

La classificazione dei luoghi con atmosfere esplosive per presenza di gas

Generalità

La direttiva Atex 99/92/CE (Dlgs 233/03) fornisce la seguente definizione di atmosfera esplosiva : *“Miscela con aria, di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polvere, in condizioni atmosferiche, in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga a tutta la miscela incombusta”*

Un'esplosione può manifestarsi quando si verificano contemporaneamente le seguenti condizioni (figura 2):

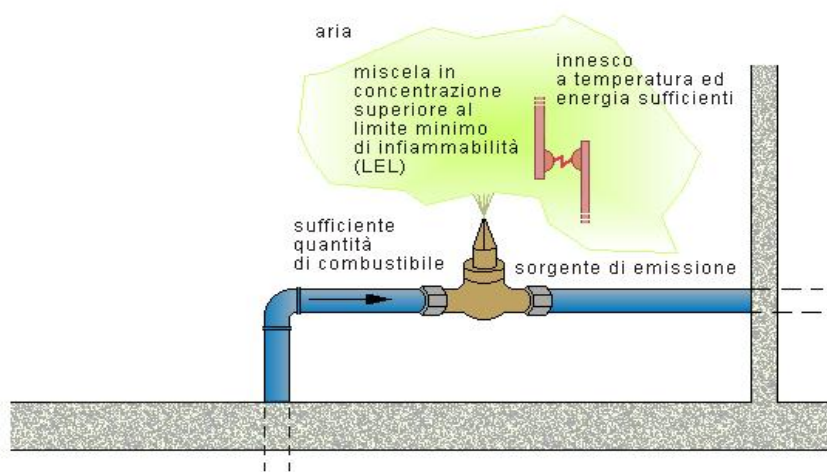


Figura 2 – Condizioni che possono determinare un'esplosione

- sono presenti sostanze infiammabili disperse in aria sotto forma di gas, vapore o nebbia o polvere ;
- la temperatura di infiammabilità della sostanza è uguale o inferiore alla temperatura a cui può venirsi a trovare per cause dipendenti da temperatura ambiente, temperatura di lavorazione, o per altri motivi (es. contatto con superfici calde);
- la concentrazione di gas, vapore o nebbia o polvere emessa nell'intorno del punto d'innesco è compresa nell'intervallo di infiammabilità ;
- è presente entro il volume occupato dai gas, vapori, nebbie o polveri in concentrazione pericolosa una sorgente di accensione di energia sufficiente ad innescare l'atmosfera esplosiva ;
- combustibile e comburente sono presenti in quantità sufficiente a sostenere l'esplosione che si manifesta con un aumento di volume in grado di provocare un'onda d'urto dagli effetti distruttivi.

Se è prevedibile che in un determinato luogo o zona si possa formare un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas possono essere messi in atto i seguenti interventi:

- escludere la possibilità che l'atmosfera esplosiva si trovi in prossimità di una sorgente di accensione, oppure
- eliminare la sorgente di accensione.

Solo quando questi accorgimenti non possono essere messi in pratica si devono adottare costruzioni antideflagranti in modo da minimizzare le condizioni di rischio.

Quando è prevedibile la formazione di atmosfere esplosive si deve dunque procedere, alla classificazione dei luoghi pericolosi. Le zone pericolose, classificate in base alla diversa probabilità di rischio, condizioneranno la scelta dei componenti elettrici, componenti che dovranno possedere caratteristiche più o meno severe nei confronti del pericolo di innesco dell'esplosione.

La classificazione dei luoghi e la scelta degli impianti ha come principale riferimento le seguenti norme:

- CEI 31-87 (CEI EN 60079-10-1-2010- 01), "Atmosfere esplosive. Parte 10-1. Classificazione dei luoghi";
- CEI 31-33 (CEI EN 60079-14), "Atmosfere esplosive. Parte 14. Progettazione scelta e installazione degli impianti elettrici";

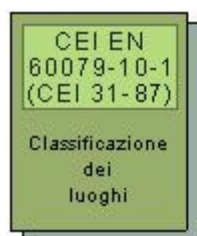


Figura 3 – Le principali norme di riferimento per i luoghi con pericolo di atmosfere esplosive

Oltre alle norme su citate occorre segnalare anche le seguenti guide che però non tengono conto delle ultime novità della CEI 31-87 e CEI 31-33:

- CEI 31-35, "Guida alla applicazione della Norma CEI EN 60079-10. Classificazione dei luoghi pericolosi" ;
- CEI 31-35/A, "Guida alla applicazione della Norma CEI EN 60079-10. Classificazione dei luoghi pericolosi; esempi di applicazione".

La classificazione dei luoghi

In alcuni casi potrebbe essere necessario condividere competenze fra persone con specializzazioni diverse nell'ambito della sicurezza, degli impianti elettrici, meccanici, chimici, ecc..

La procedura di classificazione si svolge in 3 fasi e presuppone la determinazione e l'analisi:

- delle sorgenti di emissione;
- della ventilazione;
- delle zone pericolose (classe, estensione e forma).

Sorgenti di emissione

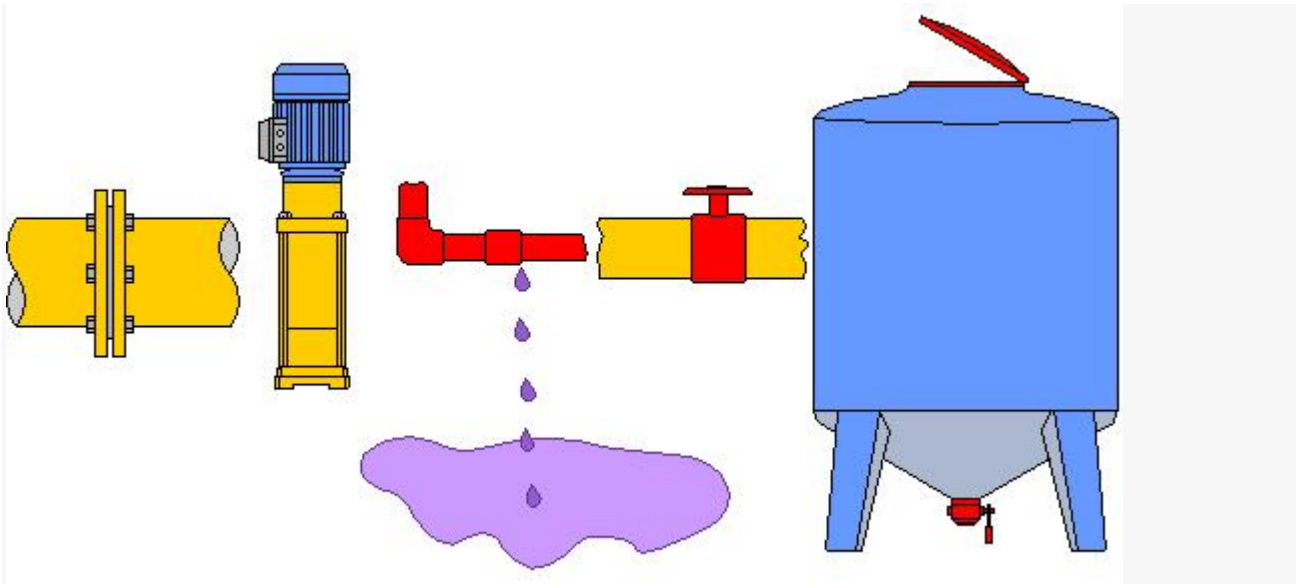
L'identificazione e l'analisi delle sorgenti di emissione si svolge in tre momenti:

- individuazione delle sorgenti di emissione
- attribuzione del grado di emissione
- calcolo della portata di emissione

a) Individuazione delle sorgenti di emissione - Un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas si può formare, come detto, quando è presente un gas o un vapore infiammabile in miscela con l'aria. Per identificare eventuali sorgenti di emissione nel luogo in esame occorre quindi verificare la presenza o meno di tali sostanze.

Per ovvi motivi gas e vapori (e liquidi e solidi infiammabili dai quali possono formarsi) sono normalmente racchiusi all'interno di impianti e apparecchiature di processo. Una miscela esplosiva può formarsi all'interno o all'esterno dell'impianto stesso. Ogni elemento delle apparecchiature di processo (es. serbatoio, tubazione, pompa, contenitore, ecc.) può diventare una potenziale sorgente di emissione di sostanza infiammabile .

E' evidente che un contenitore o un'apparecchiatura a completa tenuta, che per costruzione non può emettere nell'atmosfera sostanze infiammabili, non potrà darà origine al suo esterno ad un luogo pericoloso (es. una tubazione completamente saldata, un contenitore a tenuta totale, ecc.).



*Figura 4 - Esempi di sorgenti di emissione:
flange, pompe, pozze di liquidi infiammabili, valvole manuali
o automatiche, boccaporti e valvole di scarico serbatoi*

b) Attribuzione del grado di emissione - In relazione alla possibile frequenza e durata, l'emissione di sostanza infiammabile nell'atmosfera può essere permanente (grado continuo o grado 0), saltuaria, cioè per periodi di breve durata (primo grado o grado 1) oppure presente solo in caso di guasto (secondo grado o grado 2). Occorre inoltre considerare la possibilità che alcune apparecchiature possano presentare più di un grado di emissione.

Nella seguente tabella sono descritti, a titolo d'esempio, alcuni tipi di sorgenti di emissione e il grado di emissione col quale dovrebbero essere identificate.

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

Figura 5 – Attribuzione del grado di emissione

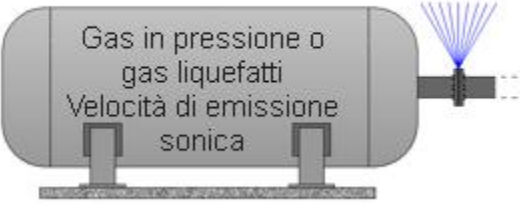
c) Portata di emissione – Definito il grado dell'emissione, occorre valutare la portata di emissione e gli altri elementi che possono influire sul tipo e l'estensione della zona (maggiore è la portata di emissione, più grande sarà l'estensione della zona). La portata di emissione, determinabile di volta in volta con specifiche formule di dinamica dei fluidi, è definita come **la quantità di gas, vapore o nebbia infiammabile emessa nell'unità di tempo da una determinata sorgente.**

La portata di emissione dipende da vari fattori, quali:

- forma e superficie della sorgente di emissione (es. una superficie libera, una flangia che perde, ecc.) ,
- velocità di emissione (la portata di emissione aumenta con la velocità di emissione e, nel caso di una sostanza racchiusa entro un'apparecchiatura di processo, la velocità di emissione dipende dalla pressione di processo e dalla geometria della sorgente di emissione),
- concentrazione (la portata di emissione aumenta con l'aumentare della concentrazione di vapore o gas infiammabile nella miscela liberata),
- temperatura (la tensione di vapore aumenta con la temperatura del liquido) e volatilità di un liquido .

La norma riporta alcune formule utili per il calcolo della portata di emissione relative ai seguenti casi (figura 6):

- liquidi contenuti in un serbatoio in pressione;
- gas in pressione o gas liquefatti uscenti da un foro con velocità sonica;
- gas in pressione o gas liquefatti uscenti da un foro con velocità subsonica.

<p>$\frac{dG}{dt}$ portata di emissione del liquido (massa per unità di tempo, kg/s);</p> <p>S sezione del foro (m^2);</p> <p>ρ è la massa volumica del liquido (massa per unità di volume, kg/m^3);</p> <p>Δp differenza di pressione attraverso l'apertura che rilascia il liquido (Pa).</p>	$\frac{dG}{dt} = S_x \sqrt{2\rho\Delta p}$
<p>$\frac{dG}{dt}$ portata di emissione di gas (massa per unità di tempo, kg/s)</p> <p>p pressione all'interno del contenitore (Pa);</p> <p>S sezione del foro (m^2);</p> <p>M massa molecolare del gas (kg/kmol);</p> <p>T a temperatura assoluta all'interno del contenitore (K);</p> <p>γ indice politropico dell'espansione adiabatica;</p> <p>R è la costante universale dei gas (8314</p>	 <p>Gas in pressione o gas liquefatti Velocità di emissione sonica</p> $\frac{dG}{dt} = S_p \sqrt{\gamma \frac{M}{RT} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)}}$

J kmol ⁻¹ K ⁻¹).	
dG/dt portata di emissione di gas (massa per unità di tempo, kg/s)	
p pressione all'interno del contenitore (Pa);	
p_0 pressione all'esterno del contenitore (Pa);	
S sezione del foro (m ²);	
M massa molecolare del gas (kg/kmol);	
T a temperatura assoluta all'interno del contenitore (K);	
γ indice politropico dell'espansione adiabatica;	
R è la costante universale dei gas (8314 J kmol ⁻¹ K ⁻¹).	
	$\frac{dG}{dt} = Sp \sqrt{\gamma \frac{M}{RT} \left(\frac{2\gamma}{\gamma-1} \right) \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} \right] \left(\frac{p_0}{p} \right)^{1/\gamma}}$

Figura 6 – Formule per il calcolo della portata di emissione

Ventilazione

La valutazione del grado e della disponibilità della ventilazione risulta determinante per la delimitazione della zona pericolosa: all'aumentare della ventilazione l'estensione della zona normalmente si riduce. Per la definizione del grado di ventilazione è necessario conoscere la massima portata di emissione, nella stima della quale è raccomandabile, come sottolinea la norma, basarsi su esperienze e casi accertati, calcoli sensati, ipotesi fondate ed eventualmente di dati forniti dal costruttore.

La Norma (allegato B) mette a disposizione un metodo semplificato che consente di stabilire il tipo di zona secondo una procedura che richiede di stabilire:

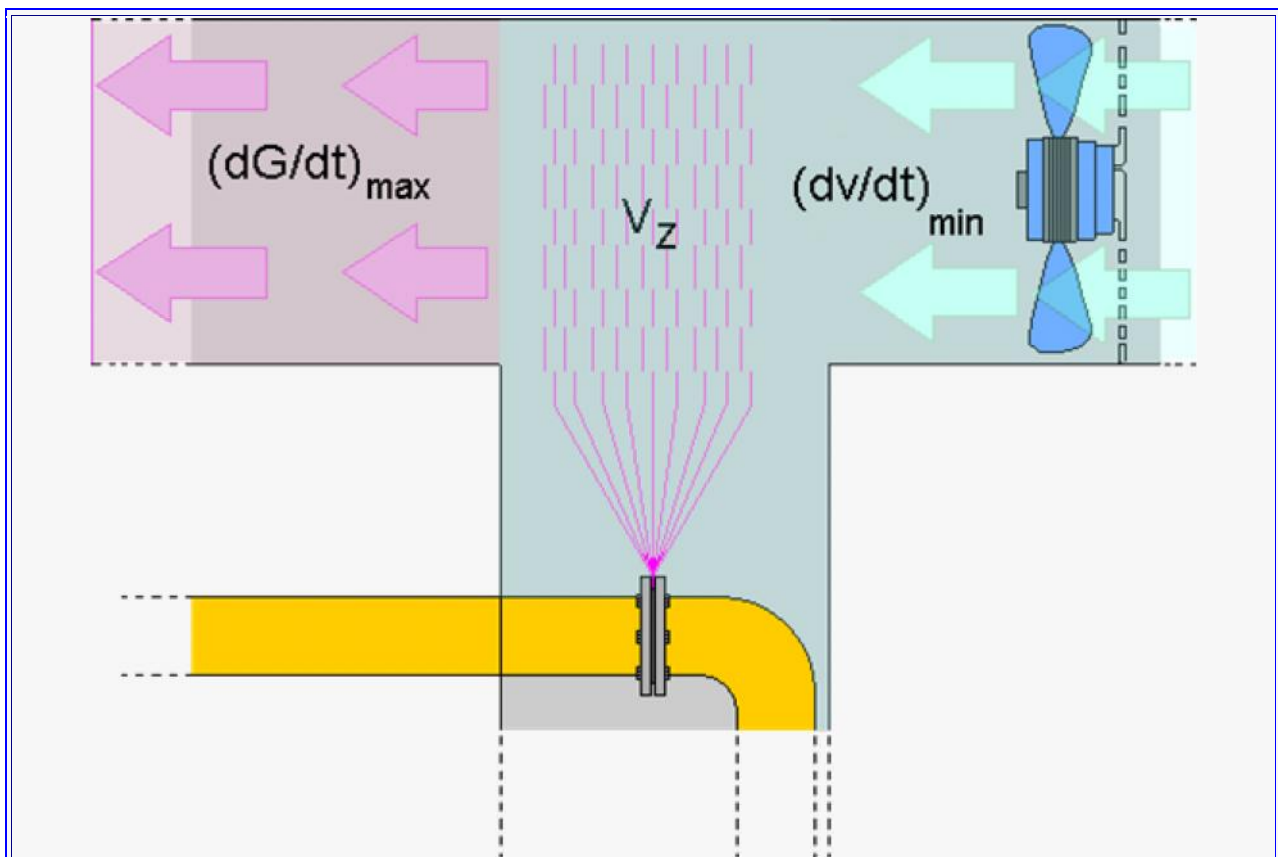
- la portata di ventilazione necessaria ad evitare che l'atmosfera esplosiva aumenti in modo significativo;
- il volume ipotetico V_z al fine di definire il grado di ventilazione;
- il tempo di persistenza dell'emissione;
- il tipo di zona in funzione del grado di emissione, del grado e dalla disponibilità della ventilazione;
- se esiste compatibilità fra zona e tempi di persistenza.

Per definire il grado della ventilazione si calcola dapprima il volume ipotetico V_z . Il volume ipotetico V_z è il volume nel quale la concentrazione media del gas o del vapore infiammabile è, per mezzo di un fattore di sicurezza k , 0,25 o 0,5 volte il LEL

(il fattore k può essere preso uguale a 1 solo per procedimenti che si avvalgono di dati forniti dagli stessi fabbricanti. Nelle altre circostanze k può essere quello tipico consigliato, 0,25 per emissioni di grado continuo e 0,50 per emissioni di grado secondo o, preferibilmente, scelto in base a considerazioni mutuate dalla sperimentazione).

Per la stima del volume ipotetico di diluizione V_z la norma propone in allegato un metodo semplificato, anche se si sottolinea che altri metodi, per esempio modellazione computerizzata, in alcuni casi potrebbero rivelarsi più adatti. Il volume ipotetico dunque, fornisce una stima del volume infiammabile generato da una sorgente di emissione. Oltre a questo bisognerà determinare la posizione assunta da tale ipotetico volume rispetto alla sorgente di emissione, posizione che dipenderà soprattutto dalla direzione di ventilazione, e da suoi possibili cambiamenti di direzione, e dalla densità relativa del gas rispetto all'aria.

Il calcolo del volume ipotetico presuppone innanzitutto il calcolo della portata minima teorica di aria di ventilazione occorrente per diluire una determinata portata di emissione di sostanza infiammabile ad una concentrazione minore del limite inferiore di esplosione. Il calcolo può essere condotto per mezzo dell'equazione di figura 7 proposta dalla stessa norma.



dove

$(dv/dt)_{min}$ è la portata minima volumetrica di aria fresca (volume per unità di tempo,

m^3/s);

$(dG/dt)_{max}$ è la portata massima di emissione di sostanza infiammabile (massa per unità di

tempo, kg/s);

LEL m è il limite inferiore di esplosibilità (massa per unità di volume, kg/m^3);

k è un fattore di sicurezza applicato al LEL_m;
tipicamente:

k = 0,25 (per emissioni di grado continuo e primo)

k = 0,5 (per emissioni di grado secondo)

k=1 applicabile solo a valori ottenuti da esperienze verificate, dati resi disponibili da fabbricanti per specifici dispositivi attraverso i quali la sostanza infiammabile può essere scaricata nell'atmosfera, o da calcoli sensati basati su dati in ingresso affidabili;

T è la temperatura ambiente (in Kelvin, K);

Vz volume ipotetico di diluizione.

Figura 7 – Calcolo della portata minima teorica d'aria di diluizione

La portata minima di aria è quella che sarebbe necessaria, in condizioni ideali di flusso d'aria fresca e in caso di miscelazione immediata ed uniforme, per diluire il gas emesso a un valore pari a k LEL. In pratica, tali condizioni ideali si verificano raramente, perché alcune parti del luogo potrebbero essere mal ventilate. La figura 7 descrive questa situazione ideale che potrebbe concretizzarsi, ad esempio, canalizzando i flussi.

Il volume ipotetico V_k in m^3 di atmosfera potenzialmente esplosiva, in condizioni di miscelazione istantanea ed omogenea con l'aria in prossimità della sorgente di emissione, in condizioni ideali di flusso d'aria fresca può essere espresso dalla seguente formula:

$$V_k = \frac{(dV/dt)_{min}}{C}$$

dove:

C è il numero di ricambi d'aria fresca per unità di tempo (s^{-1}):

$$C = \frac{dV/dt}{V_0}$$

dove:

dV/dt è la portata totale di aria fresca che attraversa il volume considerato,

V_0 è l'intero volume servito dalla ventilazione effettiva in prossimità della sorgente di emissione considerata. A l chiuso, a meno che sia prevista una ventilazione specifica e localizzata per l'emissione considerata, normalmente corrisponde al volume del locale.

Quando mancano le condizioni ideali di ventilazione il vero ricambio d'aria in nei pressi della sorgente di emissione risulta dunque al di sotto di quello indicato da C determinando un ampliamento del volume (V_z). Introducendo un'altro fattore di correzione si ottiene V_z :

$$V_z = f \times V_k = \frac{f(dV/dt)_{min}}{C}$$

f rappresenta un fattore di efficacia della ventilazione ed esprime l'effetto della ventilazione sulla diluizione dell'atmosfera esplosiva. f varia da $f = 1$ (situazione ideale) a $f = 5$ (flusso d'aria ostacolato).

V_0 = volume totale da ventilare, o volume del cubo di riferimento, (m^3);

V_z = volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva comprensiva del coefficiente di sicurezza k , (m^3);

In pratica si considerano tre gradi di efficacia della ventilazione (figura 8):

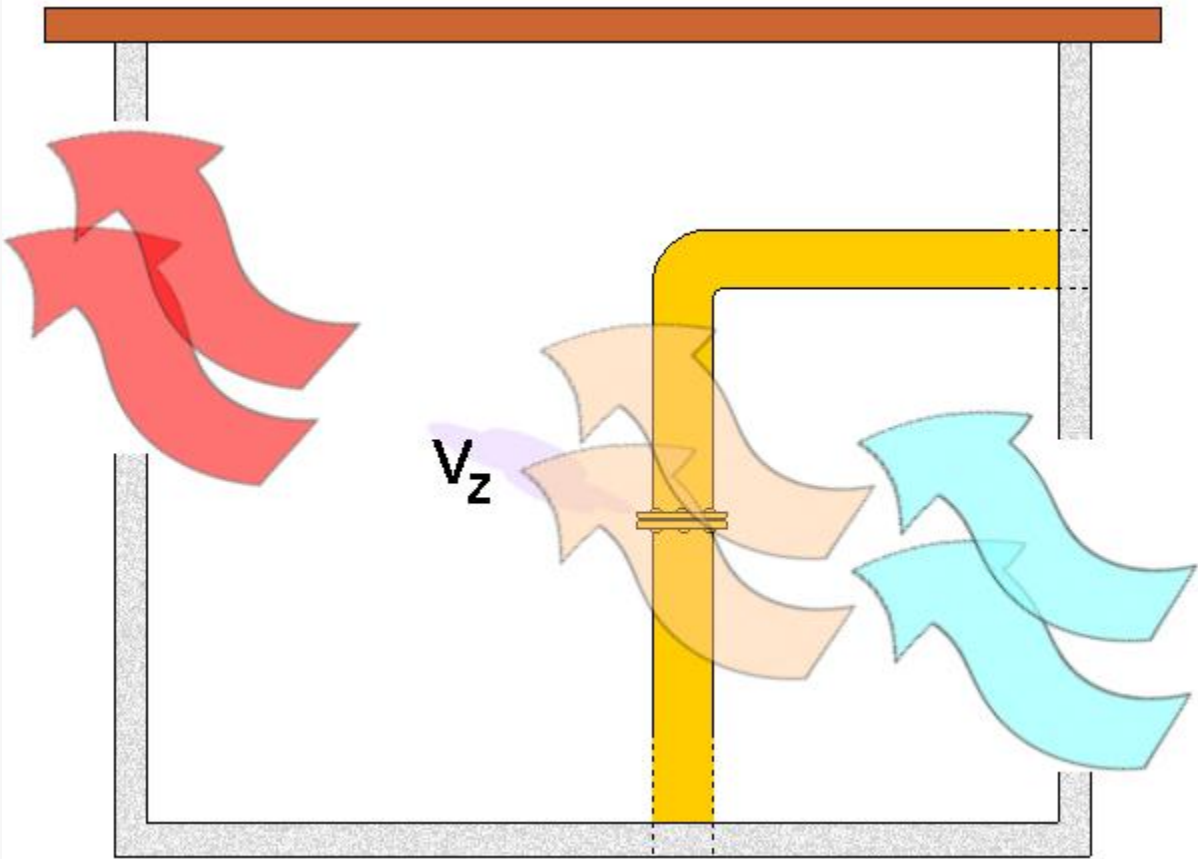
- **Alto (VH)**

La concentrazione in prossimità della sorgente di emissione si riduce al di sotto del limite inferiore di esplodibilità in modo praticamente istantaneo. Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z è trascurabile ed il suo volume è inferiore a quello del luogo pericoloso .

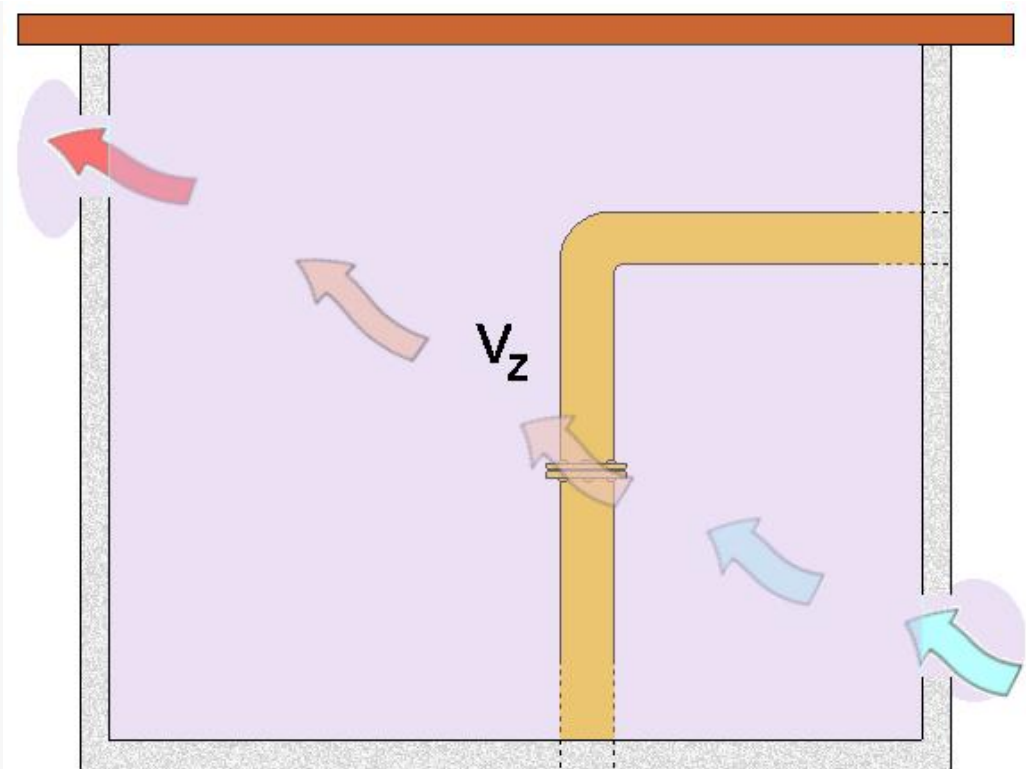
- **Medio (VM)**

Ad emissione in corso la concentrazione determina una zona limitata stabile e l'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non perdura eccessivamente al cessare dell'emissione. L'estensione ed il tipo della zona dipendono dalle grandezze caratteristiche di progetto. Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z non è trascurabile ed il suo volume è inferiore a quello del luogo pericoloso .

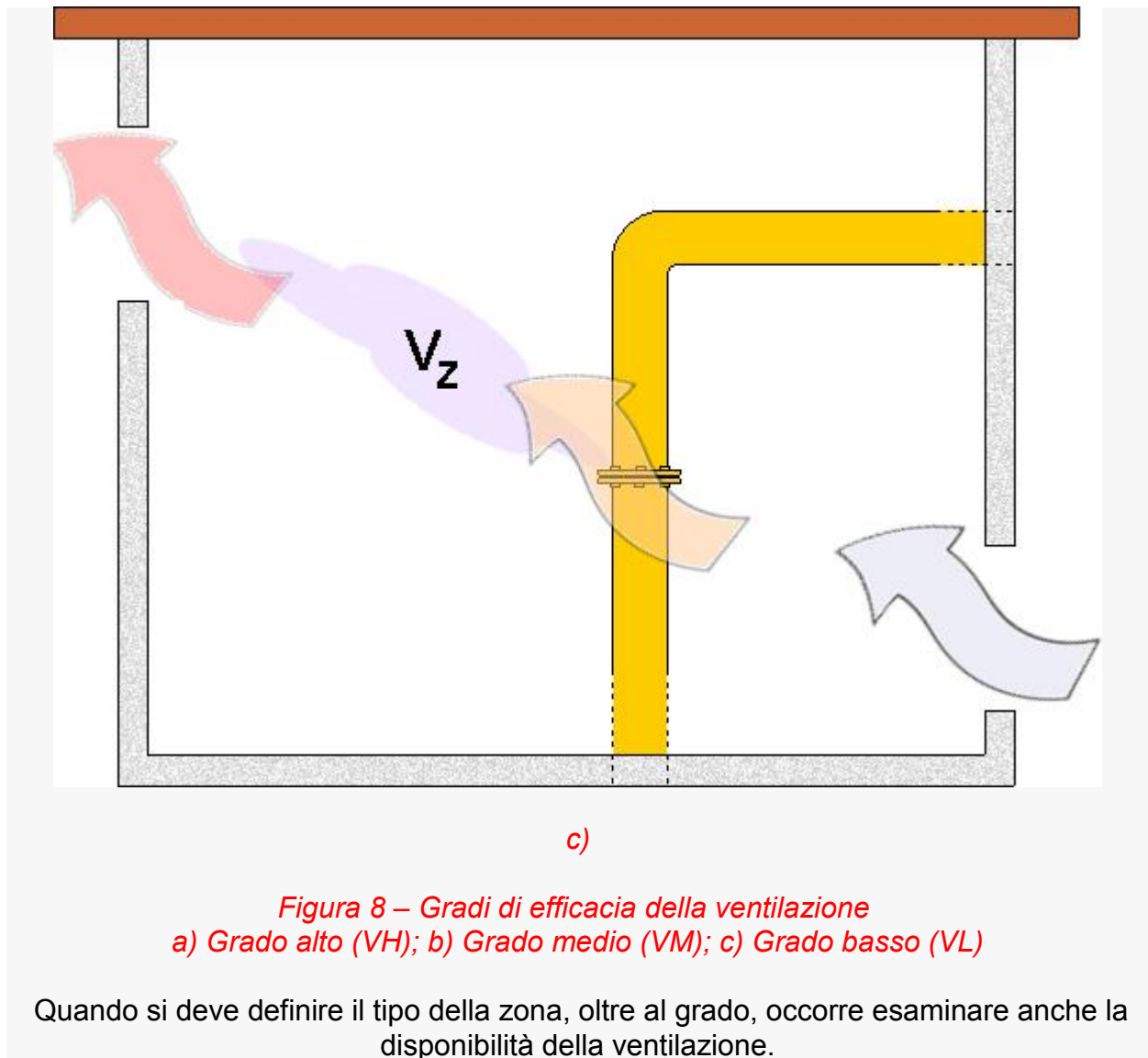
- **Basso (VL)** Ad emissione in corso la concentrazione è fuori controllo e/o un'atmosfera esplosiva si mantiene a lungo dopo l'arresto dell'emissione. Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z è elevato e spesso superiore a quello dell'ambiente.



a)



b)



I seguenti tre livelli descrivono i requisiti minimi di disponibilità della ventilazione:

- **buona** , quando la ventilazione è sempre presente;
- **adeguata** , quando la ventilazione è presente nel normale funzionamento. Sono ammesse brevi interruzioni purché poco frequenti;
- **scarsa** , quando la ventilazione non può essere considerata ne buona ne adeguata, ma non sono previste interruzioni per lunghi periodi.

Ventilazione		Grado della sorgente di emissione					
Grado	Disponibilità	Continuo		Primo		Secondo	
Alto	Buona	Zona pericolosa	non	Zona pericolosa	non	Zona pericolosa	non
	Adeguata	Zona 2		Zona 2		Zona pericolosa	non
	Scarsa	Zona 2		Zona 2		Zona 2	
Medio	Buona	Zona 0		Zona 1		Zona 2	
	Adeguata	Zona 0 + Zona 2		Zona 1 + Zona 2		Zona 2	
	Scarsa	Zona 0 + Zona 1		Zona 1 + Zona 2		Zona 2	

Basso	Buona	Zona 0	Zona 1 o Zona 0	Zona 1 e anche Zona 0
	Adeguate			
	Scarsa			

Tabella 1 – Classificazione delle zone in relazione alla qualità della ventilazione e del grado della sorgente di emissione

Valutazione del tempo di persistenza t

Il tempo t necessario per far diminuire la concentrazione media dal valore iniziale X_0 a k volte il LEL, dopo l'arresto dell'emissione, può essere ottenuto con l'equazione di figura 9.

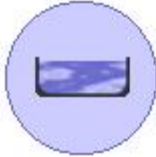

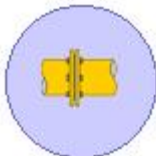

$T = -f/C \cdot \ln(k \cdot \text{LEL}/X_0)$
<p>dove</p> <p>X_0 è la concentrazione iniziale della sostanza infiammabile espressa nella stessa unità di misura del LEL, cioè, in vol. % o kg/m^3. Talora nell'atmosfera esplosiva per la presenza di gas, la concentrazione di sostanza infiammabile può essere il 100% in volume (generalmente solo nelle immediate vicinanze della sorgente di emissione). Tuttavia, quando si calcola t, il valore idoneo da assumere per X_0 dipende dalla singola situazione considerando, tra i vari aspetti, il volume interessato dall'emissione così come la frequenza e la durata dell'emissione;</p> <p>C è il numero di ricambi d'aria nell'unità di tempo;</p> <p>t è nelle stesse unità di misura di C, per esempio, se C è il numero di ricambi d'aria al secondo, allora il tempo t è in secondi;</p> <p>f è un fattore che prende in considerazione il flusso d'aria impedito, ed ha lo stesso valore numerico utilizzato per determinare V_z;</p> <p>\ln è il logaritmo naturale, e k è un fattore di sicurezza riferito al LEL, ed ha lo stesso valore numerico utilizzato per determinare la $(dV/dt)_{\min}$</p>

Figura 9 – Valutazione del tempo di permanenza

Tipo di zona

La possibilità che si formi un'atmosfera esplosiva per presenza di gas, e dunque il tipo di zona che ne deriva, dipende principalmente dal grado d'emissione e dalla qualità della ventilazione.

Classificazione della zona - Le zone sono individuate come: zona 0, zona 1, zona 2 e zona non pericolosa. Una emissione di grado continuo determina, normalmente, una zona 0, una emissione di primo grado, una zona 1, e una emissione di secondo grado una zona 2.

<p>Zona</p>  <p>0</p>	<p>Emissione continua</p>	<p>Un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas è presente continuamente o per lunghi periodi o frequentemente</p>
<p>Zona</p>  <p>1</p>	<p>Emissione di primo grado</p>	<p>Un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas è probabile sia presente occasionalmente durante il funzionamento normale</p>
<p>Zona</p>  <p>2</p>	<p>Emissione di secondo grado</p>	<p>Un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non è probabile sia presente durante il funzionamento normale ma, se ciò avviene, è possibile persista solo per brevi periodi</p>
<p>Zona NE</p> 	<p>Emissione non pericolosa</p>	<p>Non si prevede la presenza di un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas, in quantità tale da richiedere provvedimenti particolari.</p>

Tab.2. – Classificazione in zone

Se più zone di diversa classificazione sono fra loro vicine e si sovrappongono, allo spazio delimitato dalle zone sovrapposte dovrà essere assegnata la classificazione più severa. (si assegnerà la medesima classificazione se le zone di sovrapposizione hanno la stessa classificazione).

Estensione della zona - La zona si estende (per valutarne l'estensione potrebbe rendersi necessario l'intervento di un esperto) fin dove è presente l'atmosfera esplosiva prima che si diluisca ad un livello di concentrazione in aria al di sotto del limite inferiore di esplodibilità applicando un adeguato fattore di sicurezza. In generale si può dire che un gas più pesante dell'aria tende a ristagnare al di sotto del livello del suolo (es. fosse o depressioni) e che un gas più leggero dell'aria può viceversa concentrarsi negli strati più alti (es. sotto il soffitto).

Nella pratica, un gas o vapore si considera più leggero dell'aria se presenta una densità relativa inferiore a 0,8, più pesante con densità superiore a 1,2 (per valori compresi tra 0,8 e 1,2 dovranno essere valutate entrambe le possibilità).

La zona al livello del suolo sarà tanto più estesa in orizzontale quanto più alta sarà la densità relativa mentre l'estensione verticale sopra la sorgente aumenterà al diminuire della densità relativa.

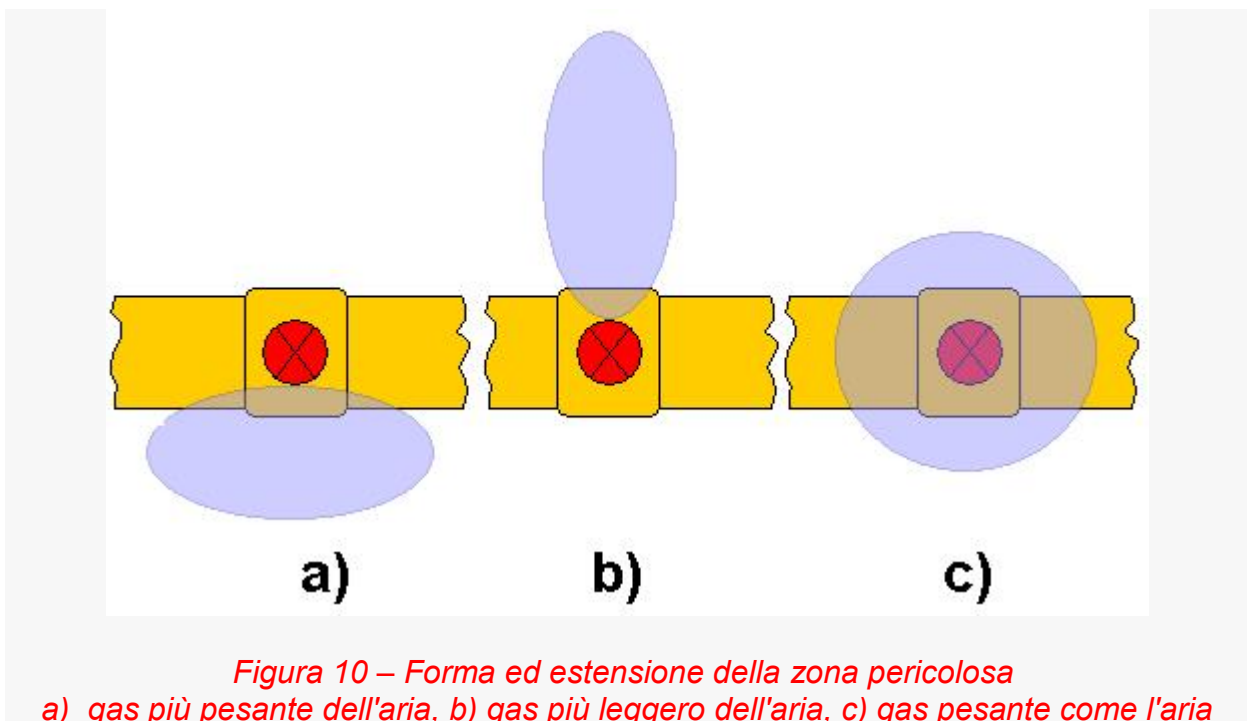


Figura 10 – Forma ed estensione della zona pericolosa

a) gas più pesante dell'aria, b) gas più leggero dell'aria, c) gas pesante come l'aria