

Sistema Socio Sanitario



ATS Milano
Città Metropolitana

AGENZIA DI TUTELA DELLA SALUTE DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO

Dipartimento di Igiene e Prevenzione Sanitaria

UOC Impiantistica – UOS Sicurezza Elettrica

Sede di via Statuto, 5 - MILANO 20121 - Tel. 02/8578.9344 fax 02/8578.9359

e-mail: sicurezzaelettrica@ats-milano.it

PEC: dipartimentoprevenzione@pec.ats-milano.it

Sede Legale: Milano, 20122, Corso Italia 19 - Codice fiscale e P.IVA09320520969



AUTOCARROZZERIE

QUADERNO TECNICO

ESEMPIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA ATMOSFERE ESPLOSIVE

Autore:
Tecnico della Prevenzione
dott. Mauro Baldissin

Responsabile scientifico:
Dirigente Ingegnere
dott. ing. Massimo Rho

Documento di proprietà di ATS della Città Metropolitana di Milano. Non può essere riprodotto o diffuso in parte o per intero da terzi senza autorizzazione scritta del Direttore Generale.

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	GENERALITÀ	5
3.	LOCALE PREPARAZIONE PRODOTTI VERNICIANTI	6
3.1	Lista di Controllo: Locale preparazione prodotti vernicianti prefabbricato	6
3.2	Lista di Controllo: Locale preparazione prodotti vernicianti costituito da un vano nell'edificio	7
4.	AREA PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI DA VERNICIARE	9
4.1	Lista di Controllo: Area per la preparazione degli elementi da verniciare prefabbricata	10
4.2	Lista di Controllo: Operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati non eseguite in apposito locale	11
5.	VERNICIATURA ED ESSICCAZIONE DEI PRODOTTI VERNICIANTI	12
5.1	Lista di Controllo: Cabina forno	13
6.	MACCHINA PER IL LAVAGGIO DEGLI ATTREZZI	17
6.1	Lista di Controllo: Macchina per il lavaggio degli attrezzi	18
7.	MACCHINA PER LA DISTILLAZIONE DEL SOLVENTE INFIAMMABILE CONTAMINATO (DISTILLATORE)	21
7.1	Lista di Controllo: Distillatore	22
ALLEGATO A	LOCALE PREPARAZIONE PRODOTTI VERNICIANTI Locale preparazione prodotti vernicianti costituito da un vano nell'edificio	24
ALLEGATO B	LOCALE PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI DA VERNICIARE Operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati non eseguite in apposito locale	38
ALLEGATO C	VERNICIATURA ED ESSICCAZIONE DEI PRODOTTI VERNICIANTI Cabina forno	42
ALLEGATO D	MACCHINA PER IL LAVAGGIO DEGLI ATTREZZI	48
ALLEGATO E	MACCHINA PER LA DISTILLAZIONE DEL SOLVENTE INFIAMMABILE CONTAMINATO (DISTILLATORE)	86
ALLEGATO F	CRITERIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO	115
ALLEGATO G	PIANIFICAZIONE DELLE MISURE TECNICHE ED ORGANIZZATIVE	122
ALLEGATO H	ESEMPIO DI PERMESSO DI LAVORO PER LAVORI A CALDO	123
ALLEGATO I	BIBLIOGRAFIA	124

1. PREMESSA

Il Titolo XI del DLgs 9 aprile 2008 n. 81 *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*, disciplina i provvedimenti che le aziende devono adottare per la protezione dei lavoratori contro i rischi da atmosfere esplosive, ovvero “miscele con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta”.

Tale obbligo specifico deriva dal recepimento della direttiva europea (sociale) 1999/92/CE¹ (DLgs 12.06.2003 n. 233). In particolare, secondo la norma i datori di lavoro devono:

- verificare l'esistenza sul luogo di lavoro di sostanze infiammabili e/o polveri combustibili e, se esistenti e in grado di originare atmosfere esplosive con effetti non trascurabili,
- ripartire in “zone” le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive (in breve aree a rischio di esplosione) in conformità all'Allegato XLIX;
- applicare le prescrizioni di sicurezza previste dall'Allegato L alle attrezzature e ai luoghi di lavoro;
- segnalare, ove ritenuto necessario, i punti di accesso alle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive con il segnale di avvertimento indicato nell'Allegato LI;
- predisporre il documento sulla protezione contro le esplosioni;
- in presenza di più imprese, coordinarne l'attività ai fini della sicurezza (l'obiettivo, le misure e le modalità di attuazione di tale coordinamento vanno specificate nel documento sulla protezione contro le esplosioni);
- segnalare le installazioni elettriche nelle aree classificate come zone 0, 20, 1 o 21 all'ATS/ASL/ARPA ai fini della loro omologazione e farne effettuare la verifica ogni due anni da parte della stessa ATS/ASL/ARPA o da parte di organismi in possesso di una specifica abilitazione rilasciata dal Ministero dello sviluppo economico.

La costruzione, l'immissione sul mercato e la messa in servizio di prodotti destinati all'uso nelle aree a rischio di esplosione di cui sopra, è assoggetta alla direttiva europea (di prodotto) 2014/34/UE (DLgs 19.05.2016 n. 85), la quale ha sostituito la direttiva 1994/9/CE (DPR 23.03.1998 n. 126) dal 20 aprile 2016.

Le direttive europee sopra citate sono più note come direttive “ATEX” (acronimo di ATmosphères EXplosibles).

Nelle attività di riparazione delle carrozzerie di autoveicoli (in breve autocarrozzerie), vengono utilizzati prodotti vernicianti, intesi come preparati chimici denominati: tinte, fondi, trasparenti, stucchi, additivi, ecc. e, seppur limitatamente, solventi infiammabili puri (ad esempio per la pulizia degli attrezzi).

L'avvento delle vernici “all'acqua” ha indubbiamente ridotto il pericolo di formazione di atmosfere esplosive rispetto alle vernici tradizionali “al solvente infiammabile”. Tuttavia, svariati prodotti vernicianti possono contenere sostanze infiammabili in quantità significative (fino a circa il 30 %) e rappresentano quindi una potenziale fonte di pericolo il cui rischio deve essere valutato ai sensi del sopracitato DLgs 81/2008.

¹ Relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive.

Le lavorazioni considerate potenzialmente pericolose nel presente elaborato sono costituite²:

- dalla preparazione dei prodotti vernicianti;
- dalla preparazione degli elementi da verniciare;
- dalla verniciatura ed essiccazione dei prodotti vernicianti applicati;
- dal lavaggio degli attrezzi con solvente infiammabile;
- dalla distillazione del solvente infiammabile contaminato per il suo recupero e riutilizzo.

Date le quantità di prodotti infiammabili in gioco e le modalità del loro utilizzo, si ritiene quale effetto più probabile di una eventuale esplosione, il Flash Fire.

Il Flash Fire è una deflagrazione che si origina da un rilascio di atmosfera esplosiva innescata, nella quale non si verificano particolari accelerazioni del fronte di fiamma e non si producono significativi picchi di sovrappressione. Si genera tuttavia un'espansione dei gas combusti fino ad 8 ÷ 10 volte il volume di rilascio iniziale. I principali rischi associati al Flash Fire sono rappresentati dalle radiazioni termiche e dal diretto contatto con le fiamme. La dimensione della nube di atmosfera esplosiva determina il volume del possibile contatto diretto con le fiamme.

Il fenomeno del Flash Fire, tipicamente incluso negli incendi, si ritiene sia inquadrabile nel Titolo XI del DLgs 81/2008 dato che la combustione risulta di tipo atmosferico e si propaga all'insieme della miscela incombusta (senza, tuttavia, generare rilevante sovrappressione).

È utile precisare che vi è una fondamentale differenza tra [M. Marigo, 2013]:

- il rischio di esplosione nel luogo di lavoro e
- il rischio di infortunio dovuto ad esplosioni nel luogo di lavoro, legato alla mansione svolta.

Il primo caso è tipico ad esempio dell'industria chimica, in cui il rischio di esplosione, inteso come combinazione tra la probabilità di accadimento e l'energia complessivamente rilasciata nel corso dell'incidente, è elevato.

Il secondo caso è tipico della piccola e media impresa, dove molte lavorazioni sono realizzate a contatto o nelle immediate vicinanze dell'atmosfera esplosiva (operazioni di travaso di liquidi/polveri, verniciatura, ecc.). In queste condizioni si genera un rilevante effetto di amplificazione dell'infortunio causato dalla collocazione dell'operatore all'interno degli effetti dell'esplosione, quali sovrappressione, proiezione di frammenti, Flash Fire.

Le considerazioni svolte sono frutto di esperienze in attività di vigilanza inerenti la legislazione in materia di protezione da atmosfere esplosive e di sintesi della letteratura tecnica reperita.

Quanto sviluppato riveste carattere generale e non cogente. Le indicazioni fornite costituiscono una possibile interpretazione delle norme tecniche e prassi applicabili, alle quali occorre comunque riferirsi.

In quanto principale destinatario degli obblighi di legge in materia di salute e sicurezza sul luogo di lavoro, il datore di lavoro deve valutare l'idoneità alla propria specifica attività lavorativa dell'esempio proposto che è didattico e indicativo delle sole situazioni considerate o di situazioni assimilabili.

² È opportuno che il datore di lavoro sviluppi la valutazione del rischio da atmosfere esplosive in coordinamento con la valutazione del rischio chimico e del rischio di incendio.

2. GENERALITÀ

Si considerano le seguenti operazioni tipiche che possono originare atmosfere potenzialmente esplosive:

- preparazione dei prodotti vernicianti;
- preparazione degli elementi da verniciare;
- verniciatura ed essiccazione dei prodotti vernicianti applicati;
- lavaggio degli attrezzi con solvente infiammabile;
- distillazione del solvente infiammabile contaminato per il suo recupero e riutilizzo.

L'analisi del rischio è stata svolta con il metodo delle "Liste di Controllo" (Check List) che permetterà, nella generalità dei casi, di adottare misure adeguate contro le esplosioni e di predisporre il *Documento sulla protezione contro le esplosioni* (art. 294, DLgs 81/2008).

Nel caso in cui non siano presenti tutti i requisiti specificati sarà necessario pianificare l'adozione delle misure tecniche e/o organizzative necessarie. A tale scopo è stata predisposta apposita tabella (Allegato G).

La classificazione delle aree a rischio di esplosione, propedeutica alla determinazione dei requisiti da soddisfare riportati nelle Liste di Controllo, è consultabile negli allegati da A ad E.

3. LOCALE PREPARAZIONE PRODOTTI VERNICIANTI

La preparazione dei prodotti vernicianti avviene normalmente all'interno di un locale dedicato, anche al fine di separare le aree di lavoro con agenti chimici pericolosi dal resto delle attività e limitare l'accesso alle zone in cui sussiste il rischio (secondo il principio generale di riduzione al minimo del numero di lavoratori che sono o potrebbero essere esposti).

I fabbricanti di *Cabine forno* per autocarrozzerie sono generalmente in grado di fornire anche i locali di preparazione dei prodotti vernicianti (mixing box/paint box/cabina per tintometro/...), nell'ambito di sistemi modulari dichiarati conformi alla direttiva *Macchine*. Secondo tale direttiva, tra i requisiti essenziali di sicurezza (RES) che il fabbricante deve garantire attraverso l'analisi dei rischi vi è anche quello connesso al pericolo di esplosione (punto 1.5.7, allegato I, direttiva 2006/42/CE). Nel caso di Locale preparazione prodotti vernicianti prefabbricato, l'utilizzatore dovrà seguire scrupolosamente le istruzioni contenute nel Manuale d'uso che è parte integrante della macchina e concorre a determinarne le condizioni di sicurezza.

Tabella 3.1 - Lista di Controllo: Locale preparazione prodotti vernicianti prefabbricato

REQUISITO	Presente	
	Si	No
1. L'uso è conforme alle istruzioni del fabbricante		
2. Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
3. Le lavorazioni sono svolte da operatori informati e formati:	-	-
▪ sulle procedure di lavoro		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali dei prodotti vernicianti		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le sorgenti di emissione in assenza del sistema di ventilazione		
▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
4. Sono presenti mezzi per neutralizzare eventuali sversamenti di prodotti vernicianti (es. specifiche polveri assorbenti)		
5. Barattoli e fustini depositati nel locale sono chiusi in modo efficace contro il pericolo di emissioni		
6. Le bocche del sistema di ventilazione e la posizione delle sorgenti di emissione garantiscono che il flusso d'aria inquinata non sia diretto verso il viso dell'operatore		
Compatibilmente con le indicazioni del fabbricante del locale in merito alla formazione di atmosfere esplosive, se sono soddisfatti tutti i requisiti:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ il luogo presenta zone classificate con pericolo di esplosione di estensione trascurabile (Zona 1 NE) 		
Terminata la valutazione dei rischi da atmosfere esplosive		

Nei casi in cui il Locale preparazione prodotti vernicianti sia costituito da un vano nell'edificio, si deve procedere alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione.

Tabella 3.2 - Lista di Controllo: Locale preparazione prodotti vernicianti costituito da un vano nell'edificio

REQUISITO	Presente	
	Si	No
1. La sorgente di emissione è costituita dall'apertura del serbatoio per aerografo o da contenitore con apertura avente superficie non superiore a 0,01 m² (diametro ≈ 10 cm)		
2. Le emissioni derivano dai solventi liquidi infiammabili contenuti nei prodotti vernicianti		
3. È presente un sistema di ventilazione artificiale generale: <ul style="list-style-type: none"> ▪ conforme alle relative norme tecniche ▪ in grado di assicurare una velocità dell'aria nell'ambiente non inferiore a 0,05 m/s (misurata/calcolata) 	-	-
<i>oppure, in alternativa</i>	-	-
3. È presente un sistema di ventilazione naturale: <ul style="list-style-type: none"> ▪ conforme al Regolamento di igiene locale (rispetto del rapporto aerante "RA") ▪ con aperture presenti (finestra/e aperta/e) quando è presente la sorgente di emissione ▪ il cui effetto sia rilevabile sulla sorgente di emissione: <ul style="list-style-type: none"> - non schermata - ubicata in prossimità dell'apertura 	-	-
Note In questo caso si assume che la velocità dell'aria non sia inferiore a 0,05 m/s in corrispondenza della sorgente di emissione	-	-
<i>oppure, in alternativa</i>	-	-
3. È presente un sistema di ventilazione artificiale (in aspirazione) localizzato: <ul style="list-style-type: none"> ▪ conforme alle relative norme tecniche ▪ in grado di assicurare una velocità dell'aria non inferiore a 0,25 m/s (misurata/calcolata) in corrispondenza della sorgente di emissione 	-	-
Note a) Se utilizzata una cappa posta lateralmente, la minima velocità di cattura dei vapori deve essere rilevata sul bordo della sorgente di emissione opposto alla bocca di aspirazione. La portata d'aria necessaria può essere determinata con la seguente equazione (ACGIH: Industrial Ventilation), valida per cappe aventi forma circolare o rettangolare con rapporto W/L (altezza/larghezza) ≥ 0,2: $Q_c = w_c \cdot (10 \cdot d_c^2 + A_c) \text{ [m}^3/\text{s]}$ dove: <ul style="list-style-type: none"> - w_c è la velocità di cattura dei vapori - d_c è la distanza di cattura dei vapori - A_c è l'area della bocca di aspirazione b) Se utilizzata una cappa sospesa questa deve racchiudere la lavorazione. La portata d'aria necessaria può essere determinata con la seguente equazione (ACGIH: Industrial Ventilation): $Q_c = 1,4 \cdot P \cdot d_c \cdot w_c$ dove, oltre a quanto già visto: <ul style="list-style-type: none"> - P è il perimetro della cappa che racchiude il piano di lavoro 	-	-
4. Il mancato funzionamento del sistema di ventilazione artificiale (se presente) è rilevabile da parte dell'operatore (es. è installato un dispositivo di controllo)		

segue

REQUISITO	Presente	
	Si	No
5. Le lavorazioni sono svolte da operatori informati e formati:	-	-
▪ sulle procedure di lavoro		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali dei prodotti vernicianti		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le sorgenti di emissione in assenza del sistema di ventilazione		
▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
6. Sono presenti mezzi per neutralizzare sversamenti accidentali di prodotti vernicianti (es. specifiche polveri assorbenti)		
7. Barattoli e fustini depositati nel locale sono chiusi in modo efficace contro il pericolo di emissioni		
8. Le bocche del sistema di ventilazione e la posizione delle sorgenti di emissione garantiscono che il flusso d'aria inquinata non sia diretto verso il viso dell'operatore		
9. Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
Se sono soddisfatti tutti i requisiti: <ul style="list-style-type: none"> ▪ il luogo presenta zone classificate con pericolo di esplosione di estensione trascurabile (Zona 1 NE) 		
Terminata la valutazione dei rischi da atmosfere esplosive per la specifica sorgente di emissione		

4. AREA PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI DA VERNICIARE

Nelle aree di preparazione degli elementi da verniciare vengono in genere eseguite operazioni di:

- applicazione di prodotti vernicianti a spatola (stucchi);
- carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati.

Nel primo caso, in funzione della temperatura ambiente e della temperatura di infiammabilità dei prodotti utilizzati, i composti organici volatili possono formare con l'aria miscele infiammabili.

Nel secondo caso vi è formazione in aria di polveri combustibili.

Si esclude l'applicazione di prodotti vernicianti a spruzzo, anche se in piccole quantità, fatto salvo il caso in cui l'area sia stata progettata e costruita per tale utilizzo.

Sia nell'applicazione di prodotti vernicianti a spatola sia nella carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati, possono formarsi atmosfere esplosive; in questa ipotesi l'operatore si troverebbe a contatto o nelle immediate vicinanze di tali atmosfere esplosive. Da valutazioni di massima a carattere orientativo svolte considerando l'applicazione di circa 100 g di stucco contenente il 25 % di solventi infiammabili, l'essiccazione rapida (5') mediante l'uso di dispositivi di riscaldamento (es. generatori di onde elettromagnetiche nel campo dell'infrarosso, elettrici o catalitici) produce un'atmosfera esplosiva di volume non trascurabile, a meno che le operazioni di essiccazione siano effettuate in presenza di ventilazione artificiale (con portata adeguata).

Inoltre, la varietà di prodotti vernicianti simili presenti sul mercato è piuttosto ampia. Il datore di lavoro può facilmente cambiare prodotto nel tempo per diversi motivi (convenienza economica, qualità, semplicità di applicazione, ecc.), ma difficilmente varierà le caratteristiche del luogo di lavoro in funzione dell'eventuale aumentata possibilità di rilascio di vapori infiammabili del nuovo prodotto verniciante scelto.

Pertanto, in generale, è opportuno effettuare le operazioni di applicazione di prodotti vernicianti a spatola e di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati in un ambiente dotato di ventilazione artificiale e specificamente progettato (es. su piano ventilato).

I fabbricanti di *Cabine forno* per autocarrozzerie sono generalmente in grado di fornire anche aree per la preparazione degli elementi da verniciare (Preparazione/Zona operativa termoventilata/Piano ventilato/...), nell'ambito di sistemi modulari dichiarati conformi alla direttiva *Macchine*. Secondo tale direttiva, tra i requisiti essenziali di sicurezza (RES) che il fabbricante deve garantire attraverso l'analisi dei rischi vi è anche quello connesso al pericolo di esplosione (punto 1.5.7, allegato I, direttiva 2006/42/CE). Nel caso di area per la preparazione degli elementi da verniciare prefabbricata, l'utilizzatore dovrà seguire scrupolosamente le istruzioni contenute nel Manuale d'uso che è parte integrante della macchina e concorre a determinarne le condizioni di sicurezza.

Tabella 4.1 - Lista di Controllo: Area per la preparazione degli elementi da verniciare prefabbricata

REQUISITO	Presente	
	Si	No
1. L'uso è conforme alle istruzioni del fabbricante		
2. Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
3. Le lavorazioni sono svolte da operatori informati e formati:	-	-
▪ sulle procedure di lavoro		
▪ sulla necessità di interrompere le attività in caso di malfunzionamento del sistema di ventilazione artificiale		
▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
<i>inoltre, l'uso (eventuale) di dispositivi IR³ è assoggettato:</i>		
4. Al rispetto delle istruzioni del fabbricante		
5. All'esecuzione di controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
6. Alla presenza della ventilazione artificiale (es. interblocco)		
Compatibilmente con le indicazioni del fabbricante del locale in merito alla formazione di atmosfere esplosive, se sono soddisfatti tutti i Requisiti:		
▪ il luogo presenta zone classificate con pericolo di esplosione di estensione trascurabile (Zona 1/21 NE)		
Terminata la valutazione dei rischi da atmosfere esplosive		

³ Generatori di onde elettromagnetiche nel campo dell'infrarosso, elettrici o catalitici.

Se la preparazione degli elementi da verniciare è realizzata direttamente nell'edificio, per le sole operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati, può essere utilizzata la seguente tabella. Per le altre attività che comportino emissioni di vapori di solventi infiammabili contenuti nei prodotti applicati, il datore di lavoro deve procedere alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione.

Tabella 4.2 - Lista di Controllo: Operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati non eseguite in apposito locale

REQUISITO	Presente	
	Si	No
1. L'apparecchio per la carteggiatura è dotato di unità di aspirazione e filtrazione delle polveri		
2. Sull'unità di aspirazione e filtrazione delle polveri è presente la marcatura CE ed è disponibile la Dichiarazione CE di conformità alla direttiva Macchine		
3. L'uso delle apparecchiature è conforme alle istruzioni dei fabbricanti		
4. Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
5. Le lavorazioni sono svolte da operatori informati e formati:	-	-
▪ sulle procedure di lavoro		
▪ sulla necessità di interrompere le attività in caso di malfunzionamento del sistema di aspirazione delle polveri		
▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
Se sono soddisfatti tutti i Requisiti:		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ il luogo presenta zone (esterne all'unità di aspirazione e filtrazione delle polveri) classificate con pericolo di esplosione di estensione trascurabile (Zona 21 NE) 		
Terminata la valutazione dei rischi da atmosfere esplosive		

5. VERNICIATURA ED ESSICCAZIONE DEI PRODOTTI VERNICIANTI

Le attività di verniciatura devono essere svolte in apposita cabina dotata di sistema di ventilazione artificiale.

La norma UNI EN 13355:2009 *Impianti di verniciatura. Cabine forno. Requisiti di sicurezza*, si applica alle cabine forno per l'applicazione di prodotti vernicianti organici liquidi da parte di un operatore con una temperatura massima di essiccazione di 100 °C e tratta tutti i pericoli significativi pertinenti le cabine forno, quando utilizzate secondo l'uso proprio e nelle condizioni previste dal fabbricante. La norma, armonizzata con la direttiva *Macchine* (direttiva 2006/42/CE), con riferimento al pericolo di esplosione:

- indica un metodo di calcolo basato sulla norma UNI EN 12215⁴ per determinare la concentrazione di solventi infiammabili durante la fase di verniciatura con prodotti vernicianti liquidi; limitando la concentrazione al di sotto del 25 % del limite inferiore di esplosione⁵ (LEL), le aree a rischio di esplosione sono classificate come zona 2⁶;
- rinvia al metodo di calcolo indicato dalla norma UNI EN 1539⁷ per determinare la concentrazione di solventi infiammabili durante la fase di essiccazione; la concentrazione deve essere limitata al di sotto del 25 % del LEL.

Entrambi i metodi di calcolo sono dettati da norme specifiche di prodotto, mentre il metodo di classificazione delle aree a rischio di esplosione di cui alla norma CEI EN 60079-10-1⁸, riveste carattere generale.

Secondo il par. 422 della guida alla direttiva ATEX 2014/34/UE⁹ (DLgs 19.05.2016 n. 85), predisposta dalla Commissione Europea (2^a edizione, settembre 2017), le cabine di verniciatura costituiscono un esempio di prodotti che non rientrano nell'ambito di applicazione della direttiva e non devono quindi essere marcate CE ai sensi della stessa. Sono invece soggetti alla direttiva ATEX 2014/34/UE¹⁰ i prodotti (elettrici e non elettrici) utilizzati nelle aree a rischio di esplosione all'interno delle cabine di verniciatura.

L'operazione di verniciatura avviene con l'emissione dall'aerografo di prodotti vernicianti liquidi ad alta velocità e ad alta pressione; ciò comporta la diffusione di goccioline definibili spray (goccioline con diametri $d > 100 \mu\text{m}$). Nel caso di spray e di nebbie (goccioline con diametri $d < 100 \mu\text{m}$) i limiti inferiore e superiore d'infiammabilità non risultano adeguati alla comprensione e classificazione del fenomeno legato alla formazione di atmosfere esplosive. In ogni caso spray e nebbie aventi concentrazioni in massa superiori a 40 g/m³ sono esplosive (Hattwing *et al.*, 2004 citato da M. Marigo, 2013).

Le cabine forno svolgono una doppia funzione: cabina di verniciatura e cabina di essiccazione. Le Cabine forno devono essere conformi alla direttiva *Macchine*. Secondo tale direttiva, tra i requisiti essenziali di sicurezza (RES) che il fabbricante deve garantire attraverso l'analisi dei rischi vi è anche quello connesso al pericolo di esplosione (punto 1.5.7, allegato I, direttiva 2006/42/CE). L'utilizzatore deve seguire scrupolosamente le istruzioni contenute nel Manuale d'uso che è parte integrante della macchina e concorre a determinarne le condizioni di sicurezza.

⁴ Norma UNI EN 12215 *Impianti di verniciatura. Cabine di verniciatura per l'applicazione di prodotti vernicianti liquidi. Requisiti di sicurezza*.

⁵ Minima concentrazione nel campo di esplosione a cui può avvenire un'esplosione.

⁶ Luogo in cui un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non è probabile sia presente durante il funzionamento normale ma, se ciò avviene, è possibile che essa esista solo per un breve periodo.

⁷ Norma UNI EN 1539 *Essiccatoi e forni nei quali si sviluppano sostanze infiammabili. Requisiti di sicurezza*.

⁸ Norma CEI EN 60079-10-1 *Atmosfere esplosive. Parte 10-1: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di gas*.

⁹ Apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.

¹⁰ La direttiva ATEX 2014/34/UE ha sostituito la direttiva ATEX 1994/9/CE (DPR 23.03.1998 n. 126) dal 20.04.2016. Dal punto di vista tecnico, le direttive 2014/34/UE e 94/9/CE sono sostanzialmente uguali; cambiano invece, e diventano più stringenti, le regole per gli "Operatori Economici" della filiera (fabbricanti, rappresentanti autorizzati, importatori, distributori).

Tabella 5.1 - Lista di Controllo: Cabina forno

REQUISITO		Presente	
		Si	No
1.	L'uso è conforme alle istruzioni del fabbricante		
2.	Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
Note	Particolare attenzione deve essere posta alla manutenzione periodica degli eventuali filtri a carboni attivi, in quanto i carboni attivi saturi di solventi rappresentano al contempo, in caso di interruzione del flusso d'aria da depurare, una sorgente di emissione dovuta alla parziale rievaporazione dell'adsorbito ed una sorgente di accensione causata dalla possibile presenza di reazioni esotermiche.	-	-
3.	Le attività sono svolte da operatori adeguatamente informati e formati:	-	-
	▪ sulle procedure di lavoro		
	▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
4.	La portata di prodotto verniciante utilizzato durante la modalità di verniciatura non supera quella indicata dal fabbricante o, in assenza di indicazioni, non supera 5 kg/h		
5.	La quantità di prodotto verniciante presente durante la modalità di essiccazione non supera quella indicata dal fabbricante o, in assenza di indicazioni, non supera 5 kg		
6.	La velocità media dell'aria durante la modalità di verniciatura è pari a 0,3 m/s , con un valore minimo di 0,25 m/s		
Note	a) L'Appendice B alla norma UNI EN 13355:2009 indica le modalità di esecuzione delle misure di velocità dell'aria. b) I valori di velocità dell'aria indicati sono necessari anche per prevenire il rischio di inalazione di nebulizzazioni di sostanze pericolose da parte degli operatori.	-	-
7.	La velocità media dell'aria durante la modalità di essiccazione è pari a 0,15 m/s		
Note	Con riferimento all'Allegato C (C2), si ritiene adeguata una portata di ventilazione artificiale durante la fase di essiccazione pari circa la metà di quella prevista durante la fase di verniciatura.	-	-

segue

	REQUISITO	Presente	
		Si	No
8.	L'efficienza della ventilazione artificiale è monitorata da un dispositivo di sicurezza (es. pressostato differenziale) sia durante la modalità di verniciatura sia durante la modalità di essiccazione		
9.	L'efficienza della ventilazione artificiale è garantita anche con eventuali serrande impostate sulla posizione di minima apertura sia durante la modalità di verniciatura sia durante la modalità di essiccazione (rispettivamente, velocità dell'aria: 0,3 m/s, 0,15 m/s)		
10.	Il dispositivo di verniciatura (aerografo) può essere alimentato solo se la ventilazione artificiale funziona efficacemente (interblocco)		
Note	In genere l'alimentazione del dispositivo di verniciatura avviene con il comando in apertura di una elettrovalvola posta sul circuito dell'aria compressa. Il comando in apertura dell'elettrovalvola deve essere opportunamente interbloccato per evitare che l'operatore possa utilizzare il dispositivo di verniciatura in condizioni di pericolo. In particolare, l'elettrovalvola deve mantenere la posizione di chiusura (posizione di riposo) quando: si interrompe il funzionamento del gruppo di ventilazione, la pressione in cabina si discosta dai limiti previsti, l'impianto non è in fase di verniciatura.	-	-
11.	Il sistema di riscaldamento può funzionare solo se la ventilazione artificiale funziona efficacemente (interblocco)		
Note	Anche nel caso in cui il sistema di riscaldamento originale sia stato sostituito/integrato con altro sistema installato nella cabina, ad esempio con generatore di onde elettromagnetiche nel campo dell'infrarosso, elettrico o catalitico, la cabina forno deve essere provvista di dispositivi che interbloccano la ventilazione forzata e le operazioni di riscaldamento. Fatto salvo il caso in cui tale nuovo sistema di riscaldamento sia marcato 3G ai sensi della direttiva ATEX, il suo funzionamento deve impedire (interblocco) l'alimentazione del dispositivo di verniciatura.	-	-
12.	Durante la modalità di essiccazione in caso di guasto del sistema di riscaldamento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ il suo riavvio non è automatico ▪ prima del riavvio viene effettuato un lavaggio dell'ambiente pari a cinque volte lo spazio totale 	-	-
13.	I sistemi di riscaldamento ad infrarossi (IR) e catalitici sono: <ul style="list-style-type: none"> ▪ di tipo fisso ▪ protetti dai prodotti vernicianti durante la modalità di verniciatura ▪ attivi solo in assenza di persone all'interno della cabina 	-	-
14.	È presente un dispositivo di controllo indicante la temperatura all'interno della cabina e il valore impostato		
15.	È presente un dispositivo di sicurezza (diverso dal precedente) per l'arresto del sistema di riscaldamento dell'aria di ventilazione in caso di raggiungimento del valore di temperatura massimo (in genere ≈120 °C)		
16.	Le apparecchiature costituenti l'equipaggiamento elettrico e non elettrico con proprie potenziali sorgenti di accensione installate/utilizzate nel volume interno della cabina nella fase di verniciatura, incluse le condotte per il ricircolo e lo scarico dell'aria ed i volumi esterni entro una distanza di 1 m dalle aperture permanenti, sono marcate di Categoria 3 (II 3G) o superiore secondo la direttiva ATEX 2014/34/UE		

segue

REQUISITO		Presente	
		Si	No
17.	È garantita la dissipazione delle cariche elettrostatiche		
Note	È necessario: <ul style="list-style-type: none"> - collegare a terra le attrezzature (griglia a pavimento, elemento da verniciare, aerografo, ecc.) - dotare il personale di indumenti e calzature in materiale dissipativo (es. indumenti in cotone e calzature antinfortunistiche con proprietà "antistatiche") 	-	-
18.	I dispositivi di illuminazione sono collocati dietro pannelli trasparenti resistenti all'urto, sigillati alla struttura della cabina		
19.	Il comando per l'arresto di emergenza non interrompe la ventilazione artificiale se a seguito dell'interruzione possono formarsi atmosfere esplosive		
20.	Se la cabina risulta costruita prima del 01.07.2003 (data di entrata in vigore della direttiva ATEX 94/9/CE) o non è dichiarata conforme alla norma EN 13355, è confermato che le giranti dei ventilatori per lo scarico e l'eventuale ricircolo dell'aria: <ul style="list-style-type: none"> ▪ sono in materiale antiscintilla (es. rivestimento in rame delle parti potenzialmente soggette ad attrito in caso di anomalia) ▪ se sono in acciaio come le parti fisse, non superano una velocità periferica di 40 m/s e sono azionate da motori aventi potenza non superiore a 5,5 kW; in caso contrario esiste un dispositivo di controllo delle vibrazioni 	-	-
Note	a) I ventilatori che operano in atmosfere potenzialmente esplosive sono oggetto della norma EN 14986:2007, armonizzata con la direttiva Macchine. b) La velocità periferica è espressa dalla seguente relazione $v_p = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$ (m/s), dove r è il raggio del corpo in movimento circolare ed n è il numero di giri al secondo. Ad esempio, considerando un motore elettrico da 5,5 kW riportante in targa "800 g/min" che aziona un ventilatore con portata 19.000 m ³ /h e girante con diametro 0,5 m, la velocità periferica vale: $v_p = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25m \cdot \frac{800g/min}{60s} = 21m/s$	-	-
	inoltre presentano una distanza verso le parti fisse pari almeno all'1% del diametro con un minimo di 2 mm (non necessita superare 20 mm)		
21.	Non risultano effettuate modifiche tali da comportare una nuova marcatura CE		
Note	Modifiche comportanti una nuova marcatura CE possono essere ad esempio: <ul style="list-style-type: none"> ▪ la sostituzione del bruciatore con altro di diverso tipo ▪ la sostituzione del gruppo generatore (sistema di termoventilazione) con altro di diverso tipo ▪ l'aggiunta di "inverter" sull'alimentazione dei motori dei ventilatori ▪ l'aggiunta di PLC con modifica dell'equipaggiamento elettrico 	-	-

segue

REQUISITO	Presente	
	Si	No
22. Le attività di manutenzione con lavori a caldo nelle zone pericolose sono soggette a specifico permesso di lavoro		
Note a) Le manutenzioni possono essere svolte sia da personale interno sia da imprese appaltatrici o lavoratori autonomi. In quest'ultimo caso il permesso di lavoro costituisce uno specifico allegato al documento unico di valutazione dei rischi da interferenze (DUVRI) b) Per la gestione dei permessi di lavoro può essere fatto riferimento alla norma UNI 10499 c) In allegato (Allegato H) è riportato l'esempio di permesso di lavoro contenuto nella Linea Guida UE alla Direttiva 1999/92/CE	-	-

Compatibilmente con le indicazioni del fabbricante della cabina forno in merito alla formazione di atmosfere esplosive, sono classificati con pericolo di esplosione:

- **Zona 2 - il volume interno della cabina forno, incluse le condotte per il ricircolo e lo scarico dell'aria**

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	2
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	0
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum (I) \geq 2$

Se sono soddisfatti tutti i Requisiti il rischio di esplosione è ritenuto accettabile

6. MACCHINA PER IL LAVAGGIO DEGLI ATTREZZI

Le macchine per lavaggio degli attrezzi con solvente infiammabile sono essenzialmente costituite, generalmente, da un contenitore in acciaio in cui sono alloggiati:

- sulla parte superiore, all'interno di un vano accessibile con l'apertura di uno sportello basculante, una lamiera forata di appoggio e scolo per il lavaggio manuale ed una vasca munita di coperchio per il lavaggio automatico (lavatrice);
- sulla parte inferiore, all'interno di un vano accessibile con l'apertura di sportelli ad anta, due recipienti di uguali dimensioni (normalmente fusti in metallo da 25 dm³), uno contenente il solvente infiammabile originario ed uno contenente il solvente infiammabile contaminato; sono inoltre presenti le relative pompe per il trasferimento del solvente infiammabile verso la zona di lavaggio oltre ad una serie di tubazioni, giunzioni, raccordi, ecc.

Tipicamente le macchine per lavaggio degli attrezzi con solvente infiammabile presentano le seguenti caratteristiche funzionali e di sicurezza:

- a) marcatura CE anche ai sensi della direttiva ATEX 2014/34/UE;
- b) azionamento ad aria compressa (normalmente è richiesto un serbatoio di accumulo avente una capacità di ≈ 500 dm³);
- c) espulsione dei vapori di solvente infiammabile dal vano di lavaggio superiore attraverso una tubazione di scarico funzionante in aspirazione, grazie alla depressione generata per effetto venturi dall'aria compressa attraverso l'apposita conformazione dell'impianto¹¹;
- d) attivazione automatica dell'aspirazione e abilitazione al funzionamento delle pompe per il trasferimento del solvente infiammabile dal vano inferiore, comandata dall'apertura dello sportello basculante sul vano di lavaggio superiore;
- e) disattivazione automatica delle pompe per il trasferimento del solvente infiammabile dal vano inferiore, comandata dall'apertura dell'apposito coperchio sulla vasca per il lavaggio automatico;
- f) sportello basculante sul vano di lavaggio superiore chiuso, a macchina ferma;
- g) lavaggio, sia manuale sia automatico, eseguito con sportello del vano superiore aperto e quindi con sistema di aspirazione in funzione; in caso contrario le pompe per il trasferimento del solvente infiammabile dal vano inferiore non funzionano;
- h) durata del lavaggio automatico regolabile fino ad alcuni minuti;
- i) recipienti del solvente infiammabile originario e del solvente infiammabile contaminato dotati di tappo con sistema di passaggio dei tubi tale da rendere trascurabili le emissioni di vapori¹²;
- j) fondo del vano inferiore provvisto di vasca metallica per il contenimento di eventuali sversamenti, avente il bordo con altezza $\geq 0,1$ m (capacità di raccolta ≈ 50 dm³);
- k) sportelli ad anta del vano inferiore dotati di aperture di aerazione ($\approx 0,02$ m² sia sulla parte alta che sulla parte bassa).

¹¹ La cappa di aspirazione è posta superiormente alla vasca, la quale è chiusa totalmente su tre lati e parzialmente sul lato di accesso durante il lavaggio. L'ambiente è conformato in modo da agevolare la cattura ed espulsione dei vapori.

¹² Dati i limitati volumi del recipiente del solvente infiammabile originario e dei relativi volumi di prelievo, le operazioni sono possibili anche senza aperture di "respirazione"; si ipotizza che le costanti di tempo per riportare il sistema vapore-liquido in equilibrio siano così elevate da considerare trascurabili le emissioni dal sistema di tenuta.

Tabella 6.1 - Lista di Controllo: Macchina per il lavaggio degli attrezzi

REQUISITO	Presente	
	Si	No
1. L'uso è conforme alle istruzioni del fabbricante		
2. Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
3. Le attività sono svolte da operatori adeguatamente informati e formati:	-	-
▪ sulle procedure di lavoro		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di guasto o di sversamenti accidentali di solvente infiammabile		
▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le sorgenti di emissione in assenza del sistema di ventilazione		
▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
4. Sono presenti mezzi (es. specifiche polveri assorbenti) per neutralizzare sversamenti accidentali di solventi infiammabili		
5. All'apertura dello sportello basculante sul vano di lavaggio superiore, corrisponde l'attivazione dell'aspirazione		
6. All'apertura dell'apposito coperchio sulla vaschetta per il lavaggio automatico (lavatrice), corrisponde lo spegnimento delle pompe		
7. I recipienti del solvente infiammabile originario e del solvente infiammabile contaminato sono presenti, uguali e dotati di tappo con sistema di passaggio dei tubi tale da rendere trascurabili le emissioni di vapori		
8. Sul fondo del vano inferiore è presente una vasca metallica per il contenimento di eventuali sversamenti, avente il bordo con altezza $\geq 0,1$ m (capacità di raccolta ≈ 50 dm ³)		
9. Gli sportelli ad anta del vano inferiore sono dotati di aperture di aerazione sia sulla parte alta sia sulla parte bassa.		
10. La macchina è sottoposta a sorveglianza almeno ogni 90 minuti		
11. La macchina è posta:	-	-
▪ nell'area principale del fabbricato in cui è presente l'aerazione naturale prescritta dalle norme di legge, oppure all'aperto (es. area libera su almeno tre lati, sotto tettoia)		
▪ in ambiente privo di ostacoli alla libera circolazione dell'aria		
12. Nella vasca superiore di lavaggio non sono presenti equipaggiamenti elettrici e non elettrici con potenziali sorgenti di accensione		
13. L'equipaggiamento elettrico e non elettrico con proprie potenziali sorgenti di accensione installato nel vano inferiore di alloggiamento dei recipienti di solvente infiammabile (zona 1) o in prossimità della macchina (zona 2), ha un idoneo livello di sicurezza contro il rischio di accensione dell'atmosfera esplosiva		
Note a) In zona 1 sono idonei prodotti di Categoria 2 secondo la direttiva ATEX 2014/34/UE; nel caso specifico: II 2G IIA2		
b) In zona 2 sono idonei prodotti di Categoria 3 secondo la direttiva ATEX 2014/34/UE; nel caso specifico: II 3G IIA2	-	-

segue

REQUISITO		Presente	
		Si	No
14.	È garantita la dissipazione delle cariche elettrostatiche		
Note	È necessario: - collegare a terra le attrezzature (Macchina, contenitori, ecc.) - dotare il personale di indumenti e calzature in materiale dissipativo (es. indumenti in cotone e calzature antinfortunistiche con proprietà "antistatiche") - non utilizzare pavimenti realizzati o rivestiti con materiali elettricamente isolanti (la resistenza verso terra deve essere $< 10^6 \Omega$)	-	-
15.	Le attività di manutenzione con lavori a caldo nelle zone pericolose sono soggette a specifico permesso di lavoro		
Note	a) Le manutenzioni possono essere svolte sia da personale interno sia da imprese appaltatrici o lavoratori autonomi. Nel secondo caso il permesso di lavoro costituisce uno specifico allegato al documento unico di valutazione dei rischi da interferenze (DUVRI) b) In allegato è riportato l'esempio di permesso di lavoro per lavori a caldo da effettuarsi in aree in cui sono presenti atmosfere esplosive, contenuto nella Linea Guida UE alla Direttiva 1999/92/CE	-	-
<p>Compatibilmente con le indicazioni del fabbricante della macchina in merito alla formazione di atmosfere esplosive, sono classificati con pericolo di esplosione:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zona 0 - il vano superiore (lavaggio) ▪ Zona 1 - il vano inferiore (alloggiamento recipienti di solvente infiammabile) ▪ Zona 2 - il volume che circonda la macchina posta all'interno del fabbricato fino ad una distanza dalle aperture di ventilazione del vano inferiore: <ul style="list-style-type: none"> – di 1 m in orizzontale – di 0,5 m in verticale verso l'alto <p>e fino al suolo</p>			

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive – zona 0

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	0
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	2
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum(I) \geq 2$

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive – zona 1

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	1
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	1
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum(I) \geq 2$

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive – zona 2

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	2
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	0
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum(I) \geq 2$

Se sono soddisfatti tutti i Requisiti il rischio di esplosione è ritenuto accettabile

7. MACCHINA PER LA DISTILLAZIONE DEL SOLVENTE INFIAMMABILE CONTAMINATO (DISTILLATORE)

Tramite la tecnica della “distillazione” che sfrutta la differenza dei punti di ebollizione delle diverse sostanze presenti in una miscela, la Macchina per la distillazione del solvente infiammabile contaminato (nel seguito, Distillatore), separa i prodotti contaminanti quali: resine, vernici, pigmenti, oli, grassi, ecc. dal solvente originario che, raccolto direttamente in contenitori, viene reso disponibile per l'immediato riutilizzo.

Generalmente, l'ebollizione del solvente contaminato avviene in un “bollitore” solidale con una intercapedine contenente olio diatermico riscaldato da una resistenza elettrica.

Durante il processo i contaminanti residuano sul fondo del bollitore e possono essere scaricati alla fine del ciclo mentre i vapori prodotti sono convogliati ad un condensatore raffreddato ad aria che li riporta alla fase liquida; il solvente così condensato viene direttamente raccolto in un contenitore.

Per la distillazione di solventi con punto di ebollizione elevato può rendersi necessario un generatore di vuoto.

Tipicamente i distillatori per solventi infiammabili presentano le seguenti caratteristiche funzionali e di sicurezza:

- a) marcatura CE anche ai sensi della direttiva ATEX 2014/34/UE;
- b) idoneità solo per una specifica serie di solventi infiammabili, in funzione delle relative caratteristiche chimiche e fisiche (es. temperature di infiammabilità, temperature di ebollizione, temperature di accensione);
- c) funzionamento a pressione atmosferica oppure a pressione negativa (vuoto);
- d) segnalazione delle anomalie, quali ad esempio: aumento della temperatura, mancato funzionamento del condensatore;
- e) sacchetti per la raccolta dei residui della distillazione (morchie), in materiale dissipativo per evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche;
- f) presenza di valvola di sicurezza sul bollitore (protezione contro la sovrappressione);
- g) presenza di dispositivi di sicurezza per il controllo della massima temperatura del bollitore e del distillato.

Tabella 7.1 - Lista di Controllo: Distillatore

REQUISITO		Presente	
		Si	No
1.	L'uso è conforme alle istruzioni del fabbricante		
Note	Particolare attenzione deve essere posta nell'individuare eventuali sostanze chimiche il cui uso non è previsto	-	-
2.	Sono eseguiti controlli e manutenzioni periodiche ai fini della sicurezza		
3.	Le attività sono svolte da operatori adeguatamente informati e formati:	-	-
	▪ sulle procedure di lavoro		
	▪ sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di guasto o di sversamenti accidentali di solvente infiammabile		
	▪ sui rischi da atmosfere esplosive (art. 294-bis, DLgs 81/2008)		
4.	Sono presenti mezzi (es. specifiche polveri assorbenti) per neutralizzare eventuali sversamenti accidentali di solventi infiammabili		
5.	Il contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato è in metallo ed è in grado di dissipare le cariche elettrostatiche (è posato su pavimento dissipativo)		
6.	I sacchetti per la raccolta dei residui della distillazione (morchie) sono realizzati in materiale in grado di dissipare le cariche elettrostatiche		
7.	Il distillatore è sottoposto a periodica sorveglianza		
8.	Il distillatore è posto:	-	-
	▪ nell'area principale del fabbricato in cui è presente l'aerazione naturale prescritta dalle norme di legge, oppure all'aperto (es. area libera su almeno tre lati, sotto tettoia)		
	▪ in ambiente privo di ostacoli alla libera circolazione dell'aria		
9.	L'equipaggiamento elettrico e non elettrico con proprie potenziali sorgenti di accensione installato a bordo del distillatore e installato/utilizzato in prossimità dello stesso (zona 1), ha un idoneo livello di sicurezza contro il rischio di accensione dell'atmosfera esplosiva		
Note	In zona 1 sono idonei prodotti di Categoria 2 secondo la direttiva ATEX 2014/34/UE; nel caso specifico: Il 2G IIAT2	-	-
10.	È garantita la dissipazione delle cariche elettrostatiche		
Note	È necessario: - collegare a terra le attrezzature (Distillatore, contenitori, ecc.) - dotare il personale di indumenti e calzature in materiale dissipativo (es. indumenti in cotone e calzature antinfortunistiche con proprietà "antistatiche") - non utilizzare pavimenti realizzati o rivestiti con materiali elettricamente isolanti (la resistenza verso terra deve essere $< 10^6 \Omega$)	-	-
11.	Le attività di manutenzione con lavori a caldo nelle zone pericolose sono soggette a specifico permesso di lavoro		
Note	a) Le manutenzioni possono essere svolte sia da personale interno sia da imprese appaltatrici o lavoratori autonomi. Nel secondo caso il permesso di lavoro costituisce uno specifico allegato al documento unico di valutazione dei rischi da interferenze (DUVRI) b) In allegato è riportato l'esempio di permesso di lavoro per lavori a caldo da effettuarsi in aree in cui sono presenti atmosfere esplosive, contenuto nella Linea Guida UE alla Direttiva 1999/92/CE	-	-

segue

Compatibilmente con le indicazioni del fabbricante della macchina in merito alla formazione di atmosfere esplosive, qualora il Distillatore sia posto all'interno del fabbricato, sono classificati con pericolo di esplosione:

- **Zona 1 - il volume che circonda il bollitore fino ad una distanza:**
 - di 2,5 m in orizzontale;
 - di 1 m in verticale verso l'alto;**e fino al suolo.**

Tale zona 1 ricomprende anche una zona 2 con le medesime dimensioni.

- **Zona 1 - il volume che circonda il contenitore del distillato fino ad una distanza:**
 - di 1 m in orizzontale;
 - di 0,5 m in verticale verso l'alto;**e fino al suolo.**

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive – zona 1

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	1
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	1
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum(I) \geq 2$

Valutazione del rischio da atmosfere esplosive – zona 2

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/ Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	2
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	-
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	0
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	-
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	-
		$\sum(I) \geq 2$

Se sono soddisfatti tutti i Requisiti il rischio di esplosione è ritenuto accettabile

ALLEGATO A - LOCALE PREPARAZIONE PRODOTTI VERNICIANTI
Locale preparazione prodotti vernicianti costituito da un vano nell'edificio
(rif. Norma EN 60079-10-1:2010, Guida CEI 31-35:2012, Guida CEI 31-35/A:2012)

Indice	pag.	
A.1	Caratteristiche delle sostanze infiammabili	25
A.2	Massa molare del prodotto verniciante in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M	26
A.3	Coefficiente di diffusione del prodotto verniciante c_{gd}	26
A.4	Tensione di vapore del prodotto verniciante p_v alla temperatura di riferimento di 40 °C	26
A.5	Limite inferiore di esplosione in aria del prodotto verniciante LEL_v	26
A.6	Ambienti	27
A.7	Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (I Caso: ventilazione artificiale generale)	27
A.7.1	Caratteristiche dell'ambiente	27
A.7.2	Ventilazione dell'ambiente	27
A.7.3	Disponibilità della ventilazione	27
A.7.4	Portata minima di aspirazione	28
A.7.5	Ricambi d'aria	28
A.7.6	Velocità minima dell'aria	28
A.7.7	Fattore di efficacia della ventilazione	28
A.7.8	Sorgenti di emissione	28
A.7.9	Emissioni di primo grado da contenitore	29
A.7.10	Portata di emissione Q_g della sorgente SE01	29
A.7.11	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE01	29
A.7.12	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01	30
A.7.13	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	30
A.8	Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (II Caso: ventilazione naturale)	33
A.8.1	Caratteristiche dell'ambiente	33
A.8.2	Aperture dell'ambiente	33
A.8.3	Ventilazione dell'ambiente	33
A.8.4	Disponibilità della ventilazione	33
A.8.5	Portata minima di aspirazione	33
A.8.6	Ricambi d'aria	33
A.8.7	Velocità minima dell'aria	34
A.8.8	Fattore di efficacia della ventilazione	34
A.8.9	Sorgenti di emissione	34
A.8.10	Emissioni di primo grado da contenitore	34
A.8.11	Portata di emissione Q_g della sorgente SE01	34
A.8.12	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE01	34
A.8.13	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01	34
A.8.14	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	34
A.9	Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (III Caso: ventilazione artificiale localizzata)	34
A.9.1	Caratteristiche dell'ambiente	34
A.9.2	Ventilazione dell'ambiente	35
A.9.3	Disponibilità della ventilazione	35
A.9.4	Portata minima di aspirazione	35
A.9.5	Sorgenti di emissione	35
A.9.6	Emissioni di primo grado da contenitore	36
A.9.7	Portata di emissione Q_g della sorgente SE02	36
A.9.8	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02 con VAL	36
A.9.9	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02 con VAL	36

A.1 Caratteristiche delle sostanze infiammabili

Le principali caratteristiche chimico-fisiche del prodotto verniciante ritenuto rappresentativo e delle sostanze pure contenute nello stesso sono riportate nella tabella seguente.

Tabella A.1 – Composizione e caratteristiche del prodotto verniciante e delle sostanze contenute ¹

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N.	Sostanza (Nome o denominazione)	Numero di identificazione	Frazione in volume	Coefficiente di diffusione in aria	Massa molare	Limite inferiore di esplosibilità	Tensione di vapore a 40 °C	Temperatura d'infiammabilità	Temperatura di accensione	Gruppo e classe di temperatura ²	Note
		CAS	(in fase liquida) y% %	C_{gd} m ² /h	M_{liq} kg/kmol	LEL_v	p_{v40} Pa	T_i °C	T_{acc} °C		
1	Acetato di butile-n	123-86-4	20	0,024	116,16	1,7	3300	22	425	IIAT2	
2	Xilene	106-42-3	10	0,026	106,16	1,1	362	25	528	(IIA)T1	
3	1,2,4 Trimetilbenzene	95-63-6	2	0,023	120,21	0,9	800	51	470	IIAT1	
4	Etilbenzene	100-41-4	5	0,024	106,17	1	2 813	23	431	IIAT2	
5	Propilbenzene	103-65-1	0,7	0,023	120,12	0,8	1180	30	450	(IIA)T2	
6	Sostanze non infiammabili	-	62,3	-	-	-	-	-	-	-	
7	Prodotto verniciante	-	100	0,0092	42,4	1,45	862	25	425	IIAT2	

Nota 1 Le caratteristiche chimico-fisiche indicate sono ricavate dalle relative schede di sicurezza, dalla Guida CEI 31-35:2012 e da dati disponibili in letteratura.

Nota 2 I dati indicati tra parentesi sono stati assunti per analogia con altre sostanze. Per il prodotto verniciante, non trattandosi di un dato verificato da prove di laboratorio, il gruppo e la classe di temperatura sono stati assunti scegliendo quelli più conservativi tra le sostanze presenti.

Le modalità di determinazione delle caratteristiche del prodotto verniciante sono indicate seguito.

A.2 Massa molare del prodotto verniciante in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M

La massa molare della fase liquida del prodotto verniciante M_{liq} si determina considerando la massa molare delle singole sostanze della fase liquida e la loro frazione molare. La massa molare in fase vapore M , utile per il calcolo della distanza pericolosa d_z , differisce da quella della fase liquida e si determina considerando il peso molecolare medio del vapore del prodotto verniciante, secondo le tensioni di vapore dei singoli componenti. Per una prima valutazione si assume $M = M_{liq}$.

$$M_{liq} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot M_{liqi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} M_{liq} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot M_{liqi} = \\ &= 0,2 \cdot 116,16 \text{ kg / kmol} + 0,1 \cdot 106,16 \text{ kg / kmol} + 0,02 \cdot 120,21 \text{ kg / kmol} + 0,05 \cdot 106,17 \text{ kg / kmol} + \\ &+ 0,007 \cdot 120,12 \text{ kg / kmol} = 42,4 \text{ kg / kmol} \end{aligned}$$

A.3 Coefficiente di diffusione del prodotto verniciante c_{gd}

Procedendo come per la massa molare, il coefficiente di diffusione del prodotto verniciante c_{gd} è pari a:

$$c_{gd} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot c_{gdi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} c_{gd} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot c_{gdi} = \\ &= 0,2 \cdot 0,024 \text{ m}^2 / \text{h} + 0,1 \cdot 0,026 \text{ m}^2 / \text{h} + 0,02 \cdot 0,023 \text{ m}^2 / \text{h} + 0,05 \cdot 0,024 \text{ m}^2 / \text{h} + 0,007 \cdot 0,023 \text{ m}^2 / \text{h} = 0,0092 \text{ m}^2 / \text{h} \end{aligned}$$

dove:

c_{gdi}	coefficiente di diffusione in aria dell'i-esimo componente del prodotto verniciante [m ² /h]
y_i	frazione volumetrica (molare) dell'i-esimo componente del prodotto verniciante (numero adimensionale) pari a $y_i\%$ / 100

A.4 Tensione di vapore del prodotto verniciante p_v alla temperatura di riferimento di 40 °C

Procedendo come per la massa molare, la tensione di vapore del prodotto verniciante p_v a 40 °C utile al calcolo del Limite inferiore di esplosione - LEL, è pari a:

$$p_v = \sum_{i=1}^n y_i \cdot p_{vi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$p_v = \sum_{i=1}^5 y_i \cdot p_{vi} = 0,2 \cdot 3300 \text{ Pa} + 0,1 \cdot 362 \text{ Pa} + 0,02 \cdot 800 \text{ Pa} + 0,05 \cdot 2813 \text{ Pa} + 0,007 \cdot 1180 \text{ Pa} = 8611 \text{ Pa}$$

A.5 Limite inferiore di esplosione in aria del prodotto verniciante LEL_v

Il Limite inferiore di esplosione in aria del prodotto verniciante LEL_v si determina stimando la composizione dei vapori emessi combinando le leggi di Dalton e Raoult, e valutandone quindi l'infiammabilità mediante la legge di Le Chatelier.

L'equazione per una miscela binaria è la seguente:

$$1/LEL_v = (x_1 \cdot P_{v1} / LEL_{v1} + x_2 \cdot P_{v2} / LEL_{v2}) / (x_1 \cdot P_{v1} + x_2 \cdot P_{v2})$$

dove:

LEL_v	limite inferiore di esplosione in aria del prodotto verniciante [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)
x_1, x_2	frazione molare dei componenti 1 e 2
P_{v1}, P_{v2}	tensione di vapore dei componenti 1 e 2
LEL_{v1}, LEL_{v2}	limite inferiore di esplosione in aria dei componenti 1 e 2 [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$LEL_v = \frac{\sum_{i=1}^5 y_i \cdot p_{vi}}{\sum_{i=1}^5 \frac{y_i \cdot p_{vi}}{LEL_{vi}}} = \frac{0,2 \cdot 3300Pa + 0,1 \cdot 362Pa + 0,02 \cdot 800Pa + 0,05 \cdot 2813Pa + 0,007 \cdot 1180Pa}{\frac{0,2 \cdot 3300Pa}{1,7\%} + \frac{0,1 \cdot 362Pa}{1,1\%} + \frac{0,02 \cdot 800Pa}{0,9\%} + \frac{0,05 \cdot 2813Pa}{1\%} + \frac{0,007 \cdot 1180Pa}{0,8\%}} = 1,45\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

P_{vi} pressione (tensione) di vapore dell'i-esimo componente del prodotto verniciante a 40 °C [Pa]
 LEL_{vi} limite inferiore di esplosione in aria dell'i-esimo componente del prodotto verniciante [%]

A.6 Ambienti

Gli ambienti considerati sono i seguenti:

- AC.A01** Locale preparazione prodotti vernicianti (**Ambiente Chiuso**), in presenza di ventilazione artificiale generale - VAG (I Caso).
- AC.A02** Locale preparazione prodotti vernicianti (**Ambiente Chiuso**), in presenza di ventilazione naturale (II Caso).
- AC.A03** Locale preparazione prodotti vernicianti (**Ambiente Chiuso**), in presenza di ventilazione artificiale localizzata – VAL (III Caso).

A.7. Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (I Caso: ventilazione artificiale generale)

A.7.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella A.2 – Caratteristiche del Locale preparazione prodotti vernicianti

Codice identificativo	AC.A01
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Volume del locale [a = 2 m, b = 2,5 m, h = 3 m]	$V = 15 \text{ m}^3$
Volume libero di aria	$V_a = 15 \text{ m}^3$
Ventilazione	Artificiale

A.7.2 Ventilazione dell'ambiente

Si considera la presenza nel locale di un sistema di ventilazione artificiale generale - VAG.

Tabella A.3 – Caratteristiche della ventilazione artificiale generale VAG (aspirazione)

Disponibilità della ventilazione	Buona
Portata minima di aspirazione	$Q_a = 0,3 \text{ m}^3/\text{s (1080 m}^3/\text{h)}$
Velocità minima dell'aria alle bocche di aspirazione	$w_a = 0,93 \text{ m/s}$
Velocità minima dell'aria all'interno	$w_{ai} = 0,05 \text{ m/s}$
Area delle bocche due di aspirazione [0,4 m · 0,4 m]	$A_a = 0,16 \text{ m}^2$
Volume da ventilare	$V_a = 15 \text{ m}^3$
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$

A.7.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto:

- le attività svolte nel locale sono manuali ed avvengono da parte di operatori adeguatamente informati e formati (rif. DLgs 81/2008) sulle procedure di lavoro, sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali e sui rischi da atmosfere esplosive;
- l'operatore è in grado di neutralizzare l'emissione interrompendo l'attività ed applicando un coperchio al contenitore di prodotti vernicianti in lavorazione che ne sia eventualmente sprovvisto, se il sistema di ventilazione non è funzionante.

A.7.4 Portata minima di aspirazione

La portata minima di aspirazione Q_a è stata determinata in funzione della velocità minima dell'aria da garantire all'interno del locale. Il sistema è realizzato con aspiratore esterno, canalizzazione verticale rigida e due bocche di aspirazione collocate in modo da ottimizzare l'aspirazione di vapori più pesanti dell'aria provenienti dal banco di preparazione vernici.

A.7.5 Ricambi d'aria

Definita la portata di aria Q_a ¹³, il numero dei ricambi di aria dell'ambiente C_a si determina applicando la formula [f.5.10.3-8, Guida CEI 31-35]:

$$C_a = \frac{Q_a}{V_a} = \frac{0,3m^3/s}{15m^3} = 0,02s^{-1}$$

A.7.6 Velocità minima dell'aria

In funzione della portata di aspirazione e delle dimensioni della relativa canalizzazione, la velocità minima dell'aria alle bocche di aspirazione w_a è assunta = 0,93 m/s, al fine di ottenere una velocità minima dell'aria all'interno del locale w_{ai} pari a 0,05 m/s¹⁴.

A.7.7 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

A.7.8 Sorgenti di emissione

Nel locale viene effettuata la preparazione del prodotto verniciante. I prodotti vernicianti sono contenuti in barattoli e fustini sia metallici sia in materiale plastico ed hanno capacità fino ad alcuni litri.

È presente un "Tintometro" su cui sono posti i barattoli contenenti le vernici che necessitano di essere mescolate saltuariamente. Una volta asportato il coperchio originale del barattolo, l'apposito sistema di chiusura comprensivo di mescolatore offre una tenuta efficace sia sul bordo dei contenitori sia sull'albero della girante (o-ring), tale da poter escludere l'emissione in atmosfera di sostanze infiammabili in grado di originare atmosfere esplosive.

Anche i rimanenti barattoli e fustini depositati nel locale possono essere chiusi in modo efficace, tale da escludere l'emissione in atmosfera di sostanze infiammabili in grado di originare atmosfere esplosive.

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

- SE01** Emissioni dall'apertura del serbatoio per aerografo durante la preparazione del prodotto verniciante, rappresentativa delle "Emissioni di primo grado".

¹³ Sotto l'aspetto dell'igiene del lavoro la portata d'aria è $\gg 60 m^3/h$ per persona.

¹⁴ La norma UNI 10339 relativa agli impianti aerulici destinati al benessere delle persone, installati in edifici chiusi, prevede, in funzione della destinazione d'uso dell'ambiente, velocità dell'aria comprese tra 0,05 m/s e 0,4 m/s.

A.7.9 Emissioni di primo grado da contenitore

Tutte le emissioni di primo grado dei barattoli e fustini sono considerate rappresentate dall'emissione attraverso l'apertura del serbatoio per aerografo durante la preparazione della prodotto verniciante.

Tipo di SE	Apertura del serbatoio per aerografo
Modalità di emissione	Evaporazione dalla superficie di un liquido
Grado di emissione	Primo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K (40 °C)}$
Area di emissione (area della superficie del liquido S uguale all'area dell'apertura verso l'ambiente)	$S = 0,01 \text{ m}^2$
Altezza tra il livello del liquido ed il bordo del contenitore	$h_d = 0,01 \text{ m}$
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	$k = 0,25$
Concentrazione iniziale di sostanza infiammabile	$x_{0\%} = \frac{p_v}{p_a \cdot 2} \cdot 100 = \frac{862 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} \cdot 2} \cdot 100 = 0,42\%$

A.7.10 Portata di emissione Q_g della sorgente SE01

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-3, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida della prodotto verniciante non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{S}{h_d} \cdot c_{gd} \cdot \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot I_n \left(\frac{p_a}{p_a - p_v} \right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,01 \text{ m}^2}{0,01 \text{ m}} \cdot 0,0092 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot \frac{42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 314 \text{ K}} \cdot I_n \left(\frac{101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 861,11 \text{ Pa}} \right) = 3,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$$

dove:

S	= 0,01 m ²	sezione dell'apertura del serbatoio per aerografo
h_d	= 0,01 m	altezza libera minima tra il livello del liquido e il bordo del contenitore
c_{gd}	= 0,0092 m ² /h	coefficiente di diffusione dei gas in aria
M	= 42,4 kg/kmol	massa molare del prodotto verniciante
p_a	= 101325 Pa	pressione atmosferica
R	= 8314 J/kmol·K	costante universale dei gas
T	= 313 K	temperatura assoluta di efflusso
p_v	= 861,11 Pa	pressione di vapore del prodotto verniciante

A.7.11 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE01

Nell'ambiente la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m \% = X_r \% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{3,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}}{0,3 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 1,65 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 7,34 \cdot 10^{-6} \%$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\rho_{gas} = 1,65 \text{ kg/m}^3$ densità del gas determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_a} = \frac{42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} = 1,65 \text{ kg/m}^3$$

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 7,34 \cdot 10^{-6}\% \leq \frac{0,25 \cdot 1,45\%}{3} = 0,12\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

k	$= 0,25$	coefficiente (fattore) di sicurezza applicato al LEL per la definizione della portata minima di ventilazione Q_{amin} e del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
LEL_v	$= 1,45\%$	limite inferiore di esplosione in aria della sostanza, espresso in per cento del volume [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
f_a	$= 3$	fattore di efficacia della ventilazione assunto per l'ambiente considerato, in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva nell'intorno di tutte le SE presenti nell'ambiente stesso, con f che varia da $f = 1$ (situazione ideale) ad $f = 5$ (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli) [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

A.7.12 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 3,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s} \cdot 3}{42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 0,25 \cdot 1,45\% \cdot 0,05 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,059 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_z	$= 1$	coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano), calcolato assumendo $k_1 = 82$ [§ 3.26, Guida CEI 31-35]:
-------	-------	---

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_m\%}{M \cdot LEL_v}} = k_z = e^{\frac{82 \cdot 0,18\%}{42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 1,45\%}} \approx 1$$

f_{SE}	$= 3$	fattore di efficacia della ventilazione nell'intorno della SE in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva, con f che varia da $f = 1$ (situazione ideale) ad $f = 5$ (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli) [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
k_{dz}	$= 0,25$	coefficiente (fattore) di sicurezza applicato al LEL per la definizione della distanza d_z
w_{ai}	$= 0,05 \text{ m/s}$	velocità di riferimento dell'aria nell'ambiente considerato [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,2 m.

A.7.13 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

Per definire il grado della ventilazione è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{3,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,025 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 6,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

LEL_m	$= 0,025 \text{ kg/m}^3$	limite inferiore di esplosione in aria determinato con la formula [f.5.5.11-1, Guida CEI 31-35]:
---------	--------------------------	--

$$LEL_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LEL_v \cdot \frac{p_a}{101325} = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 1,45\% \cdot \frac{101325}{101325} = 0,025 \text{ kg/m}^3$$

T_a	$= 313 \text{ K}$	temperatura dell'ambiente (o località) considerato [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
-------	-------------------	--

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35], assumendo $k_0 = 2$:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,2m + 0,1m = 0,5m$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_0	= 2	coefficiente applicato alla quota a per il calcolo della lunghezza del percorso dell'aria L_0 , generalmente uguale a 2 e, comunque, mai inferiore a 1 [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
a	= 0,2 m	estensione effettiva della zona pericolosa nella direzione di emissione e di più probabile dispersione dell'atmosfera esplosiva nell'ambiente [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
D_{SE}	= 0,1 m	dimensione massima della SE pari al doppio del raggio equivalente della superficie del liquido $r_{eq} = 0,05$ m

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_a}{L_0} = \frac{0,05m/s}{0,5m} = 0,1s^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 6,04 \cdot 10^{-6} m^3/s}{0,1s^{-1}} = 0,00018 m^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,1s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,25 \cdot 1,45\%}{0,42\%}\right) = 4,56s$$

dove, oltre a quanto già visto:

X_0	= 0,42 %	concentrazione percentuale iniziale di sostanza infiammabile X_0 all'interno del volume V_z calcolata con la formula [f.5.10.3-24, Guida CEI 31-35]:
-------	----------	--

$$X_0 \% = \frac{p_v}{p_a \cdot 2} \cdot 100 = \frac{862Pa}{101325Pa \cdot 2} \cdot 100 = 0,42\%$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,00018 m^3 \cdot 0,25 = 4,52 \cdot 10^{-5} m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 4,52 \cdot 10^{-2} \text{ dm}^3$ è minore sia di 10 dm^3 sia di un decimillesimo del volume dell'ambiente $V_a = 15 \text{ dm}^3$ e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
- la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
- il volume V_z è trascurabile;

il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE01** è **Zona 1 NE** (un solo tipo di zona).

A.8 Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (Il Caso: ventilazione naturale)

A.8.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella A.4 – Caratteristiche del Locale preparazione prodotti vernicianti

Codice identificativo	AC.A02
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Volume del locale [a = 2 m, b = 2,5 m, h = 3 m]	$V = 15 \text{ m}^3$
Volume libero di aria	$V_a = 15 \text{ m}^3$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	3
Velocità minima dell'aria all'esterno	0,25 m/s

A.8.2 Aperture dell'ambiente

Le aperture del Locale preparazione prodotti vernicianti ai fini della ventilazione, sono riportate nella tabella seguente.

Tabella A.5 – Aperture del Locale preparazione prodotti vernicianti

Codice	Descrizione	Tipo	Largh.	Altezza	Altezza del filo inferiore	Altezza del baricentro
			(misure nette) [m]		(dal piano di campagna) [m]	
A01	Apertura sulla parete verso ambiente aperto	A	1	0,6	1	1,3

A.8.3 Ventilazione dell'ambiente

Ipotizzando l'applicazione, ai sensi del Regolamento di igiene edilizia locale, di un rapporto aerante RA pari a 1/10 della superficie del pavimento del locale, si ottiene una superficie apribile minima pari a 0,625 m², cui può corrispondere un serramento da ≈ 1 m x 0,6 m.

A.8.4 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità.

A.8.5 Portata minima di ventilazione

Con serramento aperto, può essere stimata la corrispondente portata d'aria Q_{aw} dovuta alla spinta del vento mediante la formula [f.GC.3.2-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_a = Q_{aw} = 0,025 \cdot A \cdot w_{ae} = 0,025 \cdot 0,625 \text{ m}^2 \cdot 0,25 \text{ m/s} = 0,0039 \text{ m}^3 / \text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

- A = 0,625 m² reale sezione libera dell'apertura di ventilazione in un ambiente [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
 $w_{ae} = 0,25 \text{ m/s}$ velocità di riferimento dell'aria nell'ambiente esterno fino a 3 m dal suolo [§ 5.6.2, Guida CEI 31-35]

A.8.6 Ricambi d'aria

Definita la portata di aria Q_a , il numero dei ricambi di aria dell'ambiente C_a si determina applicando la formula [f.5.10.3-8, Guida CEI 31-35]:

$$C_a = \frac{Q_a}{V_a} = \frac{0,0039 \text{ m}^3 / \text{s}}{15 \text{ m}^3} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

A.8.7 Velocità minima dell'aria

Il locale è di piccole dimensioni e si assume che la sorgente di emissione sia ubicata in prossimità dell'apertura (a qualche metro di distanza) e in posizione tale per cui l'effetto della ventilazione esterna sia ancora rilevabile (§ 5.6.1.1, Guida CEI 31-35).

In queste condizioni, la velocità dell'aria all'interno w_{ai} è considerata:

$$w_{ai} = 0,05 \text{ m/s}$$

A.8.8 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

A.8.9 Sorgenti di emissione

Vedere § A.7.9.

A.8.10 Emissioni di primo grado da contenitore

Vedere § A.7.10.

A.8.11 Portata di emissione Q_g della sorgente SE01

Vedere § A.7.11.

A.8.12 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE01

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m\% = X_r\% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{3,64 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}}{0,0039 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,65 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 5,64 \cdot 10^{-4}\%$$

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 5,64 \cdot 10^{-4}\% \leq \frac{0,25 \cdot 1,45\%}{3} = 0,12\%$$

A.8.13 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01

Vedere § A.7.13.

A.8.14 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

Vedere § A.7.14.

A.9 Zone pericolose nel Locale preparazione prodotti vernicianti (III Caso: ventilazione artificiale localizzata)

A.9.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella A.6 – Caratteristiche del Locale preparazione prodotti vernicianti

Codice identificativo	AC.A03
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Volume del locale [a = 2 m, b = 2,5 m, h = 3 m]	$V = 15 \text{ m}^3$
Volume libero di aria	$V_a = 15 \text{ m}^3$
Ventilazione	Artificiale localizzata

A.9.2 Ventilazione dell'ambiente

Si considera la presenza di un sistema di aspirazione posto in prossimità dell'apertura del serbatoio per aerografo per realizzare una ventilazione artificiale localizzata - VAL.

Tabella A.7 – Caratteristiche della ventilazione artificiale localizzata VAL (aspirazione)

Disponibilità della ventilazione	Buona
Portata minima di aspirazione	$Q_c = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ (580 m ³ /h)
Velocità dell'aria di aspirazione	$w_c = 0,25 \text{ m/s}$
Area della bocca di aspirazione [0,3 m · 0,1 m]	$A_c = 0,03 \text{ m}^2$
Volume tra la bocca di aspirazione e la sorgente di emissione	$V_{oL} = 0,0075 \text{ m}^3$
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 1$

A.9.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto:

- le attività svolte nel locale sono manuali ed avvengono da parte di operatori adeguatamente informati e formati (rif. DLgs 81/2008) sulle procedure di lavoro, sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali e sui rischi da atmosfere esplosive;
- l'operatore è in grado di neutralizzare l'emissione interrompendo l'attività ed applicando un coperchio al contenitore di prodotti vernicianti in lavorazione che ne sia eventualmente sprovvisto, se il sistema di ventilazione non è funzionante.

A.9.4 Portata minima di aspirazione

La portata minima di aspirazione è stata determinata in funzione della velocità di cattura dei vapori necessaria e della distanza tra la sorgente di emissione e la cappa di aspirazione. Requisiti dell'aspirazione localizzata:

- l'operatore non deve mai trovarsi con il viso sul percorso dell'aria tra la sorgente di emissione e la cappa;
- la cappa di aspirazione deve trovarsi il più vicino possibile alla sorgente di emissione. A parità di portata d'aria la velocità di aspirazione e, quindi, l'efficacia della cappa, diminuisce molto rapidamente all'aumentare della distanza¹⁵;
- la cappa deve essere collocata sulla traiettoria dell'emissione dei vapori per facilitarne la cattura e deve racchiudere il più possibile la sorgente di emissione;
- dato il tipo di dispersione dei vapori (emessi praticamente senza velocità in aria quieta) la velocità di cattura minima è posta pari a 0,25 m/s (ACGIH: Industrial Ventilation).

A.9.5 Sorgenti di emissione

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

- SE02** Emissioni dall'apertura del serbatoio per aerografo durante la preparazione della prodotto verniciante con applicata una ventilazione artificiale locale - VAL, rappresentativa delle "Emissioni di primo grado".

¹⁵ Per esempio, in un condotto a sezione circolare la velocità si riduce del 90% rispetto alla velocità misurata all'ingresso a una distanza dal bordo di aspirazione pari all'80% del diametro (ACGIH: Industrial Ventilation).

A.9.6 Emissioni di primo grado da contenitore

Tutte le emissioni di primo grado dei barattoli e fustini sono considerate rappresentate dall'emissione attraverso l'apertura del serbatoio per aerografo durante la preparazione della prodotto verniciante.

Tipo di SE	Apertura del serbatoio per aerografo
Modalità di emissione	Evaporazione dalla superficie di un liquido
Grado di emissione	Primo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K (40 °C)}$
Area di emissione (area della superficie del liquido S uguale all'area dell'apertura verso l'ambiente)	$S = 0,01 \text{ m}^2$
Raggio dell'apertura del serbatoio	$R_{eq} = 0,056 \text{ m}$
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	$k = 0,25$
Concentrazione iniziale di sostanza infiammabile	$x_{o\%} = \frac{p_v}{p_a \cdot 2} \cdot 100 = \frac{862 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} \cdot 2} \cdot 100 = 0,42\%$

A.9.7 Portata di emissione Q_g della sorgente SE02

La superficie liquida della prodotto verniciante è lambita dall'aria di ventilazione e, pertanto, la portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-1, Guida CEI 31-35], assumendo come velocità dell'aria quella impressa dal sistema di aspirazione.

$$Q_g = 2 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot \frac{w_a}{f_{SE}} \cdot r_{eq}^{-0,11} \cdot \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot \frac{0,25 \text{ m/s}}{1} \cdot 0,056^{-0,11} \text{ m} \cdot \frac{42,4 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 314 \text{ K}} \cdot \ln\left(\frac{101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 861,11 \text{ Pa}}\right) = 9,66 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$$

dove:

$$w_a = 0,25 \text{ m/s} \quad \text{velocità dell'aria imposta dalla VAL}$$

A.9.8 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02 con VAL

In presenza di una superficie lambita dall'aria di ventilazione, la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-6, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot (P_v \cdot 10^{-5})^a \cdot M^b \cdot (k_{dz} \cdot LEL_v)^c \cdot S^d \cdot (4 - w_a) = 1 \cdot (861,11 \text{ Pa} \cdot 10^{-5})^{0,26} \cdot 42,4 \text{ kg/kmol}^{-0,2} \cdot (0,25 \cdot 1,45\%)^{-0,25} \cdot 0,01 \text{ m}^{20,67} \cdot (4 - 0,25 \text{ m/s}) = 0,03 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$a, b, c, d \quad \text{esponenti di cui alla in Tabella GB.5.1-2, Guida CEI 31-35}$$

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,1 m, verificando che non sia maggiore della distanza massima di cattura dei vapori d_c determinata, in assenza di dati specifici, con la formula [f.5.7.4-1, Guida CEI 31-35]¹⁶:

$$d_c = \left[0,1 \cdot \left(\frac{Q_c}{w_c} - A_c \right) \right]^{0,5} = \left[0,1 \cdot \left(\frac{0,16 \text{ m}^3/\text{s}}{0,25 \text{ m/s}} - 0,03 \text{ m}^2 \right) \right]^{0,5} = 0,25 \text{ m}$$

A.9.9 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02 con VAL

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{9,66 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,025 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 1,604 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

¹⁶ La formula è valida per cappe aventi forma circolare o rettangolare con rapporto W/L (altezza/larghezza) $\geq 0,2$ (ACGIH: Industrial Ventilation).

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35], assumendo $k_0 = 2$:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,1m + 0,1m = 0,3m$$

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_a}{L_0} = \frac{0,25m/s}{0,3m} = 0,83s^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 1$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{1 \cdot 1,604 \cdot 10^{-5} m^3 / s}{0,83s^{-1}} = 1,92 \cdot 10^{-5} m^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-1}{0,83s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,25 \cdot 1,45\%}{0,42\%}\right) = 0,18s$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 1,92 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot 0,25 = 4,81 \cdot 10^{-6} m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 4,81 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3$ è minore sia di 10 dm^3 che di un decimillesimo del volume dell'ambiente e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
- la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
- il volume V_z è trascurabile;

il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE02** è **Zona 1 NE** (un solo tipo di zona).

ALLEGATO B - LOCALE PREPARAZIONE DEGLI ELEMENTI DA VERNICIARE
Operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti
non eseguite in apposito locale
(rif. Norma EN 60079-10-2:2010, Guida CEI 31-56:2007; Guida CEI 31-56:V1:2012)

Indice	pag.
B.1 Caratteristiche delle polveri combustibili	39
B.2 Ambienti	41
B.3 Sorgenti di emissione	41
B.4 Ventilazione dell'ambiente	41
B.4.1 Provvedimenti di bonifica	41
B.4.2 Disponibilità della ventilazione	41
B.5 Zone pericolose	41

B.1 Caratteristiche delle polveri combustibili

I prodotti vernicianti sono composti da:

- leganti (sono i componenti base del film con funzione di adesione e protezione);
- pigmenti (forniscono colore e copertura, hanno funzione protettiva);
- solventi e diluenti (consentono l'applicazione della vernice)¹⁷;
- cariche (utilizzate come riempitivi, effetto coprente opacizzante);
- additivi (presenti in piccole quantità con svariate funzioni).

La composizione: legante + solvente + diluente + additivi = *veicolo*.

Il potere protettivo di un prodotto verniciante dipende fondamentalmente dalle finiture, le quali vengono solitamente identificate con il legante principale del *veicolo*.

Le sostanze utilizzate quale legante sono in genere di natura polimerica, in particolar modo resine:

- termoplastiche;
- termoindurenti.

Tabella B.1 – Principali resine termoplastiche e termoindurenti

Principali resine termoplastiche	Principali resine termoindurenti
<ul style="list-style-type: none"> - acriliche - policarbonati - poliesteriche termoplastiche - vinilesteriche - polifluoruri di vinile - poliolefiniche (polietilene, polipropilene) 	<ul style="list-style-type: none"> - fenoliche - ammidiche - epossidiche - poliuretaniche - poliesteriche insature - siliconiche - alchidiche

Gli stucchi per carrozzerie sono generalmente composti da: resina poliestere, stirene (solvente con funzione reticolante), cariche, pigmenti. Dopo l'applicazione, grazie all'evaporazione del solvente si giunge alla formazione di un film secco (essiccazione) e quindi all'indurimento.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche del prodotto verniciante ritenuto rappresentativo in forma di polvere (stucco), sono riportate nella Tabella seguente.

¹⁷ Con il termine "solvente" si individua una qualsiasi sostanza in grado di scioglierne altre in modo da formare una soluzione; sono ad esempio solventi l'acqua, l'ammoniaca, gli alcool e molti composti organici. Con il termine "diluente" si indica un solvente (o una miscela di solventi) di origine organica usato per diluire vernici, resine, ecc.

Tabella B.2 – Caratteristiche del prodotto verniciante essiccato ritenuto rappresentativo in forma di polvere (stucco) ¹

N.	Sostanza	Grandezza media delle particelle	Contenuto in massa di umidità nella polvere	LEL	Sovrapr. massima di esplosione	Indice di esplosione	Classe di esplosibilità <i>St</i>	Concentr. limite di ossigeno	Energia minima di accensione	Temp. di accensione della nube	Temp. di accensione strato di spessore 5 mm	Conducibilità della polvere	Densità assoluta dei corpi incoerenti (polveri) ρ	Classe di combustibilità
		[μ]	[%]	[g/m ³]	P_{emax} [bar]	k_{st} [bar·m/s]		LOC [%]	MIE [mJ]	T_{cl} [°C]	T_{5mm} [°C]	(C/NC)	[kg/m ³]	BZ
1	Resina poliestere	< 63		30	8,4	76	St 1	10		550		NC		BZ 2

Nota Le caratteristiche chimico-fisiche indicate sono ricavate dalle relative schede di sicurezza, dalla Guida CEI 31-56 e da dati disponibili in letteratura.

B.2 Ambienti

L'ambiente considerato è il seguente:

AC.B01 Area operazioni di carteggiatura a secco dei prodotti vernicianti essiccati (Ambiente Chiuso).

Pressione ambiente: 101325 Pa (atmosferica).

B.3 Sorgenti di emissione

Le sorgenti di emissione SE individuate sono le seguenti:

SE01 Emissioni da elementi di varie dimensioni soggetti a carteggiatura con formazione di polvere in aria, rappresentativa delle "Emissioni di primo grado".

SE02 Emissioni da strati di polvere

B.4 Ventilazione dell'ambiente

B.4.1 Provvedimenti di bonifica

Si considera la presenza di un'unità di aspirazione e filtrazione delle polveri localizzata con grado di captazione ALTO, tale da rendere trascurabile la quantità di polvere nel tronco di cono compreso tra la SE e la bocca di aspirazione.

Con tale aspirazione non si prevede la formazione di strati di polvere.

B.4.2 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto:

- le operazioni di carteggiatura avvengono da parte di operatori adeguatamente informati e formati (rif. DLgs 81/2008) sulle procedure di lavoro e sui rischi da atmosfere esplosive;
- le operazioni di carteggiatura sono manuali e l'operatore è in grado di rilevare eventuali anomalie/guasti che comportino la riduzione dei valori minimi di flusso d'aria e quindi di neutralizzare le emissioni interrompendo l'attività.

B.5 Zone pericolose

Facendo riferimento alla Tabella GC.3.2-A della Guida CEI 31-56, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalle **SE01** e **SE02** è **Zona 21 NE** (un solo tipo di zona).

ALLEGATO C – VERNICIATURA ED ESSICCAZIONE DEI PRODOTTI VERNICIANTI
Cabina forno

C1 Cabina forno in modalità verniciatura
(rif. norma UNI EN 13355:2009)

Indice	pag.
C1.1 Dati di ingresso	43
C1.2 Portata del flusso minimo d'aria Q_{min}	43
C1.3 Concentrazione media c di solventi infiammabili nella cabina forno	43
C1.4 Concentrazione massima c_{LEL} di solventi infiammabili in % del LEL	43
C1.5 Conclusioni	44

C1.1 Dati di ingresso

- Cabina forno in modalità verniciatura (manuale).
- Dimensione della cabina forno (interno): larghezza 4 m, lunghezza 7 m.
- Velocità di progettazione dell'aria: 0,3 m/s.
- Quantità massima di prodotto verniciante liquido organico spruzzato all'ora [M_{max}]: 5.000 g/h.
- Limite inferiore di esplosione del solvente infiammabile o delle miscele di solventi a 20 °C [LEL_{20}]: 40 g/m³.
- Frazione di massa del contenuto di solventi infiammabili nel prodotto verniciante organico alle condizioni di spruzzatura [k_1]: 85%.
- Percentuale stimata di solventi infiammabili evaporati all'interno della cabina [K_2]: 80%.
- Fattore di sicurezza che tiene conto dell'eterogeneità della concentrazione di solventi e, in particolare, l'alta concentrazione tra la pistola di spruzzatura e il pezzo e l'ambiente circostante [K_3]: 3.

C1.2 Portata del flusso minimo d'aria Q_{min}

Il flusso minimo dell'aria Q_{min} può essere ricavato dalla velocità dell'aria v e dalla larghezza w e lunghezza l di una sezione trasversale del flusso d'aria:

$$Q_{min} = v \cdot w \cdot l = 0,3m/s \cdot 4m \cdot 7m = 30240m^3 / h$$

C1.3 Concentrazione media c di solventi infiammabili nella cabina forno

In funzione della portata di ventilazione minima dell'aria e della quantità massima di prodotto verniciante liquido organico spruzzato all'ora, è stata determinata la concentrazione media (massica) c di solventi infiammabili in aria nella cabina forno:

$$c = \frac{M_{max} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{Q_{min}} = \frac{5000g/h \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 3}{30240m^3/h} = 0,34g/m^3$$

C1.4 Concentrazione massima c_{LEL} di solventi infiammabili in % del LEL_{20}

La concentrazione massima in aria di solventi in percentuale del LEL_{20} è stata determinata come segue:

$$c_{LEL} = \frac{100 \cdot c}{LEL_{20}} = \frac{100 \cdot 0,34g/m^3}{40g/m^3} = 0,84\%$$

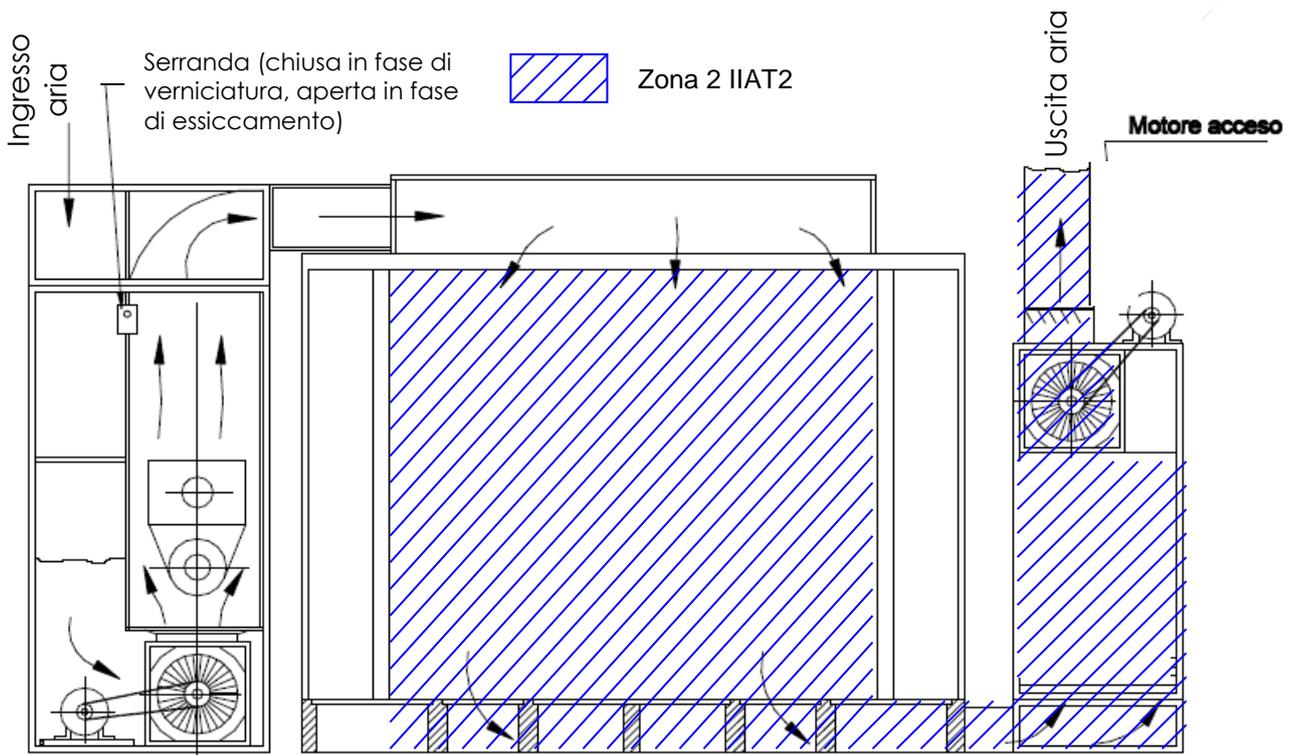
C1.5 Conclusioni

Se la ventilazione artificiale della Cabina forno è progettata per una velocità media dell'aria $v = 0,3 \text{ m/s}$ e le altre ipotesi descritte sopra sono valide, la concentrazione nominale $C_{LEL} = 0,84\%$.

Tenendo conto del fattore di sicurezza utilizzato nel calcolo, l'effettiva concentrazione media potrebbe essere 1/3 del valore nominale.

Risultando la concentrazione media di solvente infiammabile in aria $C_{LEL} < 25\%$ del LEL, il volume interno della Cabina forno, incluse le condotte per il ricircolo e lo scarico dell'aria, sono classificati **Zona 2** durante la modalità di verniciatura, come indicato in Figura C.1.

Figura C.1 - Estensione della zona pericolosa



C2 Cabina forno in modalità essiccazione
(rif. norma UNI EN 1539:2015)

Indice	pag.
C2.1 Dati di ingresso	46
C2.2 Quantità di solventi infiammabili	46
C2.3 Limite inferiore di esplosione alla temperatura di essiccazione $C_{LEL, g}$	46
C2.4 Portata di estrazione minima d'aria $Q_{min, g}$	47
C2.5 Conclusioni	47

C2.1 Dati di ingresso

- Cabina forno in modalità essiccazione alla temperatura massima ϑ di 100 °C.
- Dimensione della cabina forno (interno): larghezza 4 m, lunghezza 7 m, altezza 3 m, per un volume $V = w \cdot l \cdot h = 4m \cdot 7m \cdot 3m = 84m^3$.
- Quantità massima di prodotto verniciante liquido organico all'interno della cabina forno $[M_{pv}]$: 5.000 g.
- Limite inferiore di esplosione del solvente infiammabile o delle miscele di solventi a 20 °C $[LEL_{20}]$: 40 g/m³.
- Frazione di massa del contenuto di solventi infiammabili nel prodotto verniciante organico alle condizioni di spruzzatura: 85%.
- Percentuale di solventi infiammabili depositati sull'elemento verniciato: 100%.
- Durata del processo di verniciatura $[t_1]$: 60 minuti.

C2.2 Quantità di solventi infiammabili

La quantità massima di prodotto verniciante liquido organico all'interno della Cabina forno M_{pv} è pari a 5.000 g, di cui l'85% si considera costituito da solventi infiammabili per un totale quindi di 4.250 g.

La durata del processo di verniciatura t_1 è pari a 60 minuti; durante tale processo avviene un'evaporazione parziale dei solventi applicati all'elemento da verniciare definita "perdita di pre-essiccazione".

Il tempo t di perdita di pre-essiccazione è convenzionalmente considerato il 50% del tempo richiesto per la verniciatura ed è quindi pari a 30 minuti. A tale tempo t di perdita di pre-essiccazione può essere associata una percentuale di evaporazione dei solventi del 50%. Pertanto la quantità di solventi infiammabili M_{max} nella cabina forno all'inizio della modalità di essiccazione può essere considerata pari a 2.125 g (4.250 g · 50%).

C2.3 Limite inferiore di esplosione alla temperatura di essiccazione $C_{LEL,\vartheta}$

La Cabina forno nella modalità essiccazione lavora nella Gamma 1, Fig. 1, della norma UNI EN 1539:2015.

Pertanto il Limite inferiore di esplosione del solvente infiammabile a 20 °C, LEL_{20} , decresce con l'incremento della temperatura secondo un fattore Δ_{LEL} pari a -20%/100 K ed ha il seguente valore alla temperatura massima di essiccamento:

$$C_{LEL,\vartheta} = LEL_{20} \cdot [1 - \Delta_{LEL} \cdot (\vartheta - 20)] = 40g/m^3 \cdot [1 - 0,002 \cdot (100 - 20)] = 33,6g/m^3$$

Il massimo valore di concentrazione vuole essere limitato al 25% del Limite inferiore di esplosione, pertanto:

$$C_{LEL,\vartheta} = 0,25 \cdot 33,6g/m^3 = 8,4g/m^3$$

C2.4 Portata di estrazione minima d'aria $Q_{min,g}$

Al fine di determinare la portata di estrazione minima d'aria alla temperatura di essiccamento $Q_{min,g}$ per mantenere la concentrazione di atmosfera esplosiva al di sotto del Limite inferiore di esplosione, sono stati calcolati/ricavati:

- il valore del rapporto γ tra la concentrazione massima ammissibile di vapori di solventi infiammabili e la concentrazione che si avrebbe se non vi fosse alcun ricambio d'aria:

$$\gamma = \frac{C_{LEL,g} \cdot 293 \cdot V}{M_{max} \cdot (273 + g)} = \frac{8,4g/m^3 \cdot 293K \cdot 84m^3}{2125g \cdot (273K + 100K)} = 0,26$$

- in funzione di γ , dalla Figura A.1 della norma UNI EN 1539:2015, il valore τ del rapporto t_o/t_w : 2
dove:

$t_o(h)$ tempo teorico di evaporazione della quantità totale di solventi M_{max} introdotta nel forno alla temperatura di essiccamento, supponendo che in teoria la velocità di evaporazione iniziale rimanga costante per tutta la durata del processo di essiccamento

$t_w(h)$ tempo di uno scambio d'aria nello spazio totale del forno

- il tempo di vaporizzazione teorico t_o della quantità totale di solventi infiammabili introdotta nel forno alla temperatura di essiccamento g :

$$t_o = \frac{2,58}{g} = \frac{2,58}{100^\circ C} = 0,0258h$$

- il tempo t_w necessario per il ricambio d'aria entro lo spazio totale V del forno:

$$t_w = \frac{t_o}{\tau} = \frac{0,0258h}{2} = 0,0129h$$

La portata di estrazione minima d'aria alla temperatura di essiccamento $Q_{min,g}$ si ricava quindi come segue:

$$Q_{min,g} = \frac{V}{t_w} = \frac{84m^3}{0,0129h} = 6512m^3/h$$

Trascurando l'effetto della perdita di pre-essiccazione e ripetendo i calcoli, si ottiene una portata d'estrazione minima d'aria alla temperatura di essiccamento $Q_{min,g}$:

$$Q_{min,g} = \frac{V}{t_w} = \frac{84m^3}{0,0052h} = 16279m^3/h$$

C2.5 Conclusioni

Se la ventilazione artificiale della Cabina forno ha una portata d'aria non inferiore a quella calcolata, la concentrazione media di solvente infiammabile in aria $C_{LEL,g}$ non supera il 25% del LEL come prescritto dalla norma UNI EN 13355:2009.

ALLEGATO D – MACCHINA PER IL LAVAGGIO DEGLI ATTREZZI
(rif. Norma EN 60079-10-1:2010, Guida CEI 31-35:2012, Guida CEI 31-35/A:2012)

Indice	pag.	
D.1	Caratteristiche delle sostanze infiammabili	51
D.2	Massa molare del solvente infiammabile in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M	52
D.3	Coefficiente di diffusione del solvente infiammabile C_{gd}	52
D.4	Tensione di vapore del solvente infiammabile p_v alla temperatura di riferimento di 40 °C	52
D.5	Limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile LEL_v	53
D.6	Ambienti	53
D.7	Zone pericolose nel vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D01)	54
D.7.1	Caratteristiche dell'ambiente	54
D.7.2	Aperture dell'ambiente	55
D.7.3	Ventilazione dell'ambiente	55
D.7.4	Sorgenti di emissione	55
D.7.5	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	56
D.7.6	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	57
D.8	Zone pericolose generate dalle aperture sul vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D02)	58
D.8.1	Caratteristiche dell'ambiente	58
D.8.2	Ventilazione all'interno del fabbricato	58
D.8.3	Disponibilità della ventilazione	61
D.8.4	Ricambi d'aria	61
D.8.5	Fattore di efficacia della ventilazione	61
D.8.6	Velocità dell'aria	61
D.8.7	Sorgenti di emissione	61
D.8.8	Portata di emissione Q_g della sorgente SE02	61
D.8.9	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE02	62
D.8.10	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02	62
D.8.11	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02	63
D.8.12	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02	65
D.9	Zone pericolose nel vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D03)	66
D.9.1	Caratteristiche dell'ambiente	66
D.9.2	Ventilazione dell'ambiente	66
D.9.2.1	Ventilazione artificiale localizzata - VAL	66
D.9.2.2	Disponibilità della ventilazione artificiale localizzata - VAL	66
D.9.2.3	Ventilazione naturale	67
D.9.3	Sorgenti di emissione	68
D.9.4	Tipo di zona pericolosa dovuta alle sorgenti SE03-SE04-SE05 con VAL attiva	68
D.9.5	Estensione della zona pericolosa dovute alle sorgenti SE03-SE04-SE05 con VAL attiva	68
D.9.6	Portata di emissione Q_g in caso di assenza temporanea della VAL	69
D.9.6.1	Portata di emissione Q_{gSE03} della sorgente SE03	69
D.9.6.2	Portata di emissione Q_{gSE04} della sorgente SE04	69
D.9.6.3	Portata di emissione Q_g delle sorgenti SE03-SE04	70
D.9.7	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL	70

D.9.8	Distanza d_z e quota "a" delle sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL	70
D.9.9	Tipo di zona pericolosa dovuta alle sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL	71
D.10	Zone pericolose nel vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AC.D04)	73
D.10.1	Caratteristiche dell'ambiente	73
D.10.2	Aperture dell'ambiente	73
D.10.3	Ventilazione dell'ambiente	73
D.10.4	Portata d'aria di ventilazione Q_a	73
D.10.5	Disponibilità della ventilazione	73
D.10.6	Ricambi d'aria	73
D.10.7	Fattore di efficacia della ventilazione	73
D.10.8	Velocità dell'aria	74
D.10.9	Sorgenti di emissione	74
D.10.10	Emissioni di secondo grado	74
D.10.11	Portata di emissione Q_g della sorgente SE05	74
D.10.12	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE05	75
D.10.13	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05	75
D.10.14	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05	76
D.11	Zone pericolose generate dalle aperture sul vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AA.D05)	77
D.11.1	Caratteristiche dell'ambiente	77
D.11.2	Ventilazione dell'ambiente	77
D.11.3	Disponibilità della ventilazione	77
D.11.4	Velocità dell'aria	77
D.11.5	Sorgenti di emissione	77
D.11.6	Portata di emissione Q_{ge} della sorgente SE06 attraverso le aperture	78
D.11.7	Caratteristiche della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria	78
D.11.7.1	Massa molare M_{mix} della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria	78
D.11.7.2	Limite inferiore di esplosione LEL_{mix} della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria	78
D.11.8	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE06	79
D.11.9	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE06	79
D.12	Zone pericolose nel vano superiore della macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AC.D06)	81
D.13	Zone pericolose generate dalle aperture sul vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato con macchina non funzionante (AC.D07)	81
D.13.1	Caratteristiche dell'ambiente	81
D.13.2	Ventilazione all'interno del fabbricato	81
D.13.3	Disponibilità della ventilazione	81
D.13.4	Ricambi d'aria	81
D.13.5	Fattore di efficacia della ventilazione	81
D.13.6	Velocità dell'aria	81
D.13.7	Sorgenti di emissione	81
D.13.8	Portata di emissione Q_g della sorgente SE07	82

D.13.9	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE07	82
D.13.10	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE07	82
D.13.11	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE07	83
D.14	Zone pericolose generate dalle aperture sul vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato con macchina non funzionante (AC.D08)	85

D.1 Caratteristiche delle sostanze infiammabili

Le principali caratteristiche chimico-fisiche del solvente infiammabile ritenuto rappresentativo e delle sostanze pure contenute nello stesso sono riportati nella Tabella seguente.

Tabella D.1 – Composizione e caratteristiche del solvente infiammabile e delle sostanze contenute ¹

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N.	Sostanza (Nome o denominazione)	Numero di identifica zione	Frazione in volume	Coefficient e di diffusione in aria	Massa molare	Limite inferiore di esplosibilità	Tensione di vapore a 40 °C	Temperatura d'infiammabili tà	Temperatura di accensione	Gruppo e classe di temperatura ₂	Note
		CAS	Y% %	C _{gd} m ² /h	M _{liq} kg/kmol	LEL _v	P _{v40} Pa	T _i °C	T _{acc} °C		
1	Acetato di metile	79-20-9	12	0,035	74,08	2,8	53320	-10	502	IIAT1	
2	Dicloropropano	78-87-5	25	0,06	112,99	3,4	13200	15	555	IIAT1	
3	Toluene	108-88-3	5	0,028	92,14	1,1	6650	4	480	IIAT1	
4	Metanolo	67-56-1	4	0,057	32,04	6	35986	11	464	IIAT1	
5	Acetone	67-64-1	14	0,037	58,08	2,5	54942	-20	465	IIAT1	
6	Acetato di etile	141-78-6	15	0,022	88,1	2	24400	-4	426	IIAT2	
7	Alcool etilico	64-17-5	15	0,043	46,07	3,5	18263	12	363	IIAT2	
8	Alcool isobutilico	78-83-1	1	0,031	74,12	1,68	3883	27	408	IIAT2	
9	Acetato di isobutile	110-19-0	4	0,025	116,6	1,3	5546	18	420	IIAT2	
10	Alcool isopropilico	67-63-0	5	0,036	60,09	2	12298	11	400	IIAT2	
11	Solvente infiamm.	-	100	0,04	77,74	2,69	26348	-	363	IIAT2	

Nota 1 Le caratteristiche chimico-fisiche indicate sono ricavate dalle relative schede di sicurezza, dalla Guida CEI 31-35:2012 e da dati disponibili in letteratura.

Le modalità di determinazione delle caratteristiche del solvente infiammabile sono indicate seguito.

D.2 Massa molare del solvente infiammabile in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M

La massa molare della fase liquida del solvente infiammabile M_{liq} si determina considerando la massa molare delle singole sostanze della fase liquida e la loro frazione molare. La massa molare in fase vapore M , utile per il calcolo della distanza pericolosa d_z , differisce da quella della fase liquida e si determina considerando il peso molecolare medio del vapore del prodotto verniciante, secondo le tensioni di vapore dei singoli componenti. Per una prima valutazione si assume $M = M_{liq}$.

$$M_{liq} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot M_{liqi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} M_{liq} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot M_{liqi} = \\ &= 0,12 \cdot 74,08 \text{ kg/kmol} + 0,25 \cdot 112,99 \text{ kg/kmol} + 0,05 \cdot 92,14 \text{ kg/kmol} + 0,04 \cdot 32,04 \text{ kg/kmol} + \\ &+ 0,14 \cdot 58,08 \text{ kg/kmol} + 0,15 \cdot 88,1 \text{ kg/kmol} + 0,15 \cdot 46,07 \text{ kg/kmol} + 0,01 \cdot 74,12 \text{ kg/kmol} \\ &+ 0,04 \cdot 116,6 \text{ kg/kmol} + 0,05 \cdot 60,09 \text{ kg/kmol} = 77,74 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

D.3 Coefficiente di diffusione del solvente infiammabile c_{gd}

Procedendo come per la massa molare, il coefficiente di diffusione del solvente infiammabile c_{gd} è pari a:

$$c_{gd} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot c_{gdi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} c_{gd} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot c_{gdi} = \\ &= 0,12 \cdot 0,035 \text{ m}^2/h + 0,25 \cdot 0,06 \text{ m}^2/h + 0,05 \cdot 0,028 \text{ m}^2/h + 0,04 \cdot 0,057 \text{ m}^2/h + 0,14 \cdot 0,037 \text{ m}^2/h \\ &+ 0,15 \cdot 0,022 \text{ m}^2/h + 0,15 \cdot 0,043 \text{ m}^2/h + 0,01 \cdot 0,031 \text{ m}^2/h + 0,04 \cdot 0,025 \text{ m}^2/h + \\ &+ 0,05 \cdot 0,036 \text{ m}^2/h = 0,04 \text{ m}^2/h \end{aligned}$$

dove:

- c_{gdi} coefficiente di diffusione in aria dell'i-esimo componente del prodotto verniciante [m²/h]
- y_i frazione volumetrica (molare) dell'i-esimo componente del prodotto verniciante (numero adimensionale) pari a $y_i\% / 100$

D.4 Tensione di vapore del solvente infiammabile p_v alla temperatura di riferimento di 40 °C

Procedendo come per la massa molare, la tensione di vapore del solvente infiammabile p_v a 40 °C utile al calcolo del Limite inferiore di esplosione - LEL, è pari a:

$$p_v = \sum_{i=1}^n y_i \cdot p_{vi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} p_v &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot p_{vi} = 0,12 \cdot 53320 \text{ Pa} + 0,25 \cdot 13200 \text{ Pa} + 0,05 \cdot 6650 \text{ Pa} + 0,04 \cdot 35986 \text{ Pa} + 0,14 \cdot 54942 \text{ Pa} \\ &+ 0,15 \cdot 24400 \text{ Pa} + 0,15 \cdot 18263 \text{ Pa} + 0,01 \cdot 3883 \text{ Pa} + 0,04 \cdot 5546 \text{ Pa} + 0,05 \cdot 12298 \text{ Pa} = \\ &= 26437,24 \text{ Pa} \cong 26438 \text{ Pa} \end{aligned}$$

D.5 Limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile LEL_v

Il Limite inferiore di esplosione in aria del prodotto verniciante LEL_v si determina stimando la composizione dei vapori emessi combinando le leggi di Dalton e Raoult, e valutandone quindi l'infiammabilità mediante la legge di Le Chatelier.

L'equazione per una miscela binaria è la seguente:

$$1/LEL_v = (x_1 \cdot P_{v1}/LEL_{v1} + x_2 \cdot P_{v2}/LEL_{v2}) / (x_1 \cdot P_{v1} + x_2 \cdot P_{v2})$$

dove:

LEL _v	limite inferiore di esplosione in aria della prodotto verniciante [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)
x ₁ , x ₂	frazione molare dei componenti 1 e 2
P _{v1} , P _{v2}	tensione di vapore dei componenti 1 e 2
LEL _{v1} , LEL _{v2}	limite inferiore di esplosione in aria dei componenti 1 e 2 [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$LEL_v = \frac{\sum_{i=1}^5 y_i \cdot P_{vi}}{\sum_{i=1}^5 \frac{y_i \cdot P_{vi}}{LEL_{vi}}} =$$

$$\frac{0,12 \cdot 53320 Pa + 0,25 \cdot 13200 Pa + 0,05 \cdot 6650 Pa + 0,04 \cdot 35986 Pa + 0,14 \cdot 54942 Pa + 0,15 \cdot 24400 Pa + 0,15 \cdot 18263 Pa + 0,01 \cdot 3883 Pa + 0,04 \cdot 5546 Pa + 0,05 \cdot 12298 Pa}{\frac{0,12 \cdot 53320 Pa}{2,8\%} + \frac{0,25 \cdot 13200 Pa}{3,4\%} + \frac{0,05 \cdot 6650 Pa}{2,1\%} + \frac{0,04 \cdot 35986 Pa}{6\%} + \frac{0,14 \cdot 54942 Pa}{2,5\%} + \frac{0,15 \cdot 24400 Pa}{2\%} + \frac{0,15 \cdot 18263 Pa}{3,5\%} + \frac{0,01 \cdot 3883 Pa}{1,68\%} + \frac{0,04 \cdot 5546 Pa}{1,3\%} + \frac{0,05 \cdot 12298 Pa}{5\%}} = 2,68\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

P _{vi}	pressione (tensione) di vapore dell'i-esimo componente del solvente infiammabile a 40 °C [Pa]
LEL _{vi}	limite inferiore di esplosione in aria dell'i-esimo componente del solvente infiammabile [%]

D.6 Ambienti

Gli ambienti considerati sono i seguenti:

AC.D01 Vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi (**Ambiente Chiuso** parte della macchina).

Posizione: area principale all'interno del fabbricato (**Ambiente Chiuso**).

Ventilazione: naturale derivante da quella presente all'interno del fabbricato.

Condizioni operative: macchina funzionante.

AC.D02 Area principale all'interno del fabbricato (**Ambiente Chiuso**), nel quale si affacciano le aperture di ventilazione realizzate sugli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi.

Posizione: area principale all'interno del fabbricato (**Ambiente Chiuso**).

Ventilazione: naturale all'interno del fabbricato.

Condizioni operative: macchina funzionante.

AC.D03 Vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi (**Ambiente Chiuso** parte della macchina).

Posizione: area principale all'interno del fabbricato (**Ambiente Chiuso**).

Ventilazione: artificiale localizzata.

Condizioni operative: macchina funzionante.

- AC.D04** Vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi (**Ambiente Chiuso** parte della macchina).
Posizione: area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**).
Ventilazione: naturale derivante da quella presente all'esterno del fabbricato.
Condizioni operative: macchina funzionante.
- AA.D05** Area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**), nella quale si affacciano le aperture di ventilazione realizzate sugli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi.
Posizione: area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**).
Ventilazione: naturale all'esterno del fabbricato.
Condizioni operative: macchina funzionante.
- AC.D06** Vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi (**Ambiente Chiuso** parte della macchina).
Posizione: area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**).
Ventilazione: artificiale localizzata.
Condizioni operative: macchina funzionante.
- AC.D07** Area principale del fabbricato (**Ambiente Chiuso**), nella quale si affacciano le aperture del vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi, con sportello basculante chiuso.
Posizione: area principale all'interno del fabbricato (**Ambiente Chiuso**).
Ventilazione: naturale all'interno del fabbricato.
Condizioni operative: macchina non funzionante.
- AC.D08** Area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**), nella quale si affacciano le aperture del vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi, con sportello basculante chiuso.
Posizione: area all'esterno del fabbricato (**Ambiente Aperto**).
Ventilazione: naturale all'esterno del fabbricato.
Condizioni operative: macchina non funzionante.

D.7 Zone pericolose nel vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D01)

D.7.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.2 – Caratteristiche del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Codice identificativo	AC.D01
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Volume dell'ambiente [a = 0,7 m, b = 0,7 m, h = 0,7 m]	$V \approx 0,35 \text{ m}^3$
Volume libero di aria	$V_a \approx 0,3 \text{ m}^3$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Velocità minima dell'aria all'esterno dell'ambiente AC.D01	$w_{ae} = 0,01 \text{ m/s}$

D.7.2 Aperture dell'ambiente

Le aperture di ventilazione sono realizzate sugli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi; le dimensioni sono riportate nella Tabella seguente.

Tabella D.3 – Aperture di ventilazione realizzate sugli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Codice	Descrizione	Tipo	Largh.	Altezza	Altezza del filo inferiore	Altezza del baricentro
			(misure nette equivalenti) [m]		(dal piano di campagna) [m]	
A01	Somma delle aperture sulla parte inferiore degli sportelli di accesso ai recipienti di solvente infiammabile, costituite da n. 10 aperture da 0,01 m x 0,10 m provviste di alette (sportelli normalmente chiusi)	A	0,2	0,1	0,1	0,15
A02	Somma delle aperture sulla parte superiore degli sportelli di accesso ai recipienti di solvente infiammabile, costituite da n. 10 aperture da 0,01 m x 0,10 m provviste di alette (sportelli normalmente chiusi)	A	0,2	0,1	0,35	0,4

D.7.3 Ventilazione dell'ambiente

La ventilazione dell'ambiente (vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi) è dovuta alla ventilazione naturale all'interno del fabbricato.

La ventilazione dovuta alla differenza di temperatura tra interno ed esterno (effetto camino) non è presa in considerazione perché ritenuta a priori poco significativa e con disponibilità non buona.

D.7.4 Sorgenti di emissione

Nel vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi sono alloggiati due recipienti di uguali dimensioni (tipicamente fusti in metallo da 25 dm³), uno contenente il solvente infiammabile originario ed uno contenente il solvente infiammabile contaminato; sono inoltre presenti le relative pompe per il trasferimento del solvente infiammabile, generalmente del tipo a membrana alimentate ad aria compressa, ed una serie di giunzioni e raccordi.

I recipienti del solvente infiammabile originario e del solvente infiammabile contaminato devono essere dotati di tappo provvisto di sistema per il passaggio dei tubi, tale da rendere trascurabili le emissioni di vapori. Idonei tappi a vite vengono normalmente forniti da parte dei fabbricanti a corredo della macchina o su richiesta¹⁸.

Non sono considerati sovrariempimenti del recipiente contenente il solvente infiammabile contaminato che deve essere di volume pari a quello del recipiente di solvente infiammabile originario.

Le attività avvengono da parte di operatori adeguatamente informati e formati (rif. DLgs 81/2008) sulle procedure di lavoro, sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali e sui rischi da atmosfere esplosive.

Durante il funzionamento, in caso di guasto, sono possibili perdite dalle giunzioni poste sulle tubazioni in pressione durante il trasferimento di solvente infiammabile (originario o contaminato) verso il vano superiore di lavaggio attrezzi.

¹⁸ I tappi a vite sono essenziali per evitare emissioni di sostanze pericolose non necessarie al processo, secondo il principio di riduzione dei rischi alla fonte (rif. DLgs 81/2008).

La caduta del getto di liquido infiammabile che non evapora nell'emissione ed è schermato dalle pareti della macchina formerà una pozza sul fondo, nella vasca metallica di contenimento interna da dove avverrà un'emissione significativa di vapori di solvente infiammabile nell'atmosfera.

La durata del guasto è ritenuta massima durante il lavaggio automatico, non essendo presente l'operatore, con emissione di una quantità di solvente infiammabile valutata, a favore della sicurezza, pari a 5 dm³. A tale volume corrisponde una profondità del liquido nella vasca di contenimento, avente superficie = 0,49 m² e bordo di altezza ≥ 0,1 m, pari a 0,01 m.

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

SE01 Emissioni da pozza, qualificate "Emissioni di secondo grado".

Le emissioni strutturali sono considerate trascurabili in relazione all'esiguo numero di componenti presenti [§5.7.3.2, Guida CEI 31-35].

D.7.5 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

Le dimensioni dell'ambiente considerato (Vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi) sono molto limitate ($V \approx 0,35 \text{ m}^3$); altrettanto limitate sono le aperture di ventilazione dello stesso. Ulteriori ostacoli alla ventilazione sono dovuti sia alla presenza di alette poste sulle aperture ricavate sugli sportelli sia al fatto che la macchina non è posta in ambiente aperto.

Per tali motivi l'ambiente, confinato e con ventilazione così bassa da essere considerata trascurabile, è considerato alla stregua di un "contenitore".

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z è esteso a tutto l'ambiente (vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi).

Necessita ora definire il tipo di zona.

Si esclude a priori la presenza di atmosfera esplosiva per lunghi periodi (zona 0), in quanto:

- l'attività è soggetta a generica sorveglianza;
- l'eliminazione della pozza comporta necessariamente l'apertura degli sportelli con il miglioramento della ventilazione.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado ed è scontato che il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t ecceda i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
 - è scontato che la concentrazione media $X_m\%$ non rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
 - il volume V_z non è trascurabile;
- il grado della ventilazione è BASSO (VL).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

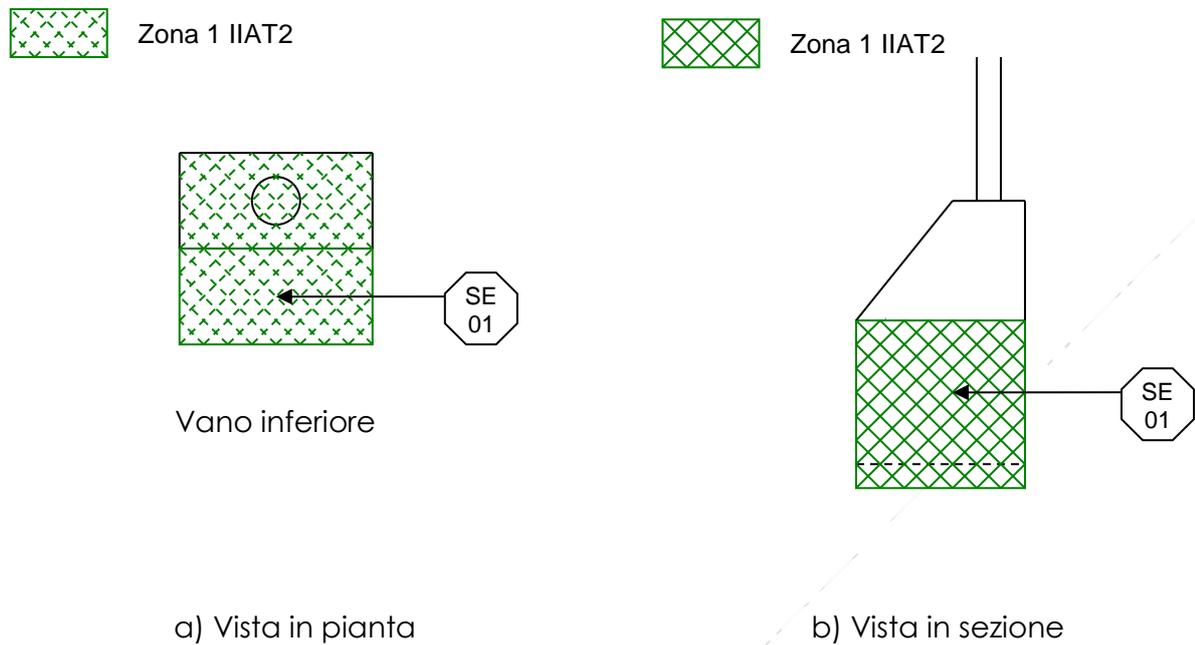
- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è BASSO (VL);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE01** è **Zona 1 IIA T2** (un solo tipo di zona).

D.7.6 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

La zona pericolosa è estesa a tutto l'ambiente considerato come da Figura D.1.

Figura D.1 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01



D.8 Zone pericolose generate dalle aperture sul vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D02)

D.8.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.4 – Caratteristiche dell'area interna la fabbricato

Codice identificativo	AC.D02
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Ricambi d'aria all'interno del fabbricato	$C_a = 0,0018/\text{s}$
Velocità minima dell'aria all'interno del fabbricato	$w_{air} = 0,01 \text{ m/s}$

D.8.2 Ventilazione all'interno del fabbricato

La ventilazione dell'ambiente interno al fabbricato nel quale è posta la Macchina per lavaggio attrezzi è dovuta alla ventilazione naturale per gli effetti della spinta del vento sulle aperture di aerazione (finestre).

Nei luoghi di lavoro devono essere realizzate adeguate condizioni microclimatiche e di aerazione al fine di assicurare il benessere delle persone (DLgs 81/2008, Titolo II).

Il microclima sul posto di lavoro è funzione di una serie di parametri fisici (temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria) correlati alle caratteristiche costruttive dell'ambiente. Si deve provvedere a rendere il microclima degli ambienti lavorativi il più possibile prossimo alle condizioni di "benessere termico", condizioni in cui l'organismo riesce a mantenere l'equilibrio termico senza l'intervento di alcuni meccanismi di difesa del sistema di termoregolazione. In altre parole il benessere termico rappresenta uno stato fisiologico caratterizzato dall'assenza di sensazioni di caldo o di freddo o di correnti d'aria:

- temperatura tra 17 °C e 29 °C (23 °C ÷ 29 °C in estate, 17 °C ÷ 20 °C in inverno);
- umidità relativa fra 30 % e 70 %;
- velocità dell'aria non superiore a 0,15 m/s.

Una qualità accettabile dell'aria nei luoghi di lavoro chiusi deve essere ottenuta in primo luogo attraverso l'aerazione naturale, integrata da sistemi meccanici qualora questa non sia sufficiente oppure non sia adottabile per altri motivi.

L'aerazione naturale può avvenire in modo non controllato per infiltrazioni naturali attraverso interstizi (porte, finestre, muri, ecc.) oppure in modo controllato attraverso l'apertura volontaria di serramenti. Nel primo caso l'aerazione può essere definita "continua" e dipende dalla permeabilità degli elementi costruttivi (es. per gli infissi, norma EN 12207); l'aerazione continua di un ambiente può essere generalmente posta pari a 0,5 ricambi/ora. Nel secondo caso l'aerazione può essere definita "discontinua" e dipende dal numero, dalla dimensione e dalla geometria delle aperture, nonché dalla pressione che viene esercitata sulla superficie delle stesse.

Il descrittore più grossolano, ma anche il più utilizzato, per stabilire la presenza di una sufficiente aerazione naturale in un ambiente è il rapporto aerante "RA". Questo descrittore, che varia nei diversi Regolamenti di igiene edilizia comunali, non richiede che venga calcolata la portata d'aria prevedibilmente associata all'aerazione continua o discontinua. Tipicamente si richiedono valori minimi di RA compresi tra 1/8 e 1/24 a seconda delle dimensioni e destinazione d'uso del locale. Inoltre:

- a. di norma le superfici apribili devono essere uniformemente distribuite sulle superfici esterne;
- b. la profondità del locale rispetto all'apertura di aerazione non deve essere superiore a due volte l'altezza del locale;

- c. per tener conto dell'effettiva capacità delle superfici apribili a scambiare aria con l'esterno, nel caso di finestre con aperture parziali (es. vasistas), la superficie utile può essere calcolata con la funzione: $S_L = S \cdot \sin \gamma$, dove: S = superficie apribile della finestra (base x altezza), γ = angolo della massima apertura;
- d. normalmente dal computo delle superfici apribili vanno escluse quelle di porte e portoni.

Di norma le aperture sopra descritte sono "potenziali"; è infatti poco credibile che all'interno di un ordinario luogo di lavoro tutti i serramenti siano mantenuti aperti in modo permanente o che vengano realizzate aperture sulle pareti, ciò in ragione di tutte le possibili condizioni atmosferiche esterne avverse, della necessità di garantire un adeguato microclima (riscaldamento, raffrescamento) nonché di questioni legate all'efficienza energetica degli edifici.

La presenza di aperture permanenti può essere plausibile ad esempio in luoghi di lavoro con processi che generano elevate quantità di calore, nell'industria meccanica pesante, ecc.

È utile prendere in considerazione quanto indicato al § 5.6.1.1 della Guida CEI 31-35:

- *"l'effetto della ventilazione esterna, in presenza di aperture prive di schermature o protezioni dalle intemperie, può essere rilevato fino a circa 10 m dall'apertura d'ingresso dell'aria"*;
- *"quando le aperture fisse di ventilazione sono provviste di schermature o protezioni dalle intemperie e simili, l'effetto della ventilazione esterna può essere rilevato fino a 3 m circa dall'apertura d'ingresso dell'aria, con velocità appena misurabili, ad esempio tra 0,05 m/s e 0,1 m/s"*.

Con riferimento alle considerazioni sopra esposte, si vuole di seguito determinare un valore medio convenzionale di velocità dell'aria, da assumere come presente in qualunque punto all'interno di un generico luogo di lavoro nel quale non sia nota la posizione delle sorgenti di emissione rispetto alla posizione delle aperture. A tal fine sono stati considerati una serie di volumi V_a di fabbricati (**A**mbienti **C**hiusi) nelle seguenti ipotesi:

- altezza del volume interno: $H_a = 7$ m;
- forma quadrata della superficie in pianta: $S_a = V_a/H_a$ [m²];
- lato della superficie in pianta: $L_a = \sqrt{S_a}$ [m];
- rapporto aerante: $RA = 1/10$;
- area delle superfici di aerazione naturale continua e discontinua dovuta a serramenti: $A = 1/10 \cdot S_a$ [m²];
- numero di ricambi d'aria/ora tipicamente attesi in funzione della destinazione d'uso (fabbriche in genere) ai fini del benessere delle persone: $ric/h = 6 \div 10$;
- portata d'aria in ingresso (ASHRAE 1989, citato nella Linea Guida "Microclima e Illuminazione", Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con ISPESL): $Q = C \cdot A \cdot v$ [m³/s]

dove:

$$C = 0,25$$

coefficiente di ingresso delle aperture di aerazione con direzione predominante del vento obliqua rispetto al piano dell'apertura

$$A = 1/10 \cdot S_a$$
 [m²]

area delle superfici di aerazione naturale continua e discontinua collocate su pareti opposte

$$v = 0,5$$
 m/s

velocità minima dell'aria in ambiente esterno in corrispondenza delle aperture di aerazione poste a quota ≥ 3 m

- numero di ricambi d'aria/secondo: $ric/s = Q/V_a$;
- numero di ricambi d'aria/ora: $ric/h = ric/s \cdot 3600$;
- velocità media dell'aria all'interno: $w_{aif} = ric/s \cdot L_a$ [m/s].

Tabella D.5 – Stima della velocità media dell'aria w_{aif} nel volume interno ad un generico fabbricato

V_a [m ³]	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1500	2000	2500	3000
H_a [m]	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
S_a [m ²]	42,86	50	57,14	64,29	71,43	78,57	85,71	92,86	100	107,14	114,29	128,57	142,86	214,29	285,71	357,14	428,57
L_a [m]	6,55	7,07	7,56	8,02	8,45	8,86	9,26	9,64	10	10,35	10,69	11,34	11,95	14,64	16,9	18,9	20,7
A [m ²]	4,29	5	5,71	6,43	7,14	7,86	8,57	9,29	10	10,71	11,43	12,86	14,29	21,43	28,57	35,71	42,86
C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
v [m/s]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Q [m ³ /s]	0,54	0,63	0,71	0,8	0,89	0,98	1,07	1,16	1,25	1,34	1,43	1,61	1,79	2,68	3,57	4,46	5,36
ric/s	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018
ric/h	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43
w_{aif} [m/s]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04

D.8.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità.

D.8.4 Ricambi d'aria

I ricambi d'aria nell'ambiente C_a sono assunti pari a 0,0018/s (rif. D.8.2).

D.8.5 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

D.8.6 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria nell'ambiente $w_{ai} = w_{aif}$ è assunta pari a 0,01 m/s (rif. D.8.2).

D.8.7 Sorgenti di emissione

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

SE02 Emissioni dalle aperture di ventilazione del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi, qualificate "Emissioni di secondo grado".

Tabella D.6 – Caratteristiche della SE02

Tipo di SE	Aperture
Modalità di emissione	Emissioni lente di vapori
Grado di emissione	Secondo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K (40 °C)}$
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	$k = 0,5$

D.8.8 Portata di emissione Q_g della sorgente SE02

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-4, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente e l'area dell'apertura verso l'ambiente B è minore dell'area della superficie del liquido S.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot c_{gd} \cdot k_F \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot 0,56 \cdot \frac{77,74 \text{ kg} / \text{kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J} / \text{kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot \ln\left(\frac{101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 26438 \text{ Pa}}\right) = 5,903 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{s}$$

dove:

$$c_{gd} = 0,04 \text{ m}^2 / \text{h}$$

$$k_F = 0,56$$

coefficiente di diffusione dei gas in aria
 fattore di forma del contenitore ottenuto come segue:

$$k_F = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot D_b)^{-1} - (0,5 \cdot D_s)^{-1} \right] + \left[\frac{h_d - 0,25 \cdot (D_s - D_b)}{S} \right]} =$$

$$= \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot 0,16 \text{ m})^{-1} - (0,5 \cdot 0,39 \text{ m})^{-1} \right] +$$

$$+ \left[\frac{0,35 \text{ m} - 0,25 \cdot (0,39 \text{ m} - 0,16 \text{ m})}{0,49 \text{ m}^2} \right]} = 0,56$$

essendo:

$$h_d \geq (D_s - D_b) / 4 = 0,35 \text{ m} \geq (0,39 \text{ m} - 0,16 \text{ m}) / 4 = 0,35 \text{ m} \geq 0,057 \text{ m}$$

M	= 79,51 kg/kmol	massa molare del solvente infiammabile
p_a	= 101325 Pa	pressione atmosferica
R	= 8314 J/kmol·K	costante universale dei gas
T	= 313 K	temperatura assoluta di efflusso
p_v	= 26099 Pa	pressione di vapore del solvente infiammabile

D.8.9 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE02

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m\% = X_r\% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{5,903 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,54 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 3,6 \cdot 10^{-4}\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

ρ_{gas} = 3,02 kg/m³ densità del gas all'interno del sistema di contenimento determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_a} = \frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} = 3,02 \text{ kg/m}^3$$

Q_a = 0,54 m³/s portata effettiva di aria di ventilazione che interessa il volume V_a considerato (rif. D.8.2)

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 3,6 \cdot 10^{-4}\% \leq \frac{0,5 \cdot 2,69\%}{3} = 0,44\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

k = 0,5 coefficiente (fattore) di sicurezza applicato al LEL per la definizione della portata minima di ventilazione Q_{amin} e del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

LEL_v = 2,69 % limite inferiore di esplosione in aria della sostanza, espresso in percento del volume [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

f_a = 3 fattore di efficacia della ventilazione assunto per l'ambiente considerato, in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva nell'intorno di tutte le SE presenti nell'ambiente stesso, con f che varia da $f = 1$ (situazione ideale) ad $f = 5$ (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli) [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

D.8.10 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 5,903 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,5 \cdot 2,69\% \cdot 0,01 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,83 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_z = 1 coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano), calcolato assumendo $k_1 = 82$ (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35):

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_m\%}{M \cdot LEL_v}} = k_z = e^{\frac{82 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}\%}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,69\%}} \approx 1$$

f_{SE} = 3 fattore di efficacia della ventilazione nell'intorno della SE in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva, con f che varia da $f = 1$ (situazione ideale) ad $f = 5$ (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli) [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

k_{dz} = 0,5 coefficiente (fattore) di sicurezza applicato al LEL per la definizione della distanza d_z

$w_{ai} = 0,01 \text{ m/s}$ velocità di riferimento dell'aria nell'ambiente considerato [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 1 m.

D.8.11 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{5,903 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,5 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$LEL_m = 0,086 \text{ kg/m}^3$ limite inferiore di esplosione massico in aria determinato con la formula [f.5.5.11-1, Guida CEI 31-35]:

$$LEL_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LEL_v \cdot \frac{p_a}{101325} =$$

$$= 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,69\% \cdot \frac{101325}{101325} = 0,086 \text{ kg/m}^3$$

$T_a = 313 \text{ K}$ temperatura dell'ambiente (o località) considerato [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

dove:

V_0 volume totale da ventilare [m^3]

V_a volume libero dell'ambiente considerato [m^3]

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

C_a numero di ricambi di aria nell'unità di tempo riferito al volume libero dell'ambiente V_a [s^{-1}]

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 1 \text{ m} + 0,7 \text{ m} = 2,7 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$k_0 = 2$ coefficiente applicato alla quota a per il calcolo della lunghezza del percorso dell'aria L_0 , generalmente uguale a 2 e, comunque, mai inferiore a 1 [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

$a = 1 \text{ m}$ estensione effettiva della zona pericolosa nella direzione di emissione e di più probabile dispersione dell'atmosfera esplosiva nell'ambiente [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

$D_{SE} = 0,7 \text{ m}$ dimensione massima della SE pari alla larghezza degli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ai}}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m/s}}{2,7 \text{ m}} = 0,0037 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}}{0,0037 \text{ s}^{-1}} = 0,117 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0037 s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,5 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 1841 s \approx 31 \text{min}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$X_0 = 13,04\%$ concentrazione percentuale iniziale di sostanza infiammabile X_0 all'interno del volume V_z calcolata con la formula [f.5.10.3-24, Guida CEI 31-35]:

$$X_0\% = \frac{p_v}{p_a \cdot 2} \cdot 100 = \frac{26438 Pa}{101325 Pa \cdot 2} \cdot 100 = 13,04\%$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,117 m^3 \cdot 0,5 = 0,0588 m^3$$

Per la Zona 2, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 58,8 \text{ dm}^3$ è maggiore sia di 10 dm^3 che di un decimillesimo del volume dell'ambiente (30 dm^3) e pertanto il volume V_z non è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t , del tempo di emissione t_e valutato in 5400 s (90 min) essendo l'attività soggetta a generica sorveglianza e del tempo di neutralizzazione della pozza t_n valutato in 600 s (10 min): $t + t_e + t_n = 1841 \text{ s} + 5400 \text{ s} + 600 \text{ s} = 7841 \text{ s}$ (≈ 2 ore). Considerando un evento/anno trattandosi di guasto, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 2.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
- la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
- il volume V_z non è trascurabile;

il grado della ventilazione è MEDIO (VM).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

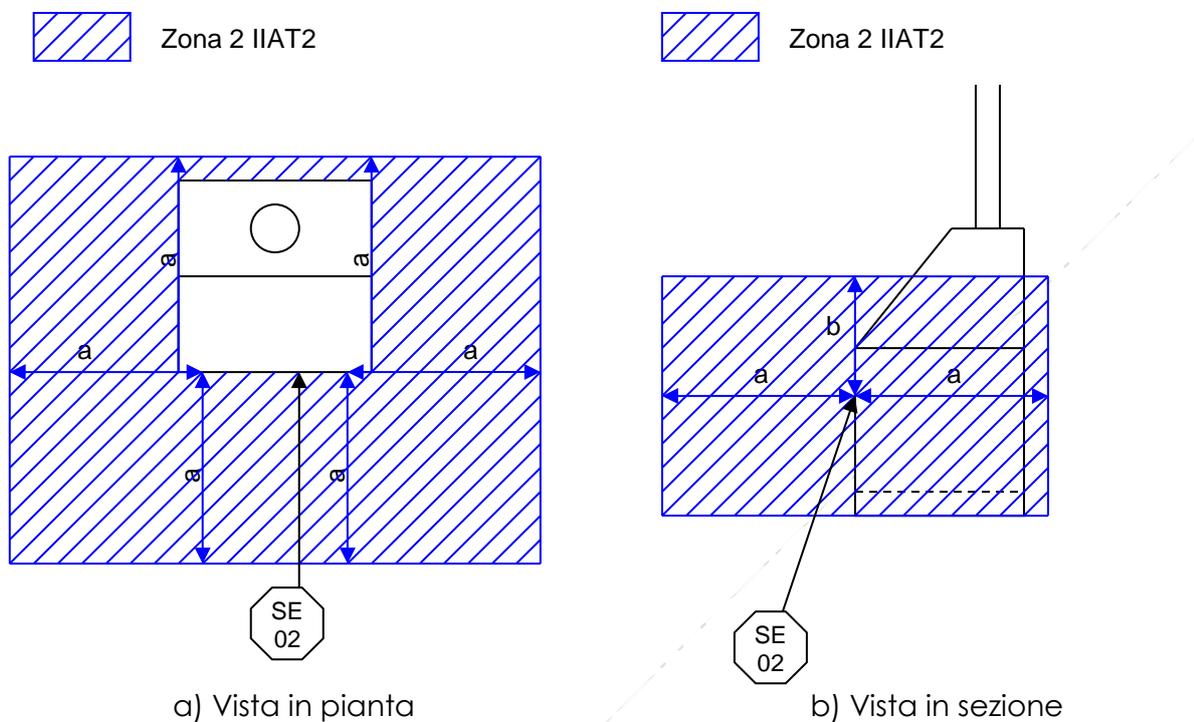
- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è MEDIO (VM);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE02** è **Zona 2 IIA T2** (un solo tipo di zona).

D.8.12 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02

Per definire l'estensione della zona pericolosa, nota la distanza d_z e la quota "a", trattandosi di una emissione da un contenitore aperto di vapori con densità significativamente maggiore di quella dell'aria ($\rho_0/\rho_{aria} = 2,5$), si assume la forma e le dimensioni come da Figura D.2 con estensione fino al suolo:

Figura D.2 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02



- quota "a" = 1 m;
- quota "b" = 0,5 m;
- e fino al suolo.

D.9 Zone pericolose nel vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato (AC.D03)

D.9.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.7 – Caratteristiche del vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Codice identificativo	AC.D03
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$

D.9.2 Ventilazione dell'ambiente

D.9.2.1 Ventilazione artificiale localizzata – VAL

Tabella D.8 – Caratteristiche del ventilazione artificiale localizzata – VAL

Grado	Medio
Disponibilità	Adeguata
Fattore di efficacia	$f_a = 1$

È presente un sistema di ventilazione artificiale localizzata - VAL, che si attiva all'apertura dello sportello basculante di accesso alla vasca e abilita il funzionamento della macchina. La cappa di aspirazione è posta superiormente alla stessa vasca di lavaggio attrezzi, la quale è chiusa totalmente su tre lati e parzialmente sul lato di accesso. L'ambiente è conformato in modo da agevolare la cattura ed espulsione dei vapori.

Nel dimensionamento del sistema di ventilazione (aspirazione) il fabbricante della macchina deve prendere in considerazione anche l'esposizione dei lavoratori al rischio chimico.

Considerando la generalità dei casi, cautelativamente, si ipotizza il grado della ventilazione MEDIO (VM)¹⁹.

D.9.2.2 Disponibilità della ventilazione artificiale localizzata - VAL

L'attività di lavaggio sia in modalità automatica che in modalità manuale avviene con lo sportello basculante superiore aperto che, grazie ad un sensore a comando meccanico, attiva il sistema di ventilazione. La depressione nella tubazione di scarico dei vapori è generata per effetto venturi dalla stessa aria compressa che consente il funzionamento della macchina; inoltre il sistema di ventilazione è interbloccato con le pompe per il trasferimento del solvente infiammabile dal vano inferiore al vano superiore di lavaggio.

Tuttavia, la disponibilità della ventilazione è considerata ADEGUATA²⁰ in quanto è possibile l'interruzione del sistema di alimentazione dell'aria compressa (guasto) senza la neutralizzazione delle emissioni di vapori infiammabili.

In questo caso (interruzione aria compressa), infatti, nonostante le pompe per il trasferimento del solvente infiammabile dal vano inferiore al vano superiore di lavaggio non funzionino, sono presenti emissioni di vapori provenienti dal recipiente di solvente infiammabile contaminato sottostante, con il quale il vano superiore è in comunicazione diretta tramite i tubi di scolo posti sia sotto la griglia di lavaggio manuale che sotto la vaschetta della lavatrice il cui coperchio non si considera chiuso in modo efficace.

¹⁹ Grado della ventilazione Medio: quando la ventilazione è in grado controllare la concentrazione, determinando una zona limitata stabile, sebbene l'emissione sia in corso, e dove l'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non persista eccessivamente dopo l'arresto dell'emissione.

²⁰ Ventilazione con disponibilità Adeguata: quando la ventilazione è considerata presente durante il funzionamento normale. Sono ammesse delle interruzioni purché siano poco frequenti e per brevi periodi.

D.9.2.3 Ventilazione naturale

Tabella D.9 – Caratteristiche della ventilazione naturale in caso di assenza temporanea della VAL

Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia	$f_a = 3$
Ricambi d'aria (interno fabbricato)	$C_a = 0,0018 \text{ s}^{-1}$
Velocità dell'aria	$w_{ai} = 0,01 \text{ m/s}$

In caso di interruzione della VAL è presente la ventilazione naturale esistente all'interno del fabbricato, con le seguenti caratteristiche:

- disponibilità BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità;
- ricambi d'aria nell'ambiente C_a assunti pari a $0,0018/\text{s}$ (rif. D.8.2);
- fattore di efficacia della ventilazione $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria;
- velocità dell'aria $w_{ai} = w_{aif}$ assunta pari a $0,01 \text{ m/s}$ (rif. D.8.2).

D.9.3 Sorgenti di emissione

Le sorgenti di emissione SE individuate sono le seguenti:

- SE03** Emissioni nel vano superiore aperto della Macchina per lavaggio attrezzi, provenienti dal recipiente di solvente infiammabile contaminato sottostante la griglia di lavaggio manuale, qualificate "Emissioni di grado continuo con applicata la ventilazione artificiale localizzata – VAL" ed "Emissioni di grado continuo con VAL non attiva".
- SE04** Emissioni nel vano superiore aperto della Macchina per lavaggio attrezzi, provenienti dalla vaschetta della lavatrice il cui coperchio non si considera chiuso in modo efficace, qualificate "Emissioni di primo grado con applicata la ventilazione artificiale localizzata – VAL" ed "Emissioni di primo grado con VAL non attiva".
- SE05** Emissioni nel vano superiore aperto della Macchina per lavaggio attrezzi, provenienti dalla griglia durante il lavaggio manuale, qualificate "Emissioni di primo grado con applicata la ventilazione artificiale locale – VAL".

D.9.4 Tipo di zona pericolosa dovuta alle sorgenti SE03-SE04-SE05 con VAL attiva

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z è esteso a tutto l'ambiente (vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

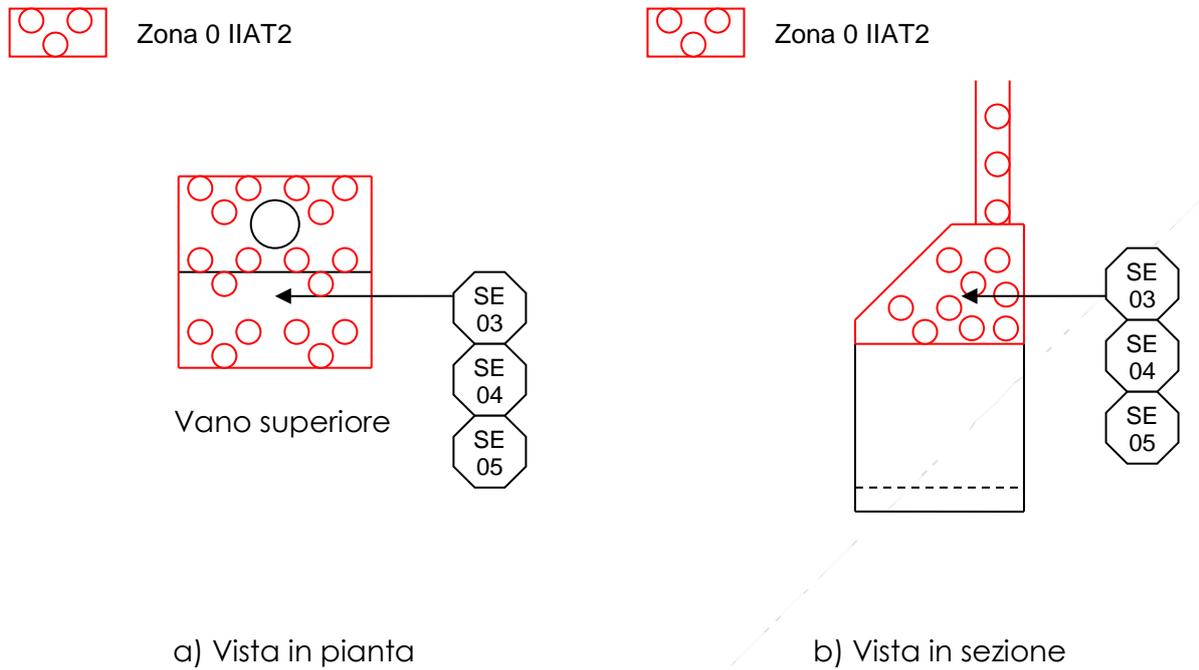
- le emissioni contemporanee sono di grado continuo e di primo grado;
- il grado di ventilazione è MEDIO (VM);
- la disponibilità della ventilazione è ADEGUATA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalle **SE03-SE04-SE05** è **Zona 0 IIA T2** (primo tipo di zona).

D.9.5 Estensione della zona pericolosa dovuta alle sorgenti SE03-SE04-SE05 con VAL attiva

La zona pericolosa è estesa a tutto l'ambiente considerato come da Figura D.3.

Figura D.3 - Estensione della zona pericolosa dovuta alle sorgenti SE03-SE04-SE05 con VAL attiva



D.9.6 Portata di emissione Q_g in caso di assenza temporanea della VAL

D.9.6.1 Portata di emissione Q_{gSE03} della sorgente SE03

La portata di emissione Q_{gSE03} si determina applicando la formula [f.GB.4.4-4, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot c_{gd} \cdot k_F \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 m^2 / h \cdot 0,028 \cdot \frac{77,74 kg / kmol \cdot 101325 Pa}{8314 J / kmol \cdot K \cdot 313 K} \cdot \ln\left(\frac{101325 Pa}{101325 Pa - 26438 Pa}\right) = 2,962 \cdot 10^{-7} kg / s$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$k_F = 0,028$$

fattore di forma del contenitore ottenuto come segue:

$$k_F = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot D_b)^{-1} - (0,5 \cdot D_s)^{-1} \right] + \left[\frac{h_d - 0,25 \cdot (D_s - D_b)}{S} \right]} = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot 0,01 m)^{-1} - (0,5 \cdot 0,35 m)^{-1} \right] + \left[\frac{0,5 m - 0,25 \cdot (0,35 m - 0,01 m)}{0,096 m^2} \right]} = 0,028$$

essendo:

$$h_d \geq (D_s - D_b) / 4 = 0,5 m \geq (0,35 m - 0,01 m) / 4 = 0,35 m \geq 0,085 m$$

$$M = 79,51 kg / kmol$$

massa molare del solvente infiammabile

$$p_a = 101325 Pa$$

pressione atmosferica

$$R = 8314 J / kmol \cdot K$$

costante universale dei gas

$$T = 313 K$$

temperatura assoluta di efflusso

$$p_v = 26099 Pa$$

pressione di vapore del solvente infiammabile

D.9.6.2 Portata di emissione Q_{gSE04} della sorgente SE04

La portata di emissione Q_{gSE04} si determina applicando la formula [f.GB.4.4-4, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot c_{gd} \cdot k_F \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 m^2 / h \cdot 0,09 \cdot \frac{77,74 kg / kmol \cdot 101325 Pa}{8314 J / kmol \cdot K \cdot 313 K} \cdot \ln\left(\frac{101325 Pa}{101325 Pa - 26438 Pa}\right) = 9,438 \cdot 10^{-7} kg / s$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$k_F = 0,09$$

fattore di forma del contenitore ottenuto come segue:

$$k_F = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot D_b)^{-1} - (0,5 \cdot D_s)^{-1} \right] + \left[\frac{h_d - 0,25 \cdot (D_s - D_b)}{S} \right]} = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot 0,042 m)^{-1} - (0,5 \cdot 0,35 m)^{-1} \right] + \left[\frac{0,5 m - 0,25 \cdot (0,35 m - 0,042 m)}{0,096 m^2} \right]} = 0,09$$

essendo:

$$h_d \geq (D_s - D_b) / 4 = 0,5 m \geq (0,35 m - 0,042 m) / 4 = 0,35 m \geq 0,077 m$$

D.9.6.3 Portata di emissione Q_g delle sorgenti SE03-SE04

Le sorgenti di emissione SE03 ed SE04 sono contemporanee, pertanto la portata Q_g vale:

$$Q_g = Q_{gSE03} + Q_{gSE04} = 2,962 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s} + 9,438 \cdot 10^{-7} \text{ kg/s} = 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$$

D.9.7 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ delle SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m\% = X_r\% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,54 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 7,58 \cdot 10^{-5}\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\rho_{gas} = 3,02 \text{ kg/m}^3$ densità del gas all'interno del sistema di contenimento determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_a} = \frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} = 3,02 \text{ kg/m}^3$$

$Q_a = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ portata effettiva di aria di ventilazione che interessa il volume V_a considerato (rif. D.8.2)

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 7,58 \cdot 10^{-5}\% \leq \frac{0,5 \cdot 2,69\%}{3} = 0,44\%$$

D.9.8 Distanza d_z e quota "a" delle sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL

Per i sistemi a pressione relativa $< 500 \text{ Pa}$ (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,5 \cdot 2,69\% \cdot 0,01 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,35 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$k_z = 1$ coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano), calcolato assumendo $k_1 = 82$ (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35):

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_m\%}{M \cdot LEL_v}} = k_z = e^{\frac{82 \cdot 7,58 \cdot 10^{-5}\%}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,27\%}} \approx 1$$

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,5 m.

D.9.9 Tipo di zona pericolosa dovuta sorgenti SE03-SE04 in caso di assenza temporanea della VAL

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{1,24 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,5 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 3,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$LEL_m = 0,075 \text{ kg/m}^3$ limite inferiore di esplosione massico in aria determinato con la formula [f.5.5.11-1, Guida CEI 31-35]:

$$LEL_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LEL_v \cdot \frac{P_a}{101325} =$$

$$= 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,69\% \cdot \frac{101325}{101325} = 0,086 \text{ kg/m}^3$$

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

dove:

V_0 volume totale da ventilare [m^3]

V_a volume libero dell'ambiente considerato [m^3]

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

C_a numero di ricambi di aria nell'unità di tempo riferito al volume libero dell'ambiente V_a [s^{-1}]

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,5 \text{ m} + 0,7 \text{ m} = 1,7 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$D_{SE} = 0,7 \text{ m}$ dimensione massima della SE pari alla larghezza del vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_a}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m/s}}{1,7 \text{ m}} = 0,0058 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 3,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0058 \text{ s}^{-1}} = 0,0155 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0058 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,5 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 1159 \text{ s} \approx 20 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,0155 \text{ m}^3 \cdot 0,5 = 0,0077 \text{ m}^3$$

Per la Zona 2, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 7,7 \text{ dm}^3$ è minore sia di 10 dm^3 che di un decimillesimo del volume dell'ambiente = 30 dm^3 e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t , del tempo di emissione t_e valutato in 5400 s (90 min) essendo l'attività soggetta a generica sorveglianza e del tempo di neutralizzazione dell'emissione t_n valutato in 600 s (10 min): $t + t_e + t_n = 1159 \text{ s} + 5400 \text{ s} + 600 \text{ s} = 7159 \text{ s}$ (≈ 2 ore). Considerando un evento/anno trattandosi di guasto, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 2.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
- la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
- il volume V_z è trascurabile;

il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalle **SE03-SE04** in caso di assenza temporanea della VAL è **Zona 2 NE** (secondo tipo di zona).

D.10 Zone pericolose nel vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AC.D04)

D.10.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.10 – Caratteristiche del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Codice identificativo	AC.D04
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Volume dell'ambiente [a = 0,7 m, b = 0,7 m, h = 0,7 m]	$V \approx 0,35 \text{ m}^3$
Volume libero di aria	$V_a \approx 0,3 \text{ m}^3$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Velocità minima dell'aria all'esterno dell'ambiente AC.D04	$w_{ae} = 0,25 \text{ m/s}$

D.10.2 Aperture dell'ambiente

Vedere D.7.2.

D.10.3 Ventilazione dell'ambiente

La ventilazione dell'ambiente (vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi) è dovuta alla ventilazione naturale all'esterno del fabbricato.

La ventilazione dovuta alla differenza di temperatura tra interno ed esterno (effetto camino) non è presa in considerazione perché ritenuta a priori poco significativa e con disponibilità non buona.

D.10.4 Portata d'aria di ventilazione Q_a

La portata d'aria di ventilazione Q_a è pari alla portata d'aria di ventilazione dovuta alla spinta del vento Q_{aw} , determinata applicando la formula [f.GC.3.2-2, Guida CEI 31-35] valida per ambiente con aperture di ventilazione in alto A_{01} e in basso A_{02} poste su un solo lato, schermato, non schermato o solo parzialmente schermato:

$$Q_a = Q_{aw} = 0,025 \cdot (A_{01} + A_{02}) \cdot w_{ae} \cdot k_w = 0,025 \cdot (0,02 \text{ m}^2 + 0,02 \text{ m}^2) \cdot 0,25 \text{ m/s} \cdot 0,5 = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$w_{ae} = 0,25 \text{ m/s}$	velocità minima dell'aria all'esterno dell'ambiente AC.D04 coincidente con la velocità dell'aria in ambiente aperto fino a 3 m dal suolo
$k_w = 0,5$	coefficiente che tiene conto dell'effetto schermante delle alette poste sulle aperture di ventilazione

D.10.5 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità.

D.10.6 Ricambi d'aria

Definita la portata d'aria Q_a , il numero dei ricambi d'aria dell'ambiente C_a si determina applicando la formula [f.5.10.3-8, Guida CEI 31-35]:

$$C_a = \frac{Q_a}{V_a} = \frac{1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}}{0,3 \text{ m}^3} = 4,16 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

D.10.7 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

D.10.8 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria all'interno dell'ambiente (vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi) w_{ai} è stimata come segue [rif. 5.6.3, Guida CEI 31-35]:

$$w_{ai} = C_a \cdot L_{wa} = 4,16 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \cdot 0,7 \text{ m} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$L_{wa} = 0,7 \text{ m}$ lunghezza del percorso dell'aria di ventilazione all'interno del volume inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

D.10.9 Sorgenti di emissione

Vedere D.7.4. La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

SE05 Emissioni da pozza, qualificate "Emissioni di secondo grado".

Le emissioni strutturali sono considerate trascurabili in relazione all'esiguo numero di componenti presenti [§5.7.3.2, Guida CEI 31-35].

D.10.10 Emissioni di secondo grado

Si ipotizza la formazione di una pozza nella vasca interna di contenimento avente il bordo di altezza $\geq 0,1 \text{ m}$ durante il lavaggio automatico, da dove avviene l'emissione significativa di vapori di solvente infiammabile nell'atmosfera, alimentata dalla perdita da una giunzione posta sulla tubazione in pressione durante il trasferimento di solvente infiammabile (originario o contaminato) verso il vano superiore di lavaggio attrezzi.

Tabella D.11 – Caratteristiche della SE05

Tipo di SE	Pozza
Modalità di emissione	Emissione da pozza
Grado di emissione	Secondo
Profondità della pozza	$h_m = 0,01 \text{ m}$ (10 mm)
Dimensioni dell'area delimitata da bordi	$S = 0,49 \text{ m}^2$
Tempo di alimentazione della pozza (perdita)	$t_e = 5400 \text{ s}$ (90 min)
Tempo di neutralizzazione della pozza	$t_n = 600 \text{ s}$ (10 min)
Pressione assoluta di emissione	$p = 1114575 \text{ K}$ (11 bar)
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K}$ (40 °C)

D.10.11 Portata di emissione Q_g della sorgente SE05

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-3, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{S}{h_d} \cdot c_{gd} \cdot \frac{M \cdot P_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{P_a}{P_a - P_v}\right) = Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,49 \text{ m}^2}{0,09 \text{ m}} \cdot 0,04 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot$$

$$\frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot \ln\left(\frac{101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 26438 \text{ Pa}}\right) = 5,709 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$$

dove:

S	$= 0,49 \text{ m}^2$	sezione della vasca di contenimento
h_d	$= 0,09 \text{ m}$	altezza libera minima tra il livello del liquido ed il bordo del contenitore
c_{gd}	$= 0,04 \text{ m}^2/\text{h}$	coefficiente di diffusione dei gas in aria
M	$= 77,74 \text{ kg/kmol}$	massa molare del solvente infiammabile
p_a	$= 101325 \text{ Pa}$	pressione atmosferica
R	$= 8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$	costante universale dei gas
T	$= 313 \text{ K}$	temperatura assoluta di efflusso
p_v	$= 26438 \text{ Pa}$	pressione di vapore del solvente infiammabile

D.10.12 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE05

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m\% = X_r\% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{5,709 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}{1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 15,08\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\rho_{gas} = 3,02 \text{ kg/m}^3$ densità del gas all'interno del sistema di contenimento determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_a} = \frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} = 3,02 \text{ kg/m}^3$$

Al fine di una più completa valutazione è stata determinata anche la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ assunta pari alla concentrazione dopo il tempo t_e di emissione della SE (tempo di alimentazione della pozza), determinata con la formula [f.5.10.3-17, Guida CEI 31-35]:

$$X_m\% = X_{te}\% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} (1 - e^{-C_a \cdot t_e}) \cdot 100 =$$

$$= \frac{5,709 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}{1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot (1 - e^{-4,16 \cdot 10^{-4} \cdot 5400 \text{ s}}) \cdot 100 = 13,49\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

$t_e = 5400 \text{ s}$ tempo di emissione

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 15,08\% \leq \frac{0,5 \cdot 2,69\%}{3} = 0,44\%$$

D.10.13 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05

La condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] non risulta rispettata, come era prevedibile date le dimensioni della pozza rispetto alle dimensioni molto limitate dell'ambiente.

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z viene considerato non trascurabile ed esteso a tutto l'ambiente (vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi).

Necessita ora definire il tipo di zona.

Si esclude a priori la presenza di atmosfera esplosiva per lunghi periodi (zona 0), in quanto:

- l'attività è soggetta a generica sorveglianza;
- l'eliminazione della pozza comporta necessariamente l'apertura degli sportelli con il miglioramento della ventilazione.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado ed è scontato che il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t ecceda i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
 - la concentrazione media $X_m\%$ non rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
 - il volume V_z non è trascurabile;
- il grado della ventilazione è BASSO (VL).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

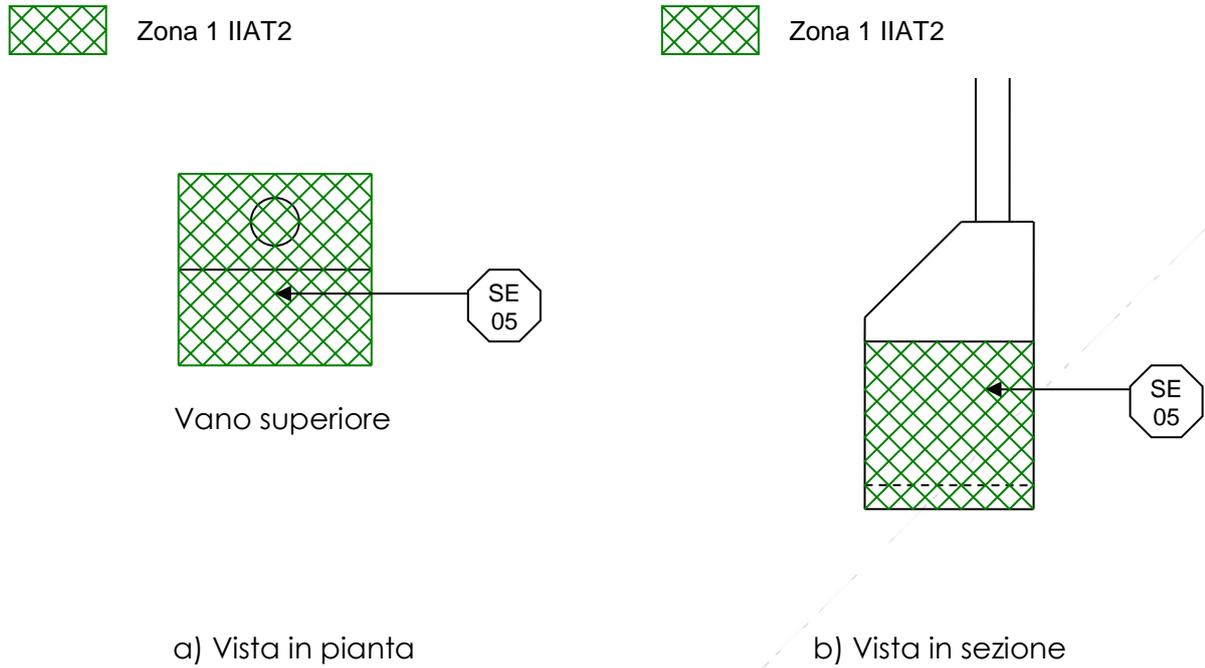
- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è BASSO (VL);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE05** è **Zona 1 IIA T2** (un solo tipo di zona).

D.10.14 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05

La zona pericolosa è estesa a tutto l'ambiente considerato come da Figura D.4.

Figura D.4 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05



D.11 Zone pericolose generate dalle aperture sul vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AA.D05)

D.11.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.12 – Caratteristiche dell'area esterna al fabbricato

Codice identificativo	AA.D05
Tipo ambiente	Aperto
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Velocità minima dell'aria	$w_{ae} = 0,25 \text{ m/s}$

D.11.2 Ventilazione dell'ambiente

La ventilazione dell'ambiente è dovuta alla ventilazione naturale.

D.11.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto è presente praticamente con continuità.

D.11.4 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria all'aperto fino a 3 m dal suolo è considerata 0,25 m/s [rif. 5.6.2, Guida CEI 31-35].

D.11.5 Sorgenti di emissione

A regime, la concentrazione massima di sostanza infiammabile nel campo lontano dalle sorgenti di emissione $X_{m\%}$ nel volume inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi, come visto sopra (rif. § D.10.12), è superiore al 25% del limite inferiore di esplosione $\left(\frac{k \cdot LEL_v}{f_a}\right)$ e, pertanto, deve essere calcolato il trasferimento all'esterno dell'atmosfera esplosiva interna attraverso le aperture di ventilazione che saranno quindi considerate sorgenti di emissione.

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

SE06 Emissioni attraverso le aperture di ventilazione del volume inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi, qualificate "Emissioni di secondo grado".

Tabella D.13 – Caratteristiche della SE06

Tipo di SE	Aperture di ventilazione
Modalità di emissione	Emissioni lente di una miscela di vapori-aria
Grado di emissione	Secondo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K (40 °C)}$
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	$k = 0,25$

D.11.6 Portata di emissione Q_{ge} della sorgente SE06 attraverso le aperture

L'atmosfera esplosiva interna emessa dalle aperture è costituita da una miscela di vapori di solvente infiammabile diluiti in aria.

La portata massica Q_{ge} di emissione attraverso le aperture di ventilazione di aria esausta è pari alla somma della portata massica di emissione Q_g di sostanza infiammabile e della portata massica d'aria di ventilazione Q_a :

$$Q_{ge} = Q_g + \rho_{aria} \cdot Q_a = 5,709 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} + 1,127 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\rho_{aria} = 1,127 \text{ kg/m}^3$ densità dell'aria determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{aria} = \frac{M_{aria} \cdot P_a}{R \cdot T_a} = \frac{28,96 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 P_a}{8314 \text{ J/kmol} \cdot K \cdot 313 K} = 1,127 \text{ kg/m}^3$$

D.11.7 Caratteristiche della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria

Nell'unità di tempo dalle aperture vengono emesse nell'aria esausta le seguenti quantità di moli:

- di sostanza infiammabile $n_i = \frac{Q_g}{M_i} = \frac{5,709 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}{77,74 \text{ kg/kmol}} = 7,344 \cdot 10^{-7} \text{ kmol/s}$

- di aria $n_{aria} = \frac{Q_{am}}{M_{aria}} = \frac{1,41 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}}{28,96 \text{ kg/kmol}} = 4,87 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}$

dove, oltre a quanto già visto:

$Q_{am} = 1,41 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$ portata massica d'aria di ventilazione:

$$Q_{am} = \rho_{aria} \cdot Q_a = 1,127 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 4,87 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$$

Quindi, nell'aria esausta emessa attraverso le aperture la frazione molare,

- della sostanza infiammabile vale:

$$y_i = \frac{n_i}{n_i + n_{aria}} = \frac{7,344 \cdot 10^{-7} \text{ kmol/s}}{7,344 \cdot 10^{-7} \text{ kmol/s} + 4,87 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}} = 0,131 \rightarrow 13,1\%$$

- dell'aria vale:

$$y_{aria} = \frac{n_{aria}}{n_{aria} + n_i} = \frac{4,87 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s}}{4,87 \cdot 10^{-6} \text{ kmol/s} + 7,344 \cdot 10^{-7} \text{ kmol/s}} = 0,869 \rightarrow 86,9\%$$

D.11.7.1 Massa molare M_{mix} della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria

La massa molare della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria M_{mix} è stata definita considerando la massa molare delle singole sostanze e la loro percentuale nella miscela stessa.

$$M_{mix} = \left(\frac{M_i \cdot \%_i}{100} \right) + \left(\frac{M_{aria} \cdot \%_{aria}}{100} \right) = \left(\frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 13,1\%}{100} \right) + \left(\frac{28,96 \text{ kg/kmol} \cdot 86,9\%}{100} \right) = 35,35 \text{ kg/kmol}$$

D.11.7.2 Limite inferiore di esplosione LEL_{mix} della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria

Il Limite inferiore di esplosione della nuova miscela vapori di solvente infiammabile-aria LEL_{mix} è stato definito considerando il Limite inferiore di esplosione del solvente infiammabile e la sua percentuale nella miscela.

$$LEL_{mix} = \frac{LEL_{\%1} \cdot 100}{\%_1} = \frac{2,69\% \cdot 100}{13,1\%} = 20,48\%$$

D.11.8 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE06

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_{ge} \cdot f_{SE}}{M_{mix} \cdot k_{dz} \cdot LEL_{mix} \cdot w_{ae}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s} \cdot 3}{35,35 \text{ kg/kmol} \cdot 0,5 \cdot 20,48\% \cdot 0,25 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,49 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$k_z = 1$ coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano); per gli ambienti aperti, $k_z = 1$ [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,6 m.

D.11.9 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE06

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_{ge}}{k \cdot LEL_{m_mix}} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{1,98 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}}{0,5 \cdot 0,3 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$LEL_{m_mix} = 0,3 \text{ kg/m}^3$ limite inferiore di esplosione massico in aria della miscela solvente infiammabile-aria determinato con la formula [f.5.5.11-1, Guida CEI 31-35]:

$$LEL_{m_mix} = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M_{mix} \cdot LEL_{mix} \cdot \frac{p_a}{101325} = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 35,35 \text{ kg/kmol} \cdot 20,48\% \cdot \frac{101325}{101325} = 0,3 \text{ kg/m}^3$$

$k = 0,5$ coefficiente (fattore) di sicurezza applicato al LEL per la definizione della portata minima di ventilazione Q_{amin} e del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z [§ 3.26, Guida CEI 31-35]

Il numero di ricambi di aria nell'unità di tempo C_0 , riferito al volume totale da ventilare V_0 [s^{-1}] è calcolato ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,6 \text{ m} + 0,7 \text{ m} = 1,9 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$D_{SE} = 0,7 \text{ m}$ dimensione massima della SE pari alla larghezza degli sportelli del vano inferiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_a}{L_0} = \frac{0,25 \text{ m/s}}{1,9 \text{ m}} = 0,13 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}}{0,13 \text{ s}^{-1}} = 0,032 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_{mix}}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,13s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,5 \cdot 20,48\%}{13,04\%}\right) = 5,51s \approx 10s$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,032m^3 \cdot 0,5 = 0,016m^3$$

Per la Zona 2, in ambienti aperti, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. Premessa, Guida CEI 31-35/A]:

- $V_{ex} < (100 \cdot k) \text{ dm}^3 = (100 \cdot 0,5) \text{ dm}^3 = 50 \text{ dm}^3$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 18 \text{ dm}^3$ è minore di 50 dm^3 e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
- il volume V_z è trascurabile;

il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE06** è **Zona 2 NE** (un solo tipo di zona).

D.12 Zone pericolose nel vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato (AC.D06)

Valgono le stesse conclusioni di cui in D.9 relative all'ambiente AC.D03, alle quali si rinvia. Si precisa che in caso di assenza temporanea della VAL, le condizioni di ventilazione all'esterno del fabbricato sono migliori di quelle all'interno dello stesso.

D.13 Zone pericolose generate dalle aperture sul vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'interno del fabbricato con macchina non funzionante (AC.D07)

D.13.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella D.14 – Caratteristiche dell'area interna la fabbricato

Codice identificativo	AC.D07
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Ricambi d'aria all'interno del fabbricato	$C_a = 0,0018/s$
Velocità minima dell'aria all'interno del fabbricato	$w_{aif} = 0,01 \text{ m/s}$

D.13.2 Ventilazione all'interno del fabbricato

La ventilazione dell'ambiente interno al fabbricato nel quale è posta la Macchina per lavaggio attrezzi è dovuta alla ventilazione naturale per gli effetti della spinta del vento sulle aperture di aerazione (finestre).

D.13.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità.

D.13.4 Ricambi d'aria

I ricambi d'aria nell'ambiente C_a sono assunti pari a 0,0018/s (rif. D.8.2).

D.13.5 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

D.13.6 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria nell'ambiente $w_{ai} = w_{aif}$ è assunta pari a 0,01 m/s (rif. D.8.2).

D.13.7 Sorgenti di emissione

La sorgente di emissione SE individuata è la seguente:

- SE07** Emissioni dal vano superiore chiuso della Macchina per lavaggio attrezzi, il cui sportello basculante non si considera chiuso in modo efficace, qualificate "Emissioni di primo grado".

Tabella D.15 – Caratteristiche della SE07

Tipo di SE	Aperture
Modalità di emissione	Emissioni lente di vapori
Grado di emissione	Primo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 313 \text{ K (40 °C)}$
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	$k = 0,25$

D.13.8 Portata di emissione Q_g della sorgente SE07

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-4, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente e l'area dell'apertura verso l'ambiente B è minore dell'area della superficie del liquido S.

$$Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot c_{gd} \cdot k_F \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 \text{ m}^2 / \text{h} \cdot 0,96 \cdot \frac{77,74 \text{ kg} / \text{kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J} / \text{kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} \cdot \ln\left(\frac{101325 \text{ Pa}}{101325 \text{ Pa} - 26438 \text{ Pa}}\right) = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$k_F = 0,96$$

fattore di forma del contenitore ottenuto come segue:

$$k_F = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot D_b)^{-1} - (0,5 \cdot D_s)^{-1} \right] + \left[\frac{h_d - 0,25 \cdot (D_s - D_b)}{S} \right]} =$$

$$= \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot 0,055 \text{ m})^{-1} - (0,5 \cdot 0,35 \text{ m})^{-1} \right] +$$

$$+ \left[\frac{0,6 \text{ m} - 0,25 \cdot (0,35 \text{ m} - 0,055 \text{ m})}{0,096 \text{ m}^2} \right]} = 0,96$$

essendo:

$$h_d \geq (D_s - D_b) / 4 = 0,35 \text{ m} \geq (0,35 \text{ m} - 0,055 \text{ m}) / 4 = 0,35 \text{ m} \geq 0,073 \text{ m}$$

D.13.9 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE07

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m \% = X_r \% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{1,01 \cdot 10^{-7} \text{ kg} / \text{s}}{0,54 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot 3,02 \text{ kg} / \text{m}^3} \cdot 100 = 6,177 \cdot 10^{-5} \%$$

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m \% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 6,177 \cdot 10^{-5} \% \leq \frac{0,25 \cdot 2,69 \%}{3} = 0,22 \%$$

D.13.10 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE07

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / \text{s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg} / \text{kmol} \cdot 0,25 \cdot 2,69 \% \cdot 0,01 \text{ m} / \text{s}} \right)^{0,55} = 0,46 \text{ m}$$

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,7 m.

D.13.11 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE07

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{1,01 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 4,968 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:
 $V_0 < V_a$ e $C_0 > C_a$

dove:

- V_0 volume totale da ventilare [m^3]
- V_a volume libero dell'ambiente considerato [m^3]
- C_0 numero di ricambi di aria nell'unità di tempo, riferito al volume totale da ventilare V_0 [s^{-1}]
- C_a numero di ricambi di aria nell'unità di tempo riferito al volume libero dell'ambiente V_a [s^{-1}]

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,7 \text{ m} + 0,7 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

- $D_{SE} = 0,7 \text{ m}$ dimensione massima della SE pari alla larghezza dello sportello del vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ai}}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m/s}}{2,1 \text{ m}} = 0,0047 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 4,968 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0047 \text{ s}^{-1}} = 0,031 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0047 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,25 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 1869 \text{ s} \approx 32 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,031m^3 \cdot 0,25 = 0,0078m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 7,8 \text{ dm}^3$ è minore sia di 10 dm^3 che di un decimillesimo del volume dell'ambiente (30 dm^3) e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
 - la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
 - il volume V_z è trascurabile;
- il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE07** è **Zona 1 NA** (un solo tipo di zona).

D.14 Zone pericolose generate dalle aperture sul vano superiore della Macchina per lavaggio attrezzi posta all'esterno del fabbricato con macchina non funzionante (AC.D08)

Valgono le stesse conclusioni di cui in D.13 relative all'ambiente AC.D07, alle quali si rinvia. Si precisa che le condizioni di ventilazione all'esterno del fabbricato sono migliori di quelle all'interno dello stesso.

ALLEGATO E – MACCHINA PER LA DISTILLAZIONE DEL SOLVENTE INFIAMMABILE CONTAMINATO (DISTILLATORE)
(rif. Norma EN 60079-10-1:2010, Guida CEI 31-35:2012, Guida CEI 31-35/A:2012)

Indice	pag.	
E.1	Caratteristiche delle sostanze infiammabili	88
E.2	Massa molare del solvente infiammabile in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M	89
E.3	Coefficiente di diffusione del solvente infiammabile c_{gd}	89
E.4	Tensione di vapore del solvente infiammabile p_v alla temperatura di riferimento di 40 °C	89
E.5	Limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile LEL_v	90
E.6	Massa volumica (densità) del solvente infiammabile in fase liquida	90
E.7	Ambienti	90
E.8	Zone pericolose generate dal Distillatore posto all'interno del fabbricato (AC.E01)	91
E.8.1	Caratteristiche dell'ambiente	91
E.8.2	Ventilazione all'interno del fabbricato	91
E.8.3	Disponibilità della ventilazione	91
E.8.4	Ricambi d'aria	91
E.8.5	Fattore di efficacia della ventilazione	91
E.8.6	Velocità dell'aria	91
E.8.7	Sorgenti di emissione	91
E.8.8	Emissioni dal bollitore nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato - SE01	92
E.8.8.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE01	92
E.8.9	Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato - SE02	92
E.8.9.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE02	92
E.8.10	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE01-SE02	93
E.8.11	Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore - SE03	93
E.8.11.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE03	94
E.8.11.2	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE03	94
E.8.12	Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE01-SE02-SE03	94
E.8.13	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01	95
E.8.14	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	95
E.8.15	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01	98
E.8.16	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02	100
E.8.17	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02	100
E.8.18	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02	102
E.8.19	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE03	103
E.8.20	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE03	103
E.8.21	Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE03	106
E.9	Zone pericolose generate dal Distillatore posto all'esterno del fabbricato (AA.E02)	108
E.9.1	Caratteristiche dell'ambiente	108
E.9.2	Ventilazione dell'ambiente	108
E.9.3	Disponibilità della ventilazione	108
E.9.4	Velocità dell'aria	108
E.9.5	Sorgenti di emissione	108

E.9.6	Emissioni dal bollitore nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato - SE04	108
E.9.6.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE04	108
E.9.6.2	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE04	109
E.9.6.3	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE04	109
E.9.7	Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato - SE05	111
E.9.7.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE05	111
E.9.7.2	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE05	111
E.9.7.3	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05	111
E.9.8	Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore - SE06	113
E.9.8.1	Portata di emissione Q_g della sorgente SE06	113
E.9.8.2	Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE06	113
E.9.8.3	Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE06	113

E.1 Caratteristiche delle sostanze infiammabili

Le principali caratteristiche chimico-fisiche del solvente infiammabile ritenuto rappresentativo (diluente nitro) e delle sostanze pure contenute nello stesso sono riportati nella Tabella seguente.

Tabella E.1 – Composizione e caratteristiche del solvente infiammabile e delle sostanze contenute ¹

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N.	Sostanza (Nome o denominazione)	Numero di identifica zione	Frazione in volume	Coefficient e di diffusione in aria	Massa molare	Limite inferiore di esplosibilità	Tensione di vapore a 40 °C	Temperatura d'infiammabi lità	Temperatura di accensione	Gruppo e classe di temperatura ²	Note
		CAS	Y% %	C _{gd} m ² /h	M _{liq} kg/kmol	LEL _v	p _{v40} Pa	T _i °C	T _{acc} °C		
1	Acetato di metile	79-20-9	12	0,035	74,08	2,8	53320	-10	502	IIAT1	
2	Dicloropropano	78-87-5	25	0,06	112,99	3,4	13200	15	555	IIAT1	
3	Toluene	108-88-3	5	0,028	92,14	1,1	6650	4	480	IIAT1	
4	Metanolo	67-56-1	4	0,057	32,04	6	35986	11	464	IIAT1	
5	Acetone	67-64-1	14	0,037	58,08	2,5	54942	-20	465	IIAT1	
6	Acetato di etile	141-78-6	15	0,022	88,1	2	24400	-4	426	IIAT2	
7	Alcool etilico	64-17-5	15	0,043	46,07	3,5	18263	12	363	IIAT2	
8	Alcool isobutilico	78-83-1	1	0,031	74,12	1,68	3883	27	408	IIAT2	
9	Acetato di isobutile	110-19-0	4	0,025	116,6	1,3	5546	18	420	IIAT2	
10	Alcool isopropilico	67-63-0	5	0,036	60,09	2	12298	11	400	IIAT2	
11	Solvente infiamm.	-	100	0,04	77,74	2,69	26348	-	363	IIAT2	

Nota 1 Le caratteristiche chimico-fisiche indicate sono ricavate dalle relative schede di sicurezza, dalla Guida CEI 31-35:2012 e da dati disponibili in letteratura.

Le modalità di determinazione delle caratteristiche del solvente infiammabile sono indicate seguito.

E.2 Massa molare del solvente infiammabile in fase liquida M_{liq} e in fase vapore M

La massa molare della fase liquida del solvente infiammabile M_{liq} si determina considerando la massa molare delle singole sostanze della fase liquida e la loro frazione molare. La massa molare in fase vapore M , utile per il calcolo della distanza pericolosa d_z , differisce da quella della fase liquida e si determina considerando il peso molecolare medio del vapore del solvente infiammabile, secondo le tensioni di vapore dei singoli componenti. Per una prima valutazione si assume $M = M_{liq}$.

$$M_{liq} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot M_{liqi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} M_{liq} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot M_{liqi} = \\ &= 0,12 \cdot 74,08 \text{ kg/kmol} + 0,25 \cdot 112,99 \text{ kg/kmol} + 0,05 \cdot 92,14 \text{ kg/kmol} + 0,04 \cdot 32,04 \text{ kg/kmol} + \\ &+ 0,14 \cdot 58,08 \text{ kg/kmol} + 0,15 \cdot 88,1 \text{ kg/kmol} + 0,15 \cdot 46,07 \text{ kg/kmol} + 0,01 \cdot 74,12 \text{ kg/kmol} \\ &+ 0,04 \cdot 116,6 \text{ kg/kmol} + 0,05 \cdot 60,09 \text{ kg/kmol} = 77,74 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

E.3 Coefficiente di diffusione del solvente infiammabile c_{gd}

Procedendo come per la massa molare, il coefficiente di diffusione del solvente infiammabile c_{gd} è pari a:

$$c_{gd} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot c_{gdi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} c_{gd} &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot c_{gdi} = \\ &= 0,12 \cdot 0,035 \text{ m}^2/h + 0,25 \cdot 0,06 \text{ m}^2/h + 0,05 \cdot 0,028 \text{ m}^2/h + 0,04 \cdot 0,057 \text{ m}^2/h + 0,14 \cdot 0,037 \text{ m}^2/h \\ &+ 0,15 \cdot 0,022 \text{ m}^2/h + 0,15 \cdot 0,043 \text{ m}^2/h + 0,01 \cdot 0,031 \text{ m}^2/h + 0,04 \cdot 0,025 \text{ m}^2/h + \\ &+ 0,05 \cdot 0,036 \text{ m}^2/h = 0,04 \text{ m}^2/h \end{aligned}$$

dove:

- c_{gdi} coefficiente di diffusione in aria dell'i-esimo componente del solvente infiammabile [m^2/h]
- y_i frazione volumetrica (molare) dell'i-esimo componente del solvente infiammabile (numero adimensionale) pari a $y_i\% / 100$

E.4 Tensione di vapore del solvente infiammabile p_v alla temperatura di riferimento di 40°C

Procedendo come per la massa molare, la tensione di vapore del solvente infiammabile p_v a 40 °C utile al calcolo del Limite inferiore di esplosione - LEL, è pari a:

$$p_v = \sum_{i=1}^n y_i \cdot p_{vi}$$

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$\begin{aligned} p_v &= \sum_{i=1}^5 y_i \cdot p_{vi} = 0,12 \cdot 53320 \text{ Pa} + 0,25 \cdot 13200 \text{ Pa} + 0,05 \cdot 6650 \text{ Pa} + 0,04 \cdot 35986 \text{ Pa} + 0,14 \cdot 54942 \text{ Pa} \\ &+ 0,15 \cdot 24400 \text{ Pa} + 0,15 \cdot 18263 \text{ Pa} + 0,01 \cdot 3883 \text{ Pa} + 0,04 \cdot 5546 \text{ Pa} + 0,05 \cdot 12298 \text{ Pa} = \\ &= 26437,24 \text{ Pa} \cong 26438 \text{ Pa} \end{aligned}$$

E.5 Limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile LEL_v

Il Limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile LEL_v si determina stimando la composizione dei vapori emessi combinando le leggi di Dalton e Raoult, e valutandone quindi l'infiammabilità mediante la legge di Le Chatelier.

L'equazione per una miscela binaria è la seguente:

$$1/LEL_v = (x_1 \cdot P_{v1}/LEL_{v1} + x_2 \cdot P_{v2}/LEL_{v2}) / (x_1 \cdot P_{v1} + x_2 \cdot P_{v2})$$

dove:

LEL_v	limite inferiore di esplosione in aria del solvente infiammabile [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)
x_1, x_2	frazione molare dei componenti 1 e 2
P_{v1}, P_{v2}	tensione di vapore dei componenti 1 e 2
LEL_{v1}, LEL_{v2}	limite inferiore di esplosione in aria dei componenti 1 e 2 [%], riferito alle condizioni atmosferiche normali (101325 Pa e 20 °C)

Applicando quanto sopra ai soli componenti infiammabili, nel caso specifico si ottiene:

$$LEL_v = \frac{\sum_{i=1}^5 y_i \cdot P_{vi}}{\sum_{i=1}^5 \frac{y_i \cdot P_{vi}}{LEL_{vi}}} =$$

$$\frac{0,12 \cdot 53320 Pa + 0,25 \cdot 13200 Pa + 0,05 \cdot 6650 Pa + 0,04 \cdot 35986 Pa + 0,14 \cdot 54942 Pa + 0,15 \cdot 24400 Pa + 0,15 \cdot 18263 Pa + 0,01 \cdot 3883 Pa + 0,04 \cdot 5546 Pa + 0,05 \cdot 12298 Pa}{\frac{0,12 \cdot 53320 Pa}{2,8\%} + \frac{0,25 \cdot 13200 Pa}{3,4\%} + \frac{0,05 \cdot 6650 Pa}{2,1\%} + \frac{0,04 \cdot 35986 Pa}{6\%} + \frac{0,14 \cdot 54942 Pa}{2,5\%} + \frac{0,15 \cdot 24400 Pa}{2\%} + \frac{0,15 \cdot 18263 Pa}{3,5\%} + \frac{0,01 \cdot 3883 Pa}{1,68\%} + \frac{0,04 \cdot 5546 Pa}{1,3\%} + \frac{0,05 \cdot 12298 Pa}{5\%}} = 2,68\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

P_{vi}	pressione (tensione) di vapore dell'i-esimo componente del solvente infiammabile a 40 °C [Pa]
LEL_{vi}	limite inferiore di esplosione in aria della i-esimo componente del solvente infiammabile [%]

E.6 Massa volumica (densità) del solvente infiammabile in fase liquida

Procedendo come per la massa molare, è stata definita la massa volumica in fase liquida ρ_{liq} .

$$\rho_{liq} = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \rho_{liqi} = 0,12 \cdot 924 kg/m^3 + 0,25 \cdot 1159 kg/m^3 + 0,05 \cdot 866 kg/m^3 + 0,04 \cdot 792 kg/m^3 + 0,14 \cdot 792 kg/m^3 + 0,15 \cdot 901 kg/m^3 + 0,15 \cdot 789 kg/m^3 + 0,01 \cdot 805 kg/m^3 + 0,04 \cdot 871 kg/m^3 + 0,05 \cdot 789 kg/m^3 = 922,33 kg/m^3$$

E.7 Ambienti

Gli ambienti considerati sono i seguenti:

- AC.E01** Area principale del fabbricato (**A**mbiente **C**hiuso).
- AA.E02** Area all'esterno del fabbricato (**A**mbiente **A**perto).

E.8 Zone pericolose generate dal Distillatore posto all'interno del fabbricato (AC.E01)

E.8.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella E.2 – Caratteristiche dell'area principale del fabbricato

Codice identificativo	AC.E01
Tipo ambiente	Chiuso
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Ricambi d'aria all'interno del fabbricato	$C_a = 0,0018/s$
Velocità minima dell'aria all'interno del fabbricato	$w_{aif} = 0,01 \text{ m/s}$

E.8.2 Ventilazione all'interno del fabbricato

Valgono le stesse considerazioni indicate in § D.8.2 alle quali si rinvia.

E.8.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto (da cui deriva la ventilazione) è presente praticamente con continuità.

E.8.4 Ricambi d'aria

I ricambi d'aria nell'ambiente C_a sono assunti pari a 0,0018/s (rif. E.7.2).

E.8.5 Fattore di efficacia della ventilazione

Il fattore di efficacia della ventilazione è assunto $f_a = 3$ per la presenza di un numero medio di impedimenti alla libera circolazione dell'aria.

E.8.6 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria nell'ambiente $w_{ai} = w_{aif}$ è assunta pari a 0,01 m/s (rif. E.7.2).

E.8.7 Sorgenti di emissione

Le sorgenti di emissione SE individuate sono le seguenti:

- SE01** Emissioni dal bollitore ($\approx 25 \text{ dm}^3 \div 30 \text{ dm}^3$) nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato, qualificate "Emissioni di primo grado".
- SE02** Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato, qualificate "Emissioni di primo grado".
- SE03** Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore, qualificate "Emissioni di secondo grado"²¹.

Le emissioni strutturali sono considerate trascurabili [§5.7.3.2, Guida CEI 31-35].

Emissioni dovute a perdite dal tubo di fuoriuscita del distillato sono considerate trascurabili, sia per le modeste portate di liquido e pressioni in gioco (il distillato fluisce al contenitore di raccolta per caduta) sia in quanto l'attività è soggetta a generica sorveglianza da parte di operatori adeguatamente informati e formati (rif. D.Lgs. 81/2008) sulle procedure di lavoro, sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di sversamenti accidentali e sui rischi da atmosfere esplosive.

²¹ Lo sfiato per sovrappressione nel bollitore causata da un evento anomalo ma prevedibile (ostruzione del collettore dei vapori a causa dell'eccessivo carico di solvente o formazione eccessiva di schiume, ecc.) avviene dal coperchio dello stesso che funge da valvola di sicurezza. Tra coperchio e bollitore, per esigenze di esercizio, è presente una guarnizione adatta al tipo di solvente da distillare; svolgendo le attività di manutenzione previste dal fabbricante, sono quindi considerate trascurabili emissioni durante il funzionamento ordinario (trafilamenti).

E.8.8 Emissioni dal bollitore nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato - SE01

Tabella E.4 – Caratteristiche della SE01

Tipo di SE	Apertura del bollitore
Modalità di emissione	Evaporazione dalla superficie di un liquido
Grado di emissione	Primo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	T = 313 K (40 °C)
Area di emissione (l'area di apertura del contenitore è pari all'area della superficie del liquido S)	S = 0,07 m ²
Altezza tra il livello del liquido ed il bordo del contenitore	h _d = 0,1 m
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	k = 0,25

E.8.8.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE01

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-3, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente.

$$Q_{gSE01} = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{S}{h_d} \cdot c_{gd} \cdot \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = Q_g = 28 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,07 m^2}{0,05 m} \cdot 0,04 m^2/h \cdot$$

$$\frac{77,74 kg/kmol \cdot 101325 Pa}{8314 J/kmol \cdot K \cdot 313 K} \cdot \ln\left(\frac{101325 Pa}{101325 Pa - 26438 Pa}\right) = 1,468 \cdot 10^{-5} kg/s$$

dove:

S	= 0,07 m ²	sezione del bollitore
h _d	= 0,05 m	altezza libera minima tra il livello del liquido ed il bordo del contenitore
c _{gd}	= 0,04 m ² /h	coefficiente di diffusione dei gas in aria
M	= 77,74 kg/kmol	massa molare del solvente infiammabile
p _a	= 101325 Pa	pressione atmosferica
R	= 8314 J/kmol·K	costante universale dei gas
T	= 313 K	temperatura assoluta di efflusso
p _v	= 26438 Pa	pressione di vapore del solvente infiammabile

E.8.9 Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato - SE02

Tabella E.5 – Caratteristiche della SE02

Tipo di SE	Apertura del contenitore di distillato
Modalità di emissione	Evaporazione dalla superficie di un liquido
Grado di emissione	Primo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	T = 313 K (40 °C)
Area di evaporazione (l'area di apertura del contenitore è inferiore all'area della superficie del liquido S)	S = 0,07 m ²
Altezza tra il livello del liquido ed il bordo del contenitore	h _d = 0,05 m
Coefficiente di sicurezza applicato al LEL	k = 0,25

E.8.9.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE02

La portata di emissione Q_g si determina applicando la formula [f.GB.4.4-4, Guida CEI 31-35] in quanto la superficie liquida del solvente infiammabile non è lambita dall'aria di ventilazione dell'ambiente e l'area dell'apertura verso l'ambiente B è minore dell'area della superficie del liquido S.

$$Q_{gSE02} = 28 \cdot 10^{-5} \cdot c_{gd} \cdot k_F \cdot \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T} \cdot \ln\left(\frac{p_a}{p_a - p_v}\right) = 28 \cdot 10^{-5} \cdot 0,04 m^2/h \cdot 0,196 \cdot \frac{77,74 kg/kmol \cdot 101325 Pa}{8314 J/kmol \cdot K \cdot 313 K} \cdot$$

$$\ln\left(\frac{101325 Pa}{101325 Pa - 26438 Pa}\right) = 2,058 \cdot 10^{-6} kg/s$$

dove:

$$C_{gd} = 0,04 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$k_F = 0,196$$

coefficiente di diffusione dei gas in aria
fattore di forma del contenitore ottenuto come segue:

$$k_F = \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot D_b)^{-1} - (0,5 \cdot D_s)^{-1} \right] + \left[\frac{h_d - 0,25 \cdot (D_s - D_b)}{S} \right]} =$$

$$= \frac{1}{0,16 \cdot \left[(0,5 \cdot 0,05 \text{ m})^{-1} - (0,5 \cdot 0,35 \text{ m})^{-1} \right] +}$$

$$= \frac{1}{\left[\frac{0,05 \text{ m} - 0,25 \cdot (0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m})}{0,07 \text{ m}^2} \right]} = 0,196$$

essendo: $h_d < (D_s - D_b)/4 = 0,05 \text{ m} < (0,35 \text{ m} - 0,05 \text{ m})/4 = 0,05 \text{ m} < 0,075 \text{ m}$

M	$= 77,74 \text{ kg/kmol}$	massa molare del solvente infiammabile
p_a	$= 101325 \text{ Pa}$	pressione atmosferica
R	$= 8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K}$	costante universale dei gas
T	$= 313 \text{ K}$	temperatura assoluta di efflusso
p_v	$= 26438 \text{ Pa}$	pressione di vapore del solvente infiammabile

D.8.10 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE01-SE02

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione a regime $X_r\%$ delle SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_{mSE01-02}\% = X_r\% = \frac{Q_{gSE01} + Q_{gSE02}}{Q_a \cdot \rho_{gas}} \cdot 100 = \frac{1,468 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} + 2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,54 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot 100 = 0,001\%$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\rho_{gas} = 3,02 \text{ kg/m}^3$ densità del gas all'interno del sistema di contenimento determinata con la formula [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_a} = \frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 101325 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 313 \text{ K}} = 3,02 \text{ kg/m}^3$$

$Q_a = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ portata effettiva di aria di ventilazione che interessa il volume V_a considerato (rif. D.8.2)

E.8.11 Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore – SE03

Tabella E.6 – Caratteristiche della SE03

Tipo di SE	Apertura valvola di sicurezza
Modalità di emissione	Emissione di un liquido che, all'interno del sistema di contenimento, si trova ad una temperatura superiore alla sua temperatura di ebollizione
Grado di emissione	Secondo
Temperatura all'interno del sistema di contenimento	$T = 329,5 \text{ K} (56,5 \text{ °C})$

E.8.11.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE03

Lo sfiato per sovrappressione nel bollitore avviene dal coperchio dello stesso che funge da valvola di sicurezza. La sovrappressione costituisce un evento anomalo ma prevedibile che può essere causato dall'ostruzione del collettore dei vapori nel tratto bollitore-condensatore, ad esempio a causa dell'eccessivo carico di solvente o per la formazione eccessiva di schiume, ecc.

Si considera che la valvola di sicurezza sia tarata per intervenire ad un valore di pressione assoluta pari a 1,1 bar (111457,5 Pa).

Il valore della temperatura all'interno del bollitore durante l'intervento della valvola di sicurezza, è considerato pari al più basso dei valori di temperatura di ebollizione delle singole sostanze che compongono il solvente; nel caso specifico la temperatura di ebollizione dell'acetone $T_b = 56,5$ °C.

Al fine di determinare la portata di emissione Q_{gSE03} nel caso di intervento della valvola di sicurezza, si ipotizza l'emissione di una massa di vapori corrispondente ad 1/4 del volume di carico del bollitore.

A tale scopo sono state prima determinate:

- la massa volumica dei vapori (densità), ricavata come segue [f.5.5.4-2, Guida CEI 31-35]:

$$\rho_{gas} = \frac{M \cdot p_a}{R \cdot T_{ai}} = \frac{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 111457,5 \text{ Pa}}{8314 \text{ J/kmol} \cdot \text{K} \cdot 329,5 \text{ K}} = 3,16 \text{ kg/m}^3$$

dove, oltre a quanto già visto:

p_a	= 111457,5 Pa	pressione atmosferica dell'ambiente considerato
T_{ai}	= 329,5 K	temperatura assoluta all'interno del contenitore (temperatura di ebollizione dell'acetone)

- la massa dei vapori corrispondenti ad 1/4 del volume di carico del bollitore:

$$m_v = \rho_{gas} \cdot V_{ic} = 3,16 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0075 \text{ m}^3 = 0,023 \text{ kg}$$

dove, oltre a quanto già visto:

V_{ic}	= 0,0075 m ³	1/4 del volume di carico del bollitore
----------	-------------------------	--

Ipotizzando che la valvola di sicurezza, in caso di intervento, sia aperta per il tempo $t_e = 1$ s, la portata di emissione Q_{gSE03} è pari a:

$$Q_{gSE03} = \frac{m_v}{t_e} = \frac{0,023 \text{ kg}}{1 \text{ s}} = 0,023 \text{ kg/s}$$

E.8.11.2 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alla sorgente SE03

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ è assunta pari alla concentrazione dopo il tempo t_e di emissione della SE, determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_{mSE03} \% = X_{te} \% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} (1 - e^{-C_a \cdot t_e}) \cdot 100 = \frac{0,023 \text{ kg/s}}{0,54 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3,02 \text{ kg/m}^3} \cdot (1 - e^{-0,0018 \cdot 1 \text{ s}}) \cdot 100 = 0,0026 \%$$

dove, oltre a quanto già visto:

t_e	= 1 s	tempo di emissione (tempo in apertura della valvola di sicurezza)
-------	-------	---

E.8.12 Concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle sorgenti SE01-SE02-SE03

Nell'ambiente, la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ dovuta alle SE contemporanee, è determinata con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]:

$$X_m \% = X_{mSE01-02} \% + X_{mSE03} \% = 0,001 \% + 0,0026 \% = 0,0036 \%$$

Infine, si verifica che la concentrazione media di sostanza infiammabile $X_m\%$ rispetti la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35] per stabilire il grado della ventilazione.

$$X_m\% \leq \frac{k \cdot LEL_v}{f_a} \rightarrow 0,0036\% \leq \frac{0,25 \cdot 2,69\%}{3} = 0,22\%$$

E.8.13 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE01

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,25 \cdot 2,69\% \cdot 0,01 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 2,01 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$k_z = 1$ coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano), calcolato assumendo $k_1 = 82$ (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35):

$$k_z = e^{\frac{k_1 \cdot X_m\%}{M \cdot LEL_v}} = k_z = e^{\frac{82 \cdot 0,0036\%}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,69\%}} \approx 1$$

$f_{SE} = 3$ fattore di efficacia della ventilazione nell'intorno della SE in termini di effettiva capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva, con f che varia da $f = 1$ (situazione ideale) ad $f = 5$ (caso di flusso d'aria impedito da ostacoli) [§3.26, Guida CEI 31-35]

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 2,5 m.

E.8.14 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{1,47 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 7,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$LEL_m = 0,086 \text{ kg/m}^3$ limite inferiore di esplosione massico in aria determinato con la formula [f.5.5.11-1, Guida CEI 31-35]:

$$LEL_m = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot LEL_v \cdot \frac{P_a}{101325} = 0,416 \cdot 10^{-3} \cdot 77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 2,69\% \cdot \frac{101325}{101325} = 0,086 \text{ kg/m}^3$$

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

dove:

V_0 volume totale da ventilare [m^3]

V_a volume libero dell'ambiente considerato [m^3]

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

C_a numero di ricambi di aria nell'unità di tempo riferito al volume libero dell'ambiente V_a [s^{-1}]

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 2,5m + 0,3m = 5,3m$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_0	= 2	coefficiente applicato alla quota a per il calcolo della lunghezza del percorso dell'aria L_0 , generalmente uguale a 2 e, comunque, mai inferiore a 1 [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
a	= 2,5 m	estensione effettiva della zona pericolosa nella direzione di emissione e di più probabile dispersione dell'atmosfera esplosiva nell'ambiente [§ 3.26, Guida CEI 31-35]
D_{SE}	= 0,3 m	dimensione massima della SE pari alla larghezza del bollitore

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ai}}{L_0} = \frac{0,01m/s}{5,3m} = 0,0018s^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 7,22 \cdot 10^{-4} m^3/s}{0,0018s^{-1}} = 1,148m^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0018s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,25 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 4717s \approx 79min$$

dove, oltre a quanto già visto:

X_0	= 13,04 %	concentrazione percentuale iniziale di sostanza infiammabile X_0 all'interno del volume V_z calcolata con la formula [f.5.10.3-24, Guida CEI 31-35]:
-------	-----------	--

$$X_0\% = \frac{p_v}{p_a \cdot 2} \cdot 100 = \frac{26438 Pa}{101325 Pa \cdot 2} \cdot 100 = 13,04\%$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 1,148 m^3 \cdot 0,25 = 0,287 m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 287 \text{ dm}^3$ è maggiore sia di 10 dm^3 che di un decimillesimo del volume dell'ambiente = 30 dm^3 e pertanto il volume V_z non è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t e del tempo di emissione t_e valutato in 300 s per ogni operazione di carico: $t + t_e = 300 \text{ s} + 4717 \text{ s} = 5017 \text{ s}$ ($\approx 1,5$ ore). Considerando che le operazioni di carico del bollitore sono infrequenti, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 1.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
 - la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
 - il volume V_z non è trascurabile;
- il grado della ventilazione è MEDIO (VM).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

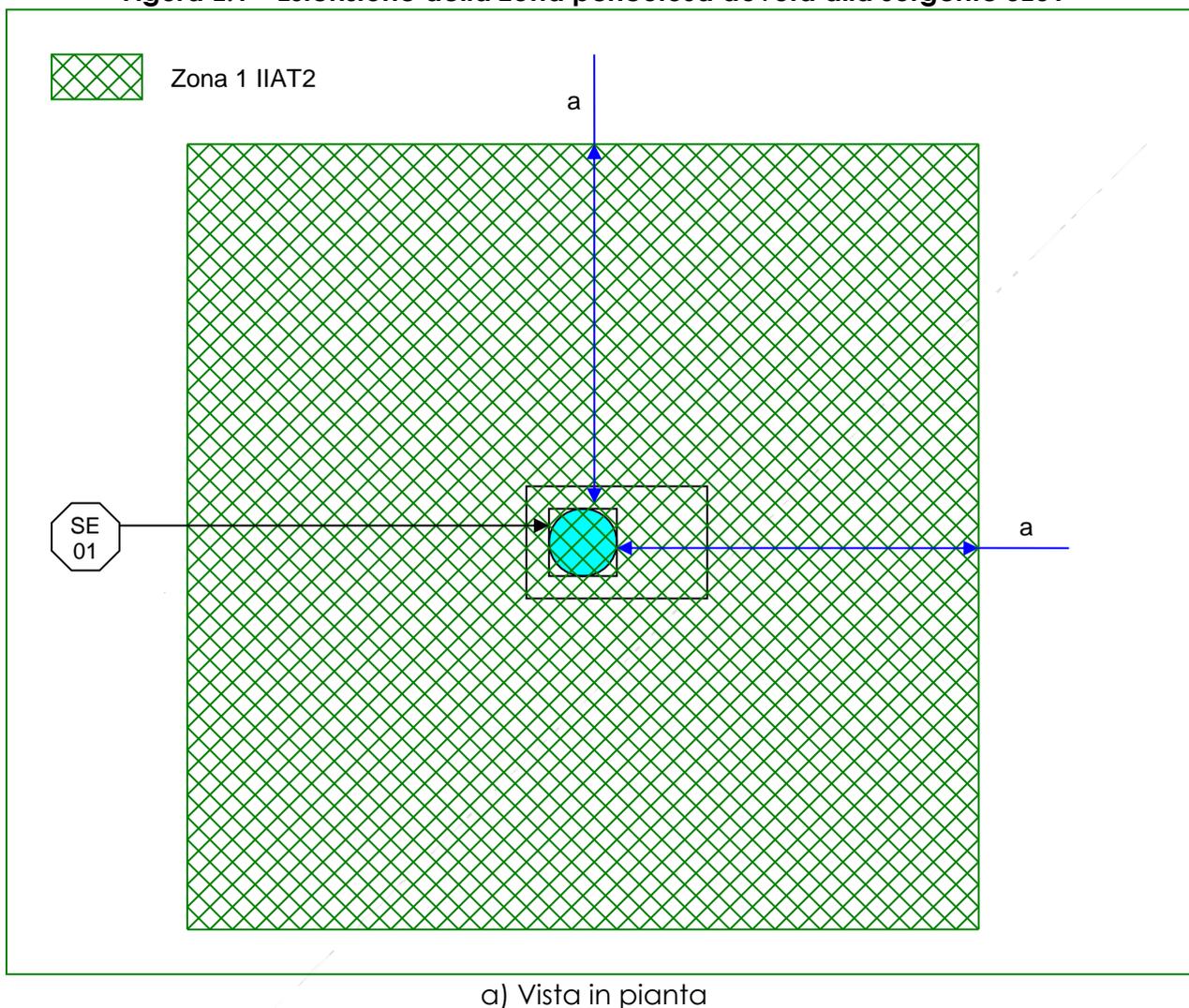
- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è MEDIO (VM);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE01** è **Zona 1 IIA T2** (un solo tipo di zona).

E.8.15 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01

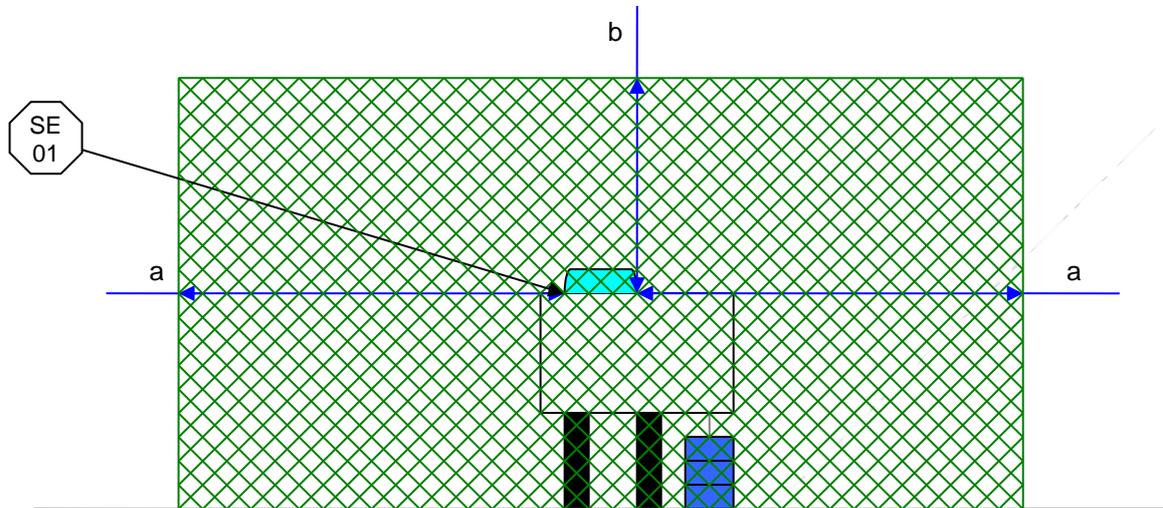
Per definire l'estensione della zona pericolosa, nota la distanza d_z e la quota "a", trattandosi di una emissione da un contenitore aperto di vapori con densità significativamente maggiore di quella dell'aria ($\rho_0/\rho_{aria} = 2,6$), si assume la forma e le dimensioni come da Figura E.1 con estensione fino al suolo:

Figura E.1 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE01



- quota "a" = 2,5 m;
 - quota "b" = 1 m;
- e fino al suolo.

 Zona 1 IIAT2



b) Vista in sezione

- quota "a" = 2,5 m;
 - quota "b" = 1 m;
- e fino al suolo.

E.8.16 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE02

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ai}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,5 \cdot 2,69\% \cdot 0,01 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,68 \text{ m}$$

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 1 m.

E.8.17 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 1 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 2,05 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$D_{SE} = 0,05 \text{ m} \quad \text{dimensione massima della SE pari alla larghezza del foro sul contenitore del distillato}$$

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ai}}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m/s}}{2,05 \text{ m}} = 0,0048 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,0048 \text{ s}^{-1}} = 0,062 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln \left(\frac{k \cdot LEL}{X_0} \right) = \frac{-3}{0,0048 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln \left(\frac{0,25 \cdot 2,69\%}{13,04\%} \right) = 1825 \text{ s} \approx 31 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,062m^3 \cdot 0,25 = 0,015m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 15 \text{ dm}^3$ è maggiore di 10 dm^3 anche se minore di un decimillesimo del volume dell'ambiente = 30 dm^3 e pertanto il volume V_z non è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t e del tempo di emissione t_e valutato in 14400 s (4 ore) per ogni operazione di distillazione: $t + t_e = 1825 \text{ s} + 14400 \text{ s} = 16225 \text{ s}$ (≈ 5 ore). Considerando che le operazioni di distillazione sono infrequenti, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 1.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
- la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
- il volume V_z non è trascurabile;

il grado della ventilazione è MEDIO (VM).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

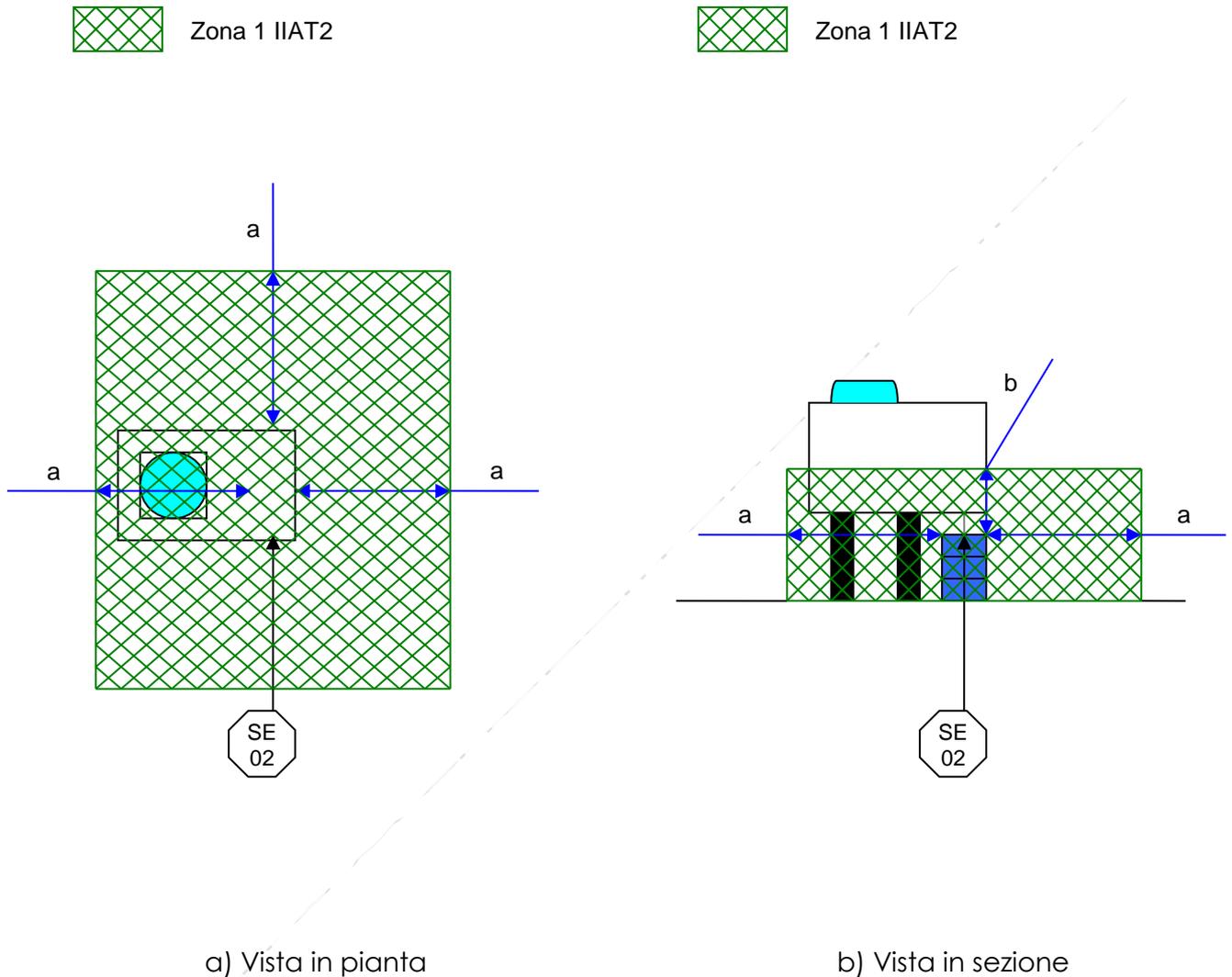
- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è MEDIO (VM);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE02** è **Zona 1 IIA T2** (un solo tipo di zona).

E.8.18 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02

Per definire l'estensione della zona pericolosa, nota la distanza d_z e la quota "a", trattandosi di una emissione da un contenitore aperto di vapori con densità significativamente maggiore di quella dell'aria ($\rho_0/\rho_{aria} = 2,6$), si assume la forma e le dimensioni come da Figura E.2 con estensione fino al suolo:

Figura E.2 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE02



- quota "a" = 1 m;
 - quota "b" = 0,5 m;
- e fino al suolo.

E.8.19 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE03

Per i sistemi a pressione relativa ≥ 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-5a, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot 50 \cdot \frac{M^{-0,65}}{k_{dz} \cdot LEL_v} \cdot \left(\frac{Q_g}{\varphi \cdot C_d} \right)^{0,5} \cdot \left(\gamma \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^\beta \right)^{-0,25} \cdot T^{0,25} =$$

$$= 1 \cdot 50 \cdot \frac{77,74 \text{ kg/kmol}^{-0,65}}{0,5 \cdot 2,69\%} \cdot \left(\frac{0,023 \text{ kg/s}}{0,628 \cdot 1} \right)^{0,5} \cdot \left(1,14 \left(\frac{2}{1,14 + 1} \right)^{15,28} \right)^{-0,25} \cdot 329,5 \text{ K}^{0,25} = 2,28 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$\varphi = 0,628$ rapporto critico del flusso per emissioni di tipo subsonico (f.GB.4.1-3, Guida CEI 31-35):

$$\varphi = \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{2}{\gamma-1} \right) \cdot \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^\beta \right]^{0,5} =$$

$$= \left(\frac{101325 \text{ Pa}}{111457,5 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1}{1,14}} \cdot \left[1 - \left(\frac{101325 \text{ Pa}}{111457,5 \text{ Pa}} \right)^{\frac{1,14-1}{1,14}} \right]^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{2}{1,14-1} \right) \cdot \left(\frac{1,14+1}{2} \right)^{15,28} \right]^{0,5} = 0,628$$

$C_d = 1$ coefficiente di scarico per valvole di sicurezza (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35)

$\gamma = 1,14$ rapporto tra i calori specifici a pressione costante ed a volume costante, posto uguale a quello dell'acetone

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 2,5 m.

E.8.20 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE03

Sia per gli ambienti aperti sia per quelli chiusi, con la formula (B.1) della norma EN 60079-10-1, qui di seguito riportata e corrispondente alla formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35], si ricava la portata minima teorica volumetrica di aria di ventilazione necessaria a diluire l'emissione Q_g di sostanze infiammabili a regime:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} [m^3 / s]$$

All'interno di un ambiente confinato e ventilato la concentrazione dei gas (vapori) si sviluppa con il tempo fino a che, al termine del transitorio di incremento della concentrazione, quest'ultima rimarrà costante con valore dipendente dalla ventilazione.

Nel caso specifico, l'emissione avviene in un tempo definito (t_e). L'emissione comporta una concentrazione media in campo lontano dei vapori infiammabili: $X_{mSE03}\% = X_{te}\% = 0,0026\%$ (§ E.8.13), rilasciati in ambiente chiuso, inferiore a quella che si avrebbe al termine del transitorio di incremento: $X_{mSE03}\% = X_r\% = 1,45\%$ (determinata come per le sorgenti SE01-SE02 con la formula [f.5.10.3-19, Guida CEI 31-35]).

La concentrazione media in campo lontano dei vapori infiammabili a regime (1,45%), si ottiene con un tempo di emissione t_e di circa 3600 s (1 ora).

Ai due diversi valori di concentrazione (nel transitorio, a regime) corrisponderanno differenze, anche notevoli, nei relativi valori di portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni e di volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z .

Pertanto, per definire il grado della ventilazione è stata determinata la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni nel transitorio, applicando alla formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35] lo stesso coefficiente utilizzato nella determinazione di $X_{mSE03}\%$ = $X_{te}\%$:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} \cdot (1 - e^{-C_a \cdot t_e}) = \frac{0,023 \text{ kg/s}}{0,5 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} \cdot (1 - e^{-0,0018 \cdot 1 \text{ s}}) \cdot 100 = 0,001 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Risultando rispettata la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35], è possibile considerare:

$$V_0 < V_a \text{ e } C_0 > C_a$$

e, pertanto, C_0 è calcolato con il criterio utilizzato per gli ambienti aperti, ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 2,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 5,3 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

$$D_{SE} = 0,3 \text{ m} \quad \text{dimensione massima della SE pari alla larghezza del coperchio del bollitore}$$

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ai}}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m/s}}{5,3 \text{ m}} = 0,0018 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 0,001 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,0018 \text{ s}^{-1}} = 1,668 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0018 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,5 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 3615 \text{ s} \approx 61 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 1,668 m^3 \cdot 0,5 = 0,834 m^3$$

Per la Zona 2, in ambienti chiusi, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$
- $V_{ex} < V_a/10000$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 834 \text{ dm}^3$ è maggiore sia di 10 dm^3 sia di un decimillesimo del volume dell'ambiente = 30 dm^3 e pertanto il volume V_z non è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t e del tempo di emissione t_e : $t + t_e = 3615 \text{ s} + 1 \text{ s} = 3616 \text{ s}$ ($\approx 1 \text{ ora}$). Considerando un evento/anno trattandosi di guasto, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 2.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
 - la concentrazione media $X_m\%$ rispetta la condizione [f.5.10.3-16, Guida CEI 31-35];
 - il volume V_z non è trascurabile;
- il grado della ventilazione è MEDIO (VM).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

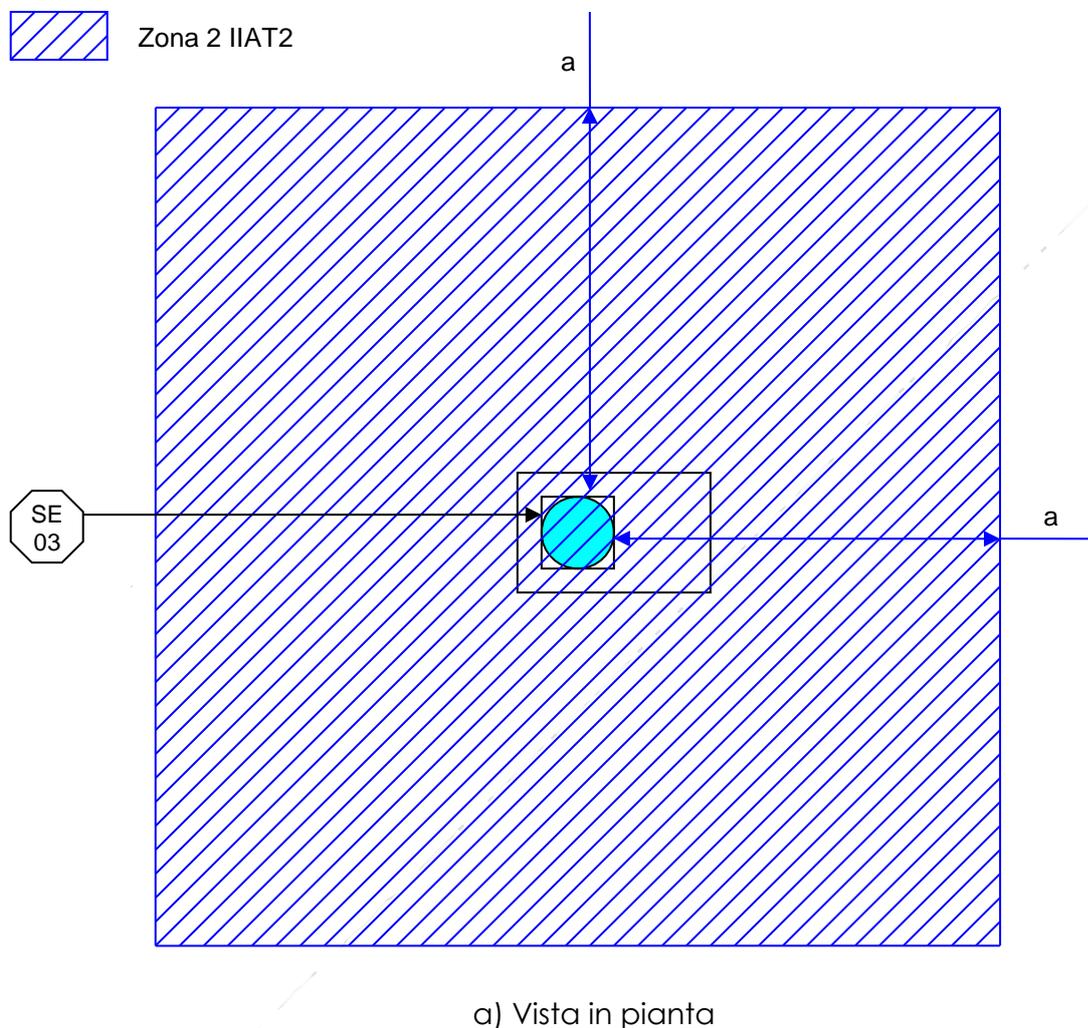
- l'emissione è di secondo grado;
- il grado di ventilazione è MEDIO (VM);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE03** è **Zona 2 IIA T2** (un solo tipo di zona).

E.8.21 Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE03

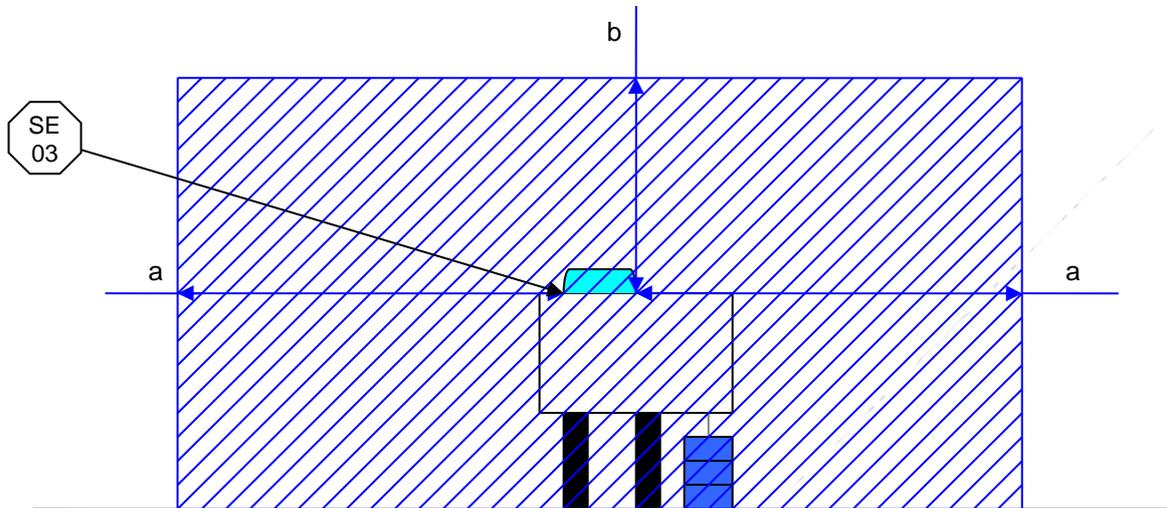
Per definire l'estensione della zona pericolosa, nota la distanza d_z e la quota "a", trattandosi di una emissione da un contenitore aperto di vapori con densità significativamente maggiore di quella dell'aria ($\rho_0/\rho_{aria} = 2,6$), si assume la forma e le dimensioni come da Figura E.3 con estensione fino al suolo:

Figura E.3 - Estensione della zona pericolosa dovuta alla sorgente SE03



- quota "a" = 2,5 m;
 - quota "b" = 1 m;
- e fino al suolo.

 Zona 2 IIAT2



b) Vista in sezione

- quota "a" = 2,5 m;
 - quota "b" = 1 m;
- e fino al suolo.

E.9 Zone pericolose generate dal Distillatore posto all'esterno del fabbricato (AA.E02)

E.9.1 Caratteristiche dell'ambiente

Tabella E.7 – Caratteristiche dell'area esterna al fabbricato

Codice identificativo	AA.E02
Tipo ambiente	Aperto
Pressione atmosferica	$p_a = 101325 \text{ Pa}$
Temperatura ambiente	$T_a = 313 \text{ K (40 °C)}$
Ventilazione	Naturale
Disponibilità	Buona
Fattore di efficacia della ventilazione	$f_a = 3$
Velocità minima dell'aria	$w_{ae} = 0,25 \text{ m/s}$

E.9.2 Ventilazione dell'ambiente

La ventilazione dell'ambiente è dovuta alla ventilazione naturale.

E.9.3 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione è considerata BUONA in quanto la velocità minima assunta dell'aria all'aperto è presente praticamente con continuità.

E.9.4 Velocità dell'aria

La velocità dell'aria all'aperto fino a 3 m dal suolo è considerata 0,25 m/s [rif. 5.6.2, Guida CEI 31-35].

E.9.5 Sorgenti di emissione

Le sorgenti di emissione SE individuate sono le seguenti:

- SE04** Emissioni dal bollitore ($\approx 25 \text{ dm}^3 \div 30 \text{ dm}^3$) nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato, qualificate "Emissioni di primo grado".
- SE05** Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato, qualificate "Emissioni di primo grado".
- SE06** Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore, qualificate "Emissioni di secondo grado"²².

Le emissioni strutturali sono considerate trascurabili [§5.7.3.2, Guida CEI 31-35].

Emissioni dovute a perdite dal tubo di fuoriuscita del distillato sono considerate trascurabili, sia per le modeste portate di liquido e pressioni in gioco (il distillato fluisce al contenitore di raccolta per caduta) sia in quanto l'attività è soggetta a generica sorveglianza e gli operatori devono essere adeguatamente informati e formati (rif. D.Lgs. 81/2008) anche sulle azioni da compiere per neutralizzare in tempi brevi le pozze venutesi a formare in caso di versamenti accidentali.

E.9.6 Emissioni dal bollitore nella fase di carica del solvente infiammabile contaminato - SE04

Le caratteristiche della SE04 sono le stesse della SE01 (§ E.8.8).

E.9.6.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE04

La portata di emissione della SE04 Q_{gSE04} è la stessa della Q_{gSE01} (§ E.8.9).

$$Q_{gSE04} = Q_{gSE01} = Q_g = 1,468 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$$

²² Lo sfiato per sovrappressione nel bollitore causata da un evento anomalo ma prevedibile (ostruzione del collettore dei vapori a causa dell'eccessivo carico di solvente o formazione eccessiva di schiume, ecc.) avviene dal coperchio dello stesso che funge da valvola di sicurezza. Tra coperchio e bollitore, per esigenze di esercizio, è presente una guarnizione adatta al tipo di solvente da distillare; svolgendo le attività di manutenzione previste dal fabbricante, sono quindi considerate trascurabili emissioni durante il funzionamento ordinario (trafilamenti).

E.9.6.2 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE04

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ae}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,25 \cdot 2,69\% \cdot 0,25 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,34 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_z	= 1	coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano); per gli ambienti aperti: $k_z = 1$ (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35)
w_{ae}	= 0,25 m/s	velocità di riferimento dell'aria nell'ambiente considerato (all'aperto)

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 0,5 m.

E.9.6.3 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE04

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{1,47 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 7,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Il numero di ricambi di aria nell'unità di tempo C_0 , riferito al volume totale da ventilare V_0 [s⁻¹] è calcolato ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,3 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

D_{SE}	= 0,3 m	dimensione massima della SE pari alla larghezza del bollitore
k_0	= 2	coefficiente applicato alla quota a per il calcolo della lunghezza del percorso dell'aria L_0

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ae}}{L_0} = \frac{0,25 \text{ m/s}}{1,3 \text{ m}} = 0,192 \text{ s}^{-1}$$

dove, oltre a quanto già visto:

w_{ae}	= 0,25 m/s	velocità dell'aria all'aperto
----------	------------	-------------------------------

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 7,22 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,192 \text{ s}^{-1}} = 0,011 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln \left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0} \right) = \frac{-3}{0,192 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln \left(\frac{0,25 \cdot 2,69\%}{13,04\%} \right) = 46 \text{ s} \approx 1 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,011m^3 \cdot 0,25 = 0,0028m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti aperti, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 2,8 \text{ dm}^3$ è minore di 10 dm^3 e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t e del tempo di emissione t_e valutato in 300 s per ogni operazione di carico: $t + t_e = 300 \text{ s} + 46 \text{ s} = 346 \text{ s}$ ($\approx 0,1$ ore). Considerando che le operazioni di carico del bollitore sono infrequenti, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 1.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
 - il volume V_z è trascurabile;
- il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
 - il grado di ventilazione è ALTO (VH);
 - la disponibilità della ventilazione è BUONA;
- per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE04** è **Zona 1 NE** (un solo tipo di zona).

E.9.7 Emissioni dal contenitore di raccolta del solvente infiammabile distillato - SE05

Le caratteristiche della SE05 sono le stesse della SE02 (§ E.8.10).

E.9.7.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE05

La portata di emissione della SE05 Q_{gSE05} è la stessa della Q_{gSE02} (§ E.8.11).

$$Q_{gSE05} = Q_{gSE02} = Q_g = 2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$$

E.9.7.2 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE05

Per i sistemi a pressione relativa < 500 Pa (5 mbar), nota la portata di emissione Q_g , la distanza pericolosa d_z si determina applicando la formula [f.GB.5.1-4, Guida CEI 31-35]:

$$d_z = k_z \cdot \left(\frac{42300 \cdot Q_g \cdot f_{SE}}{M \cdot k_{dz} \cdot LEL_v \cdot w_{ae}} \right)^{0,55} = 1 \cdot \left(\frac{42300 \cdot 2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s} \cdot 3}{77,74 \text{ kg/kmol} \cdot 0,5 \cdot 2,69\% \cdot 0,25 \text{ m/s}} \right)^{0,55} = 0,116 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

k_z	= 1	coefficiente correttivo da applicare alla distanza d_z per tener conto della concentrazione di gas nell'ambiente (campo lontano); per gli ambienti aperti: $k_z = 1$ (rif. § 3.26, Guida CEI 31-35)
w_{ae}	= 0,25 m/s	velocità di riferimento dell'aria nell'ambiente considerato (all'aperto)

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 1 m.

E.9.7.3 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE05

Per definire il grado della ventilazione, è necessario determinare la portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni, applicando la formula [f.5.10.3-1, Guida CEI 31-35]:

$$Q_{amin} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL_m} \cdot \frac{T_a}{293} = \frac{2,058 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}}{0,25 \cdot 0,086 \text{ kg/m}^3} \cdot \frac{313 \text{ K}}{293} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Il numero di ricambi di aria nell'unità di tempo C_0 , riferito al volume totale da ventilare V_0 [s^{-1}] è calcolato ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 0,5 \text{ m} + 0,05 \text{ m} = 1,05 \text{ m}$$

dove, oltre a quanto già visto:

D_{SE}	= 0,05 m	dimensione massima della SE pari alla larghezza del foro sul contenitore del distillato
----------	----------	---

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ae}}{L_0} = \frac{0,25 \text{ m/s}}{1,05 \text{ m}} = 0,238 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,238 \text{ s}^{-1}} = 0,00127 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,238s^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,25 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 37s \approx 1min$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,00127 m^3 \cdot 0,25 = 0,0003 m^3$$

Per la Zona 1, in ambienti aperti, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. § 5.10.3.5, Guida CEI 31-35]:

- $V_{ex} < 10 dm^3$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 0,3 dm^3$ è minore di $10 dm^3$ e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è dato dalla somma del tempo di persistenza al cessare dell'emissione t e del tempo di emissione t_e valutato in 14400 s (4 ore) per ogni operazione di distillazione: $t + t_e = 37 s + 14400 s = 14437 s$ (≈ 4 ore). Considerando che le operazioni di distillazione sono infrequenti, il tempo di presenza di atmosfera esplosiva t_{patm} è ritenuto compatibile con la definizione di zona 1.

Considerato che:

- l'emissione è di primo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 1;
 - il volume V_z è trascurabile;
- il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di primo grado;
- il grado di ventilazione è ALTO (VH);
- la disponibilità della ventilazione è BUONA;

per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE05** è **Zona 1 NE** (un solo tipo di zona).

E.9.8 Emissioni dalla valvola di sicurezza per sovrappressione nel bollitore - SE06

Le caratteristiche della SE06 sono le stesse della SE03 (§ E.8.13).

E.9.8.1 Portata di emissione Q_g della sorgente SE06

La portata di emissione della SE06 Q_{gSE06} è la stessa della Q_{gSE03} (§ E.8.14).

$$Q_{gSE06} = Q_{gSE03} = Q_g = 0,23 \text{ kg/s}$$

E.9.8.2 Distanza d_z e quota "a" della sorgente SE06

La distanza d_z della sorgente SE06 è la stessa della sorgente SE03 (§ E.8.23).

$$d_{zSE06} = d_{zSE03} = d_z = 2,28 \text{ m}$$

Sulla base della distanza d_z , si assume la quota "a" (estensione della zona pericolosa nella direzione di emissione) pari a 2,5 m.

E.9.8.3 Tipo di zona pericolosa dovuta alla sorgente SE06

La portata minima di ventilazione Q_{amin} necessaria a diluire le emissioni nel transitorio e la della SE06, è la stessa della SE03 (§ E.8.24).

$$Q_{aminSE06} = Q_{aminSE03} = Q_{amin} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il numero di ricambi di aria nell'unità di tempo C_0 , riferito al volume totale da ventilare V_0 [s^{-1}] è calcolato ipotizzando un volume interessato dalla zona pericolosa V_0 rappresentato da un cubo avente lato L_0 , calcolato con la formula [f.5.10.3-14, Guida CEI 31-35]:

$$L_0 = k_0 \cdot a + D_{SE} = 2 \cdot 2,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 5,3 \text{ m}$$

Definita la lunghezza L_0 , il numero dei ricambi di aria C_0 si determina applicando la formula [f.5.10.3-15, Guida CEI 31-35]:

$$C_0 = \frac{w_{ae}}{L_0} = \frac{0,25 \text{ m/s}}{5,3 \text{ m}} = 0,0417 \text{ s}^{-1}$$

Il volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_z si determina applicando la formula [f.5.10.3-6, Guida CEI 31-35], considerando il fattore di efficacia della ventilazione $f_{SE} = 3$:

$$V_z = \frac{f_{SE} \cdot Q_{amin}}{C_0} = \frac{3 \cdot 0,001 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0417 \text{ s}^{-1}} = 0,0667 \text{ m}^3$$

Quindi si determina il tempo di persistenza al cessare dell'emissione t applicando la formula [f.5.10.3-13, Guida CEI 31-35].

$$t = \frac{-f_{SE}}{C_0} \cdot \ln\left(\frac{k \cdot LEL_v}{X_0}\right) = \frac{-3}{0,0417 \text{ s}^{-1}} \cdot \ln\left(\frac{0,5 \cdot 2,69\%}{13,04\%}\right) = 144 \text{ s} \approx 3 \text{ min}$$

Al fine della valutazione della trascurabilità del volume V_z , si determina il volume della miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} applicando la formula [f.5.10.3-25, Guida CEI 31-35]:

$$V_{ex} = V_z \cdot k = 0,0667 m^3 \cdot 0,5 = 0,0333 m^3$$

Per la Zona 2, in ambienti aperti, il volume V_z è trascurabile (V_{zNE}) se il corrispondente volume V_{ex} rispetta le condizioni seguenti [rif. Premessa, Guida CEI 31-35/A]:

- $V_{ex} < (100 \cdot k) \text{ dm}^3 = (100 \cdot 0,5) \text{ dm}^3 = 50 \text{ dm}^3$

Nel caso in esame, $V_{ex} = 33,3 \text{ dm}^3$ è minore di 50 dm^3 e pertanto il volume V_z è trascurabile.

Considerato che:

- l'emissione è di secondo grado e il tempo t non eccede i tempi compatibili con la definizione di Zona 2;
 - il volume V_z è trascurabile;
- il grado della ventilazione è ALTO (VH).

Facendo riferimento alla Tabella B.1 della Guida CEI 31-35, si hanno le seguenti condizioni:

- l'emissione è di secondo grado;
 - il grado di ventilazione è ALTO (VH);
 - la disponibilità della ventilazione è BUONA;
- per cui, il luogo pericoloso determinato dalla **SE06** è **Zona 2 NE** (un solo tipo di zona).

ALLEGATO F – CRITERIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Indice		pag.
F.1	CRITERIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO	116
F.1.1	Generalità sui dispositivi di sicurezza utilizzati quali mezzi (IPL) per ridurre la probabilità di formazione di atmosfera esplosiva o di una sorgente di accensione efficace	119
F.1.1.1	Industria di processo	119
F.1.1.2	Macchine	120

F.1 CRITERIO DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il criterio di seguito esposto costituisce una valutazione del rischio di esplosione di tipo semplificato [F. Di Tosto, 2008]. Esso trae spunto dal Rapporto EU SAFEC conseguente al progetto di ricerca europeo Contract SMT4-CT98-2255 *Determination of Safety Categories of Electrical Devices used in Potentially Explosive Atmospheres*.

Il Rapporto SAFEC è stato a suo tempo preso come riferimento per l'elaborazione della norma CEI EN 50495 *Dispositivi di sicurezza richiesti per il funzionamento sicuro degli apparecchi in relazione al rischio di esplosione*, armonizzata con la direttiva ATEX 1994/9/CE (ora sostituita dalla direttiva 2014/34/UE) e, anche se privo di valenza normativa e predisposto per altri scopi, contiene una serie di informazioni e considerazioni di interesse che sono state qui utilizzate per stabilire il criterio di **valutazione del livello di rischio di "impianto"**, riconducibile al Titolo XI del DLgs 81/2008.

Tale criterio rientra nella cosiddetta metodologia LOPA (*Layers of Protection Analysis*): una o più cause iniziatrici possono condurre alla conseguenza C; ciascuna coppia causa-conseguenza, viene chiamata "scenario". Inizialmente viene stimata la frequenza dell'evento iniziatore, quindi ciascun mezzo di protezione (IPL – *Independent Protection Level*) viene identificato e valutato in relazione alle proprie caratteristiche di mitigazione.

Questa metodologia, che può essere considerata di tipo semi-quantitativo, tiene conto di alcuni fattori tipici dell'esplosione, quali ad esempio: la probabilità che l'atmosfera esplosiva si verifichi, la probabilità che le sorgenti di accensione siano presenti e che diventino efficaci, la probabilità di guasto (PFD - *Probability of Failure on Demand*) di eventuali mezzi di prevenzione e di protezione adottati.

La metodologia LOPA conduce alla stima della probabilità della conseguenza indesiderata attraverso la moltiplicazione della frequenza dell'evento iniziatore e delle PFD, associate agli IPL individuati secondo la formula seguente:

$$f_i^C = f_i^I \cdot PFD_{i1} \cdot PFD_{i2} \cdot PFD_{i3} \cdot \dots \cdot PFD_{ij}$$

$$f_i^C = f_i^I \prod_{j=1}^J PFD_{ij}$$

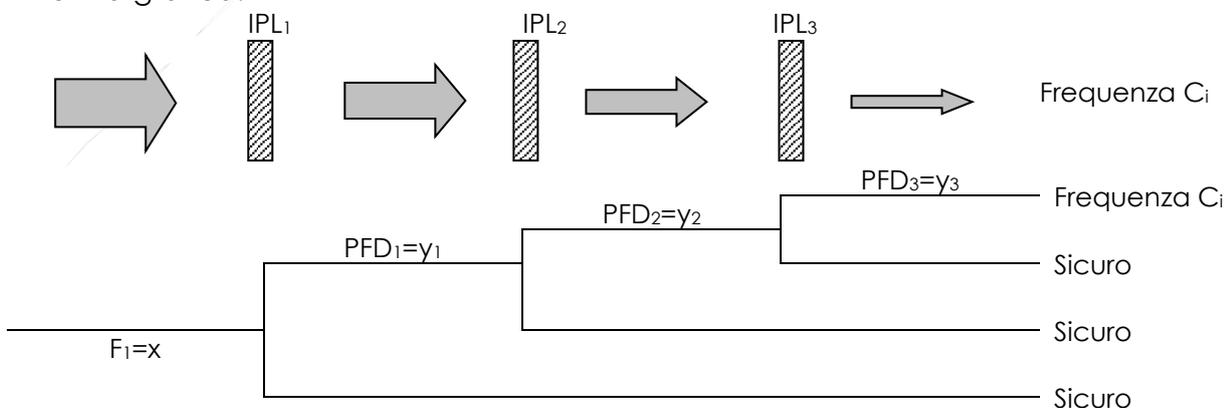
dove:

f_i^C = frequenza per la conseguenza C dell'evento iniziatore i ;

f_i^I = frequenza dell'evento iniziatore i ;

PFD_{ij} = probabilità di guasto su richiesta del J -mo IPL che protegge contro la conseguenza C per l'evento iniziatore i .

In forma grafica:



Spesso gli IPL includono delle funzioni strumentate di sicurezza, per cui comunemente si fa riferimento ai livelli di integrità della sicurezza - SIL - secondo le norme CEI EN 61508 e CEI EN 61511.

La valutazione del rischio di esplosione tiene conto sia della stima della probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva sia della stima della probabilità di presenza di una sorgente di accensione efficace. Il danno alle persone è considerato sempre alto (danni gravi o morte) come suggerito dalla linea guida europea all'applicazione della direttiva 1999/92/CE (COM/2003/515/ def.).

La probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva può essere classificata in termini di "zone" secondo le norme della serie CEI EN 60079-10 (zone 0, 1, 2, 20, 21, 22).

La probabilità di presenza di una sorgente di accensione efficace può essere classificata in termini di tolleranza al guasto FT (*Fault Tolerance*). FT viene definito come il numero di guasti indipendenti ritenuti ammissibili senza che la sorgente di accensione diventi efficace (in una situazione priva di sistemi di protezione o dispositivi).

Se la FT = n, la sorgente di accensione diventa efficace con n + 1 guasti.

Si possono così stabilire i seguenti requisiti relativi alle categorie dei prodotti:

- FT 2: sono ammissibili due guasti indipendenti senza che la sorgente di accensione diventi efficace (corrisponde ai prodotti di categoria 1 secondo la direttiva 2014/34/UE);
- FT 1: è ammissibile un guasto senza che la sorgente di accensione diventi efficace (corrisponde ai prodotti di categoria 2 secondo la direttiva 2014/34/UE);
- FT 0: non sono ammissibili guasti durante il normale funzionamento (corrisponde ai prodotti di categoria 3 secondo la direttiva 2014/34/UE);
- FT -1: la sorgente di accensione non è causata da un guasto (può essere presente durante il normale esercizio) oppure la sorgente di accensione e la formazione di un'atmosfera esplosiva hanno una causa comune.

Viene così realizzata una correlazione tra la categoria di un prodotto certificato secondo la direttiva 2014/34/UE, o la categoria "assegnata" ad un prodotto preesistente alle direttive ATEX a seguito dell'analisi delle sue sorgenti di accensione, e la sua tolleranza al guasto (intesa con riferimento all'insorgenza di una sorgente di accensione efficace).

Gli eventuali dispositivi di sicurezza (SD – *Safety Device*) utilizzati quali mezzi (IPL) per ridurre la probabilità di formazione di una sorgente di accensione efficace dell'apparecchiatura sotto controllo ed aumentarne quindi la tolleranza al guasto, sono valutati in base al loro livello SIL secondo il seguente criterio (Tabella 3.2):

Tabella 3.1 - Corrispondenza tra le categorie della direttiva 2014/34/UE e il livello di integrità della sicurezza degli eventuali dispositivi di sicurezza adottati per aumentare la tolleranza al guasto dell'apparecchiatura sotto controllo

Area pericolosa	Zona 0 Zona 20		Zona 1 Zona 21			Zona 2 Zona 22		
	Tolleranza al guasto FT dell'apparecchiatura sotto controllo EUC	2	1	0	1	0	-1	0
Livello di integrità della sicurezza SIL del dispositivo di sicurezza SD	-	SIL 1	SIL 2	-	SIL 1	SIL 2	-	SIL 1
Categoria dell'apparecchio combinato EUC+SD	1		2			3		

Infine, nella tabella seguente vengono associati agli elementi della colonna 1 i valori numerici relativi:

- al tipo di zona pericolosa (valutazione della zona pericolosa);
- alla tolleranza al guasto FT (valutazione dell'apparecchiatura/impianto);
- al SIL associato all'eventuale IPL adottato (valutazione dell'IPL stesso).

Sempre con riferimento alle informazioni e considerazioni di interesse contenute nel Rapporto SAFEC citato, il rischio di esplosione si intende accettabile se la sommatoria della colonna 3, \sum_i risulta ≥ 2 .

Tabella 3.2 - Valutazione del rischio di esplosione

1	2	3
Elementi valutati	Probabilità/Frequenza	Valore
Formazione di atmosfera esplosiva	Zona	0 (0, 20), 1 (1, 21), 2 (2, 22)
IPL 1: prevenzione formazione atmosfera esplosiva	SIL	1, 2, 3
Presenza di una sorgente di accensione efficace (EUC)	FT	-1, 0, 1, 2
IPL 2: prevenzione accensione atmosfera esplosiva	SIL	1, 2, 3
IPL 3: mitigazione effetti dell'esplosione	SIL	1, 2, 3
		$\sum(I) \geq 2$

F.1.1 Generalità sui dispositivi di sicurezza utilizzati quali mezzi (IPL) per ridurre la probabilità di formazione di atmosfera esplosiva o di una sorgente di accensione efficace

F.1.1.1 Industria di processo

I sistemi di sicurezza per la protezione di impianti industriali si installano dove, in caso di avarie o malfunzionamenti, esiste un pericolo per le persone, per l'ambiente o per l'integrità degli stessi impianti/processi. Questi sistemi non fanno parte del controllo di processo e sono da questo indipendenti, avendo lo scopo di rendere l'impianto sicuro in caso di malfunzionamento dello stesso.

L'affidabilità di tali sistemi di sicurezza basati su una tecnologia elettrica, elettronica ed elettronica programmabile è normata, in ambito internazionale, da varie norme tecniche relative alla sicurezza funzionale (*Safety-related systems*).

La norma CEI EN 61508 *Sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili per applicazioni di sicurezza*, rappresenta un riferimento generale per la materia, è destinata ai fabbricanti di componenti e sistemi di sicurezza ed ha introdotto il concetto fondamentale di livello di integrità della sicurezza (SIL - *Safety Integrity Level*) delle funzioni che devono garantire la sicurezza dell'attrezzatura sotto controllo (EUC - *Equipment Under Control*) e della strumentazione che la realizzano, quale indice della sicurezza funzionale.

Tale norma definisce valori discreti di SIL da 1 a 4, in ordine crescente di integrità, a cui corrispondono gamme di valori di probabilità di fallimento decrescente della funzione di sicurezza considerata, per due condizioni di funzionamento (Tabella 3.1):

- funzionamento a bassa richiesta di intervento della funzione (meno di una volta all'anno), per il quale si specifica la probabilità per ogni singolo evento;
- funzionamento ad alta richiesta di intervento della funzione (o continua), per il quale si specifica la densità di probabilità (probabilità per ora di funzionamento).

Tabella 3.3 - Livelli di Integrità della Sicurezza definiti nella norma CEI EN 61508

Livello di Integrità della Sicurezza (SIL)	Probabilità di fallimento media su domanda per anno (o bassa domanda) (PFD _{avg})	Disponibilità di Sicurezza (1-PFD _{avg})	Fattore di Riduzione del Rischio (RRF)	Probabilità di fallimento media per ora (modo continuo o alta domanda) (PFH)
SIL 4	$\geq 10^{-5} \text{ a } < 10^{-4}$	99,99 ÷ 99,999%	100.000 ÷ 10.000	$\geq 10^{-9} \text{ a } < 10^{-8}$
SIL 3	$\geq 10^{-4} \text{ a } < 10^{-3}$	99,9 ÷ 99,99%	10.000 ÷ 1.000	$\geq 10^{-8} \text{ a } < 10^{-7}$
SIL 2	$\geq 10^{-3} \text{ a } < 10^{-2}$	99 ÷ 99,9%	1.000 ÷ 100	$\geq 10^{-7} \text{ a } < 10^{-6}$
SIL 1	$\geq 10^{-2} \text{ a } < 10^{-1}$	90 ÷ 99%	100 ÷ 10	$\geq 10^{-6} \text{ a } < 10^{-5}$

Nel quadro della norma CEI EN 61508 è stata predisposta una norma specifica per l'industria di processo: CEI EN 61511 *Sicurezza funzionale - Sistemi strumentali di sicurezza per il settore dell'industria di processo*. Quest'ultima rispecchia la struttura e i contenuti della norma di riferimento ma fornisce prescrizioni maggiormente dettagliate e puntuali per la strumentazione di misura e controllo dei processi industriali, riprende i concetti base di ciclo di vita in sicurezza e di SIL e introduce i criteri di progetto dei sistemi strumentati di sicurezza (SIS - *Safety Instrumented System*) e delle relative funzioni strumentate di sicurezza (SIF - *Safety Instrumented Function*), il tutto adattato per l'industria di processo.

F.1.1.2 Macchine

Per quanto riguarda i sistemi correlati alla sicurezza, la storica norma EN 954-1 "Sicurezza del macchinario. Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza. Principi generali per la progettazione" è stata sostituita con le norme UNI EN ISO 13849-1 e CEI EN 62061 a partire dal 30.11.2009. Per l'implementazione di sistemi di sicurezza funzionale conformi alla direttiva Macchine è possibile attenersi a due diversi sistemi di norme: IEC (International Electrotechnical Commission) e ISO (International Organization for Standardization).

La norma EN 13849-1, di origine ISO, è applicabile a sistemi di controllo correlati alla sicurezza di qualunque tecnologia. Essa definisce il modo in cui viene determinato il PL (Performance Level) richiesto per un sistema e il modo in cui il PL ottenuto viene verificato. Il livello PL indica l'efficienza e l'affidabilità con cui un sistema di sicurezza è in grado di eseguire una funzione di sicurezza in condizioni prevedibili.

Sono disponibili sei livelli di prestazioni in ordine crescente di affidabilità: *a*, *b*, *c*, *d* ed *e*.

Tabella 3.4 - Determinazione del PL in base al valore del PFH_d ottenuto per l'intero sistema di sicurezza:

PL	Probabilità di guasti pericolosi all'ora PFH _d (1/h)
a	$\geq 10^{-5}$ fino a $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \cdot 10^{-6}$ fino a $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ fino a $< 3 \cdot 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ fino a $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ fino a $< 10^{-7}$

La norma EN 62061, di origine IEC, riguarda la progettazione, l'integrazione e la convalida dei sistemi di controllo correlati alla sicurezza con tecnologia elettrica, elettronica ed elettronica programmabile.

È anch'essa una norma specifica del settore macchine e deriva delle norme della serie EN 61508 "Sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili per applicazioni di sicurezza", di origine IEC.

Questa norma specifica il modo in cui viene definito e verificato il livello SIL (Safety Integrity Level). Il livello SIL è una rappresentazione del livello di integrità delle funzioni di sicurezza. Sono disponibili quattro livelli di integrità della sicurezza in ordine crescente di affidabilità: 1, 2, 3 e 4. Nelle macchine vengono utilizzati solo i livelli da 1 a 3.

Tabella 3.5 - Determinazione del SIL in base al valore del PFH_d ottenuto per l'intero sistema di sicurezza:

SIL	Probabilità di guasti pericolosi all'ora PFH _d (1/h)
1	$\geq 10^{-6}$ fino a $< 10^{-5}$
2	$\geq 10^{-7}$ fino a $< 10^{-6}$
3	$\geq 10^{-8}$ fino a $< 10^{-7}$

I due sistemi normativi forniscono risultati molto simili; i livelli SIL e PL ottenuti sono di fatto sovrapponibili.

Tabella 3.6 - Confronto tra i valori del SIL e del PL:

Livello di integrità della sicurezza (SIL)	Livello di prestazione (PL)
nessuna corrispondenza	a
1	b
1	c
2	d
3	e

ALLEGATO I - BIBLIOGRAFIA

1. Articoli tecnici A.I.C.A. - Associazione Italiana Costruttori Autoattrezzature.
2. A. Barberio, *Gas infiammabili e atmosfere pericolose*, Elettrificazione edizione 8-9/2011, Milano, Editoriale Delfino.
3. B. Genova, M. Silvestrini, *Dinamica delle reazioni esplosive*, prima edizione, Dario Flaccovio Editore, 2005.
4. Cavaliere, P. Scardamaglia, *Guida all'applicazione delle direttive ATEX*, prima edizione, EPC Libri, 2005.
5. Coord. R. L. Rogers, *The rase project - explosive atmosphere: risk assessment of unit operations and equipment (EU project n. SMT4-CT97-2169)*, prima edizione, Germania, Commissione Europea, 2000.
6. Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome in collaborazione con ISPESL, *Linea Guida - Microclima e Illuminazione*, prima edizione, 2006.
7. Dir. 1994/9/CEE del 23 marzo 1994, *concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva*.
8. Dir. 1999/92/CE del 16 dicembre 1999, *relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive (quindicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE)*.
9. Dir. 2006/42/CE del 17 maggio 2006, *relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE (rifusione)*.
10. Dir. 2014/34/UE del 26 febbraio 2014, *concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva (rifusione)*.
11. DLgs 12 giugno 2003 n. 233, *Attuazione della direttiva 1999/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori esposti al rischio di atmosfere esplosive*.
12. DLgs 9 aprile 2008 n. 81, *Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro*.
13. DLgs 27 gennaio 2010 n. 17, *Attuazione della direttiva 2006/42/CE, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE relativa agli ascensori*.
14. DLgs 19 maggio 2016 n. 85, *Attuazione della direttiva 2014/34/UE concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva*.
15. DPR 23 marzo 1998 n. 126, *Regolamento recante norme per l'attuazione della direttiva 94/9/CE in materia di apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva*.
16. F. Di Tosto, *Il rischio esplosione e le direttive ATEX*, prima edizione, Italia, ISPESL – Il Sole 24 ORE SpA, 2008.
17. Guida CEI 31-56:2007 *Costruzioni per atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili. Guida all'applicazione della Norma CEI EN 61241-10 (CEI 31-66) "Classificazione delle aree dove sono o possono essere presenti polveri esplosive"*.
18. Guida CEI 31-35:2012 *Atmosfere esplosive. Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)*.
19. Guida CEI 31-35/A:2012 *Atmosfere esplosive. Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87): esempi di applicazione*.
20. Guida CEI 31-56;V1:2012 *Atmosfere esplosive. Guida alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri combustibili in applicazione della Norma CEI EN 60079-10-2 (CEI 31-88)*.
21. Health & Safety Laboratory, Contract SMT4-CT98-2255, *Final Report Determination of Safety Categories of Electrical Devices used in Potentially Explosive Atmospheres (SAFEC)*, GB, 2000.
22. Martin Hattwig, Henrikus Steen, *Handbook of explosion prevention an protection*, prima edizione, Wiley-VCH, 2003.

23. M. Marigo, *Rischio atmosfere esplosive. Classificazione, Valutazione, Prevenzione, Protezione*, seconda edizione, Italia, IPSOA – INDICITALIA, 2013.
24. Norma UNI EN 13237:2012 *Atmosfere potenzialmente esplosive - Termini e definizioni per apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfere potenzialmente esplosive*.
25. Norma UNI EN 13355:2009 *Cabine forno. Requisiti di sicurezza*.
26. Norma CEI EN 60079-10-1:2010 *Atmosfere esplosive. Parte 10-1: Classificazione dei luoghi. Atmosfere esplosive per la presenza di gas*.
27. Norma CEI EN 60079-10-2:2010 *Atmosfere esplosive. Parte 10-2: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di polveri combustibili*.
28. Norma UNI EN 1127:2011 *Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia*.
29. Norma UNI EN 1539:2015 *Essiccatoi e forni nei quali si sviluppano sostanze infiammabili – Requisiti di sicurezza*.
30. Perry-Green, *Perry's chemical engineers' handbook*, ottava edizione, James O. Maloney, 2008.
31. TuttoNormel, *La nuova legislazione sui luoghi con pericolo di esplosione*, seconda edizione, Torino, TNE, 2006.