



INDUSTRIA ACQUA SIRACUSANA S.p.A
Stabilimento di Priolo Gargallo – (Siracusa)

Progetto:

“CLASSIFICAZIONE ATEX BOX BOMBOLE & NUOVO LINEA METANO”

RELAZIONE DI CALCOLO

IAS-15922-RCL-N-001

Oggetto:

**CLASSIFICAZIONE DEI LUOGHI CON PERICOLO
D'ESPLOSIONE PER LA PRESENZA DI GAS, VAPORI E
NEBBIE INFIAMMABILI In conformità alla Norma
CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)**



ATEX

11/03/2022	1	FINALE	MSC	DLA	MPL
04/03/2022	0	PER VALIDAZIONE	MSC	DLA	MPL
DATA	REV.	EMISSIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

Sommario

1.0	Dati Ambientali Box Bombole	3
2.0	Box Bombole SE 01: Gruppo Riduzione.....	7
3.0	Dati Ambientali Linea Metano	19
4.0	Linea Metano SE 02: VALVOLA A SFERA	20
5.0	Linea Metano SE 03: Accoppiamenti Flangiati	32
6.0	Linea Metano SE 04: Valvola PRCV-01	44
7.0	Linea Metano SE 05: Sfiato PSV-01	56
8.0	Cabina Metano SE 06: Sfiato Cabina 1,5bar	68
9.0	Cabina Metano SE 07: Sfiato Cabina 7,5bar	80
10.0	Dati Ambientali Cabina Riduzione Metano	92
11.0	Cabina Metano SE 08: Organo intercettaz.75bar	98
12.0	Cabina Metano SE 09: Locale Caldaia	110

1.0 Dati Ambientali Box Bombole

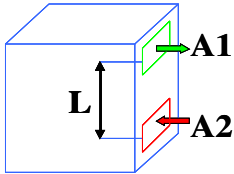
Ventilazione naturale per effetto della spinta del vento, per effetto camino, per infiltrazioni e ventilazione artificiale generale (VAG) in ambiente chiuso.

Nell'ambiente considerato è presente un'apertura verso l'esterno che assicura la ventilazione naturale.

Le caratteristiche dell'ambiente sono le seguenti:

DATI AMBIENTALI	
Nome Progetto	Box Bombole IAS
Nome ambiente	Box Bombole
Tipo di ambiente	Chiuso
Tipo di ventilazione	Naturale
Fattore di efficacia dell'ambiente, f_a	1
Temperatura ambiente, T_a	40 °C
Pressione atmosferica, p_a	101050 Pa
Disponibilità della ventilazione	Adeguate
Volume libero dell'ambiente, V_a	$1,65 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 2,3 \text{ m} = 4,554 \text{ m}^3$

Le caratteristiche dell'apertura sono le seguenti:

APERTURE DI VENTILAZIONE	DUE APERTURE
Area A_1 [m ²]: 1	
Area A_2 [m ²]: 1	
Area A_3 [m ²]: -	
Area A_4 [m ²]: -	
Δ_{cp} : 0,1	
u_w [m/s]: 0,25	

VELOCITÀ DELL'ARIA

Velocità dell'aria primaria, u_w	0,003294 [m/s]
------------------------------------	----------------

commessa UTIP srl : IAS-15922 rev.1

Il presente elaborato non potrà essere modificato e/o comunicato a terzi senza la preventiva autorizzazione scritta della Utip S.r.l.

Velocità dell'aria residua, u_w

0,003294 [m/s]

Ventilazione naturale per effetto della spinta del vento

La portata di ventilazione naturale Q_{aw} dovuta alla spinta del vento in ambienti chiusi con aperture di ventilazione in alto A_1 e in basso A_2 poste su un solo lato, schermato, non schermato o solo parzialmente schermato è stata stimata attraverso la seguente formula della Guida CEI 31-35:

$$Q_{aw} = 0,025 \cdot (A_1 + A_2) \cdot u_w \quad [\text{f.GC.3.2-2}]$$

Ventilazione naturale per effetto camino

Se esistono differenze di temperature tra ambiente chiuso e luogo aperto, si generano differenze di densità dell'aria (che determinano moti dell'aria più pesante verso il basso e dell'aria più leggera verso l'alto), al centro esiste un livello neutro. In questi casi un'apertura si intende in alto quando si trova al di sopra del livello neutro, si intende in basso quando si trova al di sotto di detto livello. Per stabilire l'altezza del livello neutro in modo puntuale occorre rifarsi alla letteratura specialistica; tuttavia, la guida CEI 31-35 indicativamente considera che, in presenza di aperture poste in alto ed in basso di uguali dimensioni, il livello neutro si trova sulla mezzeria dell'altezza dell'ambiente chiuso e che, in presenza di aperture poste in alto e in basso di diverse dimensioni, il livello neutro si sposta, in proporzione al rapporto tra le aree delle aperture in alto e di quelle in basso, verso l'area maggiore.

Per la valutazione della portata di ventilazione per effetto camino Q_{at} , le aperture possono trovarsi su uno qualunque dei lati dell'ambiente, anche sul pavimento o sul soffitto.

La portata di ventilazione naturale dovuta all'effetto camino in ambienti chiusi con aperture di ventilazione in alto (A_1) e in basso (A_2) è calcolata con la seguente relazione:

$$Q_{at} = c_s \cdot (A_1 + A_2) \cdot \left\{ \frac{\frac{A_1}{A_2} \cdot 2^{0,5}}{\left[1 + \frac{A_1}{A_2} \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]^{0,5}} \right\} \left(\frac{(T_i - T_e) \cdot g \cdot L}{T_{ie}} \right)^{0,5} \quad [\text{f.GC.3.3-2}]$$

Ventilazione naturale per infiltrazioni

La portata d'aria di ventilazione Q_{ai} [m³/h] per infiltrazioni naturali in ambienti chiusi è calcolata con la formula [f.G.C.4-1] della guida CEI 31-35 attraverso la seguente relazione:

$$Q_{ai} = A \cdot k \quad [f.G.C.4-1]$$

dove:

A [cm²] è l'area totale effettiva di perdita: (calcolata con la [f.G.C.4.1-1])

$$A = \sum_{j=1}^{n_i} (c_j \cdot a_j) + (c_{k_1} + c_{k_2}) \cdot l + \sum_{j=1}^{n_c} c_j \quad [f.G.C.4.1-1]^1$$

k = coefficiente calcolato in base alla differenza di temperatura tra interno ed esterno e alla spinta del vento calcolato con la [f.G.C.4.2-2]

$$k = \sqrt{q_{aiT} + q_{aiw}} \quad [f.G.C.4.1-1]^2$$

$$q_{aiT} = \Delta T \cdot a \quad [f.G.C.4.1-2]$$

a è un coefficiente il cui valore dipende dal numero di piani dell'edificio considerato (Tabella G.C.4.2-1. della V1 alla guida CEI 31-35 quarta edizione).

c_j = coefficiente di perdita superficiale per gli infissi (porte e finestre) presenti [cm²/m²] e per gli n_c tubi/cavedi presenti [cm²/n° elementi];

c_{k_1} = coefficiente di perdita lineare fondamenta - mura [cm²/m];

c_{k_2} = coefficiente di perdita lineare soffitto - mura [cm²/m];

l = perimetro dell'edificio [m];

a_j = area del j-esimo infisso [m²].

DATI GENERALI DELL'EDIFICIO

¹ Valori indicativi dei coefficienti di perdita lineare c_{k_1} e c_{k_2} e di perdita superficiale c_j sono riportati nella Tabella G.C.4.1-1. della V1 alla guida CEI 31-3

² Per le infiltrazioni il termine q_{aiw} è stato trascurato rispetto a q_{aiT} .

n° Piani:	Coefficiente a [$\text{m}^6 \text{h}^{-2} \text{cm}^{-4} \text{K}^{-1}$]:	ΔT [K]:
Superficie [m^2]:	Perimetro l [m]:	h [m]:

VENTILAZIONE NATURALE

Portata di aria per effetto camino, Q_{at}	- [m^3/s]
Portata di aria dovuta alla spinta del vento, Q_{aw}	0,0125 [m^3/s]
Portata di aria dovuta alle infiltrazioni, Q_{ai}	- [m^3/s]
Portata di aria di ventilazione, Q_a	0,0125 [m^3/s]
L^3 [m]:	- [m]
T_e^4 [K]:	273,15 [K]
T_i^5 [K]:	273,15 [K]
T_{ie} [K] media tra T_i e T_e :	273,15 [K]
Accelerazione di gravità, g	9,81 [m/s^2]
Coefficiente di scarico di un'apertura, C_s	0,75

Come indicato dalla Guida CEI 31-35 si assume come portata di ventilazione la maggiore tra Q_{at} , Q_{aw} e Q_{ai} .

³ Distanza verticale tra la mezzeria delle aperture di ventilazione poste in alto e quelle poste in basso.

⁴ Temperatura media dell'aria all'esterno dell'ambiente considerato.

⁵ Temperatura media dell'aria all'interno dell'ambiente considerato al livello neutro

2.0 Box Bombole SE 01: Gruppo Riduzione

Nome Progetto	Box Bombole IAS
Nome Ambiente	Box Bombole
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 01: Gruppo Riduzione
Posizione della Sorgente di Emissione	IAS
Nome sostanza	Idrogeno
Pressione Atmosferica pa	101050 Pa
Temperatura ambiente, Ta	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 192000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,41 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 350,06 \text{ [m/s]} - \text{[f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 1209 \text{ m/s} - \text{[f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit} = \rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 7,17 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,34 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,00832 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,078 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,1 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	14101050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	1
Temperatura della sostanza pericolosa, T	303,15 K
Portata di emissione principale, W_g	0,000649 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0,000649 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Idrogeno
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	2,02 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4 % vol. (0,04 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	500 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,07
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Box bombole H_2
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	1
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,208 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	0,208 m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet	
Concentrazione critica, X_{crit} .	0,01 vol./vol. uguale al 25 % del LFL	
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b .	1,33 vol./vol.	
Tempo di emissione, t_e	- s	
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Non essendo verificata, il grado della diluizione è Bassa e la Zona si estende a tutto il volume dell'Ambiente	
Grado di diluizione	Bassa	
Tipo di Zona	Zona 1	
Tipo di apparecchiatura:	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IICT1	
Estensione della zona pericolosa, d_z -Jet	0,93 m	$a = k_z \cdot d_z = 1,2183E+93$ m
Estensione della zona pericolosa, d_z - Diffusive	1,95 m	$a = k_z \cdot d_z = 2,5545E+93$ m
Estensione della zona pericolosa, d_z - Heavy gas	- m	$a = k_z \cdot d_z = - m$

Stima estensione della zona pericolosa d_z [m]

L'estensione della zona pericolosa dipende dalla portata di emissione diversi altri fattori come le proprietà chimico fisiche delle sostanze pericolose, la geometria del punto di emissione e la geometria dell'ambiente circostante. Per definire la estensione della Zona pericolosa d_z è stata utilizzato il grafico D.1 (Figura D.1 - Grafico per la stima pericolose distanze zona) della Norma CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87). Altre forme di calcolo o di valutazione possono essere eseguite sulla base di fonti attendibili, ad esempio, attraverso la fluidodinamica computazionale (CFD).

I Grafici della D.1 sono basati su una concentrazione iniziale pari a zero e non sono applicabili a situazioni interne di bassa diluizione.

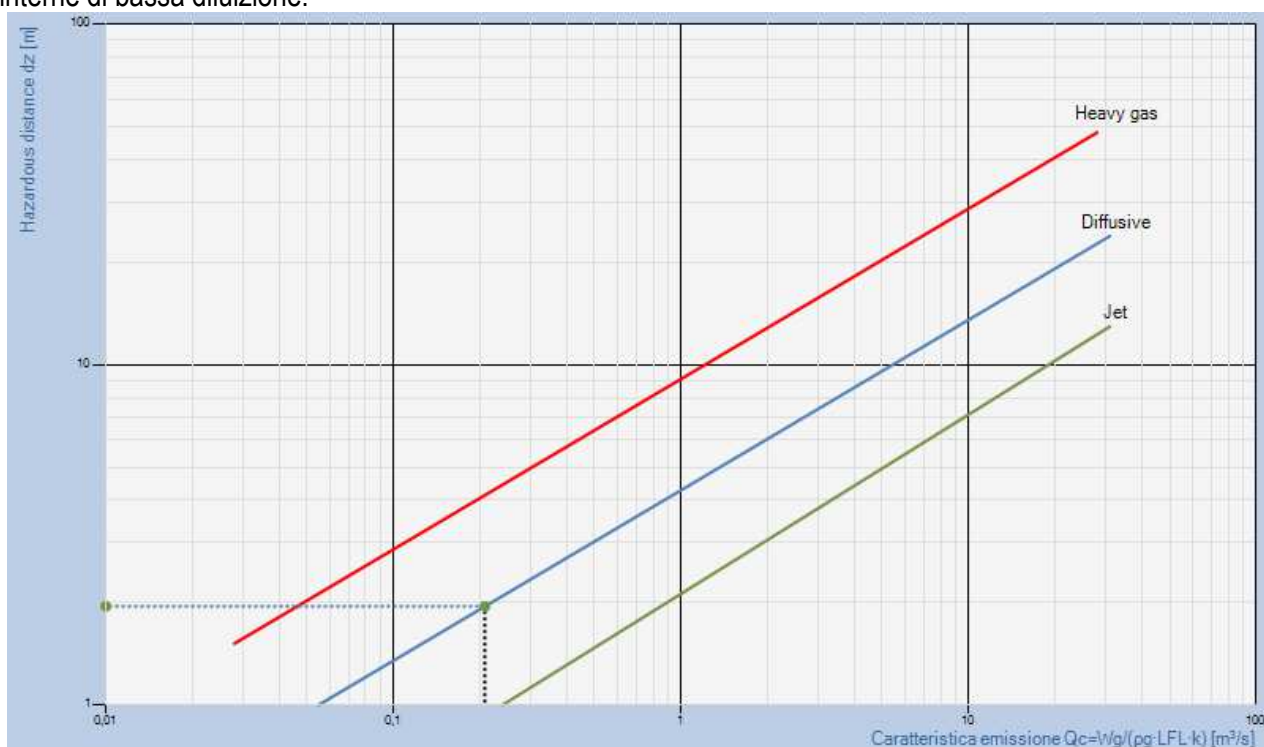


Figura D.1 – Diagramma per la stima delle distanze pericolose

La figura D.1 della CEI EN 60079-10-1 limita *inferiormente* e *superiormente* l'estensione della Zona pericolosa, Inferiormente:

- 1) Jet $d_z \geq 1$ m;
- 2) Diffusive $d_z \geq 1$ m;
- 3) Heavy gas $d_z \geq 1,5$ m.

È responsabilità del classificatore assumere un valore diverso da quelli minimi sopra riportati⁶.

⁶ L'estrapolazione delle curve oltre l'area del grafico mostrata nella **Figura D.1** non dovrebbe essere intrapresa a causa di altri fattori che influenzeranno la valutazione oltre i limiti indicati.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

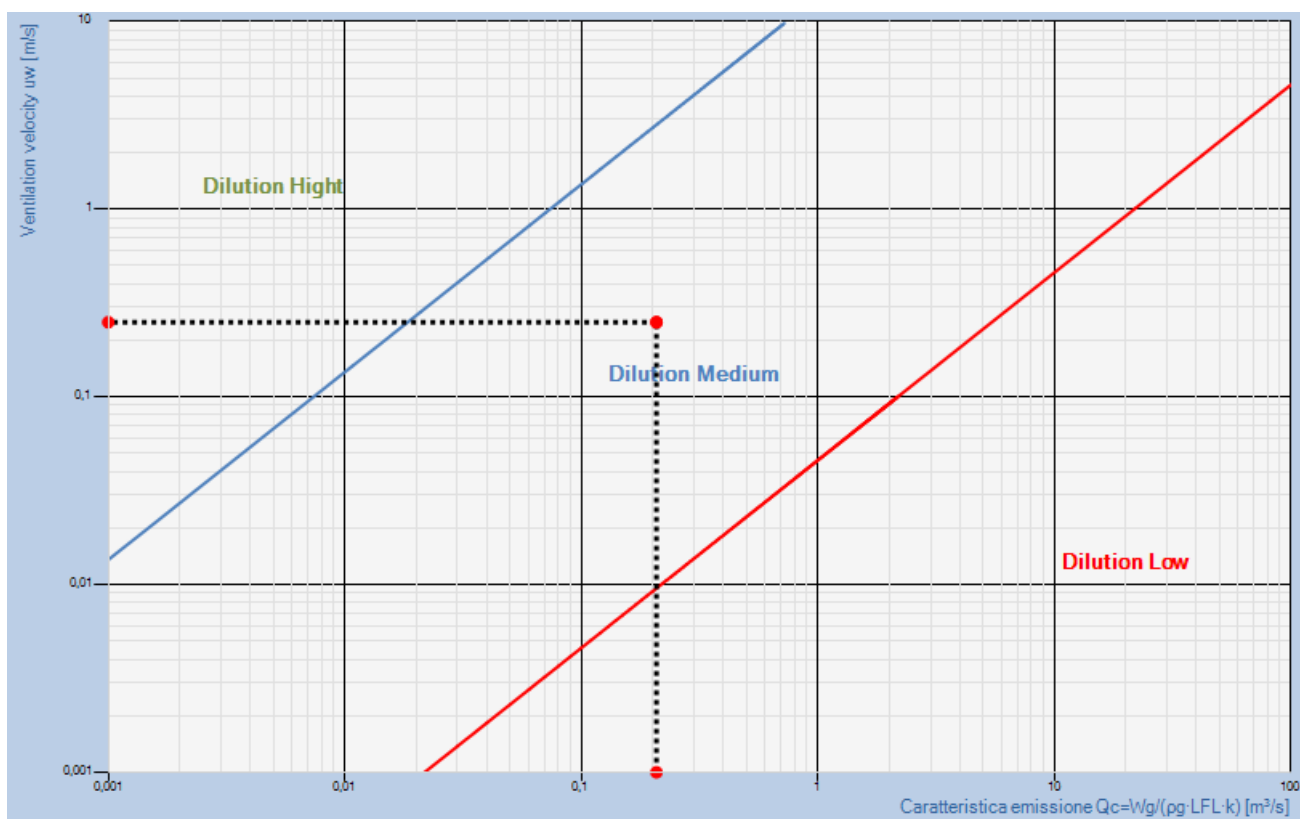


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,231 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,003 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln \left(\frac{X_b}{X_{crit}} \right) = 3.569,60 \text{ s} - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Coefficiente k_z

Il k_z è il coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas o vapore infiammabile nell'ambiente (campo lontano).

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_b}{M \cdot LFL_v}} = 1,31\text{E}+93 [\text{Guida CEI 31-35 3.26}]$$

$k_1 = 13$ per le sostanze con massa molare $M < 5$;

$k_1 = 82$ per gli altri gas o vapori.

Per gli ambienti aperti $k_z = 1$.

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

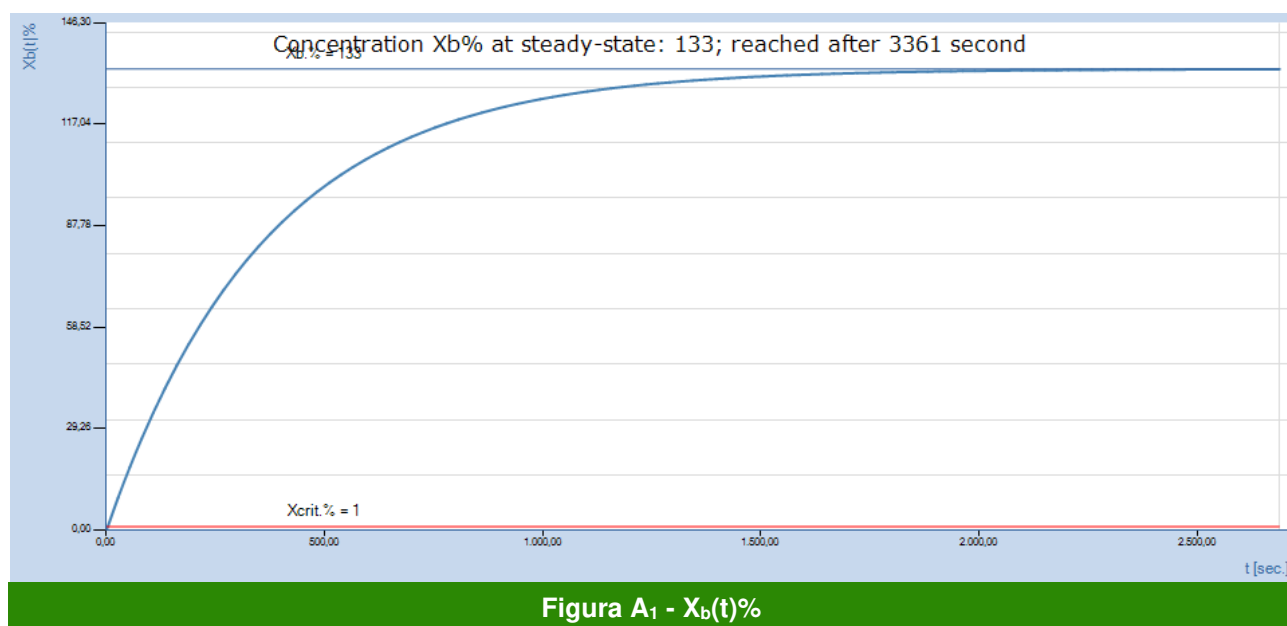
Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

f = è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.



A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s).

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3].

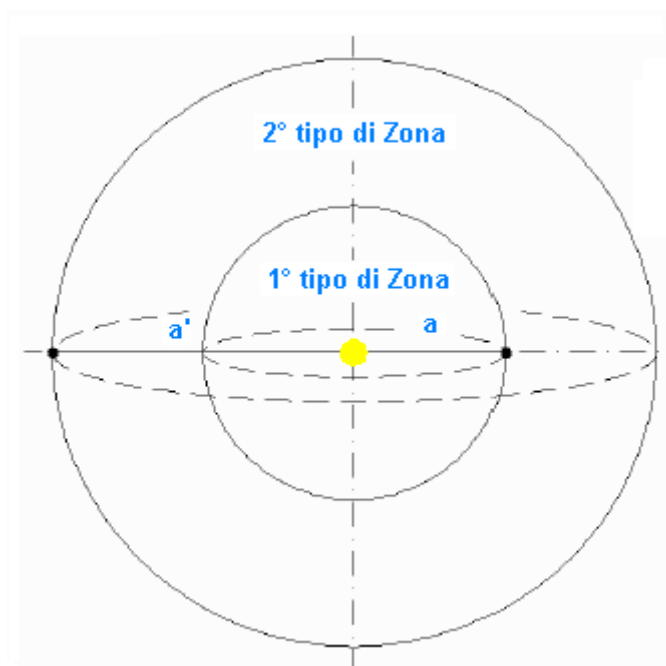


Figura rappresentativa della Zona classificata: -

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa d_z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa " d_z " per il coefficiente riduttivo " R ", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

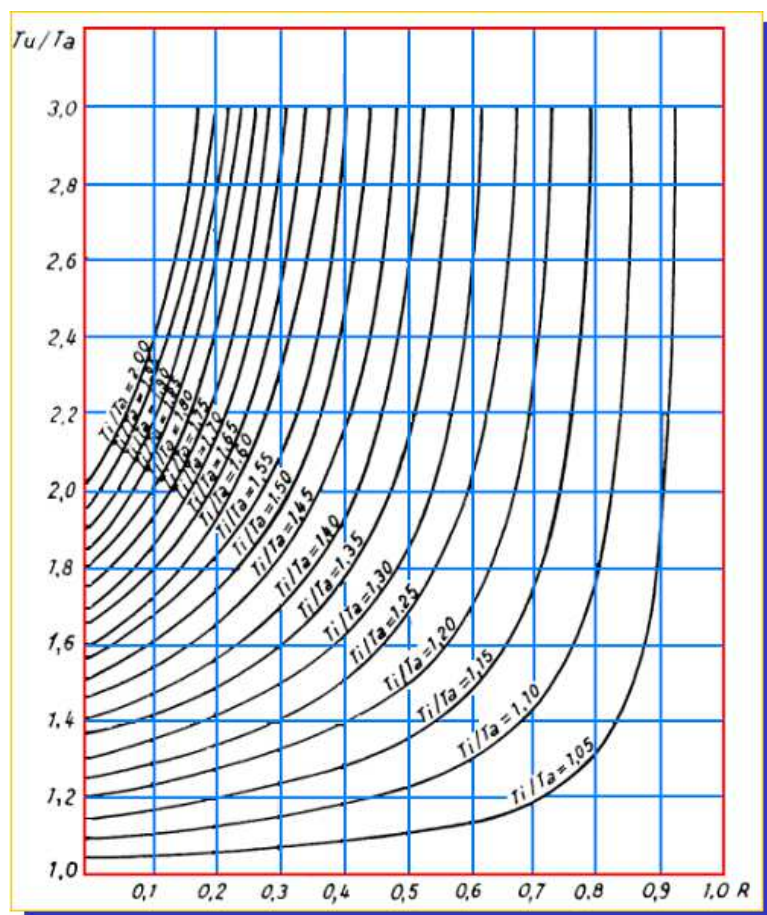


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 181000000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,78 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza d_{zJet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $d_{zDiffusive}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	Box Bombole		
Presenza Lavoratori	Saltuaria	Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Idrogeno	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 01: Gruppo Riduzione		
Ostruzione/Confinamento			

PRIMO TIPO DI ZONA

Zona	Zona 1
d _{za} [m]	0,93
a [m] = k _z ·d _{za}	1,2183E+93
b [m]	-
c [m]	-
Apparecchiatura	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IICT1

Il grado della diluizione è Basso, la Zona si estende per l'intero volume dell'ambiente considerato vedi IEC 60079-10-1 C.3.6.1.

3.0 Dati Ambientali Linea Metano

DATI AMBIENTALI

Nome progetto	LINEA METANO IAS
Nome ambiente	IAS
Outdoor situation	Ambiente privo di ostacoli
Tipo di ambiente	Aperto
Tipo di ventilazione	Naturale
Fattore di efficacia dell'ambiente, f	2
Temperatura ambiente, T_a	40 °C
Pressione atmosferica, p_a	101050 Pa
Velocità dell'aria, u_w	0,5 m/s
Disponibilità della ventilazione	Buona

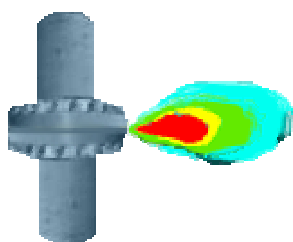
4.0 Linea Metano SE 02: VALVOLA A SFERA

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 02: VALVOLA A SFERA
Posizione della Sorgente di Emissione	Cabina METANO
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020⁷

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

⁷ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}} \quad [\text{B.5 - CEI EN 60079-10-1}]$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 337,42 \text{ [m/s]} - [\text{f.GB.4.1-4}]$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad [\text{B.3 - CEI EN 60079-10-1}]$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 399 \text{ m/s} - [\text{f.GB.4.1-6}]$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit}=\rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 1,11 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,88 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 4,87\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,1 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	251050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,99
Temperatura della sostanza pericolosa, T	303,15 K
Portata di emissione principale, W_g	3,36E-05 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Valvola di Regolazione
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,00183 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Verificata
Grado di diluizione	Alta
Tipo di Zona	Zona 2 NE
Tipo di apparecchiatura:	-
Estensione della zona pericolosa, z	0,09 m $r' = 0$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{Zone})}{(X_{Zone} - X_b)} = 0,09 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,000203 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{Zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{Zone} = k LFL^8$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1⁹.

⁸ Coincide con la $X_{critica}$

⁹ nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

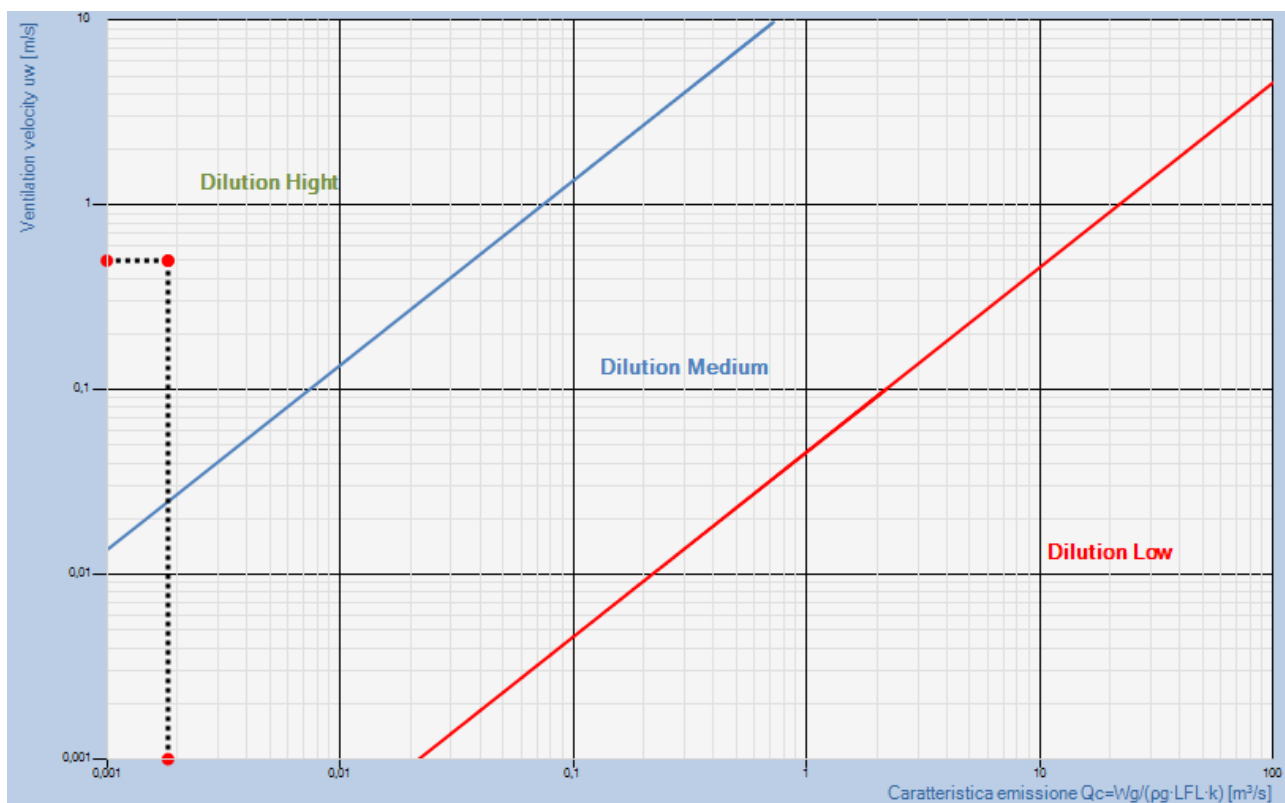


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,00181 \text{ m}^3/\text{s} \text{ - [J.1 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln \left(\frac{X_b}{X_{crit}} \right) = - \text{s} \text{ - [J.2 - CEI EN 60079-10-1]}$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3];

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

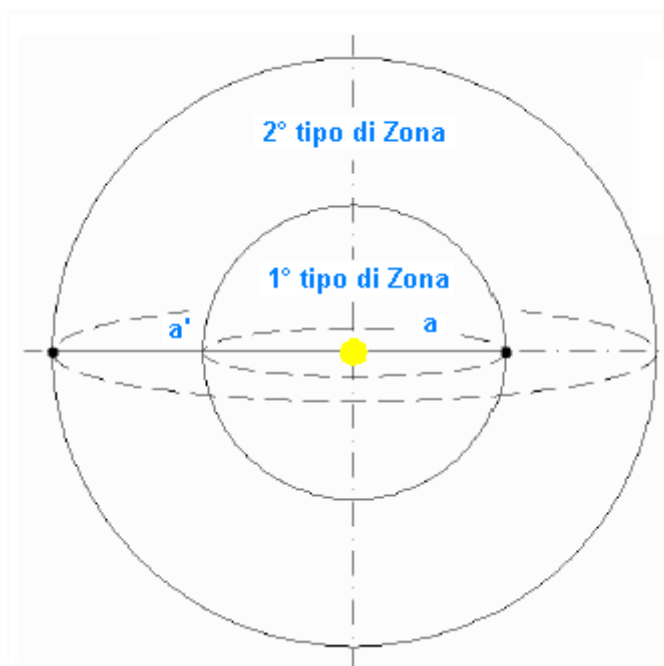


Figura rappresentativa della Zona classificata: Sfera-direzione di emissione non nota

$X_b() \% = 0$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

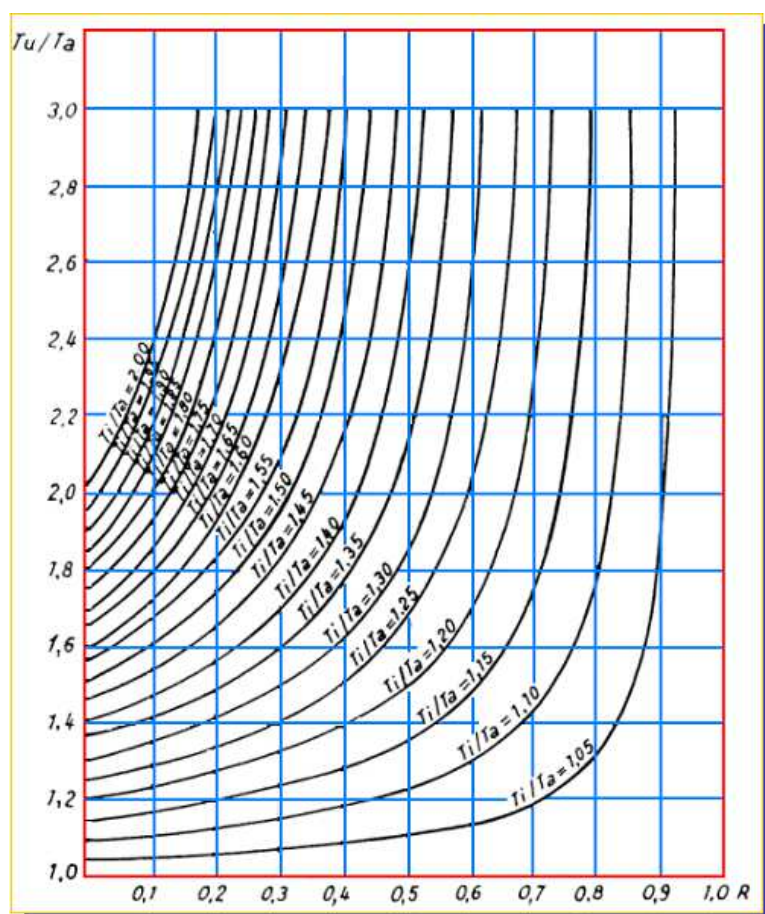


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 173000000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 2,21 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza z_{Jet} non è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{\text{Diffusive}}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 02: VALVOLA A SFERA		
Ostruzione/Confinamento			

PRIMO TIPO DI ZONA

Zona	Zona 2 NE
z [m]	0,09
r' [m]	0
Apparecchiatura	-

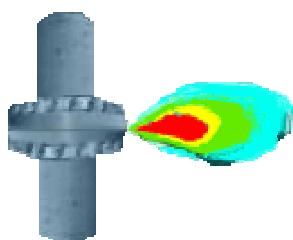
5.0 Linea Metano SE 03: Accoppiamenti Flangiati

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 02: FLANGIA
Posizione della Sorgente di Emissione	Linea Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020¹⁰

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

¹⁰ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}} \quad [\text{B.5 - CEI EN 60079-10-1}]$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 337,42 \text{ [m/s]} - [\text{f.GB.4.1-4}]$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad [\text{B.3 - CEI EN 60079-10-1}]$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 399 \text{ m/s} - [\text{f.GB.4.1-6}]$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit}=\rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 1,11 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,88 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 1,22\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,025 mm²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	251050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,99
Temperatura della sostanza pericolosa, T	303,15 K
Portata di emissione principale, W_g	8,4E-06 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Flangia tipo RF
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,000458 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Verificata
Grado di diluizione	Alta
Tipo di Zona	Zona 2 NE
Tipo di apparecchiatura:	-
Estensione della zona pericolosa, z	0,05 m $r' = 0$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{Zone})}{(X_{Zone} - X_b)} = 0,05 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,000101 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{Zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{Zone} = k LFL^{11}$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1¹².

¹¹ Coincide con la $X_{critica}$

¹² nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

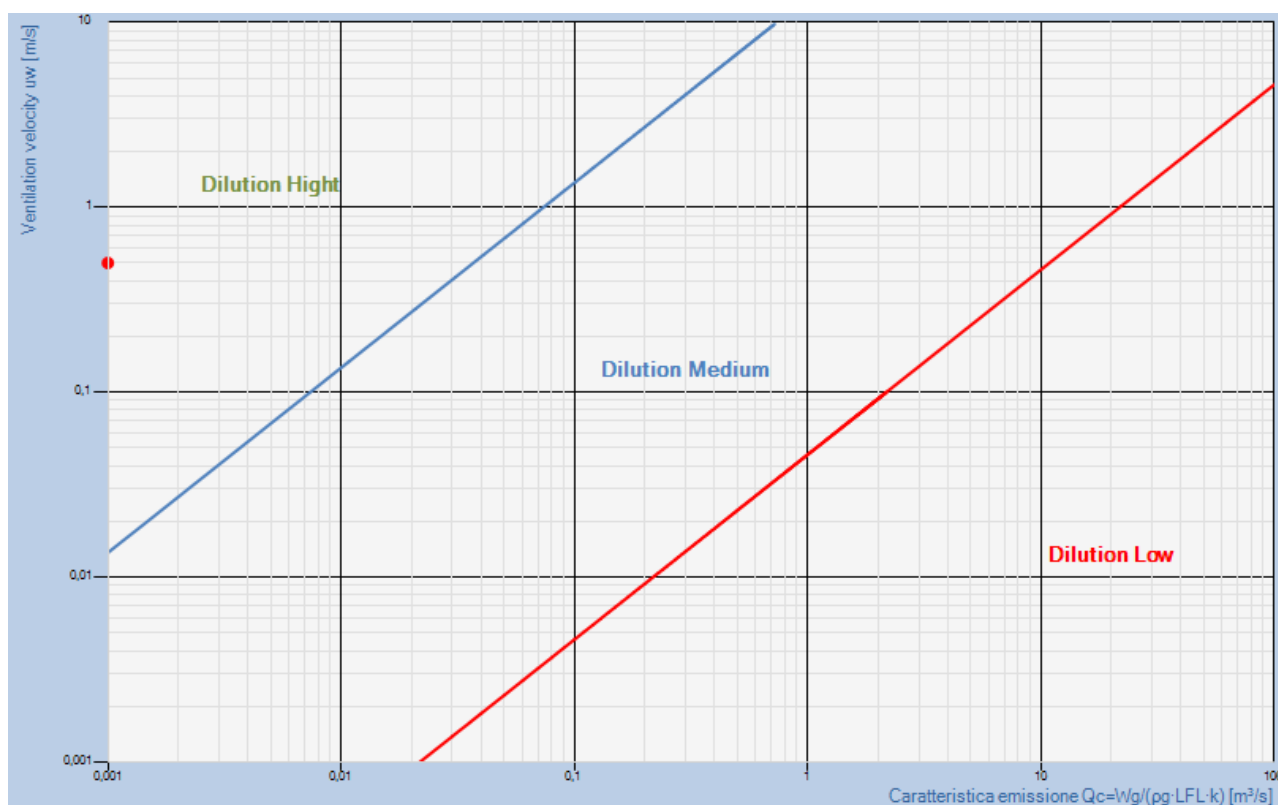


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,000453 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln \left(\frac{X_b}{X_{crit}} \right) = -s - [\text{J.2 - CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3];

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

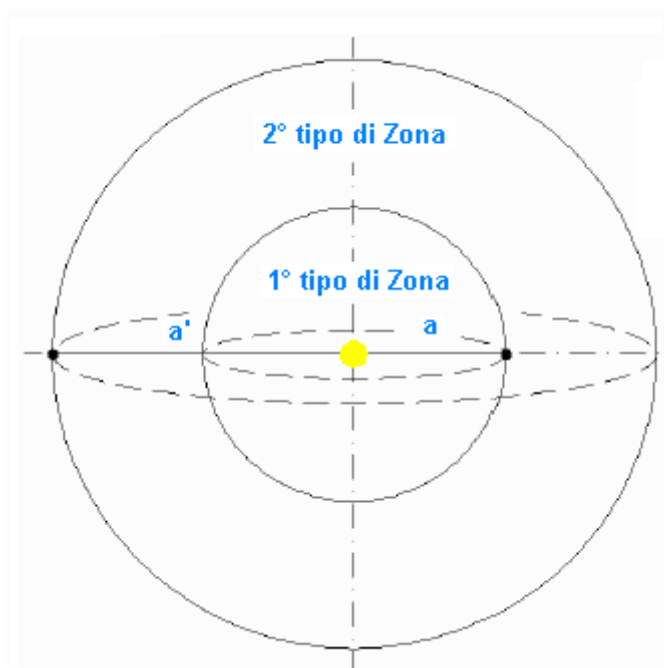


Figura rappresentativa della Zona classificata: -

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

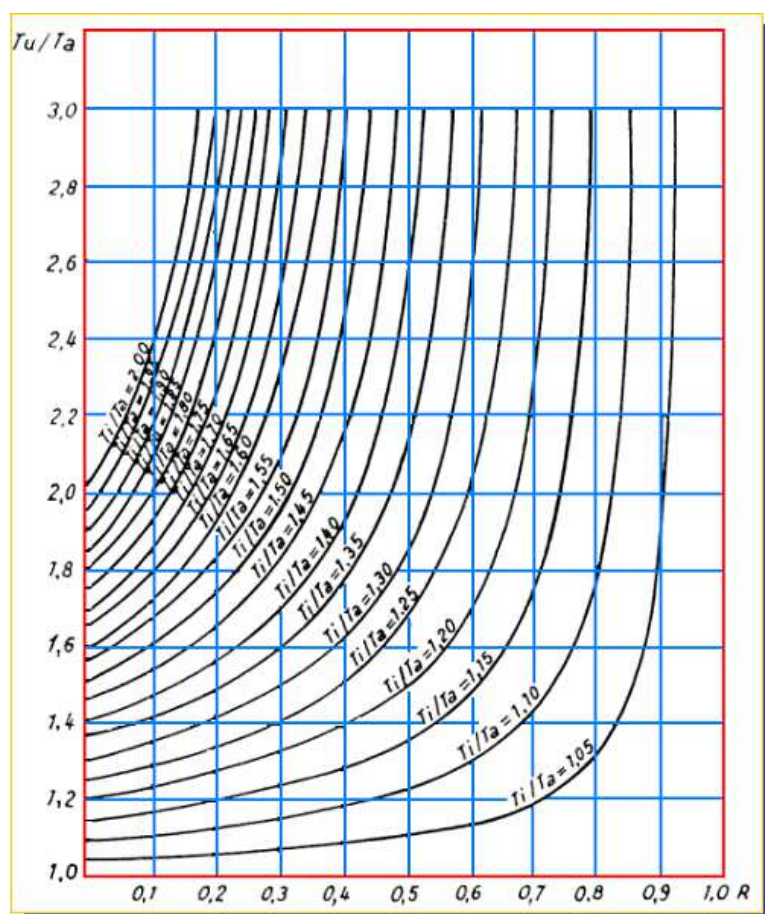


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 346000000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,57 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza z_{Jet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{\text{Diffusive}}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 02: FLANGIA		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 2 NE		
z [m]	0,05		
r' [m]	0		
Apparecchiatura	-		

6.0 Linea Metano SE 04: Valvola PRCV-01

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 03: Valvola PRCV-01
Posizione della Sorgente di Emissione	Linea Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [B.2 - CEI EN 60079-10-1]$$

¹³ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 337,42 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 399 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit}=\rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 1,11 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,88 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,000122 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,25 mm²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	251050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,99
Temperatura della sostanza pericolosa, T	303,15 K
Portata di emissione principale, W_g	8,4E-05 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Valvola Regolazione o di Blocca
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,00458 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Verificata
Grado di diluizione	Alta
Tipo di Zona	Zona 2 NE
Tipo di apparecchiatura:	-
Estensione della zona pericolosa, z	0,15 m $r' = 0$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

commessa UTIP srl : IAS-15922 rev.1

Il presente elaborato non potrà essere modificato e/o comunicato a terzi senza la preventiva autorizzazione scritta della Utip S.r.l.

Fg. 47 di 121

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{Zone})}{(X_{Zone} - X_b)} = 0,15 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,000321 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{Zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{Zone} = k LFL^{14}$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1¹⁵.

¹⁴ Coincide con la $X_{critica}$

¹⁵ nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

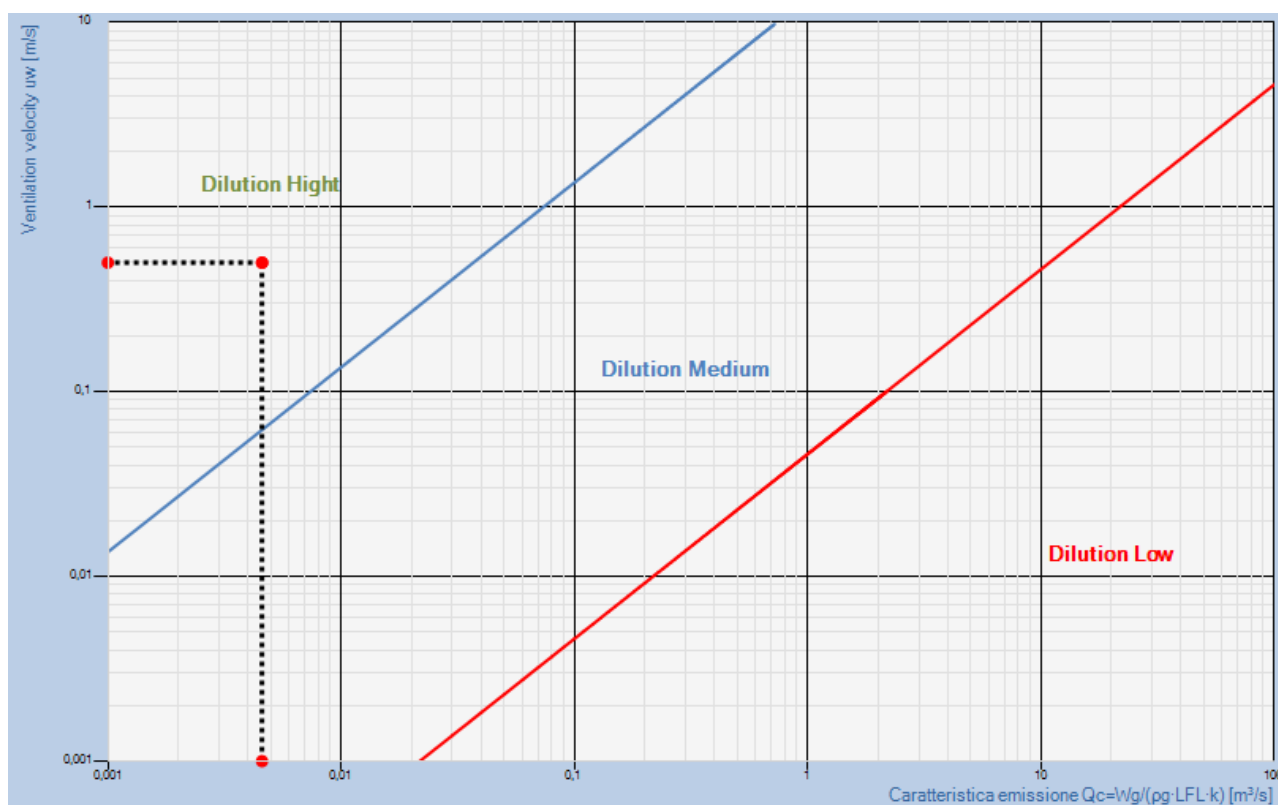


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,00453 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right) = -s - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3];

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

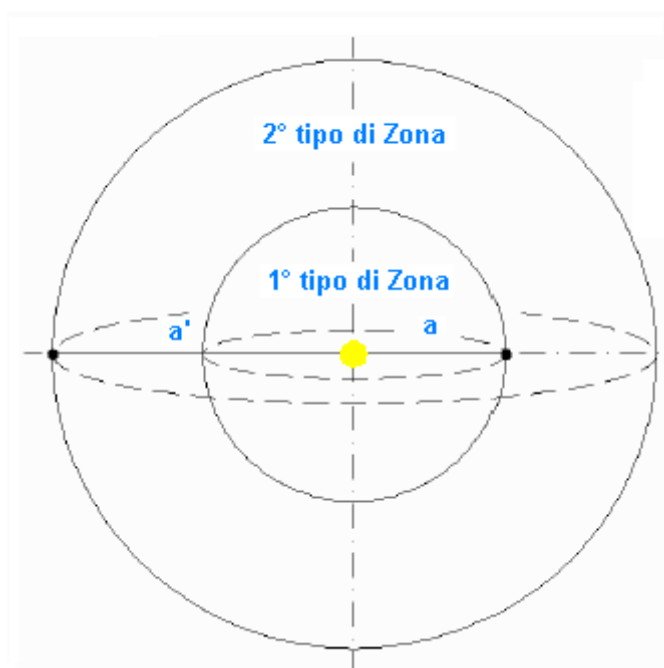


Figura rappresentativa della Zona classificata: -

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

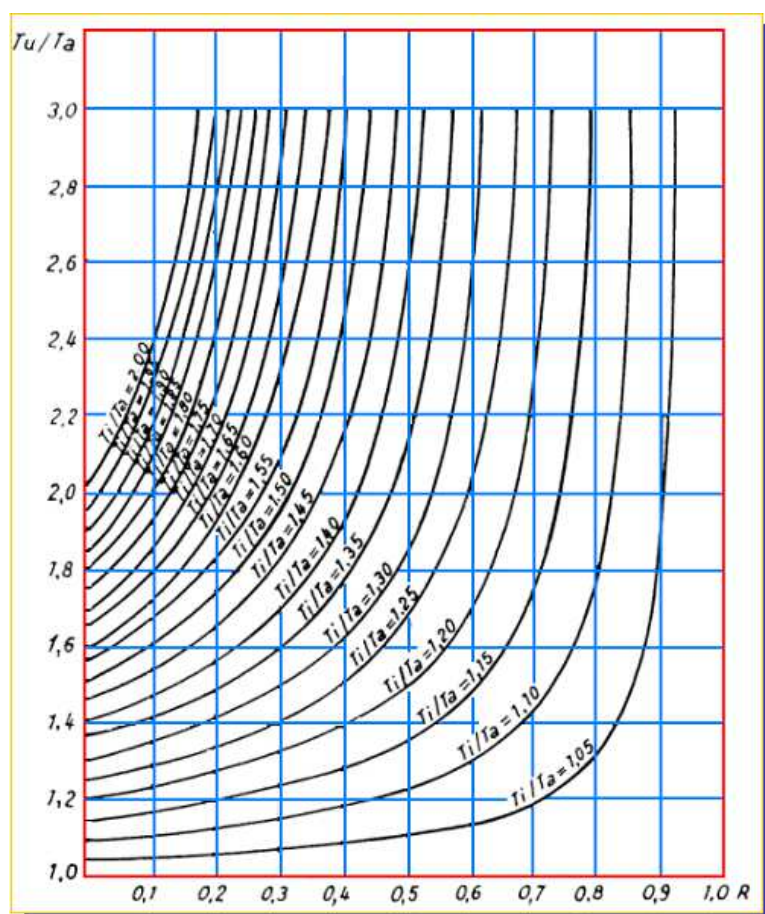


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 109000000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 2,78 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza z_{Jet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{\text{Diffusive}}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 03: Valvola PRCV-01		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 2 NE		
z [m]	0,15		
r' [m]	0		
Apparecchiatura	-		

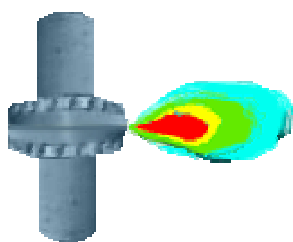
7.0 Linea Metano SE 05: Sfiato PSV-01

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 04: Sfiato PSV-01
Posizione della Sorgente di Emissione	Linea Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020¹⁶

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

¹⁶ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 326,1 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 333 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit}=\rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 0,85 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,85 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,0432 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4 - CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,968
Area del foro di emissione, S	103 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso subsonico φ : 0,984
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	161050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,95
Temperatura della sostanza pericolosa, T	283,15 K
Portata di emissione principale, W_g	0,0298 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Sfiato in ATM
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	1,62 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Verificata
Grado di diluizione	Media
Tipo di Zona	Zona 2
Tipo di apparecchiatura:	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1
Estensione della zona pericolosa, z	2,41 m $r' = 0,1$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

commessa UTIP srl : IAS-15922 rev.1

Il presente elaborato non potrà essere modificato e/o comunicato a terzi senza la preventiva autorizzazione scritta della Utip S.r.l.

Fg. 59 di 121

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{Zone})}{(X_{Zone} - X_b)} = 2,41 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,005271 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{Zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{Zone} = k \text{ LFL}^{17}$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1¹⁸.

¹⁷ Coincide con la $X_{critica}$

¹⁸ nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

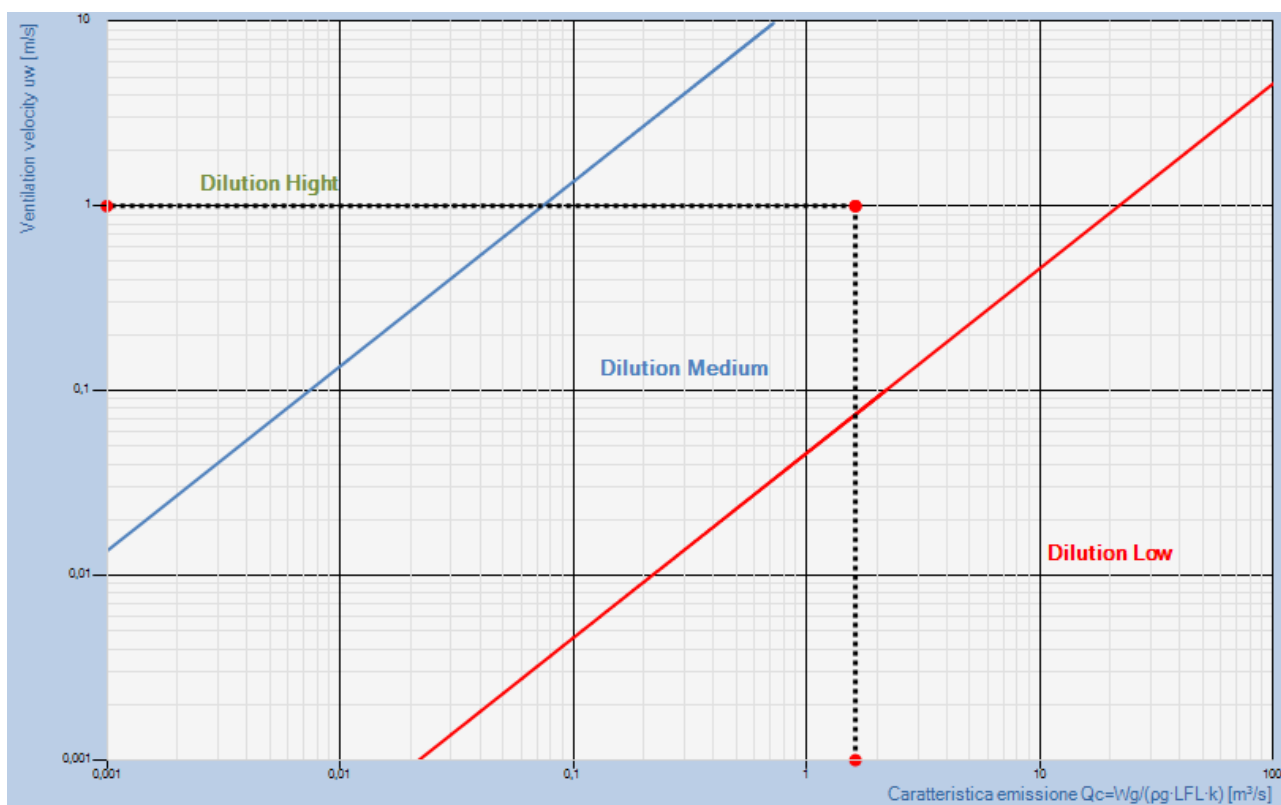


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 1,61 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln \left(\frac{X_b}{X_{crit}} \right) = - \text{s} - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m³/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m³];

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

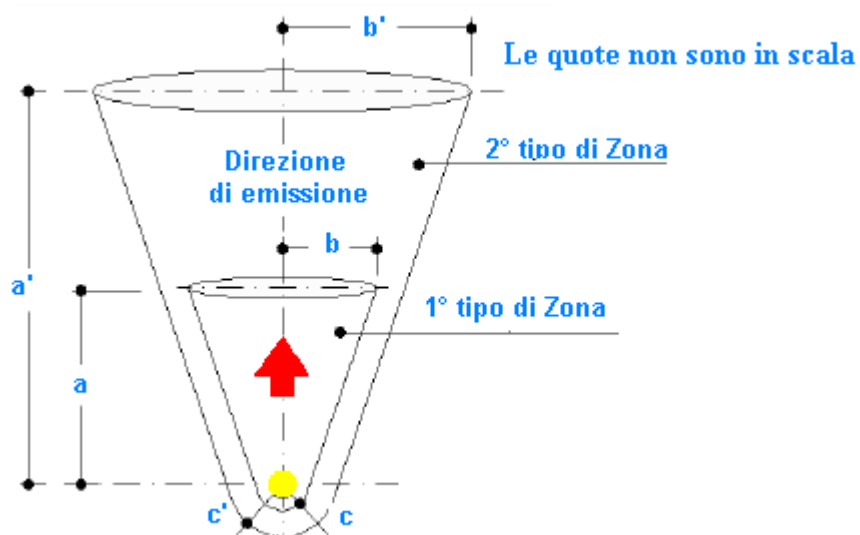


Figura rappresentativa della Zona classificata: Cono-direzione di emissione nota

$X_b(t)\% = 0$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

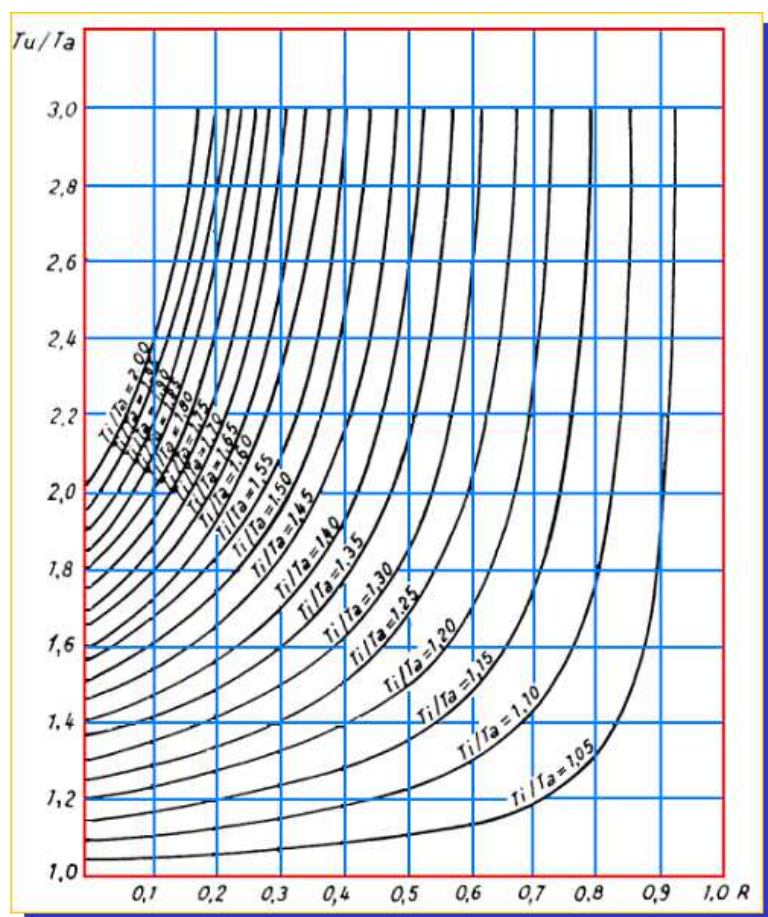


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 3960000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 10,79 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza z_{Jet} non è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{\text{Diffusive}}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 04: Sfiato PSV-01		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 0 NE		
z [m]	0,05		
r' [m]	0		
Apparecchiatura	-		
SECONDO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 1 NE		
z [m]	0,06		
r' [m]	0		
Apparecchiatura	-		
TERZO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 2		
z [m]	2,41		
r' [m]	0,1		
Apparecchiatura	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1		

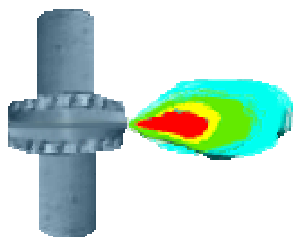
8.0 Cabina Metano SE 06: Sfiato Cabina 1,5bar

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 06: Sfiato Cabina 1,5bar
Posizione della Sorgente di Emissione	Cabina Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica pa	101050 Pa
Temperatura ambiente, Ta	40 °C

Portata di emissione Wg [kg/s]

Calcolo della portata di emissione Wg [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE WG NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020¹⁹

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

¹⁹ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 326,1 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 378 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit} = \rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 1,19 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,95 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,00549 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,8
Area del foro di emissione, S	10 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	251050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,95
Temperatura della sostanza pericolosa, T	283,15 K
Portata di emissione principale, W_g	0,00379 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, Tacc	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Sfiato Valvola sicurezza 1.5bar
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Qc	0,207 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Qc	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, Xcrit.	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, Xb.	0 vol./vol.
Tempo di emissione, te	- s
Confronto delle concentrazioni Xb<Xcrit	Verificata
Grado di diluizione	Media
Tipo di Zona	Zona 2
Tipo di apparecchiatura:	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1
Estensione della zona pericolosa, dz -Jet	0,93 m a = kz·dz = 0,93 m
Estensione della zona pericolosa, dz - Diffusive	1,94 m a = kz·dz = 1,94 m
Estensione della zona pericolosa, dz - Heavy gas	- m a = kz·dz = - m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa d_z [m]

L'estensione della zona pericolosa dipende dalla portata di emissione diversi altri fattori come le proprietà chimico fisiche delle sostanze pericolose, la geometria del punto di emissione e la geometria dell'ambiente circostante. Per definire la estensione della Zona pericolosa d_z è stata utilizzato il grafico D.1 (Figura D.1 - Grafico per la stima pericolose distanze zona) della Norma CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87). Altre forme di calcolo o di valutazione possono essere eseguite sulla base di fonti attendibili, ad esempio, attraverso la fluidodinamica computazionale (CFD).

I Grafici della D.1 sono basati su una concentrazione iniziale pari a zero e non sono applicabili a situazioni interne di bassa diluizione.



Figura D.1 – Diagramma per la stima delle distanze pericolose

La figura D.1 della CEI EN 60079-10-1 limita *inferiormente* e *superiormente* l'estensione della Zona pericolosa, Inferiormente:

- 1) Jet $d_z \geq 1$ m;
- 2) Diffusive $d_z \geq 1$ m;
- 3) Heavy gas $d_z \geq 1,5$ m.

È responsabilità del classificatore assumere un valore diverso da quelli minimi sopra riportati²⁰.

²⁰ L'estrapolazione delle curve oltre l'area del grafico mostrata nella **Figura D.1** non dovrebbe essere intrapresa a causa di altri fattori che influenzeranno la valutazione oltre i limiti indicati.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

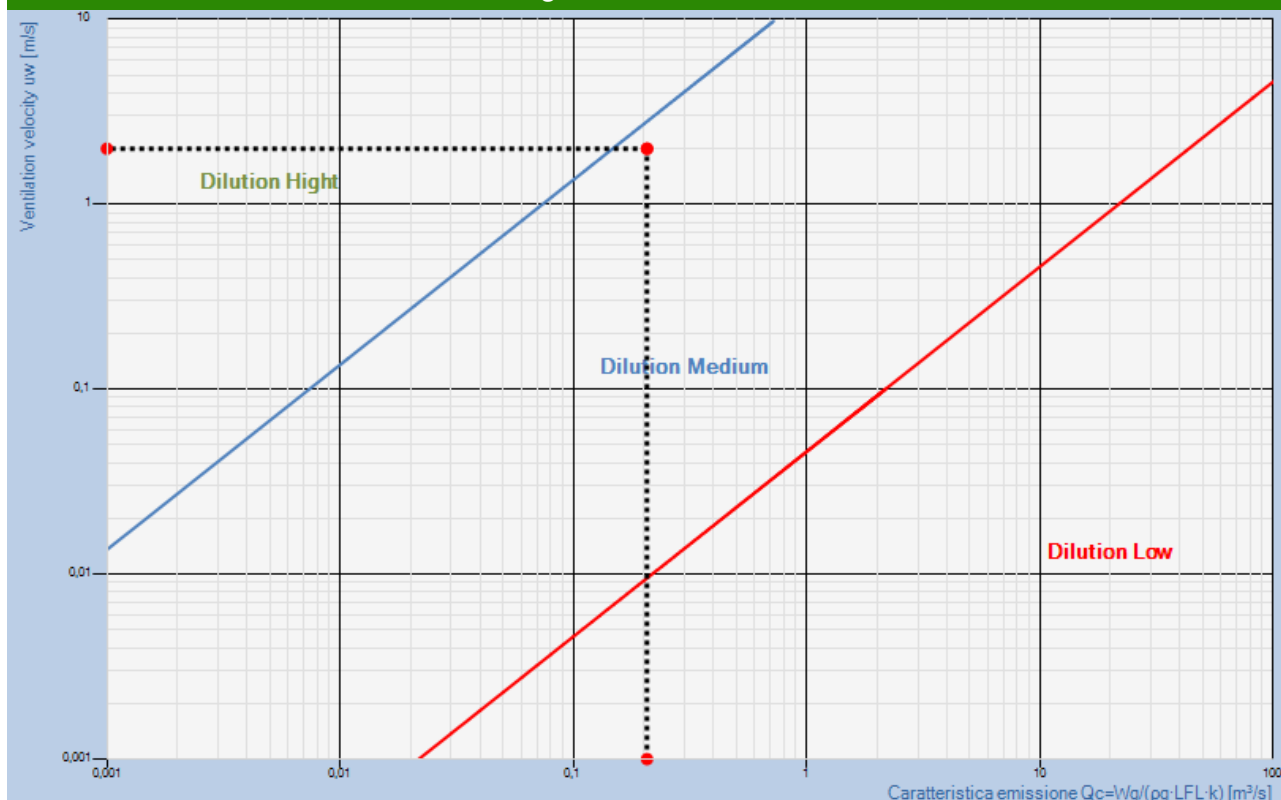


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,205 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right) = - \text{s} - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Coefficiente k_z

Il k_z è il coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas o vapore infiammabile nell'ambiente (campo lontano).

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_b}{M \cdot LFL_v}} = 1 [\text{Guida CEI 31-35 3.26}]$$

$k_1 = 13$ per le sostanze con massa molare $M < 5$;

$k_1 = 82$ per gli altri gas o vapori.

Per gli ambienti aperti $k_z = 1$.

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s).

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3].

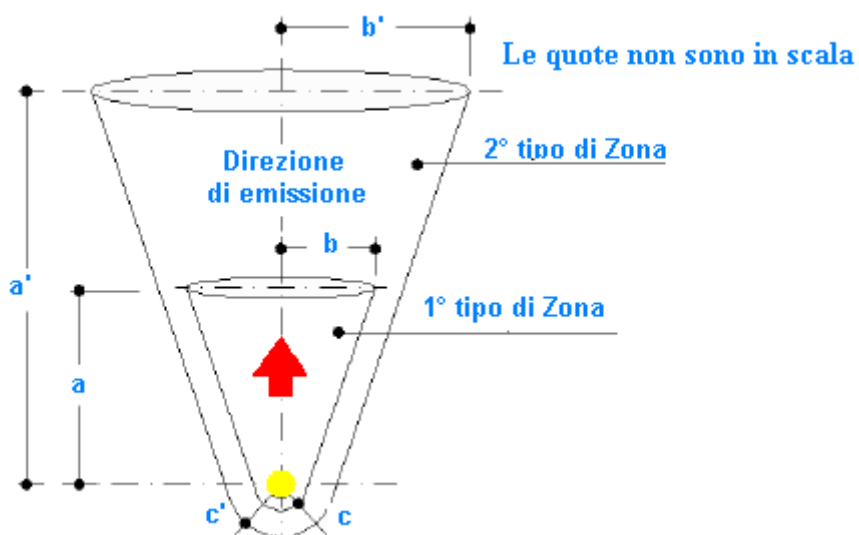


Figura rappresentativa della Zona classificata: Cono-direzione di emissione nota

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa d_z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa " d_z " per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

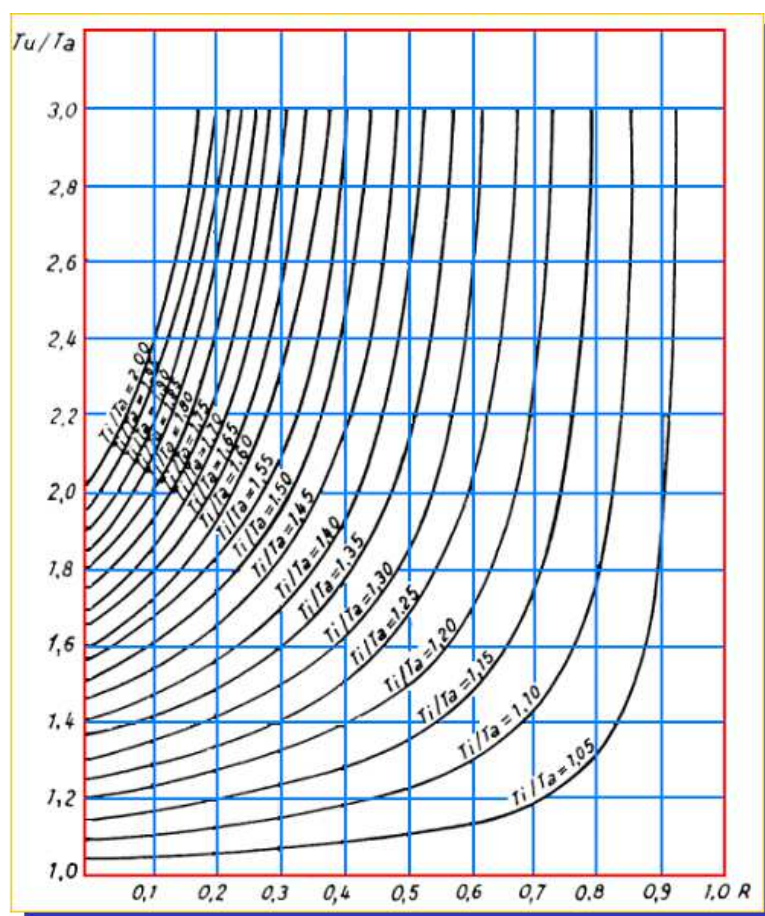


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 32900000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 9,94 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza d_{zJet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $d_{zDiffusive}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 05: Sfiato Cabina 1,5bar		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 2		
d _{za} [m]	0,93		
a [m] = k _z ·d _{za}	0,93		
b [m]	0,37		
c [m]	0,09		
Apparecchiatura	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1		

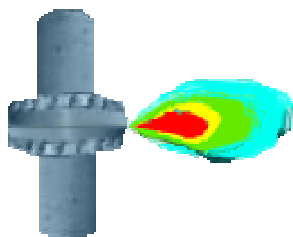
9.0 Cabina Metano SE 07: Sfiato Cabina 7,5bar

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	IAS
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 07: Sfiato cabina 75bar
Posizione della Sorgente di Emissione	Cabina Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020²¹

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

²¹ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}} \text{ [B.3 – CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 326,1 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g [\text{kg/s}] = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.5 – CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 378 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $p_{exit}=p_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 36,05 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, p_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 2,12 \text{ kg/m}^3 \text{ - [f.GB.4.1-7]}$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,167 \text{ m}^3/\text{s} \text{ - [B.4 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, Cd	0,8
Area del foro di emissione, S	10 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	7601050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,95
Temperatura della sostanza pericolosa, T	283,15 K
Portata di emissione principale, W_g	0,115 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Sfiato Valvola Sicurezza 75bar
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	6,27 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	- m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	0 vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit.}$	Verificata
Grado di diluizione	Media
Tipo di Zona	Zona 2
Tipo di apparecchiatura:	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1
Estensione della zona pericolosa, d_z - Jet	5,59 m $a = k_z \cdot d_z = 5,59$ m
Estensione della zona pericolosa, d_z - Diffusive	10,74 m $a = k_z \cdot d_z = 10,74$ m
Estensione della zona pericolosa, d_z - Heavy gas	- m $a = k_z \cdot d_z = -$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa d_z [m]

L'estensione della zona pericolosa dipende dalla portata di emissione diversi altri fattori come le proprietà chimico fisiche delle sostanze pericolose, la geometria del punto di emissione e la geometria dell'ambiente circostante. Per definire la estensione della Zona pericolosa d_z è stata utilizzato il grafico D.1 (Figura D.1 - Grafico per la stima pericolose distanze zona) della Norma CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87). Altre forme di calcolo o di valutazione possono essere eseguite sulla base di fonti attendibili, ad esempio, attraverso la fluidodinamica computazionale (CFD).

I Grafici della D.1 sono basati su una concentrazione iniziale pari a zero e non sono applicabili a situazioni interne di bassa diluizione.



Figura D.1 – Diagramma per la stima delle distanze pericolose

La figura D.1 della CEI EN 60079-10-1 limita *inferiormente* e *superiormente* l'estensione della Zona pericolosa, Inferiormente:

- 1) Jet $d_z \geq 1$ m;
- 2) Diffusive $d_z \geq 1$ m;
- 3) Heavy gas $d_z \geq 1,5$ m.

È responsabilità del classificatore assumere un valore diverso da quelli minimi sopra riportati²².

²² L'estrapolazione delle curve oltre l'area del grafico mostrata nella **Figura D.1** non dovrebbe essere intrapresa a causa di altri fattori che influenzeranno la valutazione oltre i limiti indicati.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

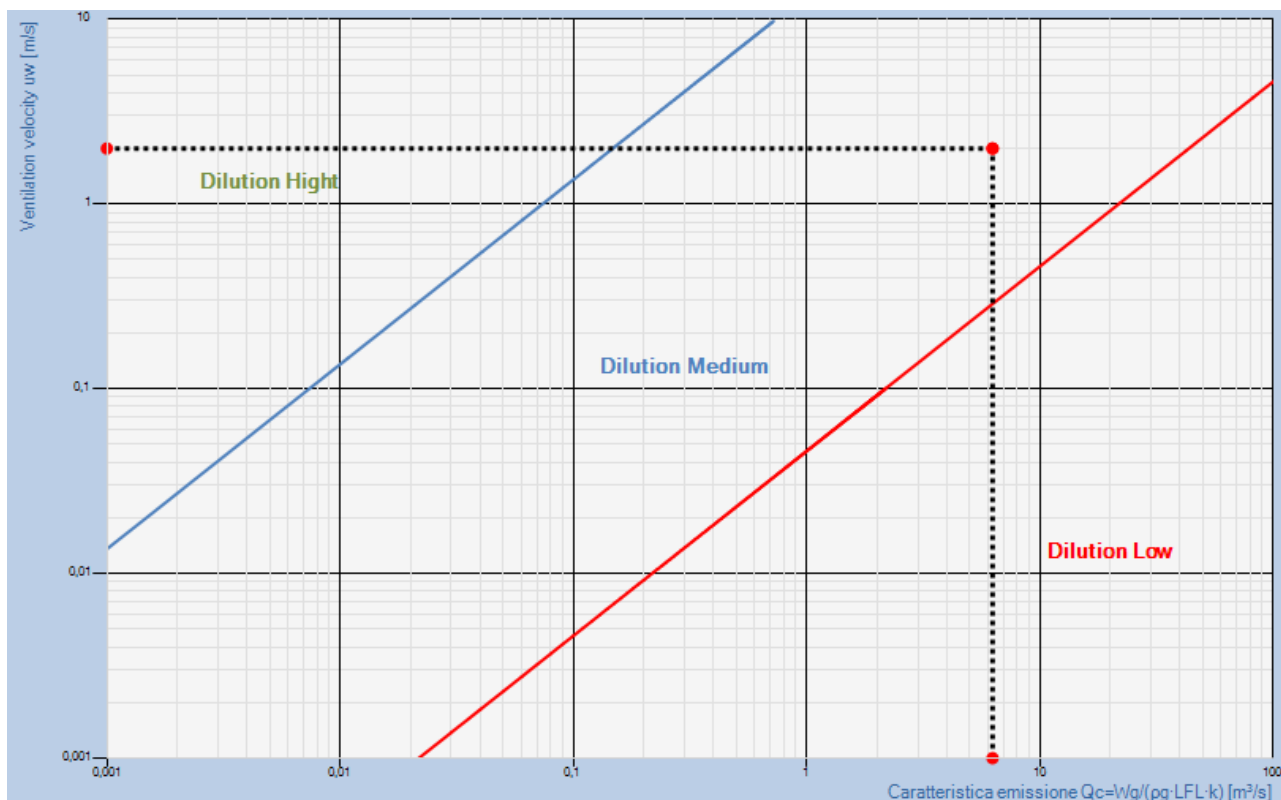


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 6,21 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right) = -s - [\text{J.2 - CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Coefficiente k_z

Il k_z è il coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas o vapore infiammabile nell'ambiente (campo lontano).

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_b}{M \cdot LFL_v}} = 1 [\text{Guida CEI 31-35 3.26}]$$

$k_1 = 13$ per le sostanze con massa molare $M < 5$;

$k_1 = 82$ per gli altri gas o vapori.

Per gli ambienti aperti $k_z = 1$.

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

f = è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

N o n a p p l i c a b i l e

Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s).

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3].

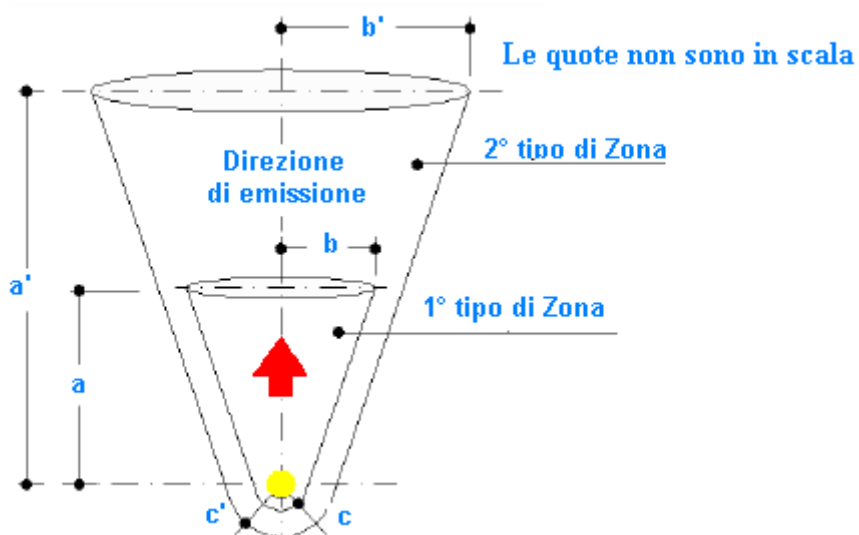


Figura rappresentativa della Zona classificata: Cono-direzione di emissione nota

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa d_z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa " d_z " per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

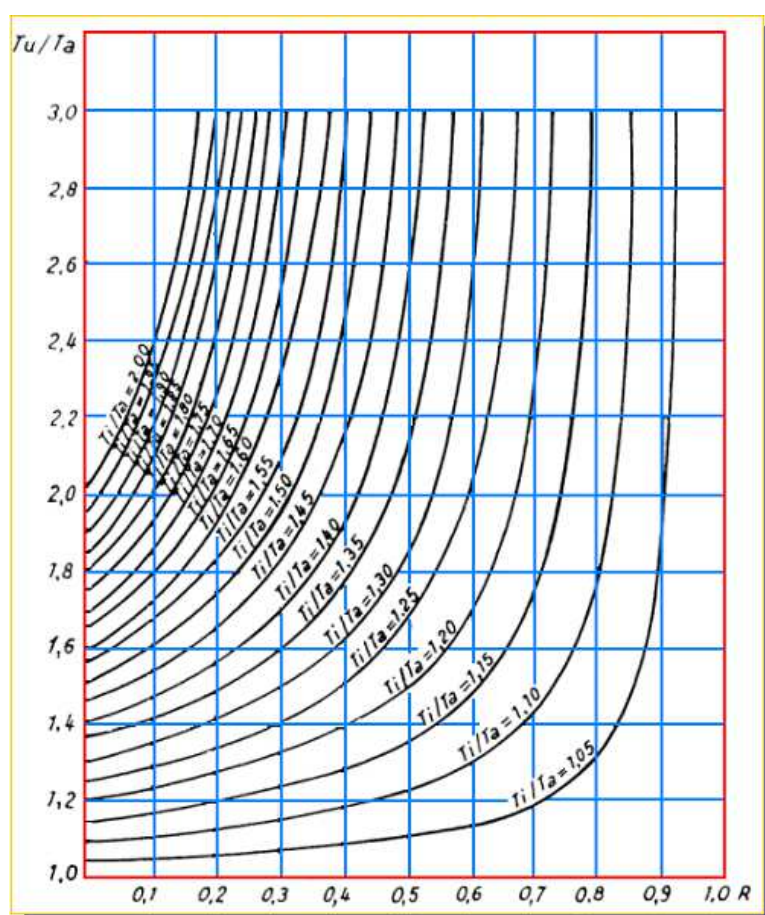


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 8230000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 6,08 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza d_{zJet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $d_{zDiffusive}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

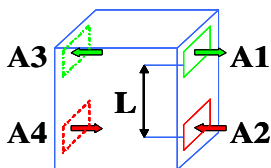
Area	IAS		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 06: Sfiato cabina 75bar		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 2		
d _{za} [m]	5,59		
a [m] = k _z ·d _{za}	5,59		
b [m]	2,24		
c [m]	0,56		
Apparecchiatura	3G Ex n, ic, s per Zona 2 - EPL Gc IIAT1		

10.0 Dati Ambientali Cabina Riduzione Metano

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome ambiente	CABINA RIDUZIONE
Tipo di ambiente	Chiuso
Tipo di ventilazione	Naturale
Fattore di efficacia dell'ambiente, f_a	2
Temperatura ambiente, T_a	40 °C
Pressione atmosferica, p_a	101050 Pa
Disponibilità della ventilazione	Adeguate
Volume libero dell'ambiente, V_a	4,3 m · 4,3 m · 3,5 m = 62,1264 m ³



Le caratteristiche dell'apertura sono le seguenti:

APERTURE DI VENTILAZIONE	NUMERO DI APERTURE
Area $A^{23} = A_1$ [m ²]: 0,7	Quattro aperture 
Area A_2 [m ²]: 0,7	
Area A_3 [m ²]: 0,7	
Area A_4 [m ²]: 0,7	
Δc_p : 0,9	
u_w [m/s]: 0,5	

VELOCITÀ DELL'ARIA

Velocità dell'aria primaria, u_w 0,020279 [m/s]

Velocità dell'aria residua, u_w 0,020279 [m/s]

Ventilazione naturale per effetto della spinta del vento

La portata di ventilazione naturale Q_{aw} dovuta alla spinta del vento in ambienti chiusi con aperture di ventilazione in alto A_1 e A_3 e in basso A_2 e A_4 poste su due lati opposte all'edificio, A_1 e A_2 su un lato, A_3 e A_4 sul lato opposto, schermato, non schermato o solo parzialmente schermato è stata stimata attraverso la seguente formula della Norma IEC 60079-10-1:

$$Q_{aw} = c_s \cdot A_{aw} \cdot w_a \cdot (\Delta c_p)^{0,5} \quad [C.2]$$

$$\frac{1}{A_{aw}^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2}$$

$\Delta c_p = 0,9$ quando la direzione prevalente del vento è perpendicolare al piano delle aperture di entrata dell'aria e l'ambiente non è schermato da altri edifici o strutture;

$\Delta c_p = 0,4$ quando la direzione prevalente del vento è a 45° rispetto al piano delle aperture di entrata dell'aria e l'ambiente non è schermato da altri edifici o strutture; oppure, quando la direzione prevalente del vento è perpendicolare al piano delle aperture di entrata dell'aria ma l'ambiente è parzialmente schermato da altri edifici o strutture;

$\Delta c_p = 0,2$ quando la direzione prevalente del vento è minore di 45° rispetto al piano delle aperture di entrata dell'aria, e l'ambiente non è schermato o è solo parzialmente schermato.

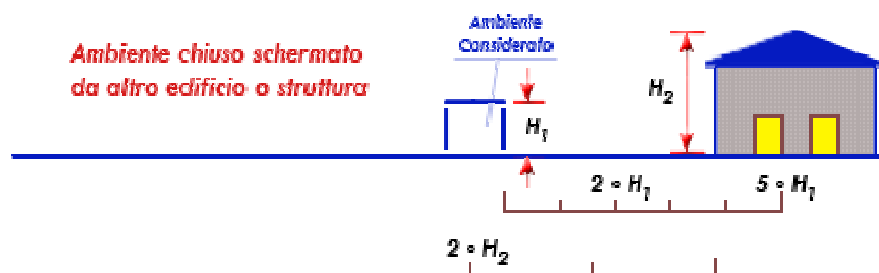
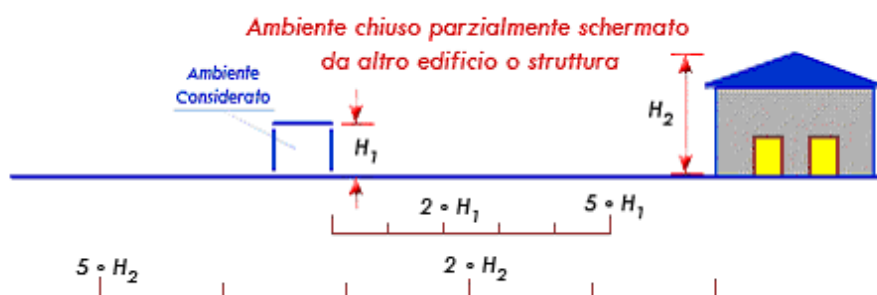
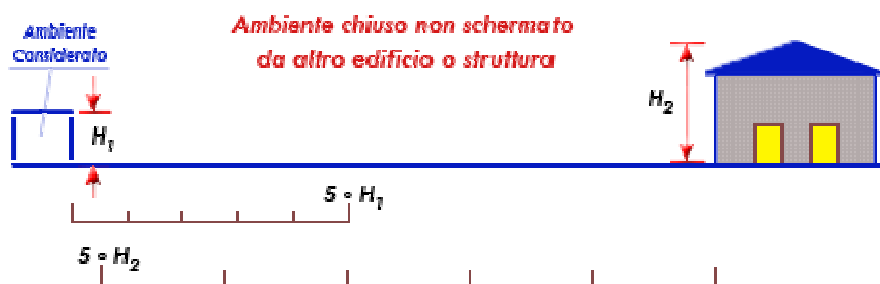
$\Delta c_p = 0,1$ quando l'ambiente è schermato da altri edifici o strutture.

23 A è la sezione libera di ingresso o di uscita dell'aria m²

commessa UTIP srl : IAS-15922 rev.1

Il presente elaborato non potrà essere modificato e/o comunicato a terzi senza la preventiva autorizzazione scritta della Utip S.r.l.

Fg. 93 di 121



Ventilazione naturale per effetto camino

Se esistono differenze di temperature tra ambiente chiuso e luogo aperto, si generano differenze di densità dell'aria (che determinano moti dell'aria più pesante verso il basso e dell'aria più leggera verso l'alto), al centro esiste un livello neutro. In questi casi un'apertura si intende in alto quando si trova al di sopra del livello neutro, si intende in basso quando si trova al di sotto di detto livello. Per stabilire l'altezza del livello neutro in modo puntuale occorre rifarsi alla letteratura specialistica; tuttavia, la guida CEI 31-35 indicativamente considera che, in presenza di aperture poste in alto ed in basso di uguali dimensioni, il livello neutro si trova sulla mezzzeria dell'altezza dell'ambiente chiuso e che, in presenza di aperture poste in alto e in basso di diverse dimensioni, il livello neutro si sposta, in proporzione al rapporto tra le aree delle aperture in alto e di quelle in basso, verso l'area maggiore.

Per la valutazione della portata di ventilazione per effetto camino Q_{at} , le aperture possono trovarsi su uno qualunque dei lati dell'ambiente, anche sul pavimento o sul soffitto.

La portata di ventilazione naturale dovuta all'effetto camino in ambienti chiusi con aperture di ventilazione in alto (A_1 e A_3) e in basso (A_2 e A_4) poste su due lati opposti dell'ambiente, A_1 e A_2 su un lato, A_3 e A_4 sul lato opposto è calcolata con la seguente relazione:

$$Q_{at} = c_s \cdot A_{at} \cdot \left(\frac{2 \cdot (T_i - T_e) \cdot g \cdot L}{T_{ie}} \right)^{0.5} \quad [\text{f.GC.3.3-3}]$$

$$\frac{1}{A_{at}^2} = \frac{1}{(A_1 + A_3)^2} + \frac{1}{(A_2 + A_4)^2}$$

Ventilazione naturale per infiltrazioni

La portata d'aria di ventilazione Q_{ai} [m³/h] per infiltrazioni naturali in ambienti chiusi è calcolata con la formula [f.G.C.4-1] della guida CEI 31-35 attraverso la seguente relazione

$$Q_{ai} = A \cdot k \quad [\text{f.G.C.4-1}]$$

dove:

A [cm²] è l'area totale effettiva di perdita: (calcolata con la [f.G.C.4.1-1])

$$A = \sum_{j=1}^{n_i} (c_j \cdot a_j) + (c_{k_1} + c_{k_2}) \cdot l + \sum_{j=1}^{n_c} c_j \quad [\text{f.G.C.4.1-1}]^{24}$$

k = coefficiente calcolato in base alla differenza di temperatura tra interno ed esterno e alla spinta del vento calcolato con la [f.G.C.4.2-2]

$$k = \sqrt{q_{aiT} + q_{aiw}} \quad [\text{f.G.C.4.1-1}]^{25}$$

$$q_{aiT} = \Delta T \cdot a \quad [\text{f.G.C.4.1-2}]$$

a è un coefficiente il cui valore dipende dal numero di piani dell'edificio considerato (Tabella G.C.4.2-1. della V1 alla guida CEI 31-35 quarta edizione).

c_j = coefficiente di perdita superficiale per gli n_i infissi (porte e finestre) presenti [cm²/m²] e per gli n_c tubi/cavedi presenti [cm²/n° elementi];

c_{k1} = coefficiente di perdita lineare fondamenta - mura [cm²/m];

c_{k2} = coefficiente di perdita lineare soffitto - mura [cm²/m];

l = perimetro dell'edificio [m];

a_j = area del j -esimo infisso [m²].

DATI GENERALI DELL'EDIFICIO

n° Piani:	Coefficiente a [m⁶ h⁻² cm⁻⁴ K⁻¹]:	ΔT [K]:
Superficie [m²]:	Perimetro l [m]:	h [m]:

PORTA D'ARIA PER INFILTRAZIONI

Q_{ai} [m³/s]:	-
------------------	---

²⁴ Valori indicativi dei coefficienti di perdita lineare c_{k1} e c_{k2} e di perdita superficiale c_j sono riportati nella Tabella G.C.4.1-1. della V1 alla guida CEI 31-3

²⁵ Per le infiltrazioni il termine q_{aiw} è stato trascurato rispetto a q_{aiT} .

VENTILAZIONE NATURALE

Portata di aria per effetto camino, Q_{at}	- [m ³ /s]
Portata di aria dovuta alla spinta del vento, Q_{aw}	0,3052 [m ³ /s]
Portata di aria dovuta alle infiltrazioni, Q_{ai}	- [m ³ /s]
Portata di aria di ventilazione, Q_a	0,3052 [m ³ /s]
L^{26} [m]:	- [m]
T_e^{27} [K]:	273,15 [K]
T_i^{28} [K]:	273,15 [K]
T_{ie} [K] media tra T_i e T_e :	273,15 [K]
Accelerazione di gravità, g	9,81 [m/s ²]
Coefficiente di scarico di un'apertura, C_s	0,65

Come indicato dalla Guida CEI 31-35 si assume come portata di ventilazione la maggiore tra Q_{at} , Q_{aw} e Q_{ai} .

²⁶ Distanza verticale tra la mezzeria delle aperture di ventilazione poste in alto e quelle poste in basso.

²⁷ Temperatura media dell'aria all'esterno dell'ambiente considerato.

²⁸ Temperatura media dell'aria all'interno dell'ambiente considerato al livello neutro

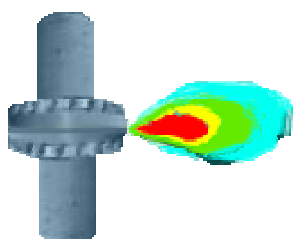
11.0 Cabina Metano SE 08: Organo intercettaz.75bar

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	CABINA RIDUZIONE
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 08: Organo intercettaz.75bar
Posizione della Sorgente di Emissione	Cabina Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA
UNI CEI TR 11798:2020²⁹

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

²⁹ La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 326,1 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 355 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit} = \rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 36,05 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 2,12 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 0,00414 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,25 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso sonico φ : 1
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	7601050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,84
Temperatura della sostanza pericolosa, T	283,15 K
Portata di emissione principale, W_g	0,00286 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	0,00286 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Flangia, raccordo intercettaz.
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,156 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	0,156 m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Jet
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit.}$	Non essendo verificata, il grado della diluizione è Bassa e la Zona si estende a tutto il volume dell'Ambiente
Grado di diluizione	Bassa
Tipo di Zona	Zona 1
Tipo di apparecchiatura:	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IIAT1
Estensione della zona pericolosa, z	-36,21 m $r' = -2,2$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{zone})}{(X_{zone} - X_b)} = -36,21 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,001732 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{zone} = k \text{ LFL}^{30}$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1³¹.

³⁰ Coincide con la $X_{critica}$

³¹ nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,154 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln \left(\frac{X_b}{X_{crit}} \right) = 365,08 \text{ s} - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

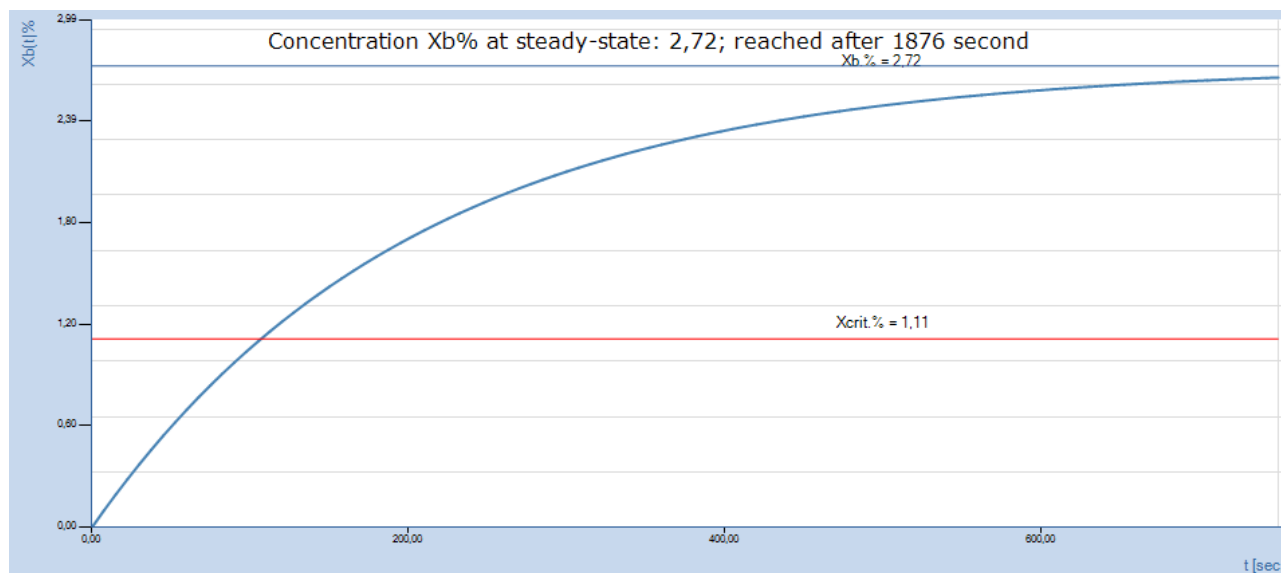


Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3];

$X_b(t)\% = 0,0272$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

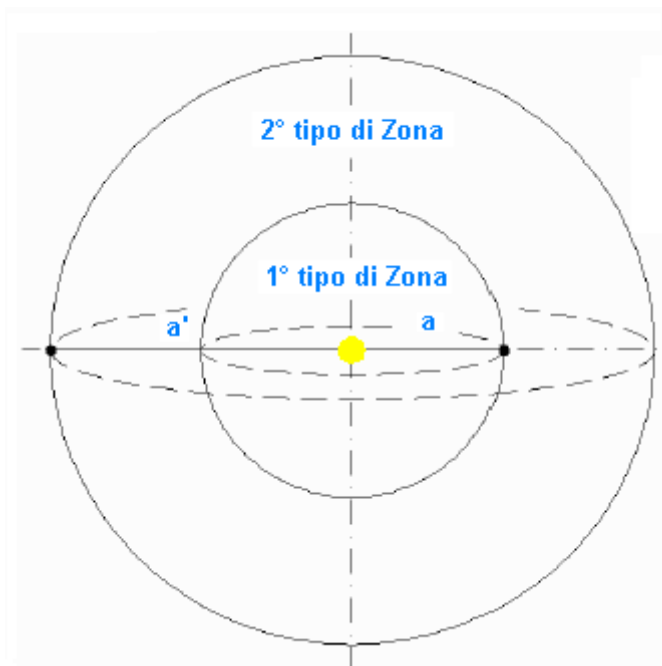


Figura rappresentativa della Zona classificata: -

$X_b(t)\% = 0,0272$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

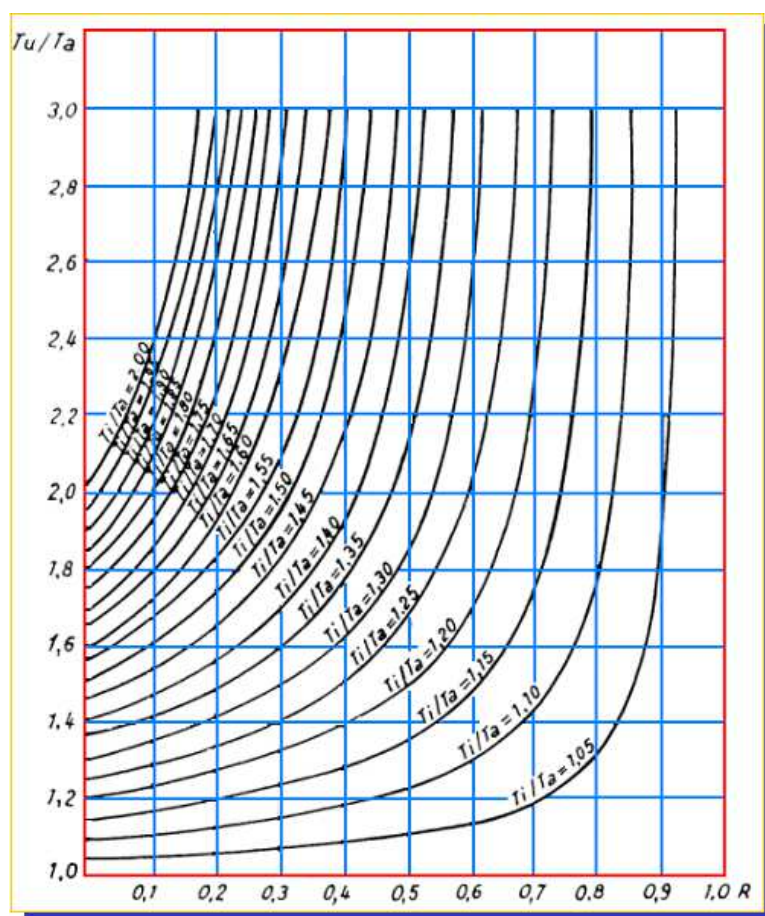


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} = 41100000$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = 2,21 \text{ [m]}$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è > della distanza z_{Jet} **non** è necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{Diffusive}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	CABINA RIDUZIONE		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 01: Organo intercettaz.75bar		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 1		
z [m]	-36,21		
r' [m]	-2,2		
Apparecchiatura	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IIAT1		

LA VALUTAZIONE DEL GRADO DI DILUIZIONE NON E' NECESSARIA IN QUESTO CASO PERCHE' LA CONCENTRAZIONE DI FONDO NELLO SPAZIO CHIUSO E' MAGGIORE RISPETTO A QUELLO CRITICO ($X_b > X_{crit}$).

QUINDI IL GRADO DI DILUIZIONE SAREBBE DICHIARATO **COMUNQUE BASSO**.

LA ZONA PERICOLOSA RISULTANTE COMPRENDERA' L'INTERO VOLUME DELLA POSIZIONE INTERNA PERCHE' LA CONCENTRAZIONE SCENDE ALLA CONCENTRAZIONE CRITICA DOPO L'ARRESTO DEL RILASCIO, E' SIGNIFICATIVO.

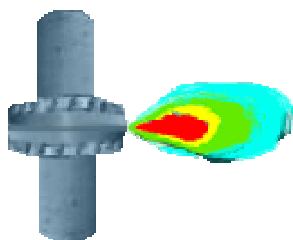
12.0 Cabina Metano SE 09: Locale Caldaia

Dati generali:

Nome Progetto	LINEA METANO IAS
Nome Ambiente	Locale Caldaia
Tipo di ventilazione	Naturale
Nome della sorgente di emissione	SE 09: Centrale Termica
Posizione della Sorgente di Emissione	Locale Metano
Nome sostanza	Gas naturale
Pressione Atmosferica p_a	101050 Pa
Temperatura ambiente, T_a	40 °C

Portata di emissione W_g [kg/s]

Calcolo della portata di emissione W_g [kg/s] dovuta al getto in singola fase di gas/vapore.



GETTO DI SOLO GAS/VAPORE – PORTATA DI EMISSIONE W_g NON NOTA

UNI CEI TR 11798:2020³²

Occorre stabilire se il gas può uscire dal sistema di contenimento, all'interno del quale è allo stato gassoso, a bassa velocità in regime di flusso subsonico (non turbolento), o ad alta velocità in regime di flusso sonico (turbolento).

Per definire il tipo di flusso, si applica la seguente relazione:

$$p_c = p_a \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 186000 \text{ Pa} - [\text{B.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

³² La UNI CEI TR 11798 è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$

La velocità di emissione del gas è sonica se la pressione all'interno del contenitore è più alta della p_c (pressione critica).

Per definire l'indice politropico dell'espansione adiabatica γ nei gas ideali può essere usata la formula seguente:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{Mc_p}{Mc_p - R} = 1,31 \text{ [CEI EN 60079-10-1]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sonica si applica la formula [f.GB.4.1-3] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}} \text{ [B.5 - CEI EN 60079-10-1]}$$

Nella equazione è considerato che l'emissione avvenga alla velocità del suono:

$$v_s = \sqrt{\gamma \frac{R \cdot T}{M}} = 326,1 \text{ [m/s] - [f.GB.4.1-4]}$$

Portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica

Per definire la portata di emissione di gas con velocità di emissione sub-sonica si applica la formula [f.GB.4.1-5] seguente:

$$W_g \text{ [kg/s]} = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T} \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}}} \text{ [B.3 - CEI EN 60079-10-1]}$$

La velocità nel punto di emissione può essere calcolata con la formula:

$$u_0 = \frac{W_g}{C_d \cdot \rho_{exit} \cdot S} = 316 \text{ m/s - [f.GB.4.1-6]}$$

La densità del gas, per flusso sonico all'apertura, può essere calcolata con la formula seguente (se il flusso è subsonico $\rho_{exit} = \rho_0$):

$$\rho_{exit} = \rho_{int} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{2}{\lambda + 1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 0,84 \text{ kg/m}^3$$

Il calcolo della densità equivalente, ρ_0 , partendo dalla densità iniziale può essere calcolata con la formula seguente:

$$\rho_0 = \rho_{int} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = \frac{p \cdot M}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} = 0,84 \text{ kg/m}^3 - [\text{f.GB.4.1-7}]$$

La portata di emissione Q_g [m³/s] è data da:

$$Q_g = \frac{W_g}{\rho_g} = 7,33\text{E-}05 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{B.4} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

La densità (massa volumica) del gas è data da:

$$\rho_g = \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T_a} = 0,69 \text{ kg/m}^3$$

Dove:

Portata di emissione

Numero di emissioni n	1
Coefficiente di scarico o efflusso, C_d	0,75
Area del foro di emissione, S	0,25 mm ²
Tipo di flusso, φ	Flusso subsonico φ : 0,963
Pressione assoluta subito dopo l'uscita dal contenitore, p_0	101050 Pa
Pressione assoluta all'interno del contenitore nel punto di emissione, p	151050 Pa
Costante universale dei gas, R	8314 J/kmol K
Fattore di comprimibilità dei gas, Z	0,98
Temperatura della sostanza pericolosa, T	283,15 K
Portata di emissione principale, W_g	5,06E-05 kg/s
Portata di emissione residua, W_{gr}	5,06E-05 kg/s

Caratteristica della Sorgente di emissione

Sostanza infiammabile	Gas naturale
Stato fisico della sostanza	Aeriforme (gas o vapore)
Peso molecolare, M	17,77 kg/kmol
Limite inferiore di infiammabilità, LFL	4,43 % vol. (0,044 vol./vol.)
Temperatura di autoaccensione, T_{acc}	482 °C
Densità relativa all'aria del gas o vapore	0,595
Emissioni strutturali (grado continuo)	0 kg/s
Sorgente di emissione SE	Locale Caldaia preriscaldamento GAS
Grado di emissione	Secondo
Fattore di sicurezza k applicato al LFL	0,6
Caratteristica della emissione principale, Q_c	0,00276 m³/s
Caratteristica della emissione residua, Q_c	0,00276 m³/s

Effetto del rilascio

Tipo di rilascio	Diffusive
Concentrazione critica, $X_{crit.}$	0,0111 vol./vol. uguale al 25 % del LFL
Concentrazione di sostanza infiammabile, X_b	vol./vol.
Tempo di emissione, t_e	- s
Confronto delle concentrazioni $X_b < X_{crit}$	Non essendo verificata, il grado della diluizione è Bassa e la Zona si estende a tutto il volume dell'Ambiente
Grado di diluizione	Bassa
Tipo di Zona	Zona 1
Tipo di apparecchiatura:	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IIAT1
Estensione della zona pericolosa, z	-0,01 m $r' = 0$ m

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL \cdot k}$$

Stima estensione della zona pericolosa z [m]

Per il calcolo della distanza pericolosa z in metri, di gas o vapori emessi a pressione relativa ≥ 500 Pa (0,005 bar) è utilizzata la formula di seguito riportata:

$$z = \frac{r_s}{\mu} \cdot \frac{(1 - X_{Zone})}{(X_{Zone} - X_b)} = -0,01 \text{ [m]} - [(3) \text{ UNI CEI TR 11798:2020}]$$

Dove:

z è la distanza pericolosa [m];

r_0 è il raggio del foro di emissione [m];

r_s è il raggio della pseudo sorgente di emissione [m];

per emissioni di gas a pressione **maggiore** o **uguale** alla pressione critica p_c (soniche) si ha

$$r_s = r_0 \sqrt{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{p}{p_a} - 1,9 \right)} = 0,000252 \text{ [m]} - [\text{UNI CEI TR 11798:2020}]$$

$r_s = r_0$ per emissioni di gas a pressioni **inferiori** alla pressione critica p_c (subsoniche);

p è la pressione assoluta di emissione [Pa];

p_a è la pressione atmosferica [Pa];

μ è il fattore correttivo $\eta = 2\alpha_s \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_b} \right)} = 0,08$

α è il coefficiente di autodiluizione (utilizzato 0,05);

ρ_s è la densità del gas nella pseudo sorgente di emissione;

$\rho_b = \rho_a$ è la densità, approssimata a quella dell'aria alla temperatura ambiente considerata;

X_{zone} definisce la concentrazione per la quale viene eseguito il calcolo della distanza pericolosa. Negli esempi per il calcolo della distanza pericolosa viene assunto un $X_{zone} = k LFL^{33}$;

X_b è la concentrazione nel campo lontano, considerata 0 all'aperto.

La formula [UNI CEI TR 11798:2020] è utilizzabile per emissioni di gas infiammabili (gas naturale, metano) per emissione sia soniche che subsoniche, nonché al chiuso a condizione che $X_b < X_{critica}$ ed è quindi stata prevalentemente impiegata rispetto alla Figura D.1 della CEI EN 60079-10-1³⁴.

³³ Coincide con la $X_{critica}$

³⁴ nel calcolo della distanza pericolosa per gli ambienti al chiuso, La CEI EN 60079-10-1 non tiene conto della concentrazione nel campo lontano e non è interpolabile oltre i domini rappresentati graficamente.

EFFICACIA DELLA VENTILAZIONE							
Grado di emissione	Alta diluizione			Media diluizione			Bassa diluizione
	DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE						
	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona	Adeguate	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE)	Zona 2 (Zona 0 NE)	Zona 1 (Zona 0 NE)	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 2 (Zona 1 NE)	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0
Secondo	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Non pericolosa (Zona 2 NE)	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 o Zona 0

Tabella D.1 – Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione

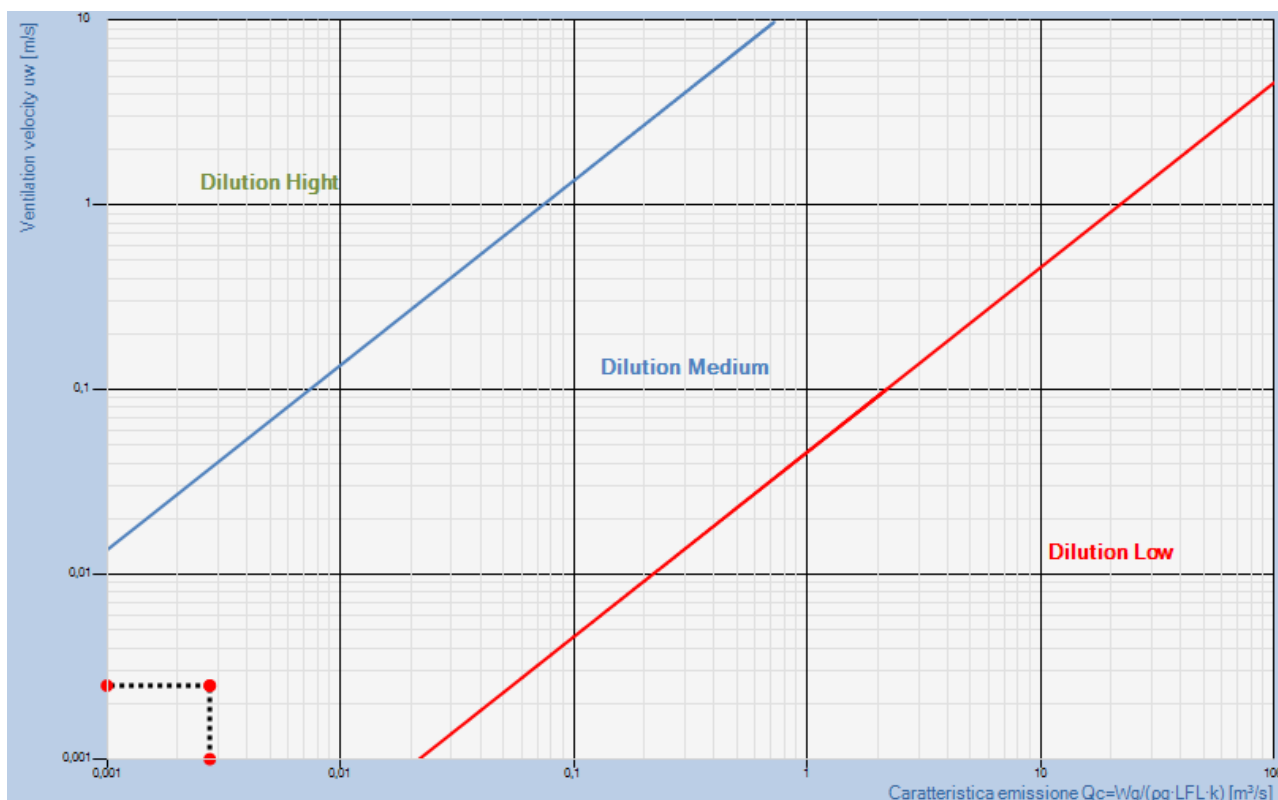


Figura C.1 – Grafico per la valutazione del grado di diluizione

Diluizione della sorgente di emissione - portata minima volumetrica di ventilazione Q_{amin}

La portata minima volumetrica teorica di aria fresca atta a diluire un dato rilascio di sostanza infiammabile per una concentrazione inferiore al limite inferiore di infiammabilità Q_{amin} può essere calcolata mediante l'equazione:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{LFL_v} \cdot \frac{T_a}{293} = 0,00273 \text{ m}^3/\text{s} - [\text{J.1} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

Dove:

$$LFL_m = \frac{LFL_v}{100} \rho_g = 0,033 \text{ kg/m}^3$$

Tempo necessario per diluire una emissione di sostanza infiammabile

Per le emissioni di primo e di secondo grado il tempo t_d di persistenza al cessare dell'emissione, cioè il tempo per far scendere la concentrazione media di sostanza infiammabile nell'atmosfera ambiente da un valore iniziale X_b a X_{crit} , dopo l'arresto dell'emissione è calcolato con la formula seguente:

$$t_d = \frac{f_a}{C} \cdot \ln\left(\frac{X_b}{X_{crit}}\right) = 249.862,53 \text{ s} - [\text{J.2} - \text{CEI EN 60079-10-1}]$$

dove

f_a = è il fattore di efficacia dell'ambiente;

C = è il numero di ricambi d'aria per unità di tempo del volume specifico;

X_b = è la concentrazione di sostanza infiammabile nell'ambiente (vol./vol.);

X_{crit} = è il valore critico/desiderato della concentrazione della sostanza infiammabile (vol./vol.).

Concentrazione media $X_b\%$ della sostanza infiammabile

La concentrazione media volumica $X_b\%$ dopo il tempo di emissione t [s] può essere calcolata attraverso la seguente equazione:

$$X_b(t)\% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot (1 - e^{-C \cdot t}) \cdot 100$$

Q_1 è la portata volumetrica dell'aria in ingresso al locale attraverso le aperture (m^3/s).

Q_g è la portata volumetrica del gas emesso dalla sorgente (m^3/s).

C è la frequenza del numero di ricambi d'aria del locale (s^{-1}).

$f =$ è il fattore di efficacia della sorgente di emissione.

Il grafico della Figura A₁ mostra l'andamento nel tempo della concentrazione media della sostanza pericolosa nel campo lontano ($X_b(t)\%$) per il grado di emissione considerato.

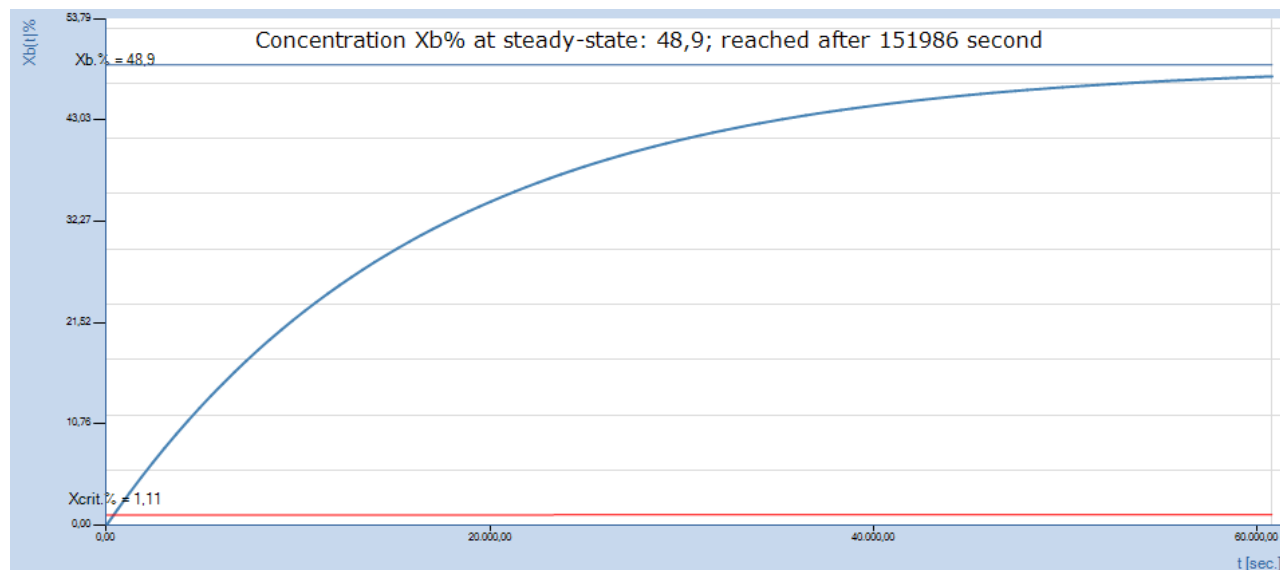


Figura A₁ - $X_b(t)\%$

A regime (dopo il periodo transitorio):

$$X_b \% = f \cdot \frac{Q_g}{Q_1 + Q_g} \cdot 100 \quad [\text{C.1 - CEI EN 60079-10-1}]$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_g = C \cdot V_a$$

$Q_2 = Q_1 + Q_g$ è la portata volumetrica della miscela aria/gas in uscita dal locale (m^3/s);

V_a è il volume libero dell'ambiente [m^3];

$X_b(t)\% = 0,489$ concentrazione media nel campo lontano dovuto alla SE.

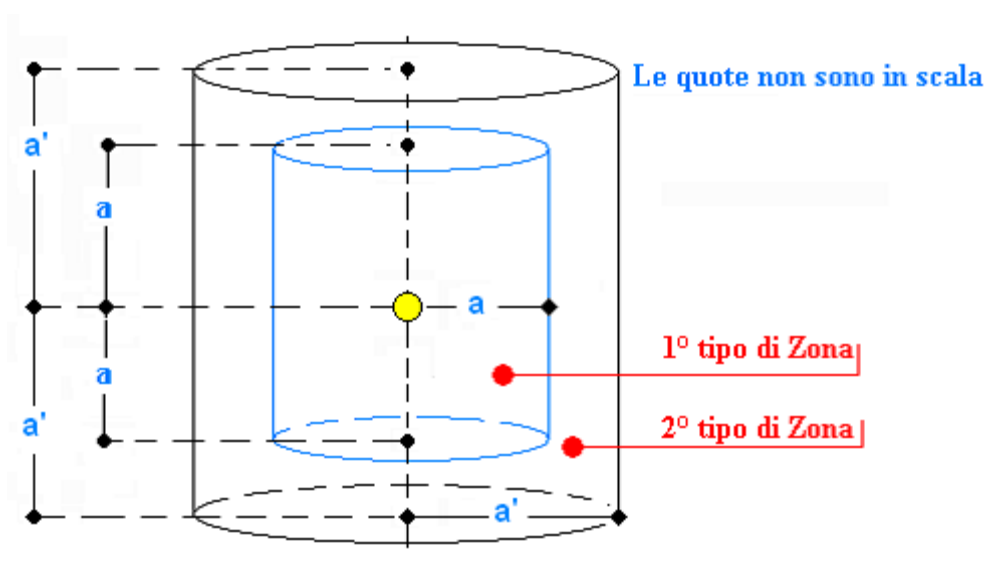


Figura rappresentativa della Zona classificata: Cilindro-direzione di emissione non nota

$X_b(t)\% = 0,489$ concentrazione media nel campo lontano di tutte le SE contemporanee.

Coefficiente di riduzione R della distanza pericolosa z

Per le sostanze e/o miscele aventi temperatura d'infiammabilità T_i maggiore della massima temperatura ambiente T_a ed emesse a temperatura T_u maggiore della loro temperatura d'infiammabilità T_i ma minore delle loro temperatura di ebollizione T_e , può (con opportuna cautela) essere considerato il raffreddamento che la sostanza e/o miscela subisce quando fuoriesce dal sistema di contenimento verso l'ambiente.

E' possibile caso per caso valutare l'opportunità di moltiplicare la distanza pericolosa "z" per il coefficiente riduttivo "R", tale valore può essere ricavato dal grafico seguente (tratto dalla norma CEI 64-2 fig. 3.12 quarta edizione 1990 e ripresa dalla guida CEI 31-35):

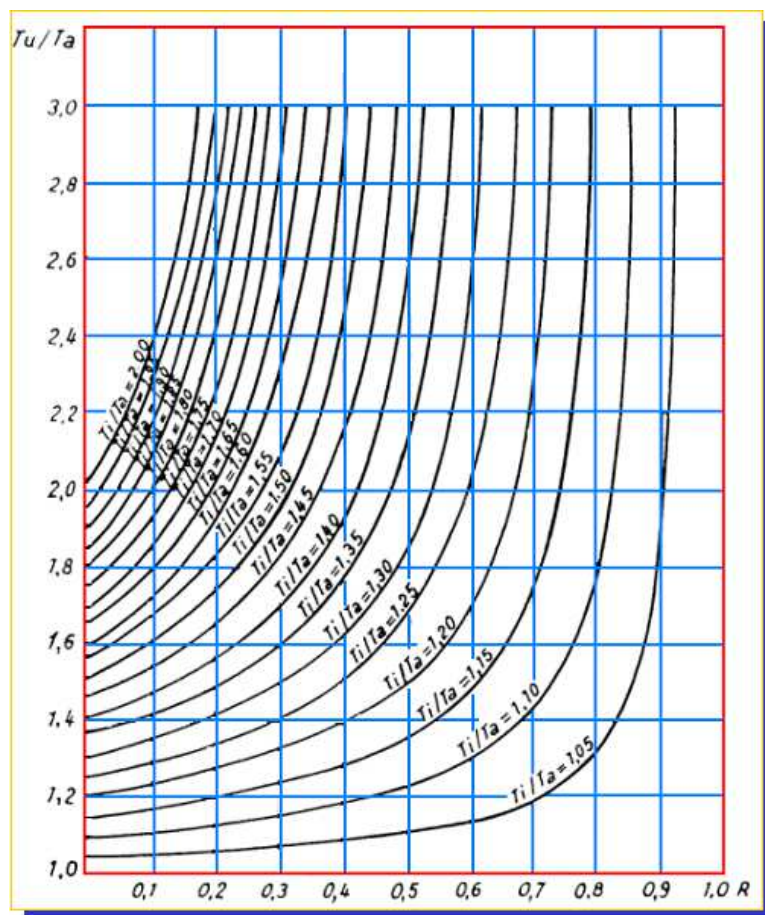


Figura1 - Coefficiente di riduzione della estensione della zona pericolosa GB.5.2-A della guida CEI 31-35

Numero di Froude (non applicabile)

$$F_r = \frac{\rho_0}{|\rho_a - \rho_0|} \cdot \frac{u_0^2}{g \cdot d} =$$

F_r è il numero di Froude (densimetrico);

ρ_0 è la densità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [kg/m³];

ρ_a è la densità dell'aria [kg/m³];

u_0 è la velocità del gas in uscita dalla sorgente di emissione [m/s];

d è il diametro della sorgente di emissione [m];

g è l'accelerazione di gravità 9,81 [m/s²].

La zona a getto possiederà un'ampiezza non inferiore alla seguente:

$$J = 0,5 \cdot d \cdot \sqrt{F_r} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} = [\text{m}]$$

J [m] è l'ampiezza della zona a getto.

L'ampiezza della zona a getto J è della distanza z_{Jet} necessario considerare l'estensione della zona pericolosa dovuta alla dispersione per diffusione $z_{\text{Diffusive}}$.

ANALISI DEL RISCHIO ESPLOSIONE

Area	Locale Caldaia		
Presenza Lavoratori		Raggio di danno potenziale R [m]	-
Sostanza Pericolosa	Gas naturale	Indice di esplosione dei gas K _G [bar·m/s]	0
Sorgente di Emissione	SE 09: Centrale Termica		
Ostruzione/Confinamento			
PRIMO TIPO DI ZONA			
Zona	Zona 1		
z [m]	-0,01		
r' [m]	0		
Apparecchiatura	2G Ex d, p, q, o, e, ib, m, s per Zona 1 - EPL Gb, IIAT1		

LA VALUTAZIONE DEL GRADO DI DILUIZIONE NON E' NECESSARIA IN QUESTO CASO PERCHE' LA CONCENTRAZIONE DI FONDO NELLO SPAZIO CHIUSO E' MAGGIORE RISPETTO A QUELLO CRITICO ($X_b > X_{crit}$).

QUINDI IL GRADO DI DILUIZIONE SAREBBE DICHIARATO **COMUNQUE BASSO**.

LA ZONA PERICOLOSA RISULTANTE COMPRENDERA' L'INTERO VOLUME DELLA POSIZIONE INTERNA PERCHE' LA CONCENTRAZIONE SCENDE ALLA CONCENTRAZIONE CRITICA DOPO L'ARRESTO DEL RILASCIO, E' SIGNIFICATIVO.