzionamento degli apparecchi di cui occorre abitualmente tener conto.

Cat. 3
- zona di destinazione: rispettivamente zona 2 per gas e 22 per polveri;
- livello di protezione: normale;
- mezzi di protezione: assicurano il livello di protezione richiesto nel funzionamento normale.

Il livello di protezione adeguato alla categoria richiesta viene raggiunto adottando opportuni **modi di protezione**, la cui applicazione è regolata per gli apparecchi elettrici dalle norme CENELEC (recepite in Italia dal CEI) e per gli apparecchi non elettrici dalle norme del CEN (recepite in Italia dall'UNI).
Nelle tabelle 17 e 18 seguenti sono riportati rispettivamente i modi di protezione per apparecchi elettrici e non elettrici, insieme alle rispettive norme di riferimento ed alle zone con le quali sono compatibili.

Procedure di valutazione della conformità

Le procedure di valutazione della conformità dipendono dalla categoria a cui appartiene il prodotto.
Per gli apparecchi di categoria M1 ed 1 e per quelli elettrici ed i motori a combustione interna in categoria M2 e 2 è previsto l'intervento diretto di un organismo di certificazione, detto Organismo Notificato (autorizzato dal Ministero delle Attività Produttive) che effettua prove e controlli.
Per tutti gli altri casi (apparecchi in categoria 3 e per quelli non elettrici e diversi dai motori a combustione interna in categoria M2 e 2) è permessa una procedura di autocertificazione, nella quale l'organismo notificato si limita a conservare la documentazione inviata dal costruttore.
I sistemi di protezione seguono la procedura della categoria M1 ed 1.
I dispositivi di sicurezza, controllo e regolazione ed i componenti seguono le stesse procedure degli apparecchi a cui sono destinati così come i componenti.
Lo schema seguente di figura 10 indica le procedure da seguire e l'allegato della direttiva a cui si riferiscono.

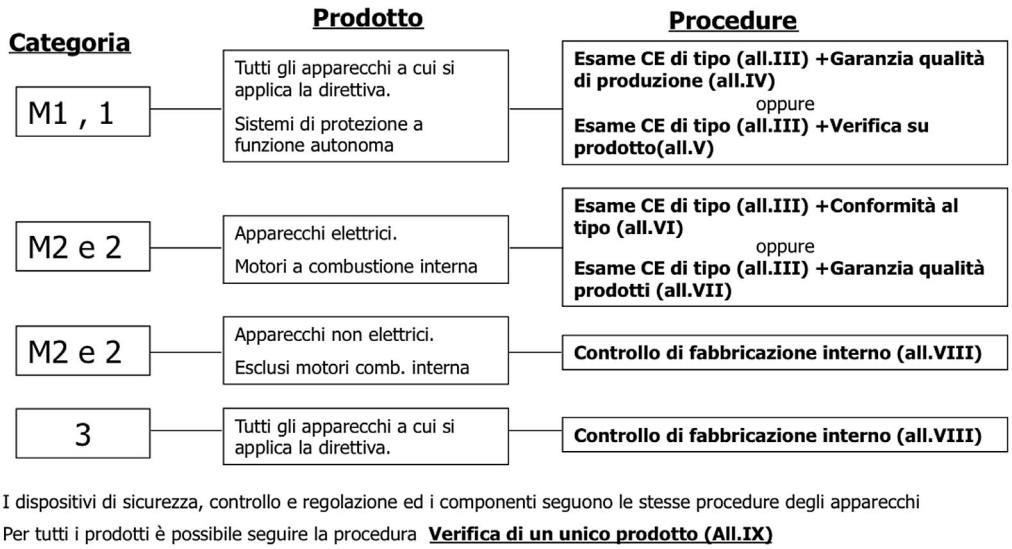


Figura 10: Procedure di conformità

Si elencano di seguito le procedure (dette anche moduli) indicate nello schema precedente, insieme ad una breve descrizione.

- **Esame CE di tipo (All. III)**: corrisponde ad una certificazione del prototipo da parte dell'organismo notificato.

- **Garanzia Qualità di produzione (All.IV)**: corrisponde ad una valutazione del sistema qualità (produzione e ispezione finale) da parte dell'organismo notificato.
- **Verifica su prodotto (All.V)**: corrisponde alla verifica di ogni singolo prodotto da parte dell'organismo notificato.
- **Conformità al tipo (All. VI)**: corrisponde ad una dichiarazione del costruttore, sotto il controllo dell'organismo notificato (in pratica una certificazione del laboratorio), che i prodotti sono conformi al tipo.
- **Garanzia Qualità prodotti (All. VII)**: corrisponde ad una valutazione del sistema qualità (per l'ispezione finale) da parte dell'organismo notificato.
- **Controllo di fabbricazione interno (All. VIII)**: corrisponde ad una autocertificazione da parte del costruttore che invia la documentazione all'organismo notificato.

Per tutti i prodotti è possibile seguire la procedura "Verifica di un unico prodotto" (All. IX):

- **Verifica di un unico prodotto (All. IX)**: corrisponde alla verifica della conformità di un unico prodotto da parte dell'organismo notificato.

In ogni caso ogni prodotto deve essere corredato della **Dichiarazione CE di conformità**, redatta dal costruttore o da un suo rappresentante, che deve contenere:

- Nome o marchio d'identificazione ed indirizzo del fabbricante o del suo mandatario stabilito nella comunità europea;
- Descrizione dell'apparecchio, del sistema di protezione o del dispositivo, con relative disposizioni cui soddisfa l'apparecchio;
- Nome, numero di identificazione dell'organismo notificato, nonché numero dell'attestato CE del tipo (se esiste);
- Riferimento a norme armonizzate, specifiche tecniche utilizzate o altre direttive comunitarie applicate;
- Identificazione del firmatario per il fabbricante o il suo mandatario stabilito nella comunità europea;
- Conformità a norme nazionali che recepiscono norme armonizzate.

Marcatura

Ai sensi della Direttiva, su ogni apparecchio e sistema di protezione devono figurare le seguenti indicazioni:

1. Nome ed indirizzo del fabbricante;
2. Tipo costruttivo;
3. N. serie;
4. Anno di costruzione;

5. Marcatura CE e numero organismo notificato se applicabile;
6. Marchio esagonale ⟨Ex⟩;
7. Gruppo, categoria lettere G (per gas)/D (per polvere).

Per esempio:
8. Alef - Via del Disco Verde, 1- 00001 Castelrosso ITALIA
1. Presa a spina Tipo AA-1
2. n. serie 111/12
3. 2012
4. CE 0722 ⟨Ex⟩ II 1G

La figura 11 seguente descrive la marcatura CE ai sensi della Direttiva 94/9/CE.

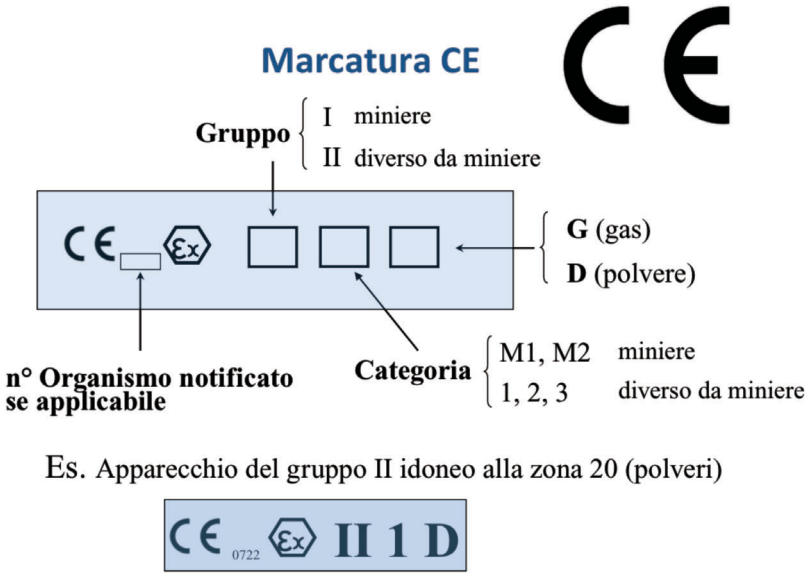


Figura 11: Marcatura ai sensi della direttiva

Il numero dell'Organismo Notificato viene apposto nel caso in cui siano effettuate procedure relative ad un controllo di qualità.

Contrassegni ai sensi della normativa tecnica

Esiste poi una marcatura ai sensi della normativa tecnica (EN 60079-0 per apparecchi elettrici e UNI EN 13463 per apparecchi non elettrici).

Esempio
Secondo la EN 60079-0:
1. Sigla Ex solo per prodotti elettrici, modo di protezione, gruppo, classe di temperatura, EPL, ente notificato, anno di rilascio, ATEX con n. certificato, contrassegno X (condizioni speciali)/U (componente);
2. Indicazioni complementari, dati di targa e impiego.

Per esempio, per la presa a spina di cui sopra, si ha:

Ex d IIA T4 Gb - XXX 12 ATEX 001

Per **prodotti non elettrici** ai sensi della norma UNI EN 13463-1 si ha:
1. modo di protezione, gruppo del gas, categoria con lettera G (per gas)/D (per polveri), classe di temperatura, ente notificato, anno di rilascio, ATEX con n°. certificato, X (condizioni speciali);
2. Indicazioni complementari, dati di targa e impiego.

Per esempio, per un ventilatore:

c IIC 2G T6 - XXX 12 ATEX 001

Livello di protezione delle apparecchiature EPL (Equipment Protection Level)

L'adozione a livello europeo delle norme internazionali IEC, a partire dalla norma EN 60079-0, ha introdotto, per identificare il livello di protezione di un'apparecchiatura, il concetto di EPL.
Questo livello di protezione si basa sulla probabilità che l'apparecchio abbia una sorgente di accensione analogamente a quanto avviene per le categorie nella Direttiva ATEX 94/9/CE, anzi le definizioni sono identiche. Si tratta, infatti, di chiamare con nome diverso una stessa entità.
Quello che è importante precisare è che, a seguito di questa trasposizione all'interno delle norme, l'EPL sta gradualmente sostituendo le categorie della Direttiva ATEX 94/9/CE.

Come già visto, la norma EN 60079-0 richiede che l'EPL sia indicato all'interno del contrassegno dell'apparecchio.
La sigla dell'EPL consiste in una prima lettera maiuscola che può essere G, se ci

si riferisce a gas, D se ci si riferisce a polvere ed M per le miniere. È completata da una seconda lettera minuscola che indica il livello di protezione nella seguente maniera:
- "a" livello di protezione molto elevato;
- "b" livello di protezione elevato;
- "c" livello di protezione normale.

Per le miniere esistono solo il livello "a" e "b". Inoltre, mentre la Direttiva ATEX 94/9/CE considera la polvere nel gruppo II insieme al gas, a livello normativo internazionale la polvere è considerata appartenere al gruppo III.
La seguente tabella 15 chiarisce quanto detto e riporta la corrispondenza fra categorie ed EPL per gas e polveri.

Tabella 15: Categorie ed EPL

Atmosfera Ex	Probabilità di presenza di Atmosfera Ex	Zone	ATEX 94/9/EC Gruppo & Categoria	IEC 60079-0 Gruppo EPL
Gas, nebbie, vapori	Continua o frequente	Zone 0	II 1G	II Ga
	Presenza occasionale	Zone 1	II 2G	II Gb
	Improbabile o rara e per brevi periodi	Zone 2	II 3G	II Gc
Polvere	Continua o frequente	Zone 20	II 1D	III Da
	Presenza occasionale	Zone 21	II 2D	III Db
	Improbabile o rara e per brevi periodi	Zone 22	II 3D	III Dc
Grisù, polvere di carbone	-	miniera	I M1	I Ma
	-	miniera	I M2	I Mb

Gruppi di esplosione per sostanze

Le sostanze infiammabili e combustibili sono ripartite secondo le norme IEC e CENELEC in gruppi di esplosione. Il gruppo di esplosione dipende dal tipo e dalle caratteristiche della sostanza.
Per un gas l'appartenenza ad un determinato gruppo dipende dai seguenti parametri:
- **MESG: Maximum Esperimental Safe Gap,** che rappresenta l'interstizio sperimentale massimo che non permette all'esplosione, avvenuta all'interno della custodia, di innescare l'atmosfera esplosiva esterna.
- **MIC: Minimun Ignition Current,** corrente minima che determina l'accensione della miscela esplosiva.

Nella tabella 16 è riportata la suddivisione in gruppi per gas, polveri e fibre secondo la normativa IEC CENELEC.

Tabella 16: Gruppi e categorie

Atmosfera esplosiva	Sostanze	Gruppo di esplosione
Gas e vapori	Propano	IIA
	Etilene	IIB
	Idrogeno	IIC o IIB + H2
	Acetilene	IIC
Polveri	Polveri conduttrici	IIIC
	Polveri non conduttrici	IIIB
	Polveri di carbone	IIIC
Fibre, particolato combustibile	Legno, carta, cotone	IIIA

Modi di protezione delle apparecchiature

Il livello di protezione di una apparecchiatura può essere raggiunto adottando, nella progettazione della stessa, tecniche o barriere idonee ad evitare che eventuali sorgenti di accensione possano innescare l'atmosfera esplosiva. Tali soluzioni tecniche che sfruttano per esempio principi di confinamento, segregazione e sovradimensionamento, costituiscono i cosiddetti modi di protezione.
Di seguito (tabelle 17, 18 e 19) sono riportati i modi di protezione per apparecchiature elettriche e non elettriche da utilizzare in ambienti in cui possono essere presenti atmosfere esplosive.

Tabella 17: Modi di protezione per apparecchiature elettriche per gas

Modo di protezione	Codice	Cat.	EPL	Norma EN
Immersione in olio	o	2G	Gb	EN60079-6
Sovrappressione	p	2G	Gb	EN60079-2
Riempimento polvere	q	2G	Gb	EN60079-5
Prova di esplosione	d	2G	Gb	EN60079-1
Sicurezza aumentata	e	2G	Gb	EN60079-7
Sicurezza intrinseca	ia	1G	Ga	EN60079-11
Sicurezza intrinseca	ib	2G	Gb	EN60079-11
Incapsulamento	ma	2G	Gb	EN60079-18
	mb	1G	Ga	EN60079-18
	mc	2G	Gb	EN60079-18
Modi n:				
non scintillanti	nA	3G	Gc	
scintillanti	nC	3G	Gc	
limitazione energia	nL	3G	Gc	EN60079-15
respirazione limitata	nR	3G	Gc	
Sovrappressione	nZ	3G	Gc	
Livello elevato		1G	Ga	EN60079-26

Tabella 18: Modi di protezione per apparecchiature elettriche per polveri

Modo di protezione	Codice	Cat.	EPL	Normativa
Custodie t	ta	1D	Da	EN 60079-31
Incapsulamento	ma	1D	Da	EN 60079-18
Sicurezza intrinseca	iaD	1D	Da	IEC 61241-11
Custodie t	tb	2D	Db	EN 60079-31
Incapsulamento	mb	2D	Db	EN 60079-18
Sovrappressione	pD	2D	Db	IEC 61241-4
Sicurezza intrinseca	iD	2D	Db	IEC 61241-11
Custodie t	tc	3D	Dc	EN 60079-31
Sovrappressione	pD22	3D	Dc	IEC 61241-4
Incapsulamento	mc	3D	Dc	EN 60079-18

Tabella 19: Modi di protezione per apparecchiature NON elettriche (gas e polveri)

Modo di protezione	Sigla	Categoria	Norma
Respirazione limitata	fr	3	EN 13463-2
Prova di esplosione	d	2	EN 13463-3
Sicurezza costruttiva	c	2	EN 13463-5
Controllo della sorgente	b	1,2,3	EN 13463-6
Immersione in liquido	k	1,2,3	EN 13463-8

CAPITOLO 3

La Direttiva 99/92/CE

La Direttiva 99/92/CE è stata recepita in Italia con il Decreto legislativo del 12 giugno 2003 n. 233, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 26-8-2003 ed entrato in vigore dal 10 settembre 2003, integrato all'interno del D.Lgs. 81/08 mediante il Titolo XI e gli Allegati XLIX e L.
Al suddetto D.Lgs. n. 233 si intende fare riferimento nel presente documento anche quando si tratta della direttiva: esso è indirizzato principalmente ai datori di lavoro, ma interessa anche progettisti, installatori, costruttori e rappresentanti dei servizi di prevenzione e protezione.

Campo di applicazione

Il Decreto si applica agli ambienti di lavoro in cui sono presenti atmosfere potenzialmente esplosive, compresi i lavori in sotterraneo (nella Direttiva 99/92/CE questi non erano previsti) ove si verifichi, oppure sia prevedibile, la presenza di gas grisù in base ad analisi geologiche.
Sono esclusi gli ambienti medici (relative aree di cura pazienti), l'uso di apparecchi a gas già disciplinati dal DPR 15 novembre 1996 n. 661 (in sostanza quelli ad uso non industriale), la produzione e la gestione di esplosivi e sostanze instabili, le industrie estrattive, l'impiego di mezzi di trasporto.

Obblighi del datore di lavoro

Il datore di lavoro ha degli obblighi generali, che sono:
- valutare il pericolo di esplosione;
- prevenire le atmosfere esplosive utilizzando misure tecniche ed organizzative.

Se ciò non è possibile:
- evitare l'accensione di atmosfere esplosive;
- attenuare i danni dovuti ad una esplosione.

Per quanto riguarda le misure tecniche per prevenire le atmosfere esplosive ricordiamo:
- evitare o ridurre la concentrazione in aria di sostanze infiammabili (mediante ventilazione, manutenzione, pulizia, utilizzo di componenti a tenuta, progettazione mirata);
- sostituire, ove possibile, le sostanze esplosive;
- adottare tecniche d'inertizzazione;
- evitare le sorgenti di accensione efficaci;
- controllare l'atmosfera (con rivelatori e allarmi) e la temperatura;
- controllare il processo ed i suoi parametri.

Le misure organizzative comprendono:
- qualificazione dei lavoratori;
- formazione;
- istruzioni operative;
- autorizzazioni allo svolgimento di un lavoro;
- manutenzione;
- sorveglianza, verifica;
- segnaletica (figura 12).

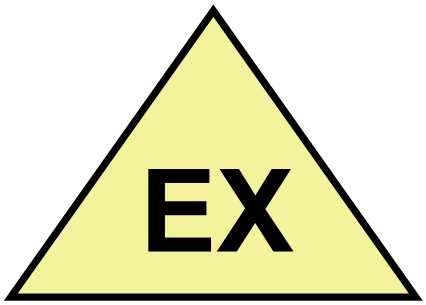


Figura 12: Segnaletica per indicare aree pericolose

Le sorgenti di accensione efficaci possono essere evitate sia impedendone la presenza in aree pericolose o riducendone l'efficacia quando possibile, sia utilizzando opportuni prodotti o materiali.
Quando non è possibile evitare l'esplosione bisogna attenuarne gli effetti utilizzando:
- sistemi resistenti alla pressione d'esplosione con o senza deformazioni permanenti;
- scarico dell'esplosione;
- soppressione dell'esplosione;
- isolamento dell'esplosione (barriere antifiamma, deviatori, valvole).

Un recipiente è resistente all'esplosione quando riesce a contenerla senza provocare danni all'esterno, subendo o meno deformazioni permanenti.
Lo scarico dell'esplosione permette ai prodotti dell'esplosione di trovare una via di fuga riducendo la pressione. La soppressione è un sistema realizzato utilizzando sensori che rivelano l'esplosione incipiente ed attivano l'iniezione di una sostanza estinguente.
L'isolamento dell'esplosione consiste nel bloccare la propagazione della stessa mediante idonei dispositivi, attivi o passivi, evitando che si propaghi verso altre parti di impianto. Questi argomenti sono trattati più approfonditamente nella sezione relativa ai Sistemi di Protezione.

Il datore di lavoro ha poi altri obblighi particolari quali:
- far sì che l'ambiente di lavoro sia strutturato in modo da garantire condizioni di sicurezza;
- garantire, con sistemi e mezzi adeguati, il controllo degli ambienti durante la presenza dei lavoratori;
- se sono presenti più imprese, coordinarne le attività con riferimento alla sicurezza;
- effettuare la classificazione delle aree in zone pericolose per gas e polveri;
- elaborare il documento sulla protezione contro le esplosioni;
- segnalare, se necessario, le aree pericolose nei punti di accesso (figura 12);
- applicare le prescrizioni minime A e/o B dell'All. L del D.Lgs. 81/08;
- denunciare (omologazione ASL o ARPA) e far effettuare la verifica periodica (biennale) per le installazioni elettriche in zone 0 e 20, 1 e 21 (DPR 22 ottobre 2001 n. 462).

L'ultima voce indicata corrisponde ad un obbligo ovviamente non previsto nella direttiva europea, ma introdotto nel decreto di recepimento e nel D.Lgs. 81/08 (art. 296).
Il decreto legislativo definisce le zone pericolose per gas/vapori/nebbie e per polveri nell'Allegato XV bis per le quali si rimanda a quanto già esposto riguardo le zone.
Vengono inoltre definiti dei termini per l'adeguamento di attrezzature e luoghi di lavoro ai requisiti minimi.
Le attrezzature messe a disposizione dell'impresa prima del 30 giugno 2003 devono soddisfare, a decorrere da tale data, i requisiti minimi contenuti nella parte A dell'Allegato L.
Le attrezzature nuove, messe a disposizione dell'impresa dopo il 30 giugno 2003, devono soddisfare i requisiti minimi contenuti nelle parti A e B dell'Allegato L.
I luoghi di lavoro che comprendono aree in cui possano formarsi atmosfere esplosive devono soddisfare le prescrizioni minime stabilite dal Titolo XI del D.Lgs. 81/08.
I requisiti minimi indicati nella parte A possono essere così brevemente sintetizzati:
- adottare misure di tipo organizzativo;
- agire sulla formazione professionale;
- elaborare istruzioni scritte e controllare le autorizzazioni;

- adottare misure di tipo tecnico (misure di protezione), quali ad esempio:
  - evitare atmosfere pericolose (fughe, emissioni, strati di polveri….);
  - scegliere le protezioni per il massimo pericolo possibile (in presenza di più tipi di sostanze);
  - evitare scariche elettrostatiche (indumenti, luoghi di lavoro…);
  - utilizzare attrezzature permesse dal documento di protezione;
  - ridurre al minimo gli effetti di una esplosione;
  - prevedere se necessario allarmi ottici e acustici;
  - prevedere vie di fuga;
  - prima dell'utilizzo i luoghi devono essere verificati da esperti;
  - assicurare la continuità di funzionamento per ciò che concerne la sicurezza;
  - prevedere un disinserimento manuale quando ci si discosta dalle condizioni di funzionamento previste.

- per lavori in sotterraneo:
  - usare solo esplosivi di sicurezza antigrisutosi (elenco di cui agli articoli 42 e 43 DPR 20 marzo 1956 n. 320) in zona 0 o 20 (accensione elettrica con personale fuori);
  - far uscire il personale dal sotterraneo se la concentrazione di gas infiammabile o esplodente supera l'1%, tende ad aumentare e non si può ridurre;
  - se quanto al punto precedente non può essere effettuato, si devono solo eseguire i lavori necessari per la bonifica ed il ripristino delle armature da parte di personale specializzato adeguatamente equipaggiato.

Nella parte B dell'Allegato L viene invece associata ad ogni zona pericolosa la categoria dell'apparecchio idonea e precisamente alle zone 0 e 20 è adatta la categoria 1, alle zone 1 e 21 le categorie 1 e 2, mentre alle zone 2 e 22 le categorie 1, 2, 3.
Questa corrispondenza è sintetizzata nella tabella 20.
Nella normativa tecnica più recente (vedi ad esempio CEI EN 60079-14 Allegato I), contestualmente all'introduzione del concetto di EPL, viene indicata la possibilità di considerare una valutazione del rischio al momento di scegliere il livello di protezione per l'apparecchiatura che deve essere installata in una zona soggetta alla presenza di atmosfera esplosiva: in questo modo si terrebbe conto delle reali conseguenze di un'eventuale esplosione.
Per esempio, in una stazione di pompaggio l'installazione in zona 1 di pompe adatte alla zona 2 potrebbe essere giustificata dalla presenza di un buon sistema di sicurezza, dal fatto che la quantità di gas è ridotta e che il rischio effettivo per le persone è tollerabile.
Questa possibilità, anche se non chiaramente espressa, sembra essere presente all'interno dell'Allegato L nella parte B del D.Lgs. 81/08, dove si richiede che la scelta delle apparecchiature venga fatta secondo la corrispondenza specificata per la zona, a meno che il documento sulla protezione contro le esplosioni non preveda altrimenti.

In ogni caso, chi ha fatto la valutazione del rischio si assume la responsabilità di questa decisione.

Tabella 20: Corrispondenza categorie zone

Tipo di zona		Categorie
Gas, vapori, nebbie	Polveri	
0	20	1
1	21	2, 1
2	22	3, 2, 1

Documento sulla protezione contro le esplosioni

Una delle novità più importanti introdotte dal D.Lgs. 233/03 e di conseguenza presente anche nel D.Lgs. 81/08 è l'obbligo della stesura del documento sulla protezione contro le esplosioni, trattato in dettaglio nel capitolo 5.
In tale documento il datore di lavoro precisa:
- di aver individuato e valutato i rischi;
- di aver preso le misure di protezione necessarie;
- quali sono i luoghi classificati e quelli in cui si applicano le prescrizione minime dell'All. XV;
- che luoghi e attrezzature sono concepiti, impiegati e mantenuti secondo criteri di sicurezza.

Il documento deve esser aggiornato a seguito di modifiche.

Un possibile schema per il documento sulla protezione contro le esplosioni potrebbe essere il seguente:

- **Descrizione dell'azienda e dei luoghi di lavoro**
  - nome dell'azienda, tipo d'impianto, destinazione d'uso di ogni struttura e dei locali, numero di lavoratori impiegati;
    (utilizzare carte topografiche, planimetrie, layout impiantistico, piani e schemi delle vie di fuga…).

- **Descrizione dei processi e delle attività**
  - si deve descrivere tutto il ciclo operativo comprendendo avviamento, arresto e manutenzione, indicando i parametri che caratterizzano le condizioni operative (pressione, temperatura, ventilazione…).

- **Descrizione delle sostanze infiammabili**
  - elenco delle sostanze infiammabili;

- elenco delle condizioni (fasi dei processi di lavorazione) in cui si può formare atmosfera esplosiva;
- indicazione dei parametri relativi alla sicurezza:
- per gas: UEL/LEL, temperatura di accensione;
- per liquidi: i parametri dei gas e la temperatura d'infiammabilità;
- per polveri: granulometria, limiti d'infiammabilità, temperatura di accensione, spessore dello strato.

- **Risultati dell'analisi del rischio**
  - aree dove possono verificarsi atmosfere esplosive;
  - descrizione delle zone e la loro estensione;
  - misure di protezione.

- **Responsabilità**
  - si devono indicare i riferimenti per l'individuazione dei responsabili delle aree di lavoro e delle relative misure di protezione;
  - se sono presenti più imprese, deve essere indicato il metodo di coordinamento fra esse ai fini della sicurezza contro le esplosioni.

- **Allegati**
  - riferimenti normativi, guide, istruzioni operative, certificazioni CE.

Criteri di scelta delle apparecchiature

Per effettuare una scelta corretta dell'apparecchiatura da utilizzare in ambienti caratterizzati da atmosfera potenzialmente esplosiva occorre, oltre a scegliere la categoria in base alla zona di destinazione, anche verificare che siano soddisfatte ulteriori condizioni, sia per miscele di gas/vapori/nebbie infiammabili, sia per polveri combustibili.

Nel caso di miscele di **gas**/**vapori**/**nebbie** la scelta deve essere fatta:
- in base alla zona di destinazione (D.Lgs 81/08)
- in base al gruppo del gas (EN 60079-0 ed EN 13463-1)
- in base alla classe di temperatura (EN 60079-0 ed EN 13463-1).

Come già indicato, l'allegato L del D.Lgs. 81/08, punto B, prescrive che in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive dovute a gas dovranno essere impiegate le seguenti categorie di apparecchi:
- nella zona 0, apparecchi di categoria 1G;
- nella zona 1, apparecchi di categoria 1G o di categoria 2G;
- nella zona 2, apparecchi di categoria 1G, 2G o 3G.

La tabella 21 sintetizza quanto sopra indicato.

Tabella 21: Apparecchiature per installazioni in superficie – Gruppo II

Zona	**0**	**1**	**2**
Natura atmosfera	**G** (gas)	**G** (gas)	**G** (gas)
Categoria di apparecchiature che possono essere usate secondo la Direttiva 94/9/CE	**1**	**1, 2**	**1, 2, 3**

La suddivisione degli apparecchi in base al gruppo del gas dipende dal fatto che sostanze diverse hanno un diverso comportamento nei confronti del fenomeno dell'esplosione.
La seguente tabella 22 indica i tre possibili gruppi ed esempi di gas rappresentativi di ciascun gruppo:

Tabella 22: Gruppo del gas

Gruppo del gas	**Gas rappresentativo**
IIA	metano
IIB	etilene
IIC	acetilene, idrogeno

Se un apparecchio appartiene ad una determinata classe di temperatura, allora la sua temperatura superficiale deve essere inferiore di un adeguato margine di sicurezza alla massima temperatura caratteristica di quella classe, la quale deve a sua volta essere inferiore alla temperatura di accensione della sostanza infiammabile.
La tabella 23 seguente indica tali classi di temperatura:

Tabella 23: Classi di temperatura

Classe	**Tmax °C**	**Tacc. °C**
T1	450	>450
T2	300	>300
T3	200	>200
T4	135	>135
T5	100	>100
T6	85	>85

Nel caso di apparecchi del gruppo I (miniere) la massima temperatura superficiale è così fissata:
- 150°C per superfici con strato di carbone;
- 450°C per superfici senza strato di carbone.

Nel caso di miscele di polveri combustibili la scelta deve essere fatta in base:
- alla zona di destinazione (D.Lgs 81/08);
- al grado di protezione IP (EN 60079-14) per gli apparecchi elettrici;
- alla temperatura superficiale (EN 1127-1, EN 13463-1, EN 61241-14 ed EN 60079-14).

L'allegato L del D.Lgs. 81/08, punto B, prescrive che in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive dovute a polveri dovranno essere impiegate le seguenti categorie di apparecchi:
- nella zona 20, apparecchi di categoria 1D;
- nella zona 21, apparecchi di categoria 1D o di categoria 2D;
- nella zona 22, apparecchi di categoria 1D, 2D o 3D.

La tabella 24 sintetizza quanto sopra indicato.

Tabella 24: Compatibilità fra zone e categorie delle apparecchiature - polveri

Zona	**20**	**21**	**22**
Natura atmosfera	**D** (polvere)	**D** (polvere)	**D** (polvere)
Categoria di apparecchiature che possono essere usate secondo la Direttiva 94/9/CE	**1**	**1, 2**	**1, 2, 3**

Il grado di protezione IP è costituito da due numeri, di cui il primo indica la protezione contro l'ingresso di solidi ed il secondo la protezione contro l'ingresso di liquidi. Poiché si tratta di polveri, il secondo numero non interessa ed è sostituito con una X.
La tabella 25 seguente indica il grado di protezione in base alla zona di destinazione.

Tabella 25: Grado di protezione e zone pericolose

Zona	**Grado IP**
20	6X
21	6X
22	6X (E*) 5X (NE**)

* polveri conduttrici ; ** polveri non conduttrici

La temperatura superficiale deve essere inferiore od uguale ad una temperatura massima ammessa, che è funzione dello spessore dello strato, della temperatura di accensione della nube e della temperatura di accensione dello strato, per la valutazione della quale si rimanda alle norme EN 1127-1 ed EN 61241-14 ed EN 60079-14.

CAPITOLO 4

Sistemi di protezione dalle esplosioni

Un aspetto di primaria importanza nella gestione della sicurezza delle atmosfere potenzialmente esplosive è quello relativo ai sistemi di protezione così come definiti all'interno della Direttiva 94/9/CE (art. 1 comma 3 punto b).
Qui viene precisato il fatto che tali sistemi devono essere diversi da quelli utilizzati per scopi produttivi o funzionali e che devono avere la sola funzione di ridurre gli effetti dell'esplosione. Tali prodotti devono essere, pertanto, immessi sul mercato in modo separato con la specifica prescrizione di sistemi autonomi. Tra i sistemi di protezione vi sono:

- sistemi di scarico dell'esplosione;
- sistemi di soppressione dell'esplosione;
- sistemi d'isolamento dell'esplosione (coclee, valvole di compartimentazione);
- barriere antifiamma, deviatori dell'esplosione, valvole.

La scelta e l'impiego di uno o più sistemi di protezione sopra elencati sono strettamente connessi al processo di analisi e valutazione del rischio di esplosione previsto dal Titolo XI del D.Lgs.81/08.
La riduzione degli effetti di una esplosione e la conseguente scelta dei dispositivi di protezione è legata a molteplici fattori, tra cui il tipo di processo produttivo, la logistica dell'impianto in cui potrebbe formarsi l'atmosfera esplosiva e fattori di tipo ambientale.
Un aspetto rilevante per la protezione dalle esplosioni è l'aspetto progettuale, inteso come il complesso di scelte tecniche e dimensionali che consentono di ridurre gli effetti di una esplosione sin dalla fase di progetto.
Quest'ultimo aspetto, unito alla scelta di un efficiente sistema di protezione, consente di raggiungere un soddisfacente grado di protezione in caso di esplosione, con il risultato di avere limitati fattori di danno e ridotto rischio per i lavoratori.
Tra i sistemi di protezione, quelli cosiddetti a soppressione si caratterizzano per il fatto che vengono impiegati per il rilevamento di una possibile esplosione e l'immediata soppressione nei suoi primi istanti, limitando fortemente l'incidenza di eventuali danni.
La progettazione di un sistema di soppressione prevede l'impiego di apparecchiature di indicazione e controllo dell'inizio di una eventuale esplosione fin dai

primi istanti in cui si pongono in essere le condizioni ad essa favorevoli. In genere, l'insieme di queste apparecchiature è identificato con l'acronimo CIE (*Control and Indicating Equipment*).
A seguito del rilevamento delle prime fasi dell'esplosione, una sostanza soppressore dell'esplosione viene immediatamente scaricata all'interno del volume interessato dall'esplosione. In generale tale sostanza è contenuta all'interno di HRD (High Rate Discharge), cioè dispositivi a rilascio rapido.
L'effetto è quello di abbassare la pressione di esplosione ad un valore detto Pred, il cui andamento è rappresentato nella figura 13 seguente:

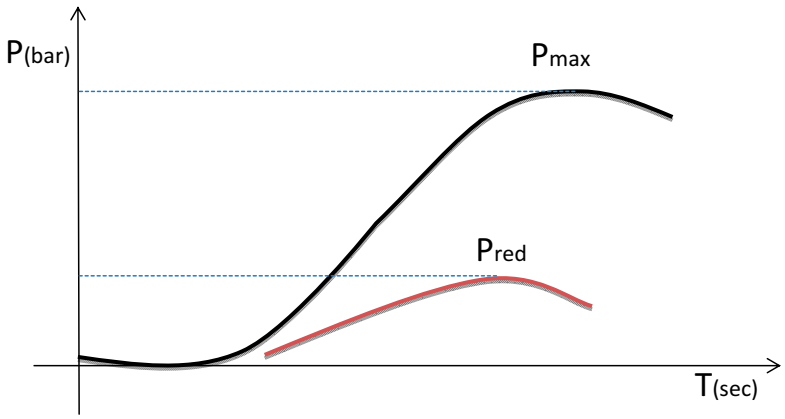


Figura 13: Andamento della pressione all'interno del volume di esplosione

Nel grafico, la curva nera indica l'andamento della pressione all'interno del volume interessato dall'esplosione. L'azione dei soppressori fa si che si abbia una riduzione della pressione fino al valore Pred.
La sequenza di intervento dei sistemi di soppressione è schematizzata nella figura 14 seguente.

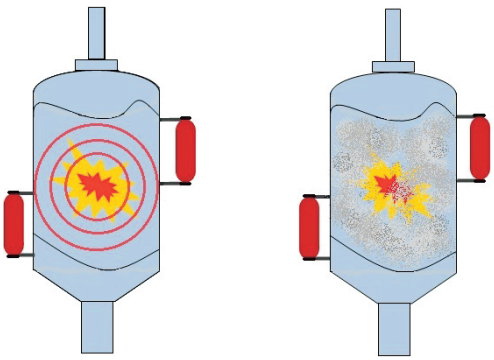


Figura 14: Sequenza di intervento dei soppressori

In generale, valori pericolosi della pressione di esplosione vengono raggiunti in meno di 50 ms; pertanto, i sistemi di soppressione devono essere in grado di intervenire entro tale termine.
Con i sistemi di rilevazione a centralina elettronica, dall'istante di consenso del segnale di scarica all'effettiva apertura della valvola del soppressore trascorrono non più di 3,5 ms.
Se ne deduce quindi che uno dei fattori fondamentali per una efficace azione di soppressione è il corretto posizionamento dei sensori di rilevamento. In realtà la fase di rilevamento può essere effettuata impiegando anche dei sensori ottici, sensori UV e IR. Per applicazioni in ambienti chiusi e confinati, vengono più frequentemente impiegati sensori di pressione.

Soppressori

I sistemi di soppressione sono progettati in relazione al processo produttivo ed alla tipologia delle esplosioni. Essi possono essere ad acqua, sostanze chimiche estinguenti e polveri. Nei sistemi più sofisticati, vengono utilizzati soppressori ad alta velocità HRD. Questi sistemi prevedono l'immagazzinamento della sostanza di soppressione sotto pressione, la quale viene direttamente immessa all'interno dell'area interessata dall'esplosione. Questo tipo di sistema è utilizzato in relazione alle dimensioni geometriche del contenitore da proteggere ed il numero di soppressori viene stabilito in base alla tipologia di processo.
In figura 15 sono rappresentati alcuni tipi di sistemi di soppressione.

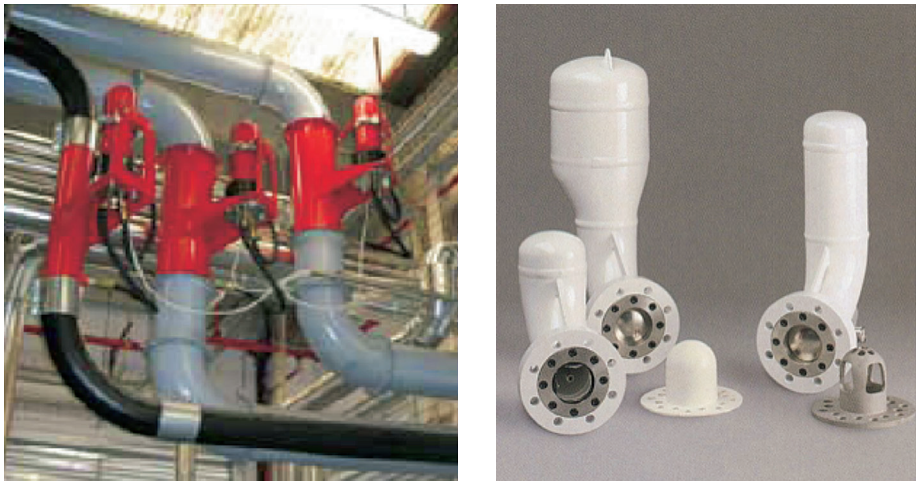


Figura 15: Sistemi di soppressione installati lungo le tubazioni del sistema

Sistemi di isolamento dell'esplosione

I sistemi attivi di isolamento si basano sulla rilevazione preventiva dell'esplosione mediante sensori ed unità di controllo.
I sistemi passivi di isolamento sono costituiti da dispositivi installati lungo le condotte di propagazione dell'esplosione e non richiedono sensori o sistemi di controllo.
In relazione alle specifiche esigenze e alla tipologia di impianto, si possono trovare i seguenti dispositivi per la realizzazione di un sistema di isolamento:

- **Valvole di protezione** che possono essere sia *attive* che *passive*. Quelle *attive* vengono controllate da sensori e, tramite il sistema di controllo, ne viene attivata la chiusura al momento dell'esplosione, per evitare che la stessa raggiunga le zone protette. Le valvole *passive,* per esempio quelle di non ritorno, *flap valve*, impediscono la propagazione dell'esplosione e del suo fronte di fiamma.

- **Valvole rotative**, impiegate in lavorazioni che prevedono la formazione di polveri a rischio di esplosione, consentono di poter arrestare il fronte di fiamma e di abbassare la pressione di esplosione, attraverso il blocco del rotore. Ciò consente inoltre di impedire l'eventuale scarico dei prodotti della combustione dopo l'esplosione.

- **Deviatori** (diverters), permettono la deviazione della propagazione del fronte di esplosione consentendo di ridurne gli effetti. La norma che regola questo tipo di dispositivi è la EN 16020. Si tratta di dispositivi passivi installati in contesti industriali che trattano polveri. Una semplice schematizzazione di un sistema che prevede l'installazione di un diverter è mostrata nella figura 17 seguente.

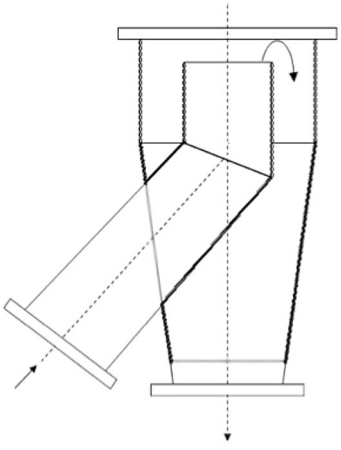


Figura 16: Schema di funzionamento del Diverter

Le misure delle lunghezze di installazione dei diverters sono prescritte nelle relative norme e dipendono dal processo produttivo.
Di seguito (figura 17) viene riportato lo schema di installazione del diverter all'interno di un processo produttivo:

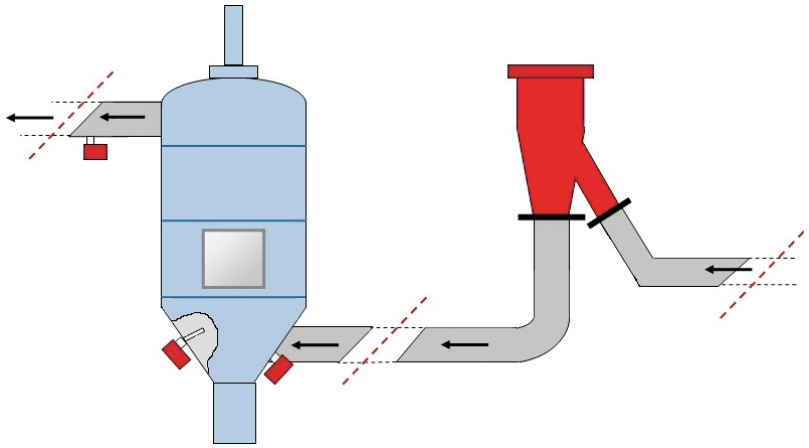


Figura 17: Schema di installazione del Diverter

Un sistema di protezione basato sui deviatori può prevedere un sistema semplice definito *pipe-in-pipe* con l'abbinamento di un dispositivo di venting come sfogo parziale dell'esplosione. Può verificarsi il caso in cui sia necessario realizzare un sistema *multi pipe-in-pipe* in cui più condotti si inseriscono all'interno di un diverter, come descritto all'interno dell'allegato B della norma.
Sistemi di isolamento a **ghigliottina** (figura 18): sono installati con dei sensori che provocano la chiusura della ghigliottina prima dell'arrivo del fronte di fiamma.

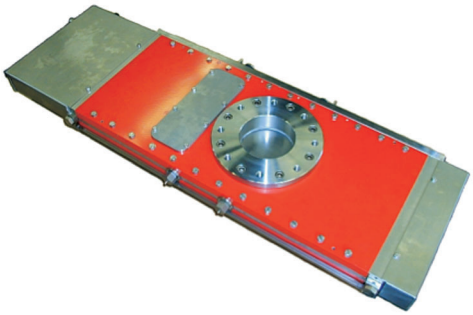


Figura 18: Valvola a ghigliottina

Occorre precisare che alcuni di questi sistemi permettono solo un isolamento parziale, bloccando la propagazione delle fiamme e non il fronte di pressione: questo perché in alcuni casi, per la protezione è sufficiente arrestare la fiamma.

Equipaggiamenti resistenti all'esplosione

Oltre ai componenti descritti sopra, un altro sistema di protezione *passivo* contro le esplosioni è quello degli *apparecchi resistenti all'esplosione* che consiste nel prevedere opportune caratteristiche di resistenza meccanica degli apparecchi, che potrebbero essere soggetti ad una esplosione.
La norma EN 14460 stabilisce i requisiti costruttivi che gli apparecchi devono possedere per resistere alle pressioni di esplosione ed a shock dovuti a esplosioni. La norma definisce inoltre i limiti di pressione e temperatura di esercizio dell'apparecchiatura potenzialmente soggetta ad esplosione.
In modo più approfondito, la norma che definisce le grandezze di pressione da assumere come specifiche di progetto, i materiali e le definizioni è la EN 13445, nelle sue varie parti.
Tornando alla tipologia di apparecchi resistenti alle esplosioni, è possibile distinguere tra:
- apparecchi resistenti alle esplosioni con deformazione;
- apparecchi resistenti alle esplosioni senza deformazione.

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

Per entrambi gli approcci progettuali vengono seguiti i criteri di determinazione della pressione di esplosione, esplicitati nella parte terza della EN 13445.

Scarico delle esplosioni

Lo scarico di una esplosione (venting) è una misura finalizzata a ridurne gli effetti. In relazione al tipo di sostanza che ha generato l'esplosione, gas o polvere, i sistemi di venting possono differire in modo sostanziale per tipologia costruttiva, dimensioni e posizione in funzione dell'involucro da proteggere. Le norme che regolano la progettazione e la definizione dei sistemi di scarico dell'esplosione sono la EN 14994 per i sistemi di venting da esplosioni dovute a gas, e la EN 14991 per quelle dovute a polvere. I sistemi di *venting* consentono lo sfogo dell'esplosione attraverso sezioni ben definite riducendo la pressione di esplosione. Uno degli aspetti di fondamentale importanza che influenzano l'efficienza dei dispositivi di scarico è il corretto dimensionamento e posizionamento. Ricordiamo che è importante una corretta valutazione delle caratteristiche dell'esplosione che ci si può attendere. Ad esempio, per le polveri è importante la

valutazione idonea del parametro K_{ST} che definisce la classe e la forza dell'esplosione.

Figura 19: Pannelli di rottura

Nella pratica e in funzione della tipologia di prodotti che originano la miscela potenzialmente esplosiva, vengono utilizzati i cosiddetti *pannelli di rottura* (figura 19). Questi non sono altro che dei profilati metallici cedevoli che vengono direttamente applicati in particolari zone di filtri, cicloni, o sili, creando un'area di debolezza in caso di esplosione. In condizioni critiche, durante l'esplosione, la rottura dei pannelli consente un repentino abbassamento della pressione di esplosione con la conseguente forte limitazione di danni e rischi.
Questi dispositivi di venting sono applicati in genere ad apparecchi situati all'esterno oppure sono predisposti in modo da scaricare all'esterno l'esplosione, in una zona dove non possano essere interessati i lavoratori e/o non sia presente un'atmosfera esplosiva che potrebbe essere innescata.
Per impieghi indoor vengono utilizzati altri tipi di sistemi di sfogo come quelli rappresentati nella figura 20 sottostante che consentono di realizzare condizioni di sicurezza.

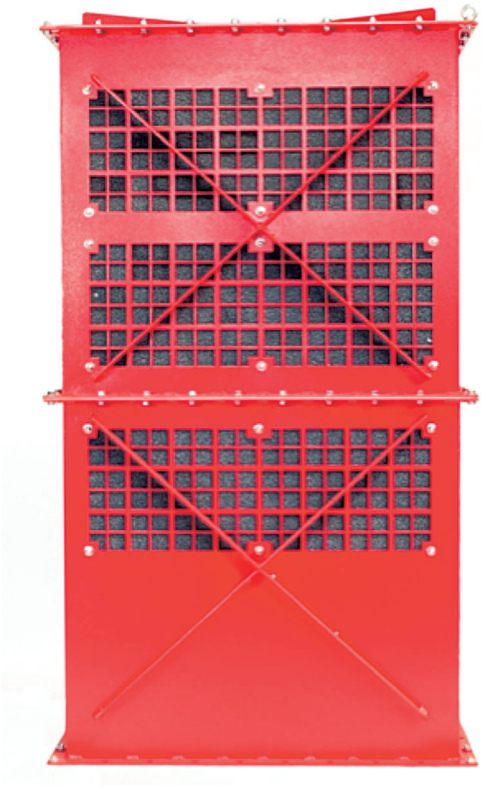


Figura 20: Sistema indoor

È necessario evitare la proiezione di frammenti solidi durante lo sfogo dell'esplosione. A tal scopo vengono utilizzati sistemi di bloccaggio e contenimento come per esempio gabbie metalliche.

CAPITOLO 5

Caratterizzazione qualitativa e quantitativa delle sorgenti di emissione

Come per tutti gli altri fattori di rischio, l'art. 294 del D.Lgs. 81/08, come modificato dal D.Lgs. 106/09, impone al Datore di Lavoro di effettuare l'analisi e la valutazione dei rischi specifici derivanti da atmosfere esplosive e la conseguente redazione del "*Documento sulla Protezione dalle Esplosioni*". Proprio per la valenza e l'incidenza di un eventuale danno causato da una possibile esplosione, il Documento deve riportare tra l'altro in modo chiaro le seguenti informazioni:

- una dichiarazione del D.L. nella quale si precisa che i rischi da esplosioni sono stati individuati e valutati;
- che i luoghi soggetti a rischio di esplosione sono stati classificati come prescritto dall'Allegato XLIX.

La metodologia utilizzata per la redazione del documento è demandata al Datore di Lavoro che, come per gli altri fattori di rischio, "*vi provvede con i criteri e metodi più idonei ed efficaci ad una azione di prevenzione e protezione"*[3].
Nel complesso, l'intera attività può essere suddivisa in fasi, in ciascuna delle quali vengono determinati tutti i parametri che caratterizzano la sorgente di emissione. L'intera procedura è funzionale alla successiva valutazione del rischio specifico relativo alle atmosfere esplosive, nonché alla classificazione delle aree.
In tale contesto, viene di seguito proposta una metodica per organizzare i dati relativi alle sostanze, alle sorgenti di emissione e alla classificazione delle aree. Tale metodica è ovviamente propedeutica alla classificazione delle aree.

Fase 1. Classificazione delle sostanze in grado di formare una atmosfera esplosiva

Come primo passo nel processo di analisi e valutazione del rischio, si procede con l'elenco delle sostanze, presenti all'interno del sito produttivo, in grado di for-

3 Art. 28, comma 2, lett. a).

mare una atmosfera esplosiva. La catalogazione può essere effettuata attraverso una check-list dei prodotti presenti, utilizzando ad esempio la seguente tabella 26, valida sia per i gas che per le polveri.

Tabella 26: Elenco delle sostanze

Pos.	Sostanza	Parametri chimico-fisici	Simbolo	Valori	U.M.

La prima colonna riporta la localizzazione della sostanza nel luogo di lavoro. Questo può anche essere fatto attraverso una codifica relativa all'attività produttiva, che viene lasciata alla discrezionalità del datore di lavoro. Ad esempio, nel caso si disponga di una dettagliata planimetria con l'individuazione dei siti produttivi, l'indicazione può essere effettuata attraverso l'assegnazione univoca di una codifica delle aree dello stabilimento.

Nella seconda colonna si riporta il nome della sostanza, così come indicato nella scheda di sicurezza o in alternativa come risulta dalla classificazione chimica.

Nella colonna "parametri chimico-fisici" vanno riportati tutti i parametri che caratterizzano la sostanza sotto il profilo della capacità di esplodere o comunque di generare una atmosfera esplosiva e nelle successive colonne vanno indicati, rispettivamente, il simbolo, il valore numerico e l'unità di misura. I parametri che possono essere inseriti sono ad esempio nel caso di gas (tabella 27):

Tabella 27: Esempio parametri per Gas

Ti	temperatura d'infiammabilità della sostanza [°C];
ρ_{liq}	densità (massa volumica) del liquido, [kg / m^3];
c_{gd}	coefficiente di diffusione dei gas, [m^2/h];
T_b	temperatura normale di ebollizione della sostanza, [K];
γ	rapporto tra i calori specifici (indice di espansione) c_p / c_v ;
c_{sl}	calore specifico medio del liquido, [J / kgK];
c_{lv}	calore latente di vaporizzazione, [J / kg];
M	massa molare della sostanza infiammabile, [kg/kmol];
LEL_v	limite inferiore di esplodibilità in aria della sostanza, espresso in percento del volume [% vol];
T_{acc}	temperatura di accensione (autoaccensione) della sostanza [°C];
P	tensione di vapore alla massima temperatura ambiente o alla temperatura di emissione se maggiore

Nel caso di polveri tra i parametri che si possono usare vi sono ad esempio quelli di seguito elencati (tabella 28):

Tabella 28: Esempio parametri per polveri

T	temperatura di accensione della nube.[°C];
GM	Grandezza media delle particelle [µm]
Umid.	Percentuale di umidità[%]
Dens.	Densità assoluta [kg/mc];
Granulometria	Grandezza media delle particelle [µm]
K_{st}	Indice di esplosione [bar m/s]
St	Classe di esplodibilità
MIE	Energia minima di accensione [mJ]
T_{cl}	Temperatura di accensione della nube [°C]
T_{5mm}	Temperatura di accensione dello strato di spessore 5 mm [°C]
ρ	Densità assoluta delle polveri [kg/m^3]
B_z	Classe di combustibilità

Fase 2. Classificazione delle Sorgenti di Emissione (SE)

Una volta individuate le sostanze pericolose ai fini del rischio di esplosione, occorre individuare e classificare le sorgenti di emissione. Di seguito viene proposta una tabella (tabella 29) per la classificazione delle sorgenti di emissione per gas, da effettuare secondo i criteri in precedenza descritti.

Tabella 29: Classificazione sorgenti di emissione per gas

N.SE	Numerazione progressiva della sorgente di emissione
Descrizione	Inserire una descrizione della sorgente SE
G.E.	Inserire grado di emissione come definito dalle relative norme (Gas, Polveri)
Tipo di emissione	Inserire la tipologia di emissione: 1= GAS in singola fase 2= LIQUIDO che evapora nell'emissione 3= EVAPORAZIONE dalla superficie di un liquido refrigerato 4= EVAPORAZIONE dalla superficie di un liquido non refrigerato e non in ebollizione, lambita dall'aria di ventilazione 5= EVAPORAZIONE dalla superficie di un liquido non refrigerato e non in ebollizione, non lambita dall'aria di ventilazione 6= EVAPORAZIONE dalla superficie di un liquido in ebollizione perché riscaldato
f_{SE}	Fattore di efficacia della ventilazione nell'intorno della *SE* in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva, con *f* che varia da ***f = 1*** (situazione ideale) ad ***f = 5*** (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli)
D_{SE}	Dimensione massima della SE (es. pari a 2 r_{eq} per una superficie circolare; pari al lato maggiore per una superficie quadrangolare; pari al diametro equivalente dell'apertura verso l'ambiente per un contenitore; trascurabile in tutti i casi in cui la SE può essere considerata puntiforme)
Q_g	Portata di emissione di gas o vapore, [kg/s]

Per le polveri viceversa può essere usata una tabella analoga alla seguente (tabella 30):

Tabella 30: Classificazione sorgenti di emissione per gas

N. SE	Descrizione della SE	Sostanza	G.E.	Tipo di emissione	Liv. pulizia

La seconda colonna indica il nome della sostanza e l'ultima il livello di pulizia.

Grandezze caratteristiche delle SE e delle zone pericolose

Una volta individuate le sorgenti di emissione e determinati i parametri caratteristici, il processo di analisi e valutazione delle atmosfere potenzialmente esplosive prosegue con il calcolo di grandezze come la portata minima d'aria di ventilazione, $\mathbf{Q}_{amin}$, la distanza pericolosa "**dz**" e la quota "**a**", cioè l'estensione della zona pericolosa. Per il calcolo di questi parametri, vengono utilizzate le formule riportate nelle relative norme e guide, sia nel caso di SE gassose, che per quelle generate da polveri e nubi. Le tabelle che seguono rappresentano un modo per indicare i valori dei parametri descritti già nel capitolo 1, per definire le caratteristiche delle sorgenti di emissione e per procedere alla classificazione delle aree. Le tabelle 31 e 32 sono relative ai parametri dei gas, mentre la tabella 33 è relativa alle polveri.

Tabella 31: Parametri relativi alla classificazione per gas

Q_a = (mc/s)	Q_g (kg/s)	$Q_{a\ min}$ (mc/s)	X_m = (%)	LEL_v = (% vol)	C_0= (s^{-1})

Tabella 32: Parametri relativi alla classificazione per gas

Sigla	φ	$kLEL_v/f$ $kLEL_v/f$	Condizione $X_m \leq kLEL_v/f$	dz (m)	quota "a" (m)	L_0 (m)	t (m^3)	Vz Vz	Grado ventilazione	Disponibilità ventilazione

dove:

Q_a = portata effettiva di aria di ventilazione che interessa il volume V_a considerato (definito nella Guida 31-35:2011 come *dVa /dt)*

Q_g = portata massima di emissione di gas o vapore dalla SE, [kg/s];

φ = rapporto critico del flusso;

f = fattore di efficacia della ventilazione;

k = fattore di correzione applicato al LEL;

C_0 = numero di ricambi di aria nell'unità di tempo, riferito al volume totale da ventilare V_0, [s^{-1}]

X_m = concentrazione di sostanza infiammabile nel volume totale V_a dell'ambiente considerato, [%];

Q_{amin} = portata minima volumetrica di ventilazione[m^3/s];

dz = distanza pericolosa dalla SE a partire dalla quale la concentrazione dei gas o vapori infiammabili nell'aria è inferiore al valore k_{dz} * *LEL*, [m];

quota "a" = estensione effettiva della zona pericolosa, [m];

t = tempo di persistenza al cessare dell'emissione [s];

V_z = volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva comprensivo del fattore *k*, [m^3]

Tabella 33: Parametri relativi alla classificazione per polveri

Sigla SE	Descrizione SE	Grado SE	Livello di Pulizia	Spessore dello Strato	Bonifica adottata	Disponibilità ventilazione	Grado efficacia sistema aspirazione	Estenzione della zona

CAPITOLO 6

Protezione dalle esplosioni: criteri di valutazione

Nel presente capitolo è illustrata una metodologia per la valutazione del rischio da esplosioni, che va ad integrare il documento sulla protezione dalle esplosioni previsto dall'art. 294 del D.Lgs. 81/08. Ricordiamo che il documento sulla protezione dalle esplosioni contiene:

- una descrizione del processo produttivo e dell'impianto;
- la valutazione del rischio;
- le misure tecniche;
- le misure di carattere organizzativo;
- eventuali annessi.

Per effettuare la valutazione del rischio di esplosione occorre individuare i relativi pericoli.
A tal scopo occorre:

- verificare se sono presenti sostanze infiammabili (sotto forma di gas, vapori, nebbie, liquidi, polveri e fibre);
- valutare se i processi produttivi possono dar luogo ad atmosfere potenzialmente esplosive.

Una volta individuati i pericoli si deve:

- 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 (onda di pressione, fiamme e gradiente di temperatura, proiezione di materiale e sostanze pericolose) ed i danni ad essi connessi (relativi alla presenza di persone).

A valle di tutte le attività descritte sopra, si procede alla realizzazione di misure finalizzate a:

- evitare la formazione di atmosfere esplosive e se questo non è possibile:
  - sostituzione delle sostanze pericolose,
  - limitazione delle concentrazioni;

  - costruzione idonea, inertizzazione, utilizzo di sistemi chiusi, ventilazione, monitoraggio, pulizia;
  - ed infine si procede alla classificazione delle aree che può essere considerata una misura protettiva.
- evitare le sorgenti efficaci: mediante la scelta delle apparecchiature (es. modi di protezione) e delle loro caratteristiche;
- adottare misure di tipo tecnico (es. sistemi di soppressione dell'esplosione, costruzioni resistenti all'esplosione…);
- adottare misure di tipo organizzativo (segnalazione, permessi di lavoro, procedure scritte, manutenzione programmata…).

Alcune di queste misure devono essere attuate in maniera immediata, altre possono prevedere una tempistica diversa sempre nel rispetto delle condizioni di sicurezza.
Di seguito viene illustrata, a scopo puramente esemplificativo, un'ipotesi di metodologia di valutazione del rischio non vincolante, semplice, applicabile a situazioni non complesse, riconducibile a procedimenti più o meno simili, adottati nella pratica e reperibili in letteratura, in grado di fornire una visione del processo da effettuare e dei parametri che possono essere considerati.

La metodologia è di tipo qualitativo e 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.
Infatti, 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. Essi contemplano, per esempio: il livello di manutenzione di attrezzature e impianti, la presenza e pericolosità di sorgenti di innesco, la formazione stessa dell'atmosfera esplosiva ed il confinamento dell'area eventualmente interessata dall'esplosione.
In questa sede consideriamo che la probabilità **P** che si verifichi un'esplosione sia connessa con il tipo di zona (determinata già mediante la classificazione delle aree) e con la probabilità che siano presenti sorgenti efficaci di accensione.
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 34 di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

Tabella 34: 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.

La probabilità di esplosione P

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 **P_{SE}** che possa crearsi un'atmosfera esplosiva può essere associata per semplicità direttamente al tipo di zona ed essere suddivisa anch'essa qualitativamente in 4 livelli rispettivamente per le zone 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 tabella 35 che segue.

Tabella 35: 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 nella tabella 36 di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

Tabella 36: 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, leggendo il valore corrispondente ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate (tabella 37).

Tabella 37: Matrice per la valutazione della probabilità P

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

Possono essere utilizzate delle tabelle, come quella sotto riportata, per sintetizzare i risultati relativi a ciascuna sorgente di emissione (tabella 38).

Tabella 38: Sorgenti di Emissione e probabilità P

Sigla SE	Zona Pericolosa relativa ad SE	P_{SE}	P_{INN}	P

Il danno D

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 39 di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello:

Tabella 39: 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 può essere considerata dipendente dai 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 nella tabella 40 seguente:

Tabella 40: Parametri 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 nella tabella 41 seguente:

Tabella 41: 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 oppure di polveri e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nelle tabelle 42 e 43 seguenti:

Tabella 42: Parametro K_{Exp} per gas

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

Tabella 43: 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 nella tabella 44 seguente:

Tabella 44: Parametro F_{vz}

V_z [dm^3)	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 nella tabella 45 seguente:

Tabella 45: Parametro I_s

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

Per 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 nella tabella 46 seguente:

Tabella 46: Parametro F_c

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

Il Danno è rappresentato dalla somma dei parametri sopra indicati secondo le relazioni seguenti, valide rispettivamente per i gas e le polveri:

$$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{Exp} + F_{VZ} + F_C$$
$$D = CL_{ZONA} + L_{ESP} + K_{Exp} + I_S + F_C$$

Occorre sottolineare che i fattori *Probabilità* e *Danno* sono parametrizzati in modo da consentire una congruente valutazione del rischio, sulla base di dati deducibili da contesti produttivi nei quali sono presenti atmosfere potenzialmente esplosive. Possono essere utilizzate delle tabelle come quella sotto riportata (tabella 47) per sintetizzare i risultati relativi a ciascuna sorgente di emissione.

Tabella 47: Sorgenti di Emissione e fattori di probabilità per il danno

SE	CL_{ZONA}	L_{ESP}	K_{Exp}	F_{VZ}	I_S	F_C	D

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.

La seguente tabella 48 riassume la procedura anzidetta, per le zone originate da ogni singola sorgente di emissione.

Tabella 48: Sorgenti di Emissione e fattori di probabilità per il rischio

SE	D	P	R

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***, come indicato nella tabella 49 seguente:

Tabella 49: Livelli di rischio

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

A valle della valutazione, e quindi dell'attribuzione dei valori di R, devono essere previsti gli opportuni interventi di Prevenzione e Protezione in tempi idonei. A questo punto occorre distinguere due casi significativi ai fini della programmazione delle misure preventive e protettive.
Entrambi si riferiscono al medesimo valore di Rischio R, ottenuto però, in un caso da bassi valori di P e alti valori di D, e nell'altro da bassi valori di D e alti valori di P. L'esempio può essere riferito a R=4 ottenuto una volta come P=1 e D=4, e un'altra

con D=1 e P=4. A fronte di un uguale valore di Rischio R=4, è palese che l'entità delle misure di prevenzione e protezione riferite ai due casi saranno del tutto differenti. Quando il danno ipotizzato a seguito di una esplosione è elevato, ma la probabilità di accadimento è molto bassa, dovranno essere attuate delle misure sicuramente differenti rispetto al caso opposto. Nel primo caso, ad esempio, possono essere previste tecniche di progettazione ad elevato livello tecnologico per contenere gli effetti di eventuali esplosioni (protezione). Nel secondo caso potrebbero essere sufficienti delle misure organizzative di miglioramento (prevenzione) per ridurre la probabilità di incidenti che però producono effetti di danno relativamente lievi.

In ogni caso il metodo di analisi e valutazione, che porta alla definizione dei livelli di rischio R, va attuato tenendo sempre in debita considerazione tutti gli elementi di contesto del sito produttivo e dei singoli aspetti produttivi. Le misure di prevenzione e protezione non vanno predisposte in relazione solo al Rischio determinato, ma anche agli eventuali effetti di danno che potrebbero verificarsi a seguito di incidenti. In linea di principio, basandosi sulla classificazione del Rischio, possono essere programmate le misure di Prevenzione e Protezione secondo la tabella 50 seguente:

Tabella 50: 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 quali "***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.

La normativa di riferimento

Normativa di carattere generale
UNI EN 1127-1 Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Concetti fondamentali e metodologia.

Normativa elettrica per la classificazione delle zone
CEI EN 60079-10-1 (per gas);
CEI 31-35 (guida per i gas secondo la CEI EN 60079-10-1);
CEI 31-35/A (esempi guida per i gas);
CEI EN 60079-10-2 (per polveri);
CEI 31-56 (guida per le polveri secondo la EN 61241-10).

Normativa elettrica impianti
CEI EN 60079-14 (CEI 31-33 impianti per atmosfere esplosive);
CEI EN 60079-17 (CEI 31-34 manutenzione impianti elettrici in presenza di polveri combustibili).

Normativa per prodotti elettrici
CEI EN 60079-0 (CEI 31-70 regole generali);
CEI EN 60079-26 (gas);
Serie CEI EN 60079 (1, 2, 6, 7, 11, 15, 18) Apparecchi elettrici per atmosfere potenzialmente esplosive di gas - Modi di protezione d, p, o, e, i, n, m;
CEI EN 61241-1 (CEI 31-69 costruzioni elettriche in presenza di polveri combustibili - protezione tD - dal 1.10.2012 sostituita dalla EN 60079-31 con modifiche del modo di protezione);
CEI EN 61241-14 (CEI 31-67 - costruzioni elettriche destinate ad essere utilizzate in presenza di polveri combustibili - Parte 14: Scelta ed installazione);
CEI EN 61241-18 (CEI 31-63 costruzioni elettriche in presenza di polveri combustibili - protezione mD per incapsulamento - dal 1.10.2012 sostituita dalla EN 60079-18)

Normativa per prodotti non elettrici
UNI EN 13463-1 Apparecchi non elettrici per atmosfere potenzialmente esplosive. Metodo di base e requisiti per la progettazione, la costruzione, prove e marcatura Serie EN 13463-X (2, 3, 5, 6 ed 8) - Apparecchi non elettrici per atmosfere potenzialmente esplosive - Modi di protezione fr, d, c, b, k.

Normativa per i sistemi di protezione
EN 14460 (resistenza all'esplosione)
EN 14994 (scarico dell'esplosione per gas)
EN 14491 (scarico dell'esplosione per polveri)
EN 15089 (sistemi d'isolamento dell'esplosione)
EN 14373 (soppressione dell'esplosione)

Bibliografia

- Direttiva 94/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 marzo 1994, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva (OJ L21 26/01/2000).

- Direttiva 1999/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 1999 relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive (OJ L23 28/01/2000).

- D.P.R. 23 marzo 1998, n. 126 G.U. n. 101 del 04/05/1998 - Regolamento recante norme per l'attuazione della Direttiva 94/9/CE in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.

- D.lgs. n. 233 del 12/06/2003 G.U. n. 198 del 26/08/2003 - Attuazione della Direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive.

- D.lgs. n. 81 del 09/04/2008 e s.m.i. Attuazione dell'articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

- Linee guida ATEX. Linee guida per l'applicazione della direttiva 94/9/CE del Consiglio del 23 marzo 1994, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva, settembre 2012 (pubblicate dalla Commissione Europea).

- Guida di buona pratica non vincolante per l'implementazione della Direttiva 1999/92/CE, del gennaio 2003 (pubblicata dalla Commissione Europea, 2008)

- Elettricità statica - Pericoli di innesco e misure di protezione - ISSA 1997.

- Guida pratica per la preparazione di un documento per la protezione contro le esplosioni - ISSA 2006.