POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Chimica e dei Materiali

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Chimica e dei Processi Sostenibili

Tesi di Laurea Magistrale

Impatto dell'aggiornamento della norma CEI EN 60079-10-1 sulla classificazione ATEX: un caso studio



Relatori

Prof. Micaela Demichela
Ing. Salvina Muré

Candidato
Chiara Benedetto

Novembre 2025

Indice

Premessa ..... **i**
1. Introduzione **1**
2. Generalità sulle esplosioni in presenza di gas infiammabili **4**
2.1 Definizioni 5
2.2 Parametri delle sostanze infiammabili 7
2.3 Sorgenti di innesco 11
3. Classificazione delle zone con pericolo di esplosione **16**
3.1 Obiettivi della classificazione 17
3.2 Metodologia della classificazione 17
3.3 Procedimento per la classificazione dei luoghi pericolosi 20
4. Quadro normativo **33**
4.1 Evoluzione della normativa in materia di sicurezza in Italia 33
4.2 Direttive ATEX e normative di riferimento 34
4.3 Norma CEI EN 60079-10-1 39
4.4 Principali modifiche introdotte nel 2021 43
5. Caso studio **55**
5.1 Descrizione dell'impianto 56
5.2 Classificazione secondo la norma CEI EN 60079-10-1:2016 58
5.3 Classificazione secondo la norma CEI EN 60079-10-1:2021 62
5.4 Confronto tra le classificazioni 66
6. Impatto sulla valutazione dei rischi di atmosfere esplosive **74**
6.1 Valutazione dei rischi pre-aggiornamento normativo 79
6.2 Valutazione dei rischi post-aggiornamento normativo 83
6.3 Risultati 85
7. Conclusioni **87**
Bibliografia **89**
Appendici **91**
Ringraziamenti **92**

Premessa

Il presente lavoro di tesi riguarda la valutazione dell'impatto dell'aggiornamento della norma CEI EN 60079-10-1 sulla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per presenza di gas e vapori ed è stato realizzato grazie al supporto dell'azienda ARIA Srl, che ha fornito alla sottoscritta le conoscenze e la documentazione necessarie allo sviluppo del progetto.

ARIA Srl è una società di servizi specializzata nell'analisi dei rischi di processo e nell'ingegneria della sicurezza e dell'ambiente. Nata nel 2004 nell'ambito dell'Incubatore di Imprese Innovative di Torino, continua a collaborare con il Politecnico di Torino e a partecipare a progetti di ricerca e a gruppi di lavoro nazionali e internazionali.

Desidero, inoltre, ringraziare la mia tutor aziendale, Ing. Salvina Muré, per la disponibilità e il costante supporto offerti durante l'elaborazione della tesi.

1. Introduzione

L'utilizzo di sostanze pericolose è una pratica comune all'interno degli impianti industriali, dove vengono impiegate in numerosi processi produttivi. Tuttavia, la manipolazione, lo stoccaggio e il trasporto di tali sostanze richiedono particolare attenzione, rendendo necessarie l'adozione di rigorose misure di prevenzione e protezione, una costante attività di monitoraggio e una specifica formazione del personale coinvolto.

Negli ultimi decenni l'evoluzione tecnologica, la crescente automazione e la complessità degli impianti industriali hanno incrementato l'esposizione alle sostanze pericolose e le possibilità di incidenti rilevanti. In questi contesti, la prevenzione del rischio assume una valenza strategica non solo per la tutela dei lavoratori, ma anche per assicurare la continuità operativa e la sostenibilità economica delle attività produttive.

Le sostanze pericolose possono essere in forma gassosa, liquida o solida e, in base alle loro caratteristiche chimico-fisiche, possono causare gravi danni alle persone, all'ambiente e agli impianti. In particolare, le sostanze infiammabili sono tra le più critiche, poiché possono innescare incendi o esplosioni.

La presenza di gas o vapori infiammabili, oltre che di polveri combustibili, negli ambienti di lavoro implica il rischio concreto di formazione di atmosfere esplosive. La formazione di atmosfere esplosive può avvenire in modo continuo, occasionale o raro e imprevedibile, e rappresenta uno dei principali fattori di rischio negli ambienti industriali. Per questo motivo la normativa vigente impone la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione in zone pericolose chiaramente definite e identificate.

Tale operazione, che si completa con la mappatura delle zone pericolose, ha lo scopo di determinare la frequenza e la durata della presenza di un'atmosfera esplosiva all'interno di un determinato ambiente. Una classificazione errata o incompleta può comportare gravi rischi per la sicurezza dei lavoratori, danni agli impianti e all'ambiente circostante, oltre che a pesanti responsabilità legali per le aziende.

A conferma della rilevanza del tema, l'INAIL ha pubblicato nel 2020 il report "Gli infortuni mortali causati da esplosioni", in cui analizza le dinamiche e le cause delle esplosioni che hanno provocato la morte dei lavoratori dal 2002 al 2018. I decessi sono causati principalmente dallo sviluppo delle fiamme (49%) e dalla proiezione di solidi (44%). In aggiunta, emerge che in oltre il 57% dei casi l'agente chimico coinvolto è classificato come infiammabile, come vernici, solventi e carburanti, seguono poi gli esplosivi al 18% e le polveri al 14%. Inoltre, dall'analisi risulta che dei 246 fattori di rischio rilevati in fase di indagine il 96% non è stato valutato o è stato valutato in modo insufficiente. [1] I dati citati dimostrano che una valutazione dei rischi inadeguata può comportare conseguenze gravissime, confermando l'importanza di una corretta classificazione e gestione del rischio in aree con pericolo di esplosione.

In Italia, la normativa di riferimento in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro è costituita dal Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i.. Il titolo XI di tale decreto legislativo, che recepisce la Direttiva 99/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 1999, impone l'obbligo al Datore di Lavoro di effettuare la classificazione in zone pericolose (di seguito denominate ATEX) e la relativa valutazione dei rischi. Come specificato all'allegato XLIX "Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive" dello stesso decreto, per la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione, si può fare riferimento alle norme tecniche armonizzate, che costituiscono la regola dell'arte. Tra queste, la norma CEI EN 60079-10-1 rappresenta il principale strumento tecnico per la classificazione dei luoghi a rischio di esplosione per presenza di gas.

Nel corso degli anni, la normativa di riferimento si è evoluta per adeguarsi ai progressi tecnologici e alle nuove esigenze in materia di prevenzione e sicurezza. In particolare, la famiglia di norme CEI EN 60079 ha subito un'importante revisione con l'emissione della norma del 2021 che è entrata in vigore nel 2024. Tale aggiornamento normativo, d'accordo con quanto già previsto dal Titolo XI del D.Lgs.81/08 e s.m.i., ha reso necessario una verifica e un aggiornamento della classificazione dei luoghi di lavoro esistenti e già valutati con la norma del 2016.

Con tale obiettivo, la presente tesi si propone di confrontare in un caso studio i risultati della classificazione delle zone pericolose ottenuti secondo i criteri della norma CEI EN 60079-10-1:2021, rispetto a quelli ottenuti con la precedente versione CEI EN 60079-10-1:2016. L'obiettivo principale del presente lavoro di tesi è valutare se le modifiche introdotte abbiano comportato benefici o peggioramenti in termini di estensione e tipologia delle zone a rischio di atmosfere pericolose, con ricadute nella valutazione e gestione del rischio.

Il valore scientifico e tecnico della tesi risiede nella volontà di colmare un vuoto nella letteratura: ad oggi, mancano infatti studi comparativi dettagliati che quantifichino gli impatti reali derivanti dall'evoluzione della norma CEI EN 60079-10-1. Inoltre, il confronto diretto tra le due edizioni della norma permette non solo di evidenziare criticità o benefici, ma anche di offrire uno spunto di riflessione per un'eventuale evoluzione futura del quadro normativo.

La scelta di mettere a confronto i risultati dell'applicazione delle due versioni della norma CEI EN 60079-10-1 nasce dalla consapevolezza dell'importanza dell'evoluzione normativa anche dal punto di vista pratico ed economico. Infatti, la qualifica e l'estensione delle zone pericolose influisce direttamente sul livello di protezione richiesto, condizionando sia la scelta degli apparecchi e i sistemi di protezione da installare, sia le misure di sicurezza da adottare per un'adeguata gestione del rischio. Di conseguenza, una maggiore estensione e probabilità di zone a pericolo di esplosione comporta un incremento dei costi e delle responsabilità per il datore di lavoro.

Dal punto di vista pratico la tesi intende fornire strumenti operativi e indicazioni tecniche utili a professionisti, tecnici della sicurezza e datori di lavoro, supportandoli nella corretta interpretazione e applicazione della normativa aggiornata e aiutandoli a compiere scelte consapevoli in termini di misure di prevenzione, protezione e gestione del rischio.

L’elaborato si compone di cinque capitoli. Per chiarezza:

- nel secondo capitolo si riportano definizioni fondamentali relative alle atmosfere esplosive, necessarie per comprendere le tematiche trattate;
- il terzo capitolo descrive il processo di classificazione dei luoghi, illustrando la metodologia prevista dalle normative di riferimento;
- il quarto capitolo riporta un confronto delle due norme mettendo in evidenza le principali modifiche della norma CEI EN 60079-10-1 introdotte nel 2021 rispetto all’edizione del 2016;
- il capitolo quinto affronta un confronto delle due norme applicate a un caso studio;
- nel sesto capitolo vengono valutati gli effetti delle modifiche normative sulla valutazione dei rischi da atmosfere esplosive;
- il settimo capitolo è dedicato all’esposizione dei risultati e alle conclusioni.

2. Generalità sulle esplosioni in presenza di gas infiammabili

Un'esplosione è una reazione rapida di ossidazione o decomposizione che comporta un aumento della temperatura, della pressione o di entrambe contemporaneamente. Questa reazione è caratterizzata da una propagazione quasi istantanea della combustione, spesso accompagnata da fiamme e onde di calore. [2] Affinché essa si generi è necessario che siano presenti un combustibile, un comburente e una fonte di innesco. L'insieme di questi tre elementi viene rappresentato con un modello semplice, denominato il "triangolo del fuoco".

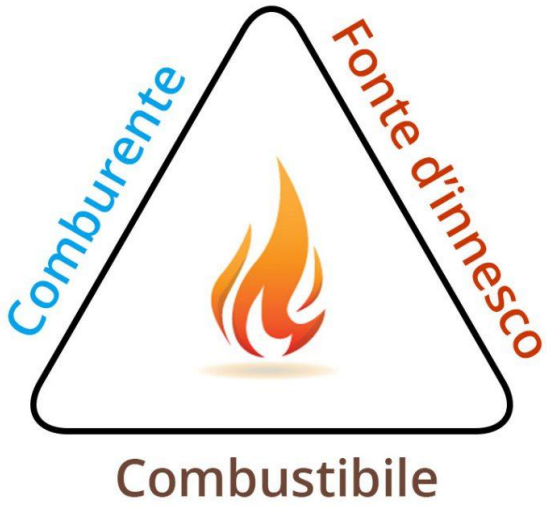


Figura 1: Triangolo del fuoco **[3]**

A seconda della natura del processo, le esplosioni possono essere distinte in fisiche, termiche e chimiche. Nelle esplosioni fisiche non vi è reazione chimica durante il rilascio di energia, mentre le esplosioni termiche sono associate a fenomeni di *runaway reaction*, in cui una reazione esotermica procede in maniera incontrollata. Invece, le esplosioni chimiche coinvolgono una reazione di combustione con rapido rilascio di energia.

Solo quest'ultime rientrano nel campo di applicazione delle direttive ATEX, le quali regolano la gestione delle atmosfere esplosive. Secondo quanto riportato all'articolo 288 del Titolo XI del D.Lgs. 81/08, un'"atmosfera esplosiva" è definita come:

> una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili, allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo l'accensione, la combustione si propaga nell'insieme di una miscela incombusta. [4]

La normativa fornisce una chiara definizione, ma non è sufficiente a descrivere in dettaglio gli aspetti chimici e fisici che definiscono il fenomeno. Per questo motivo, nel presente capitolo verranno illustrati i parametri caratteristici delle esplosioni di gas, le principali sorgenti di innesco e le definizioni fondamentali.

2.1 Definizioni

In questo paragrafo vengono riportate le principali definizioni utilizzate nella classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per presenza di gas. Le definizioni sono tratte dalla direttiva 2014/34/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014, e dalla norma CEI EN 60079-10-1:2021.

2.1.1 Atmosfera esplosiva per la presenza di gas:

> "miscela con aria, in condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili sotto forma di gas o vapori, la quale, dopo l'accensione, permette l'auto-sostentamento della propagazione delle fiamme" [5]

2.1.2 Luogo pericoloso (in relazione alle atmosfere esplosive per la presenza di gas):

> "luogo in cui è o può essere presente un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas, in quantità tale da richiedere provvedimenti particolari per la realizzazione, l'installazione e l'uso delle apparecchiature" [5]

2.1.3 Luogo non pericoloso (in relazione alle atmosfere esplosive per la presenza di gas):

> "luogo in cui la presenza di un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non è previsto che sia presente in quantità tale da richiedere provvedimenti particolari per la realizzazione, l'installazione e l'impiego delle apparecchiature" [5]

2.1.4 Zona:

> "classificazione del luogo pericoloso basata sulla frequenza di formazione e sulla durata di un'atmosfera esplosiva":
>
> - zona 0: "luogo in cui un'atmosfera esplosiva, per la presenza di gas, è presente continuativamente o per lunghi periodi o frequentemente"
> - zona 1: "luogo in cui un'atmosfera esplosiva, per la presenza di gas, è probabile sia presente occasionalmente durante il funzionamento normale"
> - zona 2: "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" [5]

2.1.5 Estensione della zona:

> "distanza, in qualsiasi direzione, dalla sorgente di emissione verso il punto in cui la miscela di gas/aria sarà diluita dall'aria ad una concentrazione al di sotto del limite inferiore di infiammabilità" [5]

2.1.6 Zona NE:

> "zona di estensione trascurabile (NE), che se si verifica un'esplosione ha conseguenze trascurabili" [5]

2.1.7 Sorgente di emissione:

"punto o parte da cui può essere emesso nell'atmosfera un gas, un vapore, una nebbia o un liquido infiammabile con una modalità tale da formare un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas":

- grado di emissione continuo: "emissione continua oppure che è prevista avvenire frequentemente o per lunghi periodi"
- grado di emissione primo: "emissione che può essere prevista avvenire periodicamente oppure occasionalmente durante il funzionamento normale"
- grado di emissione secondo: "emissione che non è prevista avvenire nel funzionamento normale e, se essa avviene, è probabile accada solo poco frequentemente e per brevi periodi" [5]

2.1.8 Ventilazione:

"movimento dell'aria e suo ricambio con aria nuova causati dall'effetto del vento, da gradienti di temperatura, o da mezzi artificiali (per esempio, ventilatori o estrattori)" [5]

2.1.9 Diluizione:

"miscelazione di un vapore o gas infiammabile con l'aria che, nel corso del tempo, ridurrà la concentrazione infiammabile" [5]

2.1.10 Sostanza infiammabile:

"sostanza di per sé infiammabile, o in grado di produrre un gas, un vapore o una nebbia infiammabili" [5]

2.1.11 Funzionamento normale:

"situazione in cui l'apparecchiatura funziona entro i propri parametri di progetto" [5]

2.1.12 Apparecchi:

"le macchine, le apparecchiature, i dispositivi fissi o mobili, gli organi di comando, la strumentazione e i sistemi di rilevazione e di prevenzione che, da soli o combinati, sono destinati alla generazione, al trasporto, allo stoccaggio, alla misurazione, alla regolazione e alla conversione di energia e/o alla trasformazione di materiale e che, a causa delle potenziali sorgenti di innesco che sono loro proprie, rischiano di provocare un'esplosione" [6]

2.1.13 Sistemi di protezione

"dispositivi, diversi dai componenti degli apparecchi, la cui funzione è bloccare sul nascere le esplosioni e/o circoscrivere la zona da esse colpita, messi a disposizione sul mercato separatamente come sistemi con funzioni autonome" [6]

2.1.14 Componenti

> “tutte le parti essenziali per il funzionamento sicuro degli apparecchi e dei sistemi di protezione, prive tuttavia di funzione autonoma” [6]

2.2 Parametri delle sostanze infiammabili

Affinché si generi un’esplosione di gas è necessario che si verifichino contemporaneamente le seguenti condizioni:

- la sostanza è infiammabile;
- la sostanza è adeguatamente dispersa nell’aria;
- la concentrazione in aria della sostanza è compresa nell’intervallo di esplodibilità;
- la concentrazione di ossigeno è sufficiente;
- è presente una sorgente di innesco con energia pari o superiore alla minima di innesco.

Se anche uno solo di questi requisiti è assente, l’esplosione non può avvenire. Di conseguenza le misure di prevenzione si incentrano sull’eliminazione di uno o più dei fattori sopraelencati. In quest’ottica risulta fondamentale conoscere le caratteristiche della sostanza infiammabile, al fine di attuare le misure di sicurezza più adeguate.

2.2.1 Temperatura di infiammabilità (flash point)

La temperatura di infiammabilità è definita come la più bassa temperatura alla quale un liquido, in condizioni specifiche normalizzate, emette vapori in quantità sufficiente a formare con l’aria una miscela capace di essere accesa in presenza di innesco, senza però sostenere la combustione nel tempo.

Il punto di infiammabilità rappresenta il parametro chiave per stabilire l’infiammabilità di una sostanza e costituisce il criterio di riferimento per l’obbligo della scheda di sicurezza e dell’etichettatura. Una sostanza è infatti considerata infiammabile quando la sua temperatura di infiammabilità è minore o uguale alla massima temperatura alla quale essa può trovarsi se rilasciata in ambiente.

Esistono diversi metodi sperimentali per stabilire il punto di infiammabilità, disciplinati da specifiche normative. Tra le principali si menzionano: UNI EN ISO 2719 (in vaso chiuso), ASTM D56 (in vaso chiuso), ASTM D93 (in vaso chiuso) e UNI EN ISO 2592 (in vaso aperto). Quando sono disponibili diversi valori, si considera come riferimento il più basso per assicurare la sicurezza del processo.

Quanto più basso è tale valore, tanto maggiore sarà la pericolosità. Di conseguenza, i liquidi con flash point relativamente basso richiedono misure di prevenzione e protezione più stringenti. Mentre valori superiori a 60°C perdono gradualmente il loro significato in relazione alla sicurezza. [7]

Nel caso di miscele multicomponenti bisogna distinguere due casistiche: miscele costituite esclusivamente da componenti infiammabili e miscele in cui sono presenti componenti non infiammabili. Nel primo caso la temperatura di infiammabilità non coincide necessariamente con quella del componente avente flash point più basso, ma potrebbe risultare inferiore. Questo perché si forma una miscela azeotropica avente una tensione di vapore maggiore di quella dei suoi costituenti. Mentre nel secondo caso i componenti non infiammabili possiedono un effetto inibente.

2.2.2 Limiti di infiammabilità

Affinché una miscela combustibile-aria risulti infiammabile è necessario che la concentrazione sia compresa entro un determinato intervallo. I limiti riguardano la concentrazione minima e massima di un gas infiammabile in aria:

- Limite Inferiore di Infiammabilità (Lower Flammability Limit, LFL): la concentrazione in aria di gas o vapore al di sotto della quale non si formerà un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas; [5]
- Limite Superiore di Infiammabilità (Upper Flammability Limit, UFL): la concentrazione in aria di gas o vapore al di sopra della quale non si formerà un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas. [5]

La normativa specifica che i limiti di infiammabilità possono essere considerati equivalenti ai limiti di esplodibilità (LEL e UEL).

Tali limiti possono essere espressi in %volume o in kg/m^3. La pericolosità di una sostanza aumenta tanto più è ampio l'intervallo di esplodibilità. Dal punto di vista applicativo il LEL riveste il ruolo più importante nella determinazione delle zone pericolose, in quanto l'UEL tende a perdere significato in ambiente aperto. Inoltre, quanto più basso è il valore del LEL, tanto maggiore è la pericolosità della sostanza. Un aumento di temperatura e/o pressione determina un ampliamento l'intervallo di esplodibilità.

Nel caso di miscele gassose si può ricorrere a criteri di additività per determinare il LEL, come la regola di Le Chatelier. Tuttavia, nel caso di miscele liquide, questo criterio deve essere utilizzato con cautela poiché le proporzioni relative dei singoli componenti in fase vapore, in equilibrio con il liquido ad una data temperatura, possono essere diverse dalla fase liquida.

2.2.3 Temperatura di accensione

La temperatura di accensione, nota anche come temperatura di autoaccensione (Auto-Ignition Temperature, AIT), è la minima temperatura di una superficie riscaldata, determinata in condizioni di prova specifiche, alla quale una sostanza infiammabile allo stato di gas o vapore, in miscela con l'aria, si accende.

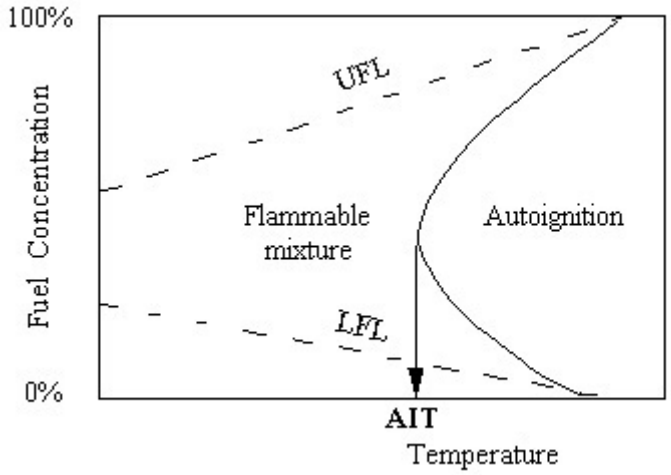


Figura 2: Diagramma temperatura vs concentrazione combustibile **[8]**

Nel caso di miscele, generalmente, si considera la temperatura di accensione più bassa tra quelle delle sostanze che la compongono, trascurando i costituenti presenti in piccole quantità.

La scelta delle apparecchiature si basa sulla temperatura di accensione delle sostanze presenti: la massima temperatura superficiale dei dispositivi in ambienti a rischio di esplosione deve essere sempre inferiore a tale valore. A questo proposito, i prodotti ATEX vengono suddivisi in sei categorie, da T1 a T6, in funzione della loro massima temperatura superficiale.

Tabella 1: Classi di temperatura dei prodotti ATEX

Classe di temperatura	**Massima temperatura superficiale dell'apparecchiatura** [°C]
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

2.2.4 Concentrazione limite di ossigeno

La concentrazione limite di ossigeno (Limiting Oxygen concentration, LOC) è la massima concentrazione di ossigeno in una miscela infiammabile alla quale non può verificarsi l'esplosione. Al di sotto di tale valore, la combustione non può avvenire neanche in presenza di una fonte di accensione. La LOC viene espressa in % di volume di ossigeno.

Questo parametro è fondamentale nelle strategie di inertizzazione delle atmosfere, la quale è una tecnica impiegata per prevenire la formazione di miscele esplosive. La concentrazione

limite di ossigeno dipende dalla natura della sostanza infiammabile e dal gas inerte utilizzato, pertanto deve essere determinata sperimentalmente. Gli standard tecnici di riferimento sono dettati dalle norme UNI EN 1839 e ASTM E2079.

A titolo di esempio, il metano presenta una concentrazione limite di ossigeno pari al 12 % in volume quando si utilizza azoto come gas inerte, mentre nel caso di inertizzazione con anidride carbonica il valore aumenta fino al 14.5%. [9] Questi dati evidenziano il diverso potere inibente dei gas inerti e come la scelta del gas di inertizzazione incida in maniera significativa sull'efficacia della protezione contro le atmosfere esplosive.

2.2.5 Violenza delle esplosioni

La violenza di un'esplosione può essere valutata attraverso due parametri:

- la pressione massima (p_{max}) che si sviluppa, espressa in bar;
- la velocità massima di incremento della pressione nel tempo $(dp/dt)_{max}$.

La pressione massima può essere ricavata mediante relazioni empiriche, prove sperimentali oppure attraverso simulazioni numeriche di CFD (Computational Fluid Dynamics). Invece, la velocità massima di aumento della pressione può essere correlata al volume del recipiente in cui avviene l'esplosione per ricavare la costante caratteristica dell'esplosione: K_G per i gas e K_{St} per le polveri. Tale costante fornisce un indice diretto dell'esplosione: valori più elevati corrispondono a fenomeni più distruttivi.

La conoscenza di questi parametri è un fattore chiave per la scelta dei materiali costruttivi e dei dispositivi di protezione da adottare. La pressione generata in seguito ad una esplosione dipende dalla concentrazione di combustibile presente nella miscela: i valori massimi dei parametri che descrivono la violenza dell'esplosione si registrano generalmente in prossimità della quantità stechiometrica del combustibile.

2.2.6 Energia minima di innesco

L'energia minima di innesco (Minimum Ignition Energy, MIE), generalmente espressa in millijoule, rappresenta la quantità minima di energia necessaria per avviare la combustione di una miscela infiammabile. Affinché si verifichi l'accensione di una miscela combustibile-aria è necessario che le sorgenti di innesco abbiano un contenuto energetico pari o maggiore a questo valore.

L'energia minima di innesco varia in base alle proprietà chimico-fisiche delle sostanze e rappresenta un parametro di riferimento per valutare l'efficacia delle sorgenti di accensione. Nella pratica, si confronta il valore della MIE con il contenuto energetico della sorgente considerata.

Secondo la norma UNI EN 13237:2025, la MIE è definita come la più bassa energia elettrica immagazzinata in un condensatore che, al momento della scarica, è sufficiente a provocare l'accensione dell'atmosfera infiammabile in condizioni di prove specificate. [10]

L’energia minima di innesco dipende anche dalla concentrazione del combustibile: presenta un minimo in corrispondenza della concentrazione stechiometrica, mentre aumenta all’avvicinarsi dei limiti di infiammabilità. Inoltre, tale parametro diminuisce al cresce della temperatura o della pressione.

Tabella 2: MIE di alcune sostanze infiammabili [11]

Sostanza infiammabile	Energia minima di innesco in aria [mJ]
Metano	0.30
Etano	0.26
Propano	0.26
Acetaldeide	0.017
Idrogeno	0.017
Etilene	0.07

2.3 Sorgenti di innesco

La sorgente di innesco è uno dei tre elementi fondamentali del triangolo del fuoco. In sua assenza, il processo di combustione non può verificarsi, anche se la concentrazione della miscela combustibile-aria è compresa all’interno dei limiti di infiammabilità. Infatti, l’avvio della reazione di combustione a catena richiede che la sorgente di innesco fornisca l’energia minima necessaria ad innalzare la temperatura di un volume critico di miscela fino al punto di accensione. Perché ciò avvenga, è indispensabile che l’innesco raggiunga una temperatura pari o superiore alla temperatura di accensione della miscela e che il contatto persista per un intervallo di tempo sufficiente a innescare la reazione.

Le sorgenti di innesco possono essere distinte in diverse categorie:

- Innesco per accensione diretta: quando si verifica il contatto diretto tra sorgente di innesco e atmosfera esplosiva (scariche elettrostatiche, scintille meccaniche, etc.);
- Innesco per accensione indiretta: quando il calore per l’innesco si trasferisce tramite convezione, conduzione o irraggiamento;
- Innesco per attrito: quando il calore viene generato dallo sfregamento di due materiali;
- Innesco per autocombustione: quando il calore viene prodotto dal combustibile stesso che ne provoca un successivo riscaldamento fino all’accensione (cumuli di carbone, fermentazione di vegetali, etc.).[12]

Le sorgenti di innesco posso avere origine meccanica, biologica, elettrica, chimica, fisica, ottica e termica. La norma EN 1127-1:2019 fornisce una classificazione ulteriore basata sulla frequenza di manifestazione, distinguendo tra sorgenti che possono verificarsi in modo continuo o frequente, in condizioni rare o in situazioni molto rare. [2] La probabilità di accensione dipende inoltre dalle caratteristiche della miscela combustibile-aria e dalle condizioni di pressione e temperatura.

Dal punto di vista normativo, l'articolo 289 comma 2 del D.Lgs. 81/08 stabilisce che, nel caso in cui non sia possibile prevenire la formazione di una atmosfera esplosiva, il datore di lavoro è tenuto a evitare l'accensione della stessa. [4]

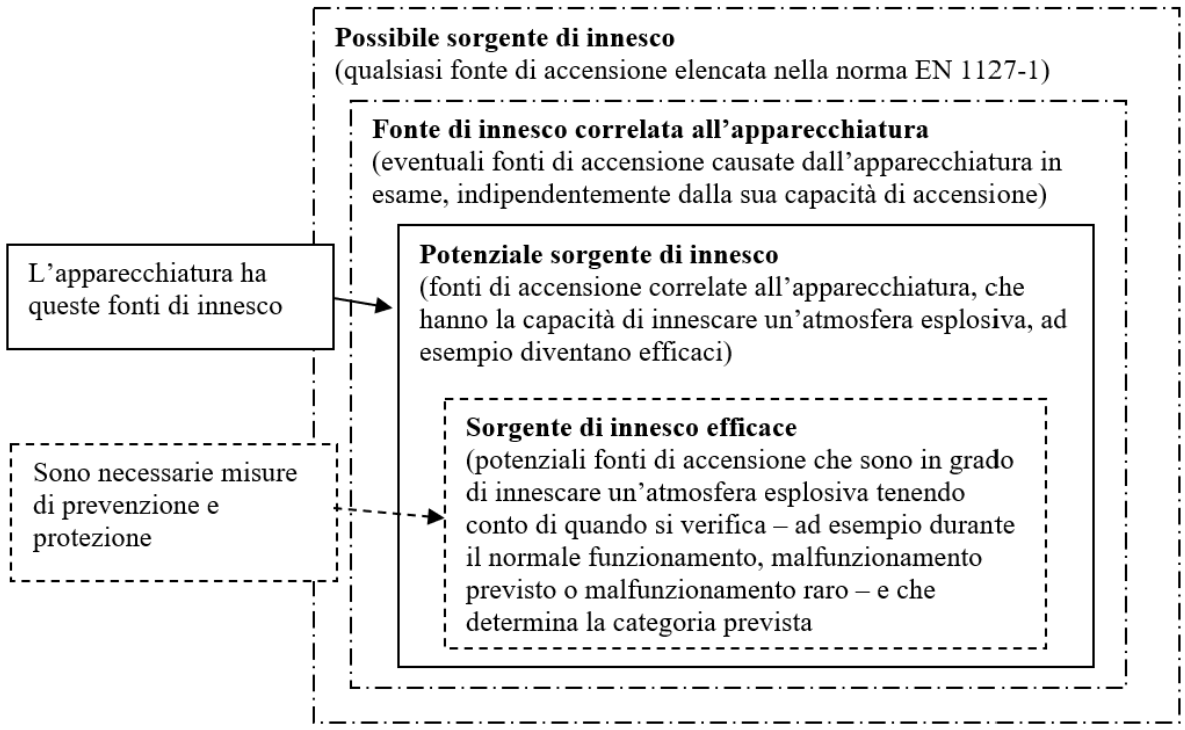


Figura 3: Relazione tra le definizioni della sorgente di innesco [12]

Inoltre, le sorgenti di innesco si distinguono per l'energia fornita, per l'intervallo di tempo in cui la rilasciano e per il livello di temperatura raggiunto. Nelle sezioni seguenti si procede a descrivere in dettaglio le sorgenti di accensione individuate dalla norma EN 1127-1:2019.

2.3.1 Superfici calde

Le superfici calde sono potenziali sorgenti di innesco quando raggiungono una temperatura pari o superiore a quella di accensione della miscela esplosiva. La temperatura superficiale è influenzata da diversi fattori: dimensione e forma del corpo caldo, gradiente di concentrazione dell'atmosfera esplosiva vicino alla superficie e, in parte, dal materiale. Ad esempio, le superfici convesse richiedono una maggiore temperatura superficiale per innescare la combustione rispetto a quelle concave.

Un ulteriore parametro determinante è il tempo di contatto: quanto più breve è il tempo di esposizione, tanto più elevata dovrà essere la temperatura superficiale per consentire l'accensione.

Tra le superfici calde che comunemente si possono trovare negli ambienti di lavoro ci sono i radiatori, gli essiccatori e le parti mobili non lubrificate adeguatamente. Questi possono raggiungere valori di temperatura critici e rappresentare un potenziale rischio di accensione.

2.3.2 Fiamme libere, gas caldi

Le fiamme derivano da reazioni di combustione che raggiungono temperature superiori a 1000°C. Oltre alla produzione di gas caldi, possono contenere particelle solide incandescenti nel caso siano presenti polveri o fuliggine. Grazie all'elevata temperatura, alla significativa durata e all'ampia zona che possono riscaldare rapidamente costituiscono sorgenti di innesco altamente efficaci.

2.3.3 Scintille di origine meccanica

Le scintille di origine meccanica si generano in seguito a processi di frizione, come l'attrito, che causano il distacco di particelle da materiali solidi e il loro conseguente riscaldamento. Quando tali particelle sono costituite da sostanze ossidabili, come il ferro, possono subire fenomeni di ossidazione che ne incrementano ulteriormente la temperatura. Anche l'ingresso accidentale di materiali estranei, quali pietre o frammenti metallici, all'interno di apparecchiature o parti di impianto può causare la formazione di scintille.

2.3.4 Materiale elettrico

Tutte le apparecchiature elettriche possono generare scintille elettriche o superfici calde in seguito a fenomeni quali cortocircuiti, sovraccarichi di conduttori, operazioni di apertura e chiusura dei circuiti elettrici o connessioni allentate. Anche i componenti a bassa tensione, posso rappresentare potenziali sorgenti di innesco perché progettati per garantire la protezione contro la scossa elettrica e non per prevenire l'accensione di atmosfere esplosive.

2.3.5 Correnti vaganti

Si definisce corrente "vagante" quella che percorre un tragitto non previsto all'interno di un sistema. Essa può propagarsi attraverso sistemi o componenti elettricamente conduttori con diverse modalità: correnti di ritorno nei generatori di potenza, cortocircuiti o dispersioni a terra, induzione magnetica o in seguito a fulmini. Le correnti vaganti possono determinare differenze di potenziale nel sistema interessato, tali da generare scariche in grado di innescare un'atmosfera esplosiva. Inoltre, il loro passaggio può provocare un incremento di temperatura della superficie delle superfici conduttrici, originando una potenziale fonte d'innesco.

2.3.6 Elettricità statica

La formazione di cariche elettrostatiche è principalmente causata dal contatto tra due corpi di natura diversa. Durante il contatto può verificarsi un trasferimento di elettroni da un corpo all'altro e al momento della separazione questi saranno carichi elettrostaticamente. La ripetizione del processo di contatto e distacco produce un progressivo accumulo di carica, fino alla generazione di un campo elettrico che, superata la rigidità dielettrica dell'aria, può causare una scossa in grado di accendere un'atmosfera esplosiva. L'elettricità statica rappresenta una delle sorgenti di innesco più complesse da comprendere e da prevedere.

Il processo di carica per contatto può verificarsi su interfacce liquido/liquido, solido/solido o liquido/solido. Nel caso in cui entrambi i materiali sono conduttori, la ricombinazione delle cariche risulta, teoricamente, completa. Di conseguenza, una volta separati, non rimane su di

essi una quantità apprezzabile di carica residua. Diversamente, qualora almeno uno dei due materiale non è conduttore, la ricombinazione non può avvenire totalmente e ciascun materiale, dopo la separazione, trattiene una parte della carica acquisita.

Il flusso di un liquido all'interno di un condotto porta alla carica del liquido stesso. Un regime turbolento determina una maggiore produzione di cariche elettriche rispetto al regime laminare. Se il fluido entra nella tubazione scarico, la quantità di carica accumulata cresce proporzionalmente con la lunghezza del condotto fino a raggiungere un valore stabile. Ulteriori fenomeni come la presenza di filtri lungo la tubazione, le operazioni di mescolatura o la frammentazione di un getto in goccioline contribuiscono alla generazione di carica.

In ambito industriale, le scariche elettrostatiche si manifestano in cinque tipologie: a scintilla, a corona, a spazzola, a spazzola propagante e a cono. Ognuna di esse rappresenta una potenziale sorgente di innesco per la maggior parte dei gas e dei vapori di solventi.

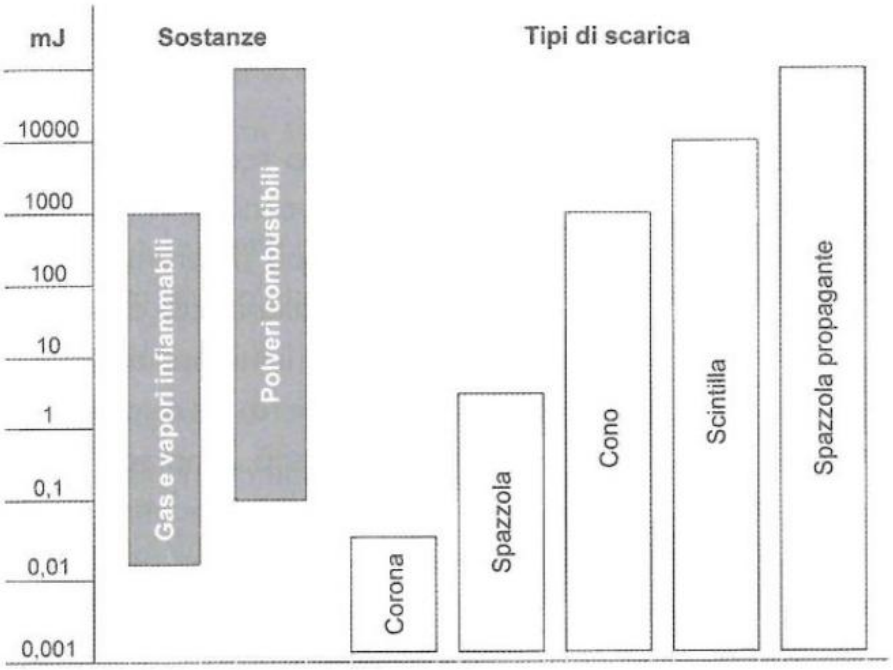


Figura 4: Intervalli di efficacia delle scariche elettrostatiche [12]

2.3.7 Fulmini

Un fulmine possiede energia sufficiente a innescare un'atmosfera esplosiva. Tuttavia, la probabilità che tali condizioni si verifichino contemporaneamente è estremamente bassa. L'unico caso degno di nota riguarda le zone 0 e 20, nelle quali un'atmosfera esplosiva è presente in modo continuo o per lunghi periodi, rendendo non trascurabile il rischio di innesco. Ciò nonostante, queste zone sono spesso di dimensioni limitate e situate all'interno di sistemi di contenimento, riducendo così la possibilità che la corrente prodotta da un fulmine possa effettivamente interessarle.

2.3.8 Onde elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono radiazioni costituite da un campo elettrico e da un campo magnetico che oscillano in direzioni tra loro perpendicolari e rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Ciascuna onda elettromagnetica è caratterizzata dalla propria frequenza: all'aumentare di tale parametro cresce l'energia trasportata. L'energia trasportata dall'onda può essere assorbita dalla materia attraversata, provocando generalmente un incremento locale di temperatura.

2.3.9 Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono onde elettromagnetiche i cui fotoni sono in grado di modificare la struttura atomica del materiale attraversato. Tali radiazioni possono innescare atmosfere esplosive attraverso l'assorbimento di energia. Esse possono essere generate mediante diversi meccanismi, tra cui il decadimento radioattivo, i processi di fissione e fusione nucleare e l'emissione da corpi caratterizzati da temperature estremamente elevate.

2.3.10 Ultrasuoni

Gli ultrasuoni sono vibrazioni meccaniche caratterizzate da una frequenza superiore a 16 kHz. Generalmente, nell'attività industriale gli ultrasuoni sono generati in un intervallo compreso tra 18 e 45 kHz. Le onde ultrasoniche possono essere assorbite da sostanze solide o liquide e, in condizione estreme, determinare un riscaldamento tale da rappresentare una potenziale sorgente di innesco.

2.3.11 Compressioni adiabatiche e onde d'urto

Una trasformazione adiabatica è contraddistinta dall'assenza di scambio di calore con l'ambiente esterno. Nel caso di una compressione adiabatica, l'aumento di pressione comporta un incremento della temperatura, che può raggiungere valori tali da innescare un'atmosfera esplosiva. Tale fenomeno è essenzialmente dovuto al rapporto tra le pressioni.

Le onde d'urto, invece, possono essere prodotte dalla fuoriuscita improvvisa di gas ad alta pressione all'interno di condotti: Quando queste onde vengono riflesse o rifratte dalle curve delle tubazioni o dall'impatto con valvole chiuse, possono generarsi temperature molto elevate.

2.3.12 Reazioni esotermiche

Durante le reazioni esotermiche viene liberato calore. Quando la velocità di generazione del calore è maggiore della capacità di dissipazione verso l'esterno, la temperatura aumenta progressivamente fino a raggiungere valori che possono determinare una potenziale sorgente di innesco.

3. Classificazione delle zone con pericolo di esplosione

I luoghi in cui possono svilupparsi atmosfere esplosive sono disciplinati dal D. Lgs. 81/08, che recepisce la direttiva europea 99/92/CE. In particolare, il Titolo XI stabilisce le misure necessarie a garantire la sicurezza dei lavoratori potenzialmente esposti a tale rischio.

L'articolo 288 definisce "atmosfera esplosiva" come "una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta". [4] Per condizioni atmosferiche si intendono quelle in cui la concentrazione di ossigeno nell'aria è circa del 21%, con possibili variazioni di pressione e temperatura rispetto ai valori di riferimento di 101325 Pa e 293K, purché tali variazioni non alterino le proprietà esplosive delle sostanze. Pertanto, le miscele pericolose che si formano in assenza di aria e/o al di fuori delle condizioni atmosferiche, non rientrato nel campo di applicazione del Titolo XI. Inoltre, le disposizioni si riferiscono al normale funzionamento dell'impianto, escludendo così i guasti catastrofici o i guasti dovuti ad atti dolosi.

Il campo di applicazione comprende quindi tutti gli ambienti in cui può manifestarsi un'atmosfera esplosiva, inclusi i lavori in sotterraneo. Sono invece esclusi:

- le aree utilizzate direttamente per le cure mediche dei pazienti;
- l'uso di apparecchi a gas di cui al decreto del Presidente della Repubblica 15 novembre 1996, n.661, Regolamento per l'attuazione della Direttiva 90/396/CEE concernente gli apparecchi a gas;
- la produzione, la manipolazione, l'uso, lo stoccaggio ed il trasporto di esplosivi o di sostanze chimicamente instabili;
- le industrie estrattive di cui al decreto legislativo 25 novembre 1996, n. 624, Attuazione della direttiva 92/91/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive per trivellazione e della direttiva 92/104/CEE relativa alla sicurezza e salute dei lavoratori nelle industrie estrattive a cielo aperto o sotterranee;
- l'impego di mezzi di trasporto terrestre, marittimo, fluviale e aereo. [4]

L'articolo 293 impone al datore di lavoro la ripartizione in zone delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive, a norma dell'allegato XLIX. Tale allegato precisa che si può far riferimento alle norme tecniche armonizzate e, in particolare, cita la EN 60079-10 (CEI 31-30), "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas. Parte 10: Classificazione dei luoghi pericolosi" e la guida 31-35, "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas. Guida all'applicazione della Norma CEI EN 60079-10 (CEI 31-30). Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di gas, vapori o nebbie infiammabili", sebbene quest'ultima sia stata abrogata nel 2018.

La classificazione è un'attività multidisciplinare che presuppone che i tecnici conoscano le proprietà delle sostanze infiammabili, i processi e le apparecchiature coinvolte e gli standard tecnici. Per garantire coerenza e completezza nella valutazione è necessaria la presenza di un coordinatore, responsabile della corretta applicazione delle metodologie di classificazione.

Una volta completate la classificazione di un sistema o di un'opera e la registrazione dei relativi dati di riferimento, è essenziale che non vengano apportate modifiche né all'opera, né al sistema e nemmeno alle procedure operative senza l'approvazione del responsabile di classificazione. In assenza di tale autorizzazione, le modifiche apportate possono invalidare la classificazione dei luoghi pericolosi.

3.1 Obiettivi della classificazione

La classificazione dei luoghi rappresenta il primo step della valutazione del rischio di esplosione ed è finalizzata all'individuazione e alla definizione degli ambienti nei quali possono formarsi atmosfere esplosive dovute alla presenza di gas. Lo scopo di tale analisi è di agevolare la scelta corretta delle apparecchiature e la progettazione degli impianti da adottare in condizioni di sicurezza nell'ambiente considerato.

Il processo di classificazione si basa sia sulle proprietà delle sostanze infiammabili presenti, come la temperatura di accensione e l'energia minima di innesco, sia sulle condizioni dell'ambiente, quali la disponibilità di ventilazione e il grado di diluizione. Gli obiettivi principali di tale pratica sono la determinazione del tipo di zona (zona 0, 1 o 2) e la definizione della sua estensione.

La selezione dei prodotti e delle apparecchiature ha lo scopo di ridurre la probabilità di accadimento di eventi indesiderati. Nello specifico, già in sede di progetto, bisogna limitare sia il numero che l'estensione delle aree classificate come zona 0 o zona 1, mirando a soluzioni impiantistiche che consentano di ottenere, per quanto possibile, zone classificate come zona 2 o zone non pericolose. Qualora il rilascio di sostanze infiammabili in ambiente risulti inevitabile, occorre prevedere apparecchiature di processo caratterizzate da un grado di rilascio il più discontinuo possibile.

In caso di malfunzionamento anomalo, la progettazione, le modalità operative e la posizione delle apparecchiature dovrebbero garantire il minimo rilascio di sostanza infiammabile nell'ambiente, al fine di ridurre l'estensione della zona pericolosa risultante.

3.2 Metodologia della classificazione

Risulta difficile definire la tipologia di una zona basandosi su semplici esami di progetto, se non nei casi di configurazioni particolarmente semplici. Infatti, la norma richiede uno studio più approfondito. In primo luogo, occorre determinare la probabilità e la durata del rilascio in atmosfera, in conformità con le definizioni dei gradi di rilascio (continuo, primario e secondario). Successivamente, per ogni grado di emissione, devono essere valutati i fattori che contribuiscono alla formazione di un'atmosfera esplosiva per presenza di gas, quali la portata di rilascio, la concentrazione, la velocità e la ventilazione. A tal fine, la norma suggerisce quattro differenti metodi per la classificazione.

3.2.1 Classificazione tramite sorgenti di emissione

La classificazione si basa sulla valutazione statistica dei fattori relativi alle sorgenti di emissione. In accordo con quanto riportato nell'Allegato F della norma CEI EN 60079-10-1:2021 questo approccio può essere sintetizzato con i seguenti passaggi:

- identificazione della sorgente di emissione;
- determinazione della portata di emissione e del grado di emissione, per ogni sorgente, basata sulla frequenza e sulla durata di emissione presumibile;
- valutazione le condizioni di ventilazione o diluizione e la relativa efficacia;
- determinazione il tipo di zona in base al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione o della diluizione;
- determinazione l'estensione della zona. [5]

Nell'Allegato B della norma vengono riportate le formule per il calcolo delle portate di emissione, mentre nell'Allegato C viene fornita una guida per la valutazione delle condizioni di ventilazione. Inoltre, viene sottolineato come la modellazione numerica sia un valido strumento di supporto all'analisi.

3.2.2 Utilizzo di regolamenti per specifiche industrie e standard nazionali

In caso di disponibilità di guide o esempi appropriati al caso in esame e del rispetto dei principi generali della norma CEI EN 60079-10-1 è possibile far riferimento a norme nazionali o a codici industriali. Alcuni di questi vengono riportati nell'allegato K.

Nella norma viene specificato che, nel caso di applicazioni di gas combustibili a bassa pressione destinate agli elettrodomestici, si applicano le normative locali in materia di gas. Nella maggior parte dei casi ciò risulta in una classificazione come zona non pericolosa o di estensione trascurabile.

3.2.3 Metodi semplificati

Questo approccio viene impiegato quando l'applicazione del metodo tramite sorgenti di emissione risulta complessa. I metodi semplificati devono individuare le sorgenti associate a ciascun tipo di zona (zona 0, 1 e 2) facendo riferimento a criteri basati sull'esperienza e adattati alle caratteristiche dello specifico impianto.

3.2.4 Combinazione dei metodi

Nel caso in cui un impianto sia in fase di sviluppo, o quando si devono classificare sezioni diverse, è possibile applicare metodi diversi. Ad esempio, il metodo semplificato può essere utilizzato per gruppi di apparecchiature analoghe all'interno di specifiche aree dell'impianto, mentre un approccio più dettagliato risulta appropriato per la valutazione delle sorgenti di emissione di maggiore rilevanza.

Tabella 3: Esempi di codici e standard nazionali **[5]**

Paese di origine	Codice o Standard	Titolo	Ente di sviluppo	Note applicative
Australia e Nuova Zelanda	AS/NZS (IEC) 60079.10.1	Explosive Atmospheres Part 10- 1: Classification of areas – Explosive Gas Atmospheres	Standards Australia/ Standards New Zealand	Additional detail is included in AS/NZS 60079.10.1 as a national Annex or Supplement
Germania	DGUV-Regel 113-001 "Explosionsschutzreg eln (EX-RL)"	ExplosionsschutzRegeln (EX-RL) – Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen DGUV-Deutsche Gesätzliche Unfallversicherung Explosion Protection Rules (EX-RL) – Collection of technical rules for avoiding the dangers of explosive atmospheres with examples collection for classification of hazardous areas into zones	DGUV-Deutsche Gesätzliche Unfallversicherung	
Svizzera	SUVA Merkblatt Nr. 2153	ExplosionsschutzGrundsätzeMindestvorschriftenZonen Explosion protectionBasics-Minimal requirements-Zones	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt	
UK	EI15	Model code of safe practice for the petroleum industry, Part 15: Area Classification Code for Petroleum Installations Handling Flammable Liquids	Energy Institute	EI15 is used as an industry standard in the petro(chem) industry in many countries
	IGEM/SR/25	Hazardous area classification of natural gas installations.	Institution of Gas Engineers and Managers	
USA	API RP 505	Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities classified as Class I, Zone 0, zone 1 and Zone 2	American Petroleum Institute (API)	

3.3 Procedimento per la classificazione dei luoghi pericolosi

Al fine di individuare e adottare misure di prevenzione già durante la fase di progettazione, è possibile effettuare una classificazione preliminare, prima di procedere con quella definitiva. La classificazione dei luoghi si compone di due stadi: la determinazione del tipo di zona e la definizione della relativa estensione.

3.3.1 Acquisizione dei dati generali di progetto e controllo dell'applicabilità della norma

Per poter effettuare la classificazione è fondamentale disporre dei dati generali di progetto relativi al luogo oggetto di analisi. Queste informazioni devono essere fornite dal committente o dai suoi collaboratori che operano nell'ambito della gestione degli impianti e della sicurezza sul lavoro. I dati acquisiti devono essere successivamente riportati nella relazione di classificazione o nel documento sulla protezione contro le esplosioni, al fine di motivare le scelte adottate.

I principali dati richiesti sono i seguenti:

- dati del committente;
- oggetto della classificazione;
- ubicazione dell'opera da classificare;
- finalità dell'attività di classificazione;
- descrizione schematica delle parti o dell'unità impiantistiche considerate;
- vincoli imposti dal committente e/o dagli enti competenti;
- schemi di processo o disegni.

È necessario verificare che il luogo soggetto alla classificazione sia compreso nel campo di applicazione della norma CEI EN 60079-10-1. Se così non fosse, ciò non escluderebbe il potenziale pericolo di esplosione, bensì indicherebbe la necessità di eseguire la classificazione secondo standard o normative differenti.

3.3.2 Individuazione degli ambienti e delle relative condizioni ambientali

È fondamentale distinguere il luogo dall'ambiente: il primo rappresenta lo spazio in cui può formarsi un'atmosfera esplosiva, mentre il secondo è una porzione del luogo caratterizzata da condizioni di ventilazione chiaramente definibili. Ai fini della classificazione, il luogo deve essere suddiviso in ambienti con presenza di sostanze infiammabili e, per ciascuno di essi, occorre determinare le condizioni ambientali, come temperatura massima, volume, ventilazione, ecc.

Gli ambienti possono essere aperti o chiusi, a seconda che si trovino all'esterno o all'interno di edifici di qualsiasi tipo. Questa distinzione è fondamentale poiché influisce direttamente sulle caratteristiche di ventilazione. Anche gli spazi delimitati da pareti o schermi che non limitano la diluizione di gas o vapori nell'aria sono considerati ambienti aperti.

3.3.3 Identificazione delle sostanze infiammabili presenti e delle loro caratteristiche significative

All'interno dell'ambiente è necessario individuare le sostanze infiammabili presenti, le quali possono trovarsi sotto forma di liquido, gas liquefatto, vapore o nebbia. Una sostanza è definita infiammabile se, miscelata con l'aria, può creare un'atmosfera esplosiva. Per ognuna di esse è indispensabile determinare le caratteristiche chimico-fisiche utili alla classificazione, come ad esempio la temperatura di infiammabilità. Queste informazioni generalmente possono essere reperite dalle schede di sicurezza o da banche dati.

Quando in un ambiente sono presenti più sostanze infiammabili, è possibile semplificare la classificazione riferendosi ad una sola di esse, chiamata "sostanza rappresentativa". Questa deve essere scelta in modo da garantire il massimo livello di tutela ovvero deve determinare le zone più estese, il gruppo e la classe di temperatura dei prodotti ATEX più restrittivi.

3.3.4 Individuazione delle sorgenti di emissione e attribuzione del loro grado

Per ciascun ambiente occorre identificare le sorgenti di emissione (SE) e attribuire a ciascuna di esse un grado di emissione. Le emissioni di grado continuo e primo si verificano durante il funzionamento normale dell'impianto e possono essere definite sia in termini di durata che di frequenza. Al contrario, le emissioni di grado secondo sono causate da eventi non intenzionali, ma non riconducibili a guasti catastrofici. Per valutarne la frequenza e la durata bisogna considerare le condizioni di esercizio e di manutenzione dei sistemi di contenimento e dei loro componenti.

Tabella 4: Esempi tipici di SE e del loro grado **[5]**

SE di grado continuo	SE di primo grado	SE di secondo grado
Superficie di un liquido infiammabile in un serbatoio a tetto fisso, con uno sfiato permanente all'atmosfera	Tenute di pompe, compressori o valvole, se l'emissione di sostanza infiammabile nel funzionamento normale è prevista.	Tenute di pompe, compressori o valvole, se l'emissione di sostanza infiammabile nel funzionamento normale non è prevista.
Superficie di un liquido infiammabile che si trova esposta all'atmosfera continuativamente o per lunghi periodi.	Valvole di scarico, sfiati e altre aperture per le quali sono previste emissioni di sostanza infiammabile in atmosfera durante il funzionamento normale.	Valvole di scarico, sfiati e altre aperture per le quali non sono previste emissioni di sostanza infiammabile in atmosfera durante il funzionamento normale.

Una valutazione errata dei gradi di emissione può compromettere i risultati dell'intera classificazione. Per questo motivo, è importante prestare molta attenzione all'analisi dei componenti dei sistemi di contenimento delle sostanze infiammabili. Ai fini della classificazione non si considerano le emissioni causate da guasti o avarie dovute a dolo o a carenza di manutenzione.

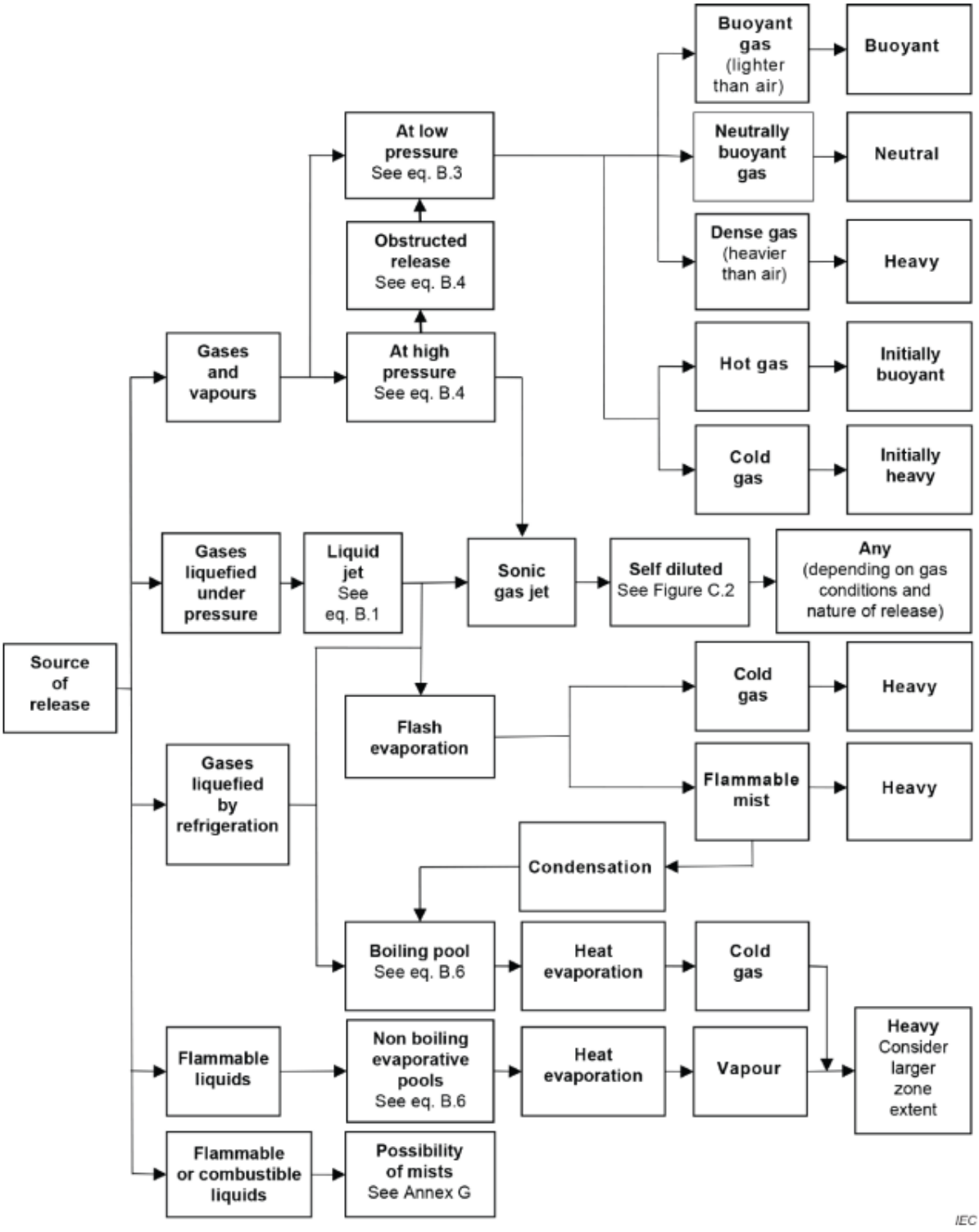


Figura 5: Modalità di rilascio **[5]**

Le aperture possono essere ritenute, a seconda dei casi, possibili sorgenti di emissione oppure barriere contro il trasferimento di atmosfere pericolose. Il grado di emissione o l'efficacia delle barriere è influenzato dal tipo di zona del luogo a monte dell'apertura, dalla frequenza e durata dei periodi di apertura, dall'efficacia delle tenute e dei giunti e dalla differenza di pressione tra

i diversi ambienti. Con il termine aperture si definiscono i varchi realizzati su strutture che separano due luoghi adiacenti, che ne consentono la comunicazione e, di conseguenza, il possibile trasferimento di un'atmosfera pericolosa. Le aperture possono avere diverse funzioni, tra cui l'accesso per le persone, la ventilazione e il passaggio di impianti tecnologici.

La norma CEI EN 60079-10-1 classifica le aperture in quattro tipi:

- Tipo A: aperture prive di serramenti, oppure con serramenti non conformi alle caratteristiche specificate per i restanti tipi. Possono essere anche aperture aperte frequentemente;
- Tipo B: aperture che sono normalmente chiuse, aperte poco frequentemente e con un profilo aderente;
- Tipo C: aperture che sono normalmente chiuse, aperte poco frequentemente e provviste di dispositivi di tenuta lungo tutto il perimetro; oppure due aperture in serie di tipo B, provviste di dispositivi di richiusura automatica indipendenti;
- Tipo D: aperture che sono efficacemente sigillate oppure aperture normalmente chiuse conformi a quelle di tipo C che possono essere aperte solamente tramite mezzi speciali oppure in caso d'emergenza; oppure una combinazione in serie di un'apertura di tipo C e un'apertura di tipo B. [5]

Tabella 5: Effetto delle zone sulle aperture considerate come possibili SE **[5]**

Zona a monte dell'apertura	Tipo di apertura	Grado di emissione delle aperture considerate come SE
Zona 0	A	Continuo
	B	(Continuo)/primo
	C	Secondo
	D	Secondo/nessuna emissione
Zona 1	A	Primo
	B	(Primo)/secondo
	C	(Secondo)/nessuna emissione
	D	Nessuna emissione
Zona 2	A	Secondo
	B	(Secondo)/nessuna emissione
	C	Nessuna emissione
	D	Nessuna emissione
Per i gradi di emissione riportati tra parentesi, nella progettazione dovrebbe essere considerata la frequenza di manovra delle aperture.		

Una sorgente di emissione può essere considerata rappresentativa delle altre quando corrisponde al caso peggiore in termini di caratteristiche delle sostanze rilasciate, modalità e portata di emissione e condizioni di ventilazione dell'ambiente. Questa semplificazione è vantaggiosa perché permette di ridurre i calcoli e risulta particolarmente utile quando il numero di sorgenti da valutare è elevato.

Dopo aver individuato tutte le sorgenti di emissione è opportuno verificare la possibilità di ridurne il numero, ricollocarle in aree con caratteristiche di ventilazione migliori o diminuirne il relativo grado.

Prima di definire il grado di emissione è necessario valutare la contemporaneità delle emissioni. Per far ciò, le emissioni devono essere considerate in forma cumulativa, tenendo conto dei gradi di emissione. La sommatoria delle sorgenti di emissioni con attività prevedibile si deve basare su un'analisi dettagliata delle condizioni operative. Nella determinazione della sommatoria si applicano i seguenti criteri:

- l'emissione di grado continuo complessiva corrisponde alla somma di tutte le singole emissioni di grado continuo;
- l'emissione di grado primo complessiva è data dalla somma di una parte delle singole emissioni di grado primo, combinata con l'emissione di grado continuo complessiva;
- l'emissione di grado secondo complessiva è rappresentata dall'emissione di secondo grado di entità maggiore tra quelle individuate, combinata con l'emissione di grado primo complessiva. [5]

3.3.5 Valutazione della ventilazione

La ventilazione ha la funzione di incrementare la portata di diluizione e di favorire la dispersione con l'obiettivo di contenere l'estensione della zona e ridurre la persistenza dell'atmosfera esplosiva. Infatti, l'ampiezza di una zona generalmente può essere ridotta aumentando la ventilazione. Al contrario, la presenza di ostacoli può compromettere il movimento dell'aria determinando un incremento dell'estensione della zona.

La ventilazione può essere distinta in naturale e artificiale. Quella naturale è generata dal movimento dell'aria indotto da fenomeni naturali, quali l'azione del vento e gradienti di temperatura (effetto camino). Un esempio è rappresentato da un fabbricato aperto, dotato di aperture nelle pareti e/o sulla copertura dimensionate in modo tale da garantire un ricambio di aria paragonabile a quello di uno spazio all'aperto.

La ventilazione artificiale invece si realizza mediante dispositivi meccanici come ventilatori o estrattori. Per le maggior parte dei casi viene impiegata negli ambienti chiusi, ma può risultare necessaria anche all'aperto quando la circolazione naturale dell'aria viene impedita da ostacoli. In aggiunta la ventilazione artificiale può essere distinta in due tipologie: generale, quando interessa l'interno ambiente, o locale, quando è applicata direttamente alle singole sorgenti di emissione o a gruppi compatti di esse.

L’impiego della ventilazione artificiale consente di apportare benefici importanti in termini di sicurezza, tra cui:

- la riduzione del tipo e/o dell’estensione delle zone classificate;
- la diminuzione del tempo di permanenza di un’atmosfera esplosiva dovuta alla presenza di gas;
- la prevenzione della formazione stessa di un’atmosfera esplosiva in presenza di gas.

La portata di ventilazione, in caso di ventilazione artificiale, può essere dedotta dalle specifiche tecniche dell’impianto di ventilazione. Diversamente, nel caso di ventilazione naturale, il calcolo non è così semplice perché le portate sono intrinsecamente molto variabili. Quando la ventilazione è generata simultaneamente dalla spinta del vento e dall’effetto camino, si considera come portata effettiva di aria quella che presenta il valore maggiore, e non la loro somma.

3.3.6 Determinazione della portata di emissione

Il fattore principale che determina l’estensione di una zona pericolosa è la portata di emissione di una sostanza infiammabile: maggiore è la portata e più vasta è la zona. La portata di emissione dipende da diversi fattori, tra cui:

- la natura e la modalità di emissione;
- la velocità di rilascio;
- la concentrazione del gas infiammabile;
- la volatilità;
- la temperatura del liquido.

Per le emissioni di grado continuo e di primo grado la stima della portata di emissione si basa sulle effettive dimensioni del foro o dell’apertura, generalmente note, siccome si tratta di rilasci previsti in condizioni normali e di ordinario funzionamento degli impianti. Mentre, per le emissioni di secondo grado, la letteratura tecnica fornisce criteri e parametri di riferimento, indicando le dimensioni tipiche dei fori di emissione che si possono generare a seguito di guasti o anomalie di alcuni componenti tipici degli impianti. Dati statistici vengono utilizzati invece per le emissioni strutturali.

Tabella 6: Esempi di sezioni suggerite di fori per le emissioni di secondo grado **[5]**

Tipo di componente	Componente	Considerazioni sulle perdite		
		Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione non si espanderà S (mm^2)	Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione potrebbe espandersi, per esempio, in caso di erosione S (mm^2)	Valori tipici per le condizioni nelle quali l'apertura di emissione potrebbe espandersi fino a diventare un guasto grave, per esempio, una rottura improvvisa S (mm^2)
Elementi di tenuta con parti fisse	Flange con guarnizioni in fibra compressa o similari	≥ 0,025 fino a 0,25	> 0,25 fino a 2,5	(settore tra due bulloni) × (spessore della guarnizione) tipicamente ≥ 1 mm
	Connessioni ad anello	0,1	0,25	0,5
Elementi di tenuta con parti in movimento a bassa velocità	Tenute a pacchetto di alberi di valvole	0,25	2,5	Da definire in accordo ai dati del fabbricante dell'apparecchiatura, ma non meno di 2,5 mm2
	Valvole di scarico della pressione	0,1 × (sezione dell'orifizio)	Non Applicabile	Non applicabile

3.3.7 Definizione del tipo di zone

La zona pericolosa è lo spazio, di dimensioni definite, individuato all'interno di un luogo pericoloso. Essa viene stabilita in base alla frequenza e alla durata di un'atmosfera esplosiva per presenza di gas infiammabili. All'interno di tale area è necessario adottare misure di protezione specifiche contro le esplosioni che variano in base al tipo di zona. Infatti, le zone vengono classificate come zona 0, zona 1, zona 2 o come luogo non pericoloso.

In generale, il tipo di zona è determinato in base al grado di emissione. Infatti, un'emissione di grado continuo determina una zona 0, un'emissione di primo grado genera una zona 1 e un'emissione di secondo grado dà origine a una zona 2. Tuttavia, la ventilazione può modificare

questa corrispondenza biunivoca. Le caratteristiche fondamentali per definire il tipo di zona sono tre:

- il grado di emissione;
- il grado di diluizione;
- la disponibilità della ventilazione.

La ventilazione permette di controllare sia le dimensioni sia il tempo di permanenza, dopo l'arresto dell'emissione, di una nube di gas o vapore infiammabile. Il grado di diluizione e la disponibilità di ventilazione possono determinare se un luogo debba essere considerato pericoloso, o al contrario, se l'eventuale zona pericolosa abbia un'estensione trascurabile.

Il grado di diluizione rappresenta la capacità della ventilazione, o delle condizioni atmosferiche, di ridurre la concentrazione di un'emissione fino a un livello considerato sicuro. Oltre alla ventilazione, anche la natura e il tipo di emissione di gas influiscono sul grado di ventilazione. In generale, a parità di condizioni atmosferiche, un'emissione di maggiore entità comporta un grado di diluizione inferiore. Analogamente, a parità di emissione, una portata di ventilazione più bassa determina una diluizione inferiore.

Per stimare il grado di diluizione è necessario valutare prima le condizioni di emissioni previste comprendendo anche le dimensioni della sorgente di emissione e la massima portata di emissione del gas o vapore associata. La diluizione effettiva dipende dall'interazione delle forze generate dall'emissione, in termini di quantità di moto e galleggiamento, e dalle condizioni atmosferiche in cui avviene la dispersione.

Il grado di diluizione influisce anche sul volume di diluizione, definito come il volume entro il quale la concentrazione della sostanza infiammabile può superare il limite inferiore di infiammabilità (LFL), includendo anche eventuali fattori di sicurezza. In altre parole, esso corrisponde al volume potenzialmente infiammabile. Tuttavia, la delimitazione dell'area pericolosa non si basa unicamente su questo parametro, ma considera anche altri fattori, quali il movimento della nube causato dalla direzione e dalla velocità dell'emissione, nonché l'interazione con il volume di aria circostante. Per questo motivo, l'area pericolosa risulta normalmente più estesa rispetto al solo volume di diluizione.

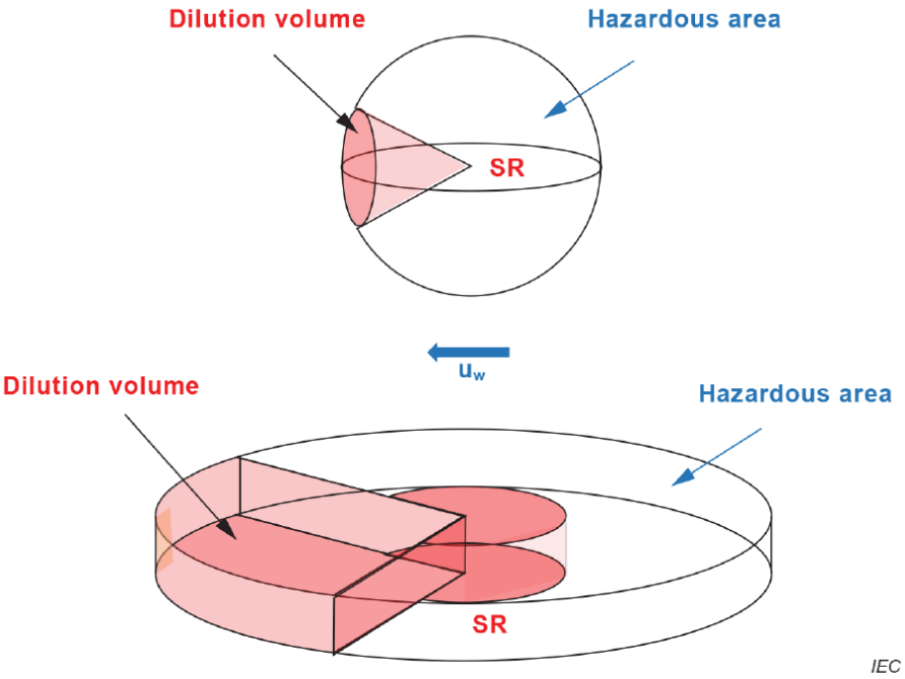


Figure 1 – Dilution Volume

Figura 6: Volume di diluizione **[5]**

La norma identifica tre gradi di diluizione:

- Diluizione Alta: la concentrazione in prossimità della sorgente di emissione si riduce rapidamente e, dopo l'arresto dell'emissione, praticamente non ci sarà persistenza.
- Diluizione Media: mentre l'emissione è in corso, la concentrazione è controllata determinando una zona i cui limiti sono stabili e, dopo l'arresto dell'emissione, l'atmosfera esplosiva per la presenza di gas non persiste in modo ingiustificato.
- Diluizione Bassa: mentre l'emissione è in corso la concentrazione è significativa, e/o dopo l'arresto dell'emissione, c'è una persistenza significativa dell'atmosfera infiammabile. [5]

La valutazione della diluizione si basa su due parametri caratteristici di ciascuna emissione:

- la portata di emissione relativa, definita come il rapporto tra la portata di emissione e il LFL (espresso in unità di massa);
- la velocità di ventilazione.

Incrementando la velocità dell'aria aumenta la dispersione di gas in atmosfera. La velocità minima dell'aria richiesta per avviare la diffusione turbolenta è di 2-3 m/s; con valori inferiori si verifica una stratificazione del gas. In tali condizioni, affinché si realizzi la dispersione, è necessaria una distanza maggiore dal volume pericoloso di gas emesso.

Note la portata massica di emissione (W_g), la densità (ρ_g), il limite inferiore di infiammabilità (LFL) del gas o vapore è possibile calcolare la caratteristica volumetrica di rilascio della sorgente Q_C:

$$Q_C = \frac{W_g}{\rho_g \cdot LFL}$$

La relazione tra la velocità della ventilazione (u_w) e la caratteristica volumetrica di rilascio della sorgente definisce il grado di diluizione, come mostrato in Figura 7. Quest'ultimo viene determinato individuando l'intersezione dei valori corrispondenti riportati sugli assi orizzontale e verticale.

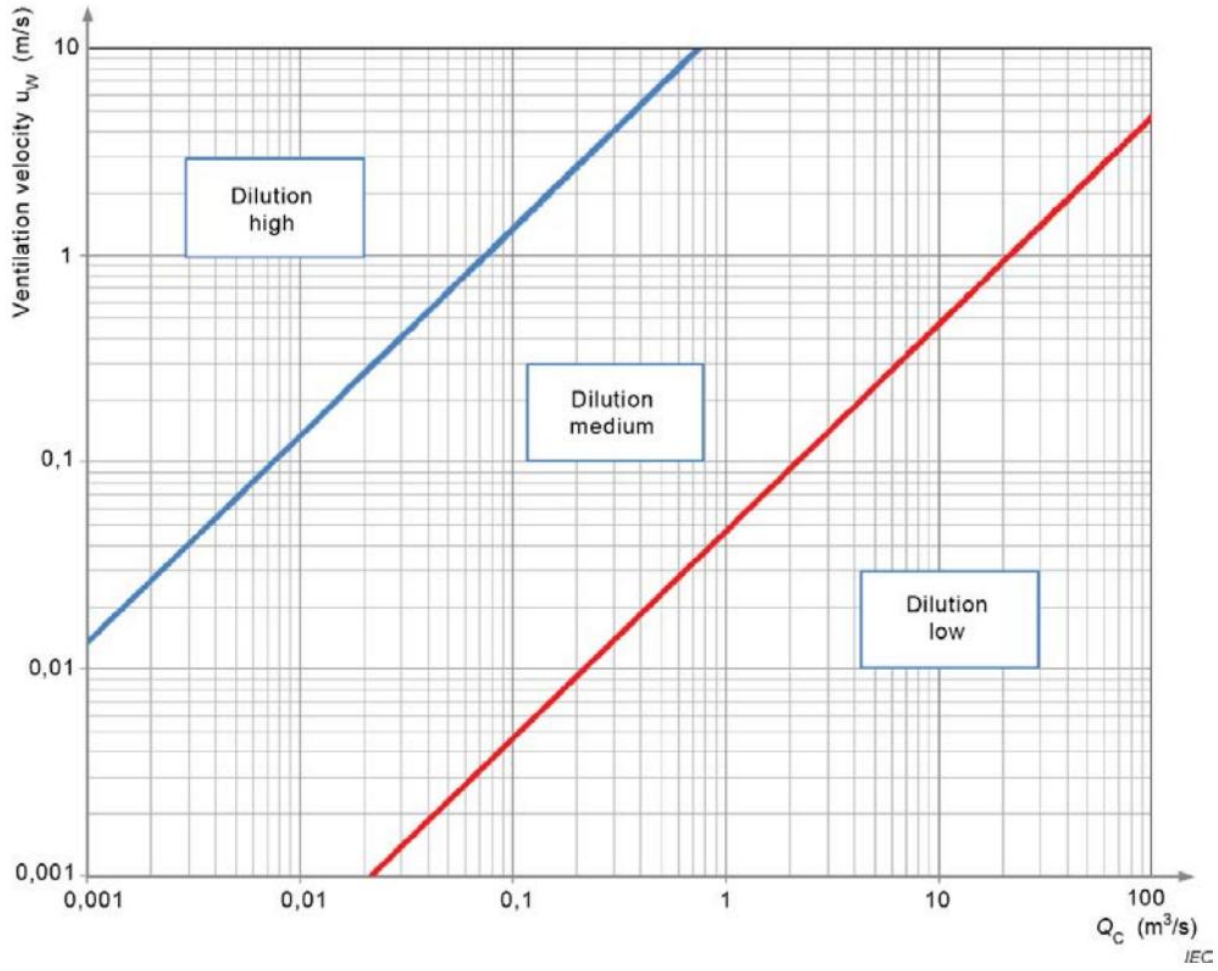


Figura 7: Diagramma per la valutazione del grado di emissione **[5]**

Si sottolinea che la Figura 7 non include un fattore di sicurezza specifico: deve essere l'utente a stabilirlo in funzione dell'applicazione e di eventuali fattori di sicurezza già applicati ad altri parametri.

La formazione di un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas, così come il tipo di zona, dipendono dalla disponibilità della ventilazione, pertanto deve essere presa in considerazione. Se quest'ultima decresce, aumenta la probabilità che l'atmosfera infiammabile non venga dispersa. Di conseguenza, la classificazione delle zone tende a diventare più restrittiva: una zona 2 potrebbe diventare una zona 1 o, nei casi più critici, una zona 0.

Tabella 7: Livelli di disponibilità della ventilazione **[5]**

Disponibilità della ventilazione	Definizione
Buona	La ventilazione è presente praticamente con continuità
Adeguata	È previsto che la ventilazione sia presente durante il funzionamento normale. Sono ammesse delle interruzioni purché siano poco frequenti e per brevi periodi
Scarsa	La ventilazione non risponde alle normali prescrizioni di adeguata o buona, ma non è previsto che le interruzioni si manifestino per lunghi periodi.

Per stimare la disponibilità di ventilazione si possono utilizzare diversi approcci che variano a seconda che l'ambiente sia aperto o chiuso. Per valutare la disponibilità nel modo più realistico possibile è necessario tener conto di tutti i fattori rilevanti. La diluzione di emissioni gassose sotto forma di getto in ambiente aperto avviene indipendentemente dalla presenza del vento; per questo motivo la dispersione può essere assimilata a quella che, in ambiente chiuso, corrisponde a un livello buono.

Tabella 8: Zone in relazione al grado di emissione e all'efficacia della ventilazione **[5]**

Grado di emissione	Efficacia della Ventilazione						
	Diluizione Alta			Diluizione Media			Diluizione Bassa
	Disponibilità della ventilazione						
	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona	Adeguata	Scarsa	Buona, adeguata o scarsa
Continuo	Non pericolosa (Zona 0 NE) [a]	Zona 2 (Zona 0 NE) [a]	Zona 1 (Zona 0 NE) [a]	Zona 0	Zona 0 + Zona 2 [c]	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primo	Non pericolosa (Zona 1 NE) [a]	Zona 2 (Zona 1 NE) [a]	Zona 2 (Zona 1 NE) [a]	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 oppure Zona 0 [d]
Secondo [b]	Non pericolosa (Zona 2 NE) [a]	Non pericolosa (Zona 2 NE) [a]	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e persino Zona 0 [d]

[a] Zona 0 NE, 1 NE oppure 2 NE indica una zona teorica nella quale, in condizioni normali, l'estensione è trascurabile.

[b] Il luogo classificato Zona 2 creato da una sorgente di emissione di grado secondo potrebbe eccedere le condizioni attribuibili ad un'emissione di grado primo o continuo; in questo caso, dovrebbe essere applicata la distanza maggiore. [c] La Zona 1 non è necessaria in questo caso. La Zona 0, più piccola, si trova nell'area in cui il rilascio non è controllato dalla ventilazione, mentre la Zona 2, più grande, si trova in caso di mancanza di ventilazione. [d] Sarà zona 0 se la ventilazione è così debole e l'emissione è tale che, in pratica, un'atmosfera esplosiva per la presenza di gas esiste virtualmente in continuazione (avvicinandosi cioè ad una condizione di "assenza della ventilazione").
'+' significa "circondata da". La disponibilità della ventilazione negli spazi chiusi naturalmente ventilati non è generalmente considerata buona.

3.3.8 Determinazione dell'estensione della zona

La zona pericolosa si estende fino a che la concentrazione di gas infiammabile in aria si riduce al di sotto del limite inferiore di infiammabilità. La sua estensione dipende non solo dalla portata di emissione, ma anche da altri fattori, tra cui le proprietà del gas, la geometria dell'emissione e quella dell'ambiente circostante. Occorre considerare anche la densità relativa del gas: se questo fosse più pesante dell'aria potrebbe accumularsi in aree poste al di sotto del terreno (ad esempio cavità), mentre un gas più leggero dell'aria potrebbe rimanere intrappolato nelle zone più alte delle strutture (come lo spazio del tetto).

La norma CEI EN 60079-10-1 fornisce un grafico, riportato in Figura 8, utile per determinare l'estensione delle zone pericolose. La scelta della linea dipende dal tipo di emissione:

- getto ad alta velocità;
- getto diffusivo a bassa velocità, oppure che perde la sua quantità di moto a causa della geometria dell'emissione o dell'impatto con superfici circostanti;
- gas o vapori pesanti che diffondono lungo superfici orizzontali.

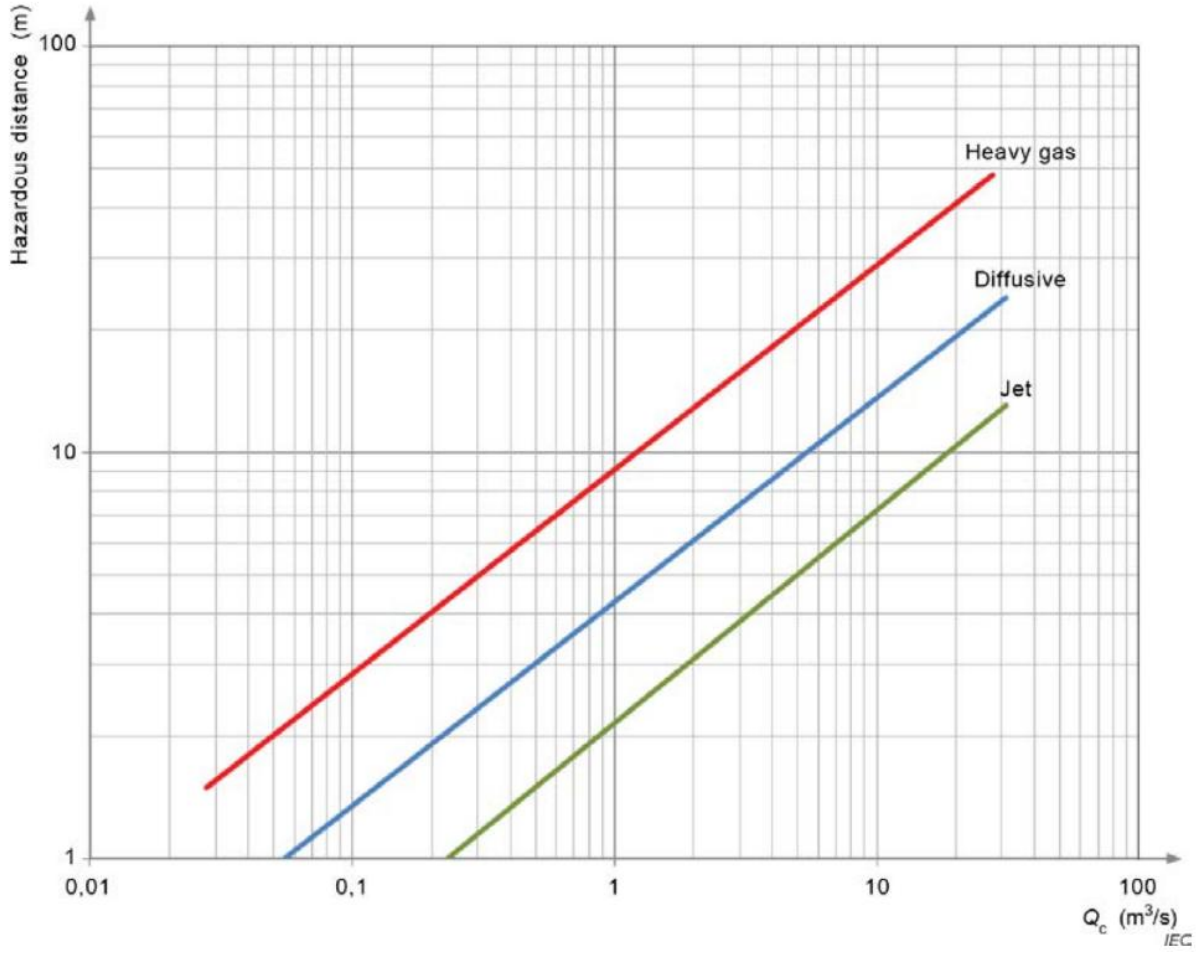


Figura 8: Diagramma per la valutazione dell'estensione della zona pericolosa **[5]**

3.3.9 Inviluppo delle zone pericolose

L'insieme di tutte le zone pericolose individuate definisce la classificazione del luogo pericoloso. Nella planimetria è necessario rappresentare le zone secondo una gerarchia: le zone 0 devono prevalere graficamente sulle zone 1 e 2, e le zone 1 devono prevalere sulle zone 2. Le zone pericolose, le sorgenti di rilascio e le aperture devono essere indicate mediante simbologia appropriata. Se, a termine dell'inviluppo, emergono delle piccole zone non pericolose circondate da zone classificate come pericolose è necessario valutare se includerle anch'esse tra le zone pericolose.

Completata questa fase di definizione, si procede alla stesura della documentazione tecnica di classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione. Tale documentazione rappresenta il risultato finale dell'attività di classificazione e, generalmente, comprende una relazione tecnica, che sintetizza le attività svolte e coordina l'intera documentazione della classificazione.

4. Quadro normativo

Le fonti di riferimento in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro con pericolo di esplosione si distinguono in due categorie: le norme di legge, che costituiscono il corpo legislativo, e le norme tecniche che compongono il corpo normativo. Le prime sono efficaci perché sono obbligatorie ma, rimanendo fisse nel tempo, possono risultare in breve obsolete dal punto di vista tecnico. Le seconde, invece, sono oggetto di continua verifica ed aggiornamento in funzione dell'evolversi della tecnica. [12]

La preparazione di documenti normativi, la loro approvazione e pubblicazione è riservata ad organismi riconosciuti da provvedimenti di legge di carattere internazionale, europeo e/o nazionale. L'osservanza di una norma tecnica è volontaria, ma la sua applicazione consente di rispettare lo stato dell'arte. Tuttavia, essa diventa obbligatoria qualora sia citata all'interno di provvedimenti legislativi.

4.1 Evoluzione della normativa in materia di sicurezza in Italia

Ai fini di comprendere l'evoluzione normativa, è indispensabile ricordare che nei primi decenni del Novecento la questione della sicurezza e della salute dei lavoratori era intesa in termini risarcitori, più che esigenza di prevenzione. Secondo la mentalità dell'epoca, gli infortuni erano principalmente conseguenze di fatalità o distrazioni. [13]

Gli anni Cinquanta furono cruciali: l'Italia visse una fase di intensa crescita industriale, ma con questa aumentarono anche gli infortuni sul lavoro. In risposta furono emanati una serie di Decreti del Presidente della Repubblica, come il D.P.R. 27 aprile 1955, n.547 "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro", che introdussero per la prima volta regole generali per la prevenzione degli infortuni.

Negli anni Novanta, la Comunità Europea avviò una propria attività legislativa, al fine di uniformare gli Stati membri a standard comuni in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. Queste disposizioni determinarono un cambio di visione, infatti vennero introdotti nuovi concetti in materia di prevenzione, come la valutazione e la gestione del rischio. Non si trattava solo più di eliminare i pericoli, ma anche di ridurli e controllarli, gettando le basi per un approccio più moderno e dinamico alla sicurezza negli ambienti di lavoro.

In questo contesto fu emanato fu il D. Lgs. 19 settembre 1994, n. 626, che incorporava otto direttive europee. A differenza della normativa precedente, che imponeva al datore di lavoro di controllare il rispetto delle prescrizioni, l'articolo 4 di tale decreto prevedeva che il datore di lavoro eseguisse un'analisi della attività svolte per valutare eventuali rischi presenti al fine di determinare gli interventi di prevenzione e protezione da attuare. Si trattò di un cambiamento radicale: la sicurezza divenne parte integrante dell'organizzazione aziendale, in un rapporto costante tra attività produttiva, innovazioni tecnologiche e interventi di tutela della sicurezza. L'approccio tradizionale, basato essenzialmente sul risarcimento del danno, venne superato dalla filosofia incentrata sulla prevenzione di tipo attivo che prevedeva interventi di carattere preventivo, formativo e informativo atti a ridurre i rischi.

Il D. Lgs 626/94, nel corso degli anni, subì numerose modifiche fino a essere definitivamente abrogato e sostituito dal D. Lgs 9 aprile 2008, n. 81, conosciuto come "Testo unico della salute e sicurezza sul lavoro". Tale decreto ha avuto il compito di riunire e armonizzare gran parte della normativa vigente, superando frammentazioni e abrogando diverse disposizioni ormai obsolete.

Il D. Lgs. 81/08 definisce le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori e introduce un sistema di gestione fondato su alcuni pilastri fondamentali:

- valutazione dei rischi;
- misure di prevenzione e protezione;
- definizione di ruoli e responsabilità, attribuiti ai diversi soggetti coinvolti nel sistema di prevenzione aziendale;
- programmazione del miglioramento continuo, attraverso l'aggiornamento costante delle misure adottate.

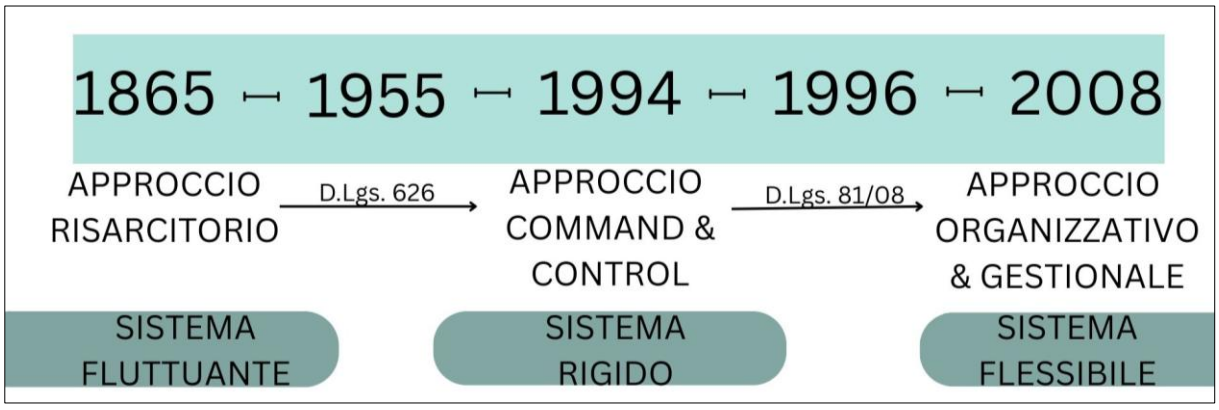


Figura 9: Evoluzione del sistema normativo in materia di sicurezza in Italia

4.2 Direttive ATEX e normative di riferimento

Con la creazione della Comunità Europea, emerse il bisogno di definire standard comuni per la protezione contro le esplosioni, al fine di agevolare il commercio e la libera circolazione dei prodotti tra gli Stati Membri. In questo scenario, nel 1973 nacque il CENELEC (Comité Européen de Normalisation en Électronique) dalla fusione delle organizzazioni europee CENELCOM e CENEL. La prima direttiva europea, relativa ai dispositivi elettrici destinati ad essere utilizzati in luoghi con pericolo di esplosione, fu la Direttiva 76/117/CEE del Consiglio, del 18 dicembre 1975, riguardante il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative al materiale elettrico destinato ad essere utilizzato in atmosfera esplosiva. A questa seguirono ulteriori direttive e adeguamenti tecnici, sintetizzati nella seguente tabella.

Tabella 9: Direttive e adeguamenti tecnici del "vecchio approccio"

Data	Direttiva	Contenuto principale
6 febbraio 1979	79/196/CEE	Ravvicinamento delle legislazioni degli Stati Membri relative al materiale elettrico destinato ad essere utilizzato in atmosfera esplosiva, per il quale si applicano taluni metodi di protezione
16 gennaio 1984	84/47/CEE	Adeguamento al progresso tecnico della direttiva 79/196/CEE Sostituzione allegati I e II
10 novembre 1988	88/571/CEE	Ulteriore adeguamento al progresso tecnico della direttiva 79/196/CEE
17 settembre 1990	90/487/CEE	Modifica della direttiva 79/196/CEE
15 giugno 1994	94/26/CE	Adeguamento al progresso tecnico della direttiva 79/196/CEE
11 settembre 1997	97/53/CE	Ulteriore adeguamento al progresso tecnico della direttiva 79/196/CEE

Dal 1976 al 1997 le direttive europee in materia di protezione contro le esplosioni contenevano dei riferimenti espliciti alle norme e ai metodi di protezione da adottare. Tuttavia, col tempo, emerse un limite strutturale di tale strumento legislativo: il progresso tecnologico procedeva molto più velocemente rispetto ai tempi richiesti per l'elaborazione, l'emanazione e la successiva attuazione da parte degli Stati membri. Inoltre, la complessità tecnica delle direttive richiedeva un livello di approfondimento tale da dover considerare settori specifici di prodotti, provocando un proliferare di direttive settoriali che rendeva il quadro normativo frammentato e difficilmente gestibile.

Per risolvere tale situazione, il 7 maggio 1985 il Consiglio della Comunità Europea emanò la Risoluzione del Consiglio 85/C 136/01 relativa ad una nuova strategia in materia di armonizzazione tecnica e normalizzazione. Secondo tale disposizione, le direttive avrebbero dovuto limitarsi a stabilire i "requisisti essenziali di sicurezza" dei prodotti, delegando la definizione delle specifiche tecniche alle norme tecniche armonizzate. Gli elementi che caratterizzano le direttive di "nuovo approccio" sono:

- ampio campo di applicazione;
- prescrizione di requisiti essenziali di sicurezza;
- rimando alle norme armonizzate per l'interpretazione tecnica dei requisiti essenziali;
- presunzione di conformità nel caso di applicazione delle norme armonizzate;
- marcatura CE [12].

Le direttive del "nuovo approccio" si limitano a stabilire obiettivi generali, tra loro coerenti, evitando di entrare nei dettagli operativi che rischierebbero di generare contraddizioni. Ciò

comporta un campo di applicabilità molto ampio, riducendo il rischio di contraddizioni normative e includendo aree intermedie che potrebbero essere prive di regolamentazione. Di conseguenza, in molti casi, un medesimo prodotto può ricadere nel campo di più direttive.

Grazie all'introduzione del "nuovo approccio" ebbe inizio una nuova fase di armonizzazione normativa a livello europeo. In questo contesto, fu emanata la prima direttiva ATEX (AT= Atmospherès, EX= Explosibles): Direttiva 94/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 marzo 1994, concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva. La direttiva stabiliva i Requisiti Essenziali di Sicurezza (ESR), mentre le specifiche tecniche necessarie a garantire la regola dell'arte venivano rinviate alle norme tecniche. Tra gli elementi innovativi introdotti si possono ricordare:

- l'obbligo di marcatura CE, da apporre insieme al marchio Ex;
- la trattazione in un'unica direttiva dei prodotti destinati ad essere utilizzati in miniera e in superficie;
- la classificazione dei prodotti in diverse categorie;
- l'inclusione delle atmosfere esplosive per presenza di polveri combustibili.



Figura 10: Marcatura CE e marchio Ex [12]

La direttiva 94/9/CE, nota come "Direttiva Prodotti", è stata recepita in Italia con il Decreto del Presidente della Repubblica 23 marzo 1998, n. 126, 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. La direttiva 94/9/CE è stata abrogata e sostituita dalla Direttiva 2014/34/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, 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. Quest'ultima è stata recepita dal Decreto Legislativo 19 maggio 2016, n. 85.

Analogamente alla direttiva 94/9/CE, anche la direttiva 2014/34/UE promuove l'armonizzazione delle normative nazionali degli Stati membri dell'Unione Europea, al fine di garantire la sicurezza di apparecchi e sistemi destinati a essere utilizzati in atmosfere potenzialmente esplosive. Tuttavia, quest'ultima non ha apportato cambiamenti per quanto riguarda il campo di applicazione, le esclusioni, le procedure di valutazione della conformità e la suddivisione in gruppi e categorie di prodotti. La nuova direttiva è stata introdotta per allinearsi al New Legislative Framework (NLF), adottato nel 2008, per migliorare il

funzionamento del mercato interno delle merci e per rafforzare le condizioni di immissione di un'ampia gamma di prodotti sul mercato dell'Unione [14].

Il NFL è un pacchetto di misure volte a migliorare la vigilanza del mercato e a incrementare la qualità delle valutazioni di conformità. Inoltre, chiarisce l'uso della marcatura CE e crea un pacchetto di misure da utilizzare nella legislazione sui prodotti. [14] Tra i suoi obiettivi vi sono: facilitare la circolazione dei beni e dei servizi tra gli Stati Membri, aggiornando le regole per la commercializzazione di un'ampia gamma di prodotti industriali e garantire una maggiore tutela alle imprese e ai consumatori attraverso un rafforzamento dei controlli.

La direttiva 2014/34/UE non ha comportato modifiche sostanziali ai contenuti tecnici già previsti dalla direttiva 94/9/CE. La principale novità è stata l'integrazione degli obblighi a carico degli operatori economici, come i fabbricanti, gli importatori e i distributori. Inoltre, la direttiva ha ampliato il numero di definizioni presenti, così da rendere più chiaro il campo applicativo delle disposizioni.

Tabella 10: Classificazione dei prodotti soggetti alla direttiva 2014/34/UE

Gruppo	Categoria	Atmosfera esplosiva	Sostanza	Livello di protezione	Zona
I Miniere	M1	Presente	Grisou, polveri	Molto elevato	
	M2	Probabile presenza	Grisou, polveri	Elevato	
II Superficie	1G	Sempre	Gas, vapori, nebbie	Molto elevato	Zona 0
	2G	Probabile	Gas, vapori, nebbie	Elevato	Zona 1
	3G	Scarsa	Gas, vapori, nebbie	Normale	Zona 2
	1D	Sempre	Polveri	Molto elevato	Zona 20
	2D	Probabile	Polveri	Elevato	Zona 21
	3D	Scarsa	Polveri	Normale	Zona 22

Nel 1999 venne emanata la Direttiva 1999/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 1999, relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive, nota anche come "Direttiva Lavoratori". Inizialmente, in Italia, è stata recepita con il D.Lgs. 233/03, che ha integrato il D.Lgs. 626/94 inserendosi con il Titolo VIII - bis (Protezione da atmosfere esplosive, articoli da 88-bis a 88-undecies). Con l'abrogazione del

D.Lgs. 626/94 e la successiva entrata in vigore del D.Lgs. 81/08, risulta inglobata al Titolo XI (Protezione da atmosfere esplosive, articoli da 287 a 297) di quest'ultimo decreto. [12]

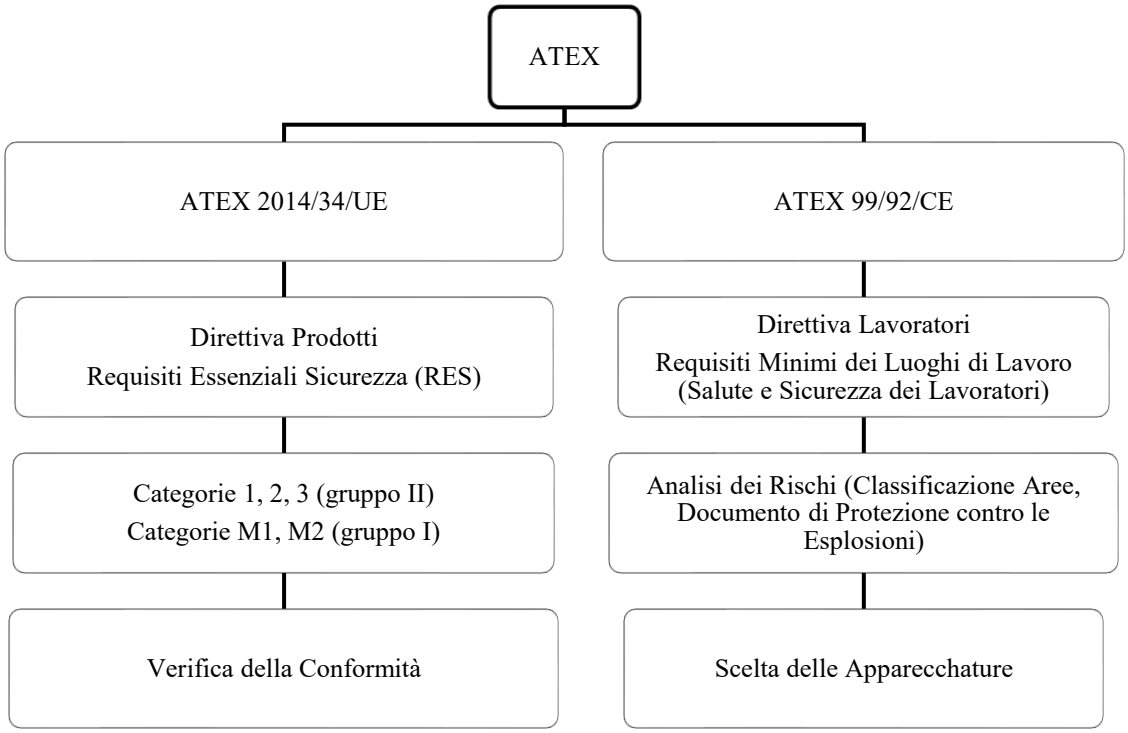


Figura 11: Schema direttive ATEX [15]

4.2.1 Approfondimento relativo alla direttiva 1999/92/CE

La direttiva 99/92/CE ha lo scopo di promuovere la tutela della salute e della sicurezza di tutti i lavoratori potenzialmente esposti al rischio di atmosfere esplosive e di assicurare un livello minimo di protezione in tutti gli Stati Membri dell'Unione Europea. Essa è strutturata in tre sezioni principali:

- la sezione I introduce le disposizioni generali;
- la sezione II esplicita gli obblighi del datore di lavoro;
- la sezione III contiene ulteriori disposizioni di carattere integrativo.

In particolare, gli obblighi del datore di lavoro possono essere evidenziati dai seguenti articoli:

- Articolo 3: adozione di misure tecniche e/ organizzative finalizzate a prevenire la formazione di atmosfere esplosive, evitarne l'accensione e contenere i danni di una possibile esplosione;
- Articolo 4: valutazione dei rischi di esplosione, da effettuare considerando:
    - probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive;
    - probabilità della presenza, dell'attivazione e dell'efficacia di fonti di innesco, comprese scariche elettrostatiche;
    - caratteristiche dell'impianto, delle sostanze utilizzate, del processo e delle loro possibili interazioni;
    - entità degli effetti prevedibili.

- Articolo 5: adozione dei provvedimenti necessari per assicurare condizioni di lavoro in sicurezza e un adeguato controllo durante la presenza dei lavoratori, attraverso l'impiego di mezzi tecnici appropriati;
- Articolo 6: coordinamento nell'attuazione delle misure di prevenzione e protezione, da riportare nel "documento contro le esplosioni";
- Articolo 7: classificazione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive secondo la ripartizione in zone riportata nell'allegato I;
- Articolo 8: elaborazione e aggiornamento del documento contro le esplosioni, che deve contenere:
    - l'individuazione e la valutazione dei rischi di esplosione;
    - le misure adottate per conseguire gli obiettivi previsti dalla direttiva;
    - la classificazione dei luoghi in zone ai sensi dell'allegato I;
    - l'indicazione dei luoghi in cui si applicano le prescrizioni minime previste dall'allegato II;
    - la conferma che i luoghi e le attrezzature di lavoro, inclusi i dispositivi di allarme, siano progettati e mantenuti in efficienza in modo da garantire la sicurezza;
    - che sono stati adottati gli accorgimenti per l'impiego sicuro di attrezzature di lavoro, in conformità alla direttiva 89/655/CEE. [16]



Figura 12: Segnale di avvertimento per segnalare le zone ATEX [15]

La direttiva 99/92/CE non cita esplicitamente le norme tecniche da seguire, ma stabilisce l'obbligo per il datore di lavoro di procedere alla classificazione dei luoghi in zone pericolose. Per far ciò, e per la successiva scelta delle apparecchiature da impiegare, il punto di riferimento è rappresentato dalle norme tecniche internazionali della serie EN 60079. In particolare, i criteri per la classificazione dei luoghi vengono stabiliti dalla EN 60079-10-1 in caso di gas e dalla EN 60079-10-2 in caso di polveri.

4.3 Norma CEI EN 60079-10-1

4.3.1 Evoluzione della norma CEI EN 60079-10-1

In Italia, prima della pubblicazione delle direttive europee, il riferimento normativo per la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione era rappresentato dalla norma CEI 64-2 e dalla sua appendice CEI 64-2/A. Tale classificazione si basava su un metodo convenzionale: l'estensione delle zone pericolose (zone antideflagranti, "zone AD") veniva individuata in

modo piuttosto rigido intorno ai probabili punti di emissione (centri di pericolo, “CP”) delle sostanze pericolose.

Le zone venivano identificate, grazie anche a molteplici esempi figurativi, in base alla probabilità di emissione e al tipo di ventilazione codificato dalla norma. Tuttavia, questo metodo non considerava le caratteristiche di emissione e dispersione delle sostanze, risultando quindi parziale e non sempre rappresentativo delle effettive condizioni di rischio. In aggiunta, si trattava di norme di valenza esclusivamente nazionale, non armonizzate a livello europeo.

La svolta arrivò nel gennaio 1996, quando il CENELEC pubblicò la prima edizione della norma EN 60079-10 “Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas, parte 10: Classificazione dei luoghi pericolosi”. Tale norma era il risultato dell’attività congiunta tra l’IEC(International Electrotechnical Commission) e il CENELEC e rappresentava la prima parte di un corpo normativo relativo all'importante tema degli impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione [17]. L’obiettivo della norma era la classificazione dei luoghi pericolosi per presenza di gas, vapori o nebbie infiammabili, al fine di consentire la corretta scelta e installazione delle apparecchiature elettriche.

La norma EN 60079-10 è stata recepita in Italia come CEI EN 60079-10 (CEI 31-30), modificando in maniera sostanziale il quadro normativo nazionale. Rispetto al metodo convenzionale previsto dalla CEI 64-2, la nuova norma affrontava il problema con un approccio innovativo: essa si limitava a fornire le definizioni di zona pericolosa (tre graduazioni in relazione alla probabilità di esistenza della zona stessa) e di sorgente di emissione (tre graduazioni in relazione alla probabilità dell'emissione), demandando però al tecnico incaricato alla classificazione un’ampia discrezionalità, e quindi responsabilità, nelle valutazioni. [17]

Il professionista incaricato poteva comunque ricorrere a un metodo analitico per stimare sia la quantità di sostanza emessa sia il tempo di persistenza dell’atmosfere esplosiva. Allo stesso modo, la forma delle zone pericolose era lasciata alla valutazione del tecnico preposto, mentre la loro estensione veniva determinata in modo analitico. La classificazione si fondava sui criteri di analisi del rischio e del grado di sicurezza equivalente, concetti parzialmente presenti nella precedente norme CEI 64-2.

La norma CEI 31-30 venne assunta come riferimento ufficiale per la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione dall’Allegato XV-bis del D.Lgs. 626/94, con cui l’Italia recepì la Direttiva 1999/92/CE. Successivamente, il suo richiamo venne mantenuto nell’Allegato XLIX del D.Lgs. 81/08.

Nel 2012, la norma CEI EN 60079-10 venne definitivamente sostituita dalla CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87) “Atmosfere esplosive Parte 10-1: classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di gas”. Pur mantenendo invariati la maggior parte dei contenuti e il campo di applicazione, vennero introdotte alcune variazioni tecniche:

- inserimento del punto A.3 nell'allegato A, relativo alla portata di emissione;

- introduzione dell'allegato D che illustra il rischio di esplosione per la presenza di nebbie infiammabili generate dal rilascio di liquidi sotto pressione, con elevate temperature di infiammabilità;
- aggiunta dell'allegato informativo ZB, il quale illustra la corrispondenza tra le categorie ATEX e i livelli di protezione delle apparecchiature (Equipment Protection Level, EPL) [17].

Per facilitare l'applicazione della norma EN 60079-10 e approfondire il tema della classificazione dei luoghi con rischio di esplosione, nel 1999 in Italia è stata pubblicata la guida CEI 31-35, elaborata dal SC 31J del CEI. La guida, concepita come strumento di supporto per i tecnici, forniva dati e relazioni di calcolo applicabili alla maggior parte delle casistiche, con l'obiettivo di chiarire in modo pratico i contenuti della norma. Nel corso degli anni, la guida è stata aggiornata più volte congruentemente con l'evoluzione della norma. Nello specifico, con l'introduzione della CEI 31-87 è stata pubblicata nel 2012 la quarta edizione della guida CEI 31-35, arricchita di nuovi elementi.

La CEI EN 60079-10-1:2010 è stata sostituita, nel 2016, dalla nuova edizione CEI EN 60079-10-1:2016. In seguito alla sua pubblicazione, la guida CEI 31-35, insieme alle varianti 31-35/A e 31-35;V1, è stata ufficialmente abrogata senza sostituzione. Tuttavia, il Sotto Comitato CEI SC 31J ha precisato che tali documenti rappresentino un utile riferimento, per le metodologie scientifiche in esse contenute, relativamente alle parti non in contrasto con la nuova edizione della Norma CEI EN 60079-10-1:2016-11, nell'ambito delle scelte affidate al valutatore/classificatore [12].

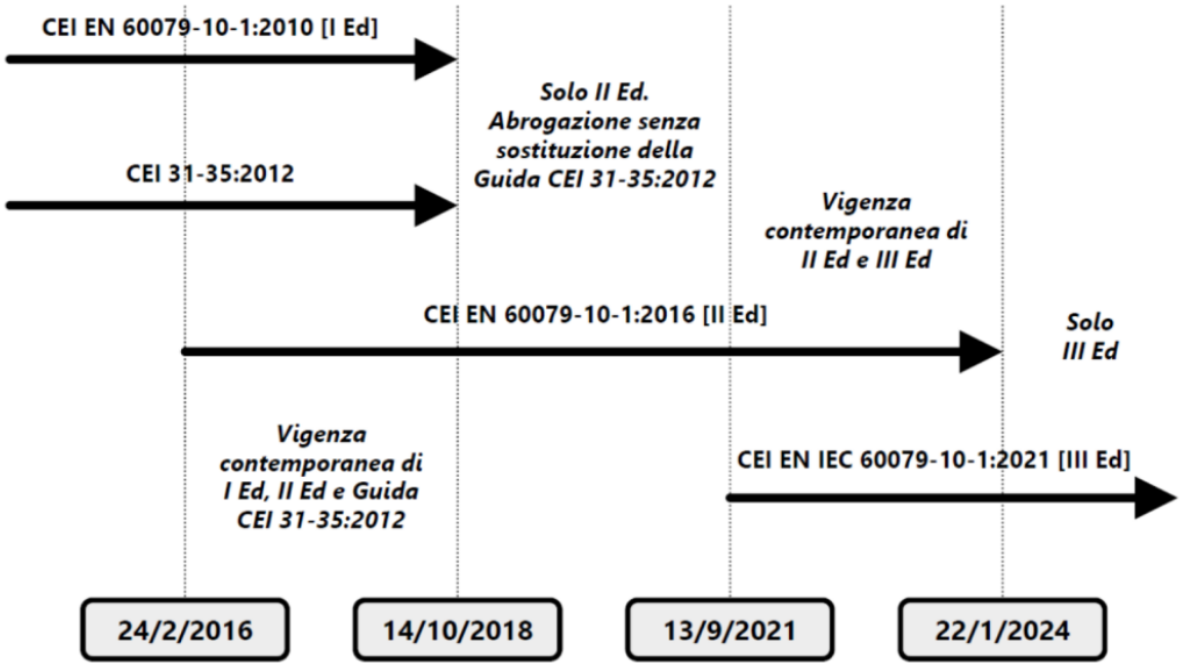


Figura 13: Periodo di validità delle varie edizioni della norma CEI EN 60079-10-1 [18]

4.3.2 Norma CEI EN 60079-10-1:2016

In seguito all'introduzione della prima edizione, molti Paesi emisero delle linee guida nazionali per l'applicazione e la contestualizzazione della norma. Al fine di armonizzare tali approcci, l'IEC e il CENELEC decisero di sviluppare un nuovo standard internazionale, recepito in Italia come CEI EN 60079-10-1:2016. Questa edizione costituisce una rivisitazione sostanziale dello standard di riferimento, con una struttura completamente riorganizzata e suddivisa in più sezioni.

Gli aggiornamenti più importanti riguardano:

- sostituzione del LEL e del UEL con i limiti inferiore e superiore di infiammabilità (LFL, UFL);
- eliminazione del concetto di volume ipotetico di atmosfera esplosiva, V_z, precedentemente utilizzato per stimare il grado di ventilazione, poiché non rappresentativo di fenomeni fisici reali;
- introduzione di diversi metodi per eseguire la classificazione delle zone, come l'uso di standard nazionali (come API RP 505, NFPA 497) o regolamenti per specifiche industrie (come IP15 o IGEM/SR/25). Inoltre, viene indicato il possibile utilizzo di metodi semplificati e/o una combinazione di metodi;
- approfondimento della definizione dei diversi stati fisici (gas, gas liquefatto e liquido infiammabile) e del loro comportamento in caso di emissione, che ha comportato delle modifiche per calcolo della portata di emissione;
- revisione del concetto di ventilazione, con l'integrazione dei parametri di dispersione e di diluizione del gas nell'ambiente;
- il concetto di "concentrazione di fondo" ha assunto molta più importanza, soprattutto quando si tratta di un'ambiente chiuso;
- aggiunta di informazioni sul tipo di emissione (a getto o diffusivo) e sul funzionamento della ventilazione in spazi chiusi, inserendo nuove formule per il calcolo della portata di ventilazione dovuta al vento o al gradiente di temperatura;
- ampliamento della parte applicativa, con nuovi esempi di classificazione delle zone e allegati specifici per nebbie infiammabili e idrogeno.
- inserimento di nomogrammi logaritmici utili a determinare sia la tipologia di zona a rischio di esplosione sia la sua estensione, in funzione delle condizioni operative.

La norma CEI EN 60079-10-1:2016 si presenta come uno standard autonomo e immediatamente applicabile, a condizione che siano note le equazioni di emissione riferite ad ogni scenario e reperibili nella letteratura tecnica [18]. I calcoli eseguiti seguendo questo nuovo standard hanno comportato zone ATEX più piccole rispetto a prima, soprattutto negli ambienti aperti.

La norma CEI EN 60079-10-1:2016 è suddivisa in nove capitoli a cui si aggiungono dodici allegati, indicati con le lettere dell'alfabeto. I primi quattro capitoli sono di carattere introduttivo e generale: essi specificano il campo di applicazione, i riferimenti normativi, le definizioni e gli obiettivi della classificazione. Nel quinto capitolo vengono illustrati i metodi per eseguire la classificazione, mentre nel sesto si approfondiscono i concetti di emissione e di ventilazione. I capitoli sette e otto trattano rispettivamente la tipologia e l'estensione delle zone pericolose. Infine, l'ultimo capitolo fornisce le indicazioni necessarie per redigere i documenti tecnici.

4.4 Principali modifiche introdotte nel 2021

Il 23 gennaio 2024 è entrata in vigore la terza edizione della norma CEI EN 60079-10-1, pubblicata nel 2021. Questo aggiornamento ha avuto un impatto significativo sulla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione, con lo scopo di renderla più accurata. Oltre ad alcuni adeguamenti editoriali e all'aggiornamento di note alle definizioni, vengono elencate di seguito le principali modifiche.

4.4.1 Campo di applicazione

Nell'elenco delle esclusioni dal campo di applicazione della norma è stato rimosso il punto e), relativo alle applicazioni commerciali e industriali per l'utilizzo di gas a bassa pressione. Infatti, è stato ritenuto che le applicazioni industriali, indipendentemente dalla tipologia, dovessero rientrare nel campo di applicazione della norma e sono trattate nel capitolo dedicato all'utilizzo di codici industriali e normative nazionali. L'articolo 5.3.2, tuttavia, precisa che in molti casi la valutazione può portare a una classificazione di zona non pericolosa o di estensione trascurabile.

4.4.2 Guasto catastrofico

Nell'elenco delle definizioni è stato eliminato l'articolo 3.7.3, che chiarisce il termine di guasto catastrofico, per consentire un'integrazione più completa delle informazioni. Il concetto viene trattato nell'articolo 4.5, dove si esplica che i guasti catastrofici devono essere prevenuti e che quelli ragionevolmente inaspettati non devono essere considerati nella classificazione delle aree pericolose. Inoltre, si sottolinea che la probabilità di tali guasti dovrebbe essere ridotta mediante un'adeguata ispezione, progettazione, gestione e manutenzione degli impianti. [5]

4.4.3 Zona di estensione trascurabile (NE)

È stato introdotto l'articolo 4.4.2, dedicato alle zone NE, che definisce criteri integrativi per la loro classificazione. Ora per classificare una zona come NE occorre considerare i seguenti fattori:

- l'accensione dell'atmosfera esplosiva non provoca danni dovuti all'onda di sovrappressione e/o causata dalla proiezione di oggetti, ad esempio vetri rotti di finestre;
- l'accensione dell'atmosfera esplosiva non produce calore sufficiente a causare danni e/o un incendio ai materiali circostanti.
- per i gas distribuiti a pressioni superiori a 1.000 kPag (10 barg), è necessario considerare una valutazione del rischio specifica;
- la classificazione come zona NE non può essere applicata ai gas distribuiti a pressioni superiori a 2000 kPag (20 barg), a meno che non sia dimostrato diversamente da una specifica valutazione del rischio. [5]

4.4.4 Volume di diluizione

È stata inserita la Figura 1 (riportata in Figura 6 nella presente tesi), relativa al volume di diluizione per illustrare la relazione tra quest'ultimo e l'area pericolosa. Normalmente, l'area pericolosa risulta essere maggiore del volume di diluizione.

4.4.5 Allegato B

Il diagramma di flusso riportato in Figura B.1 (Figura 5 nella presente tesi), che illustra la natura generale delle differenti modalità di emissione, è stato aggiornato. Inoltre, le equazioni B.6, B.7 e B.8, relative alla velocità di evaporazione da pozza di liquido, sono state adattate in conformità con le modifiche apportate alla fonte bibliografica.

La Figura B.2 è basata sull'equazione B.8. Tenendo conto della modifica e di una velocità di ventilazione pari a 0,25 m/s è stata aggiornata anche la Figura B.2, che raffigura la portata di evaporazione volumetrica dei liquidi. Tale dato viene determinato moltiplicando il valore dell'ordinata del grafico con l'area effettiva della superficie della pozza.

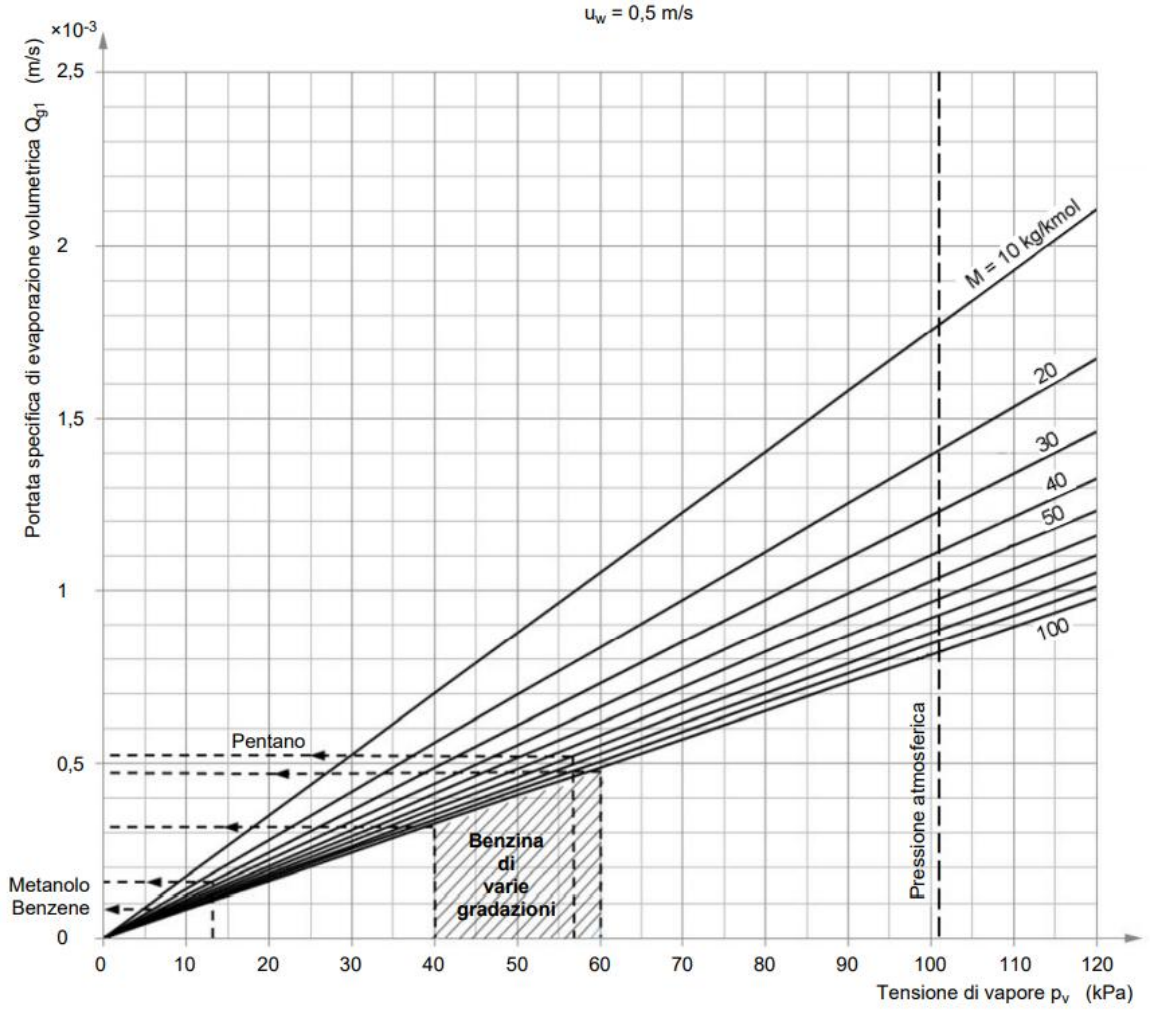


Figura 14: Figura B.2 della seconda edizione della norma [19]

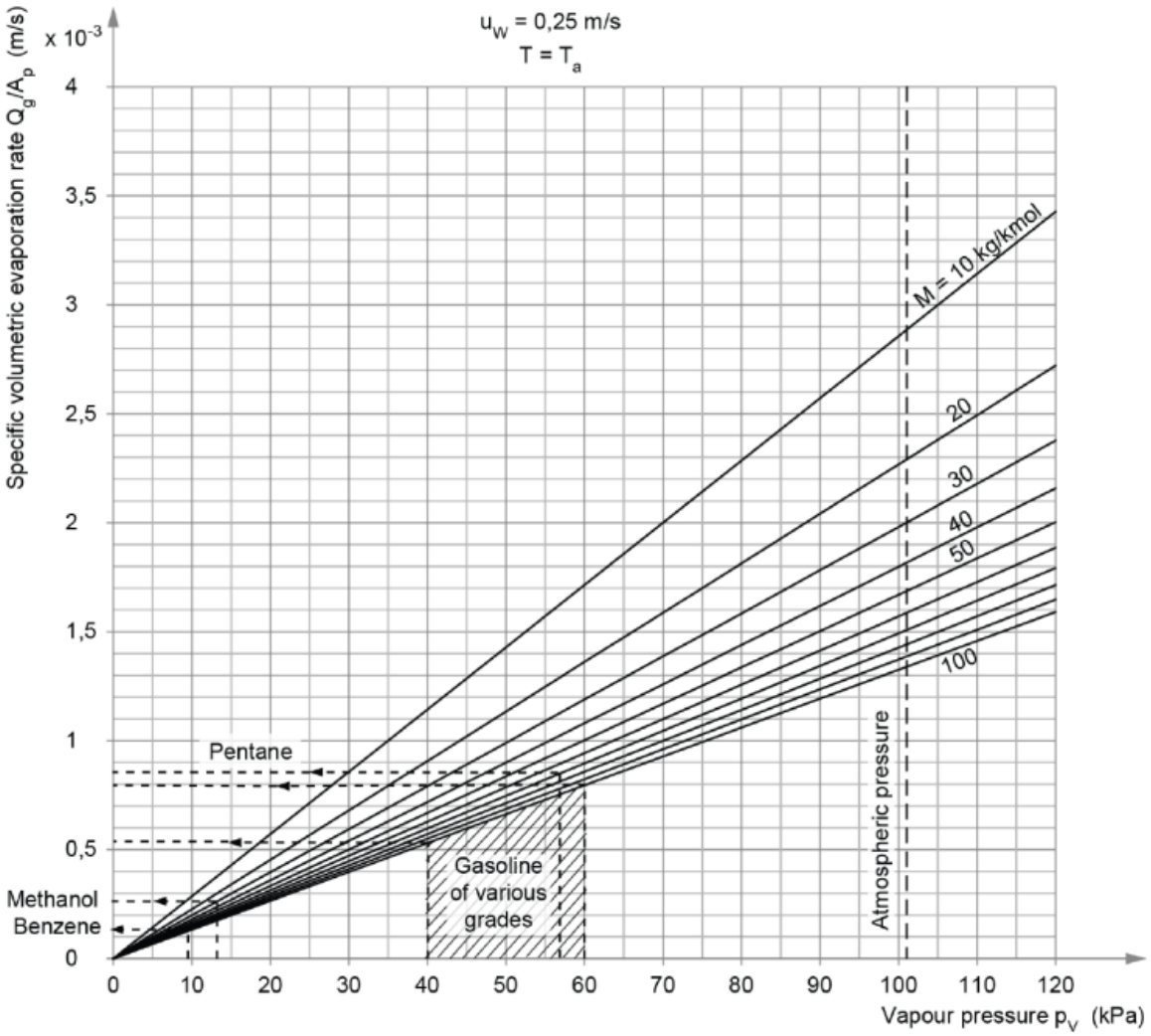


Figura 15: Figura B.2 della terza edizione della norma [5]

4.4.6 Allegato C

La tabella C.1, che riporta le velocità indicative di ventilazione esterna, è stata ristrutturata, ma i valori riportati non sono cambiati. Il fattore di sicurezza k è stato eliminato e cancellato dall'ascisse del nomogramma di Figura C.1 (riportata in Figura 7 della presente tesi). Inizialmente, il fattore k era stato introdotto come coefficiente di sicurezza aggiuntivo relativo nella determinazione dell'LFL per le sostanze infiammabili, in particolare per le miscele di gas e vapori. Nella terza edizione della norma, tuttavia, sulla base della derivazione del nomogramma C.1, tale coefficiente è stato considerato superfluo. Di conseguenza, la Figura C.1 non include un fattore di sicurezza specifico: spetta all'utente determinare, in base dell'applicazione e a eventuali fattori di sicurezza applicati ad altri parametri utilizzati nella valutazione, un fattore adeguato. [5]

Le equazioni C.2, C.3, C.4, C.5, C.6, impiegate per il calcolo della ventilazione naturale, sono state aggiornate in conformità alla norma BS 5925:1991 (Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation). Invece, l'equazione C.7 è stata eliminata. In seguito alla modifica all'equazione C.4, è stata modificato anche l'asse ascisse del grafico

riportato nella Figura C.6, che rappresenta la portata volumetrica di aria nuova per m^2 di area effettiva, equivalente, dell'apertura.

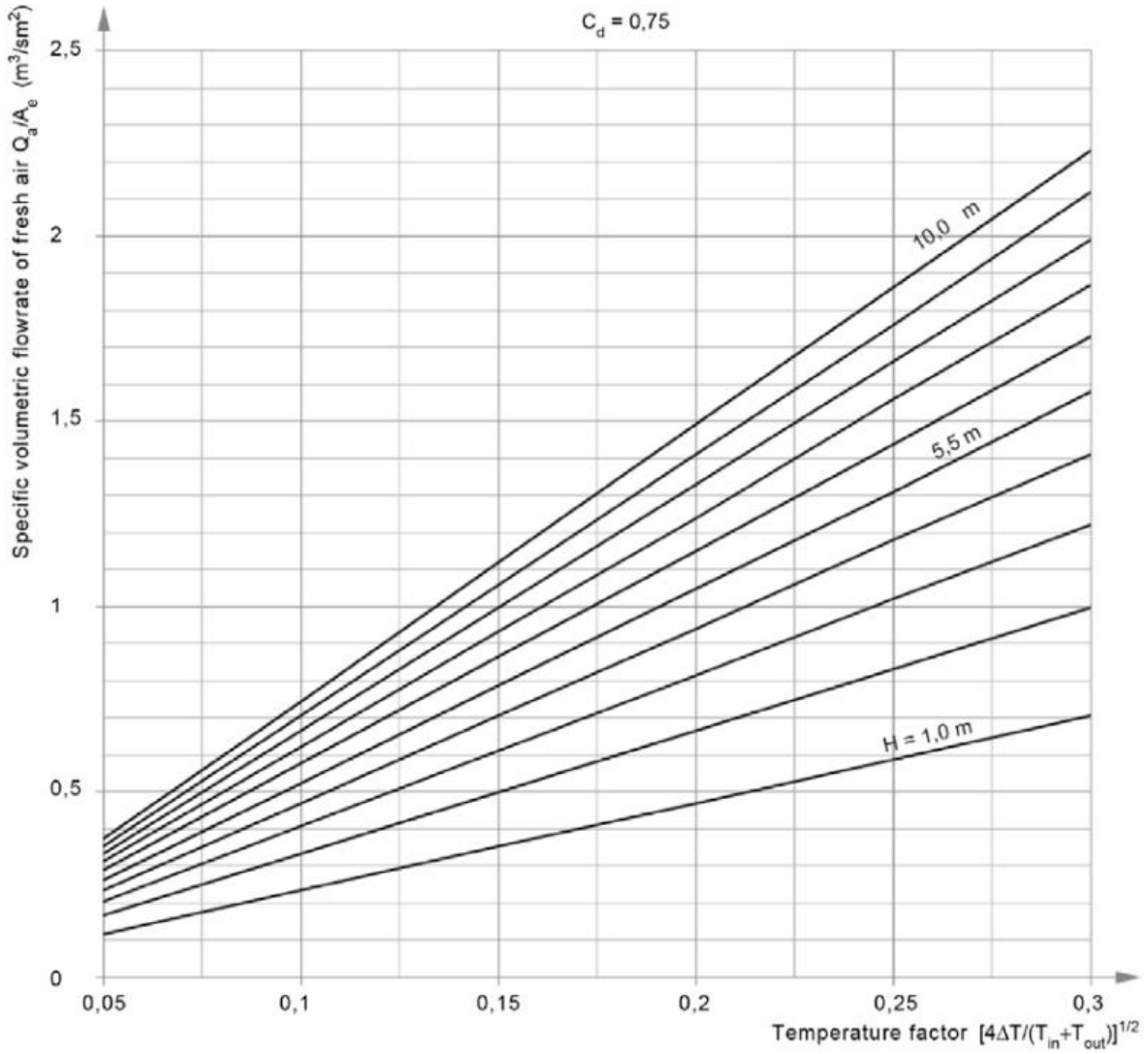


Figura 16: Figura C.6 aggiornata [5]

4.4.7 Allegato D

Il fattore di sicurezza k è stato eliminato e cancellato dall'asse delle ascisse del nomogramma riportato in Figura D.1 (Figura 8 nella presente tesi), per le stesse ragioni per le quali era stato rimosso dall'allegato C. Inoltre, sono state introdotte nuove limitazioni all'uso del nomogramma D.1, impiegato per la stima delle distanze pericolose:

- non deve essere utilizzato in ambienti interni con media e bassa diluizione;
- non è affidabile per scenari di piccola scala;
- non deve essere utilizzato in caso di zona NE;
- non è consentita l'estrapolazione delle curve oltre l'area del grafico mostrata;
- l'impiego della curva "getto" deve essere effettuato con cautela, poiché molti casi potrebbero essere meglio rappresentati dalla curva "dispersiva".

4.4.8 Allegato E

L'allegato E presenta diversi esempi di classificazione dei luoghi pericolosi. Le modifiche apportate alla norma hanno inciso sulla classificazione, rendendo necessaria una revisione e un aggiornamento degli esempi riportati.

Esempio 1

Questo esempio riguarda una normale pompa di tipo industriale, dotata di tenuta meccanica (diaframma), installata a livello del suolo e posizionata all'aperto, che utilizza un liquido infiammabile. Sono state effettuate alcune correzioni ai dati di partenza, tuttavia l'estensione della zona ATEX non ha subito variazioni poiché, in origine, era già stato adottato un coefficiente di sicurezza k pari a 1. Invece, sono state aggiornate le seguenti figure:

- Figura E.1, relativa al grado di diluizione;
- Figura E.2, che mostra il grafico impiegato per la determinazione dell'estensione della zona pericolosa;
- Figura E.3, che riporta la classificazione della zona pericolosa.

Esempio 2

Il secondo esempio tratta una pompa analoga al primo esempio, installata al livello del terreno ma collocata al chiuso, e anch'essa utilizza un liquido infiammabile. Nella seconda edizione della norma il coefficiente di sicurezza k era pari a 0,5, in considerazione dell'elevata incertezza relativa al valore di LFL. Con la sua eliminazione e a seguito della revisione dei dati di densità del gas e di portata di emissione del liquido, la caratteristica di emissione volumetrica è passata da 0,2 m^3/s a 0,099 m^3/s. Inoltre, la disponibilità di ventilazione è stata riclassificata da "buona" a "adeguata", per tener conto delle condizioni ambientali più gravose.

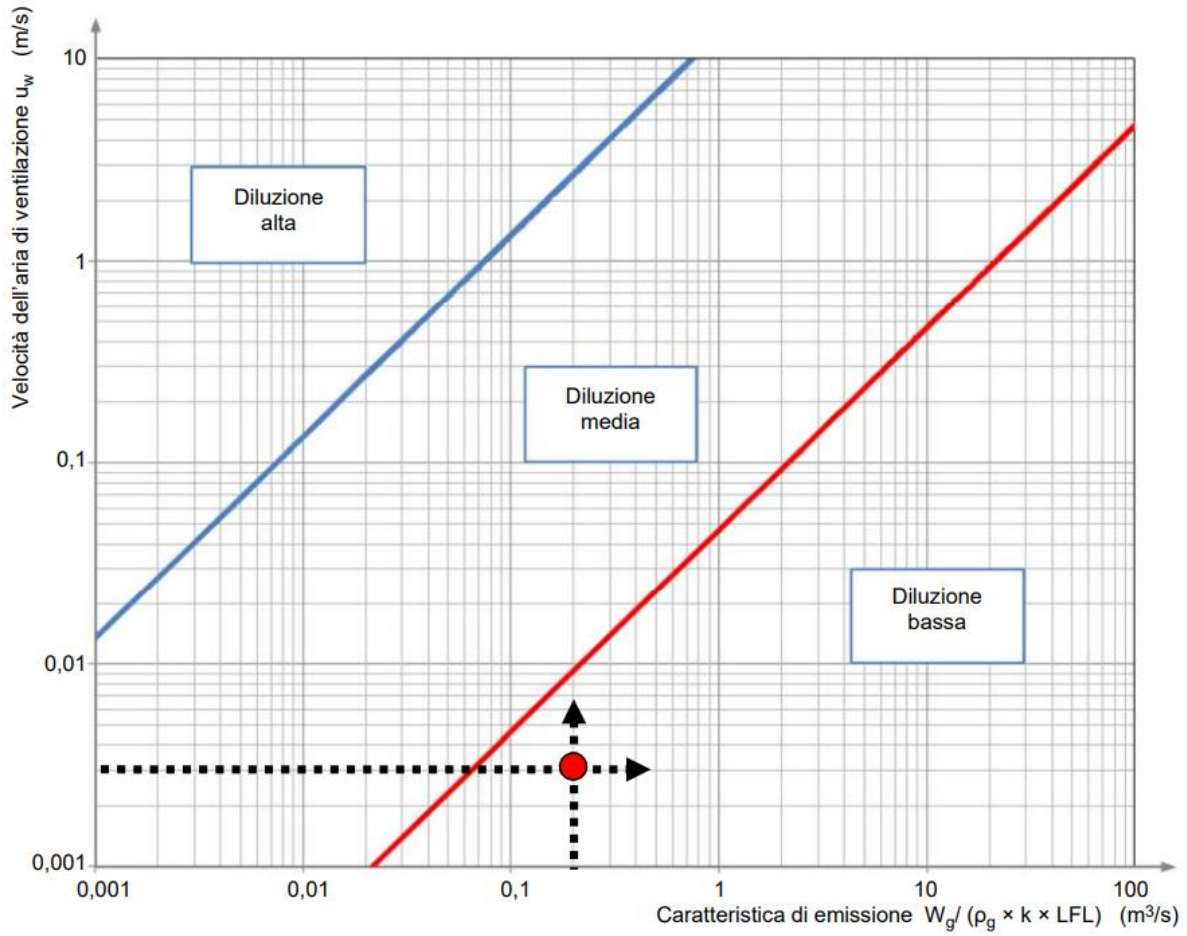


Figura 17: Figura E.4 che riporta il grado di diluizione CEI EN 60079-10-1:2016 [19]

In questo caso, la procedura per la stima del grado di diluizione mediante il diagramma non risulta necessaria perché, nello spazio chiuso, la concentrazione di fondo è maggiore della concentrazione critica ($X_b > X_{crit}$). Così, il grado di diluizione sarebbe stato comunque dichiarato basso. La Figura E.4 conferma appunto tale valutazione [5]: dal grafico si può osservare che, avendo variato la caratteristica di emissione volumetrica, il punto rappresentativo del grado di diluizione si è avvicinato alla retta di separazione tra le zone di grado di diluizione media e bassa, pur mantenendo un grado di diluizione basso.

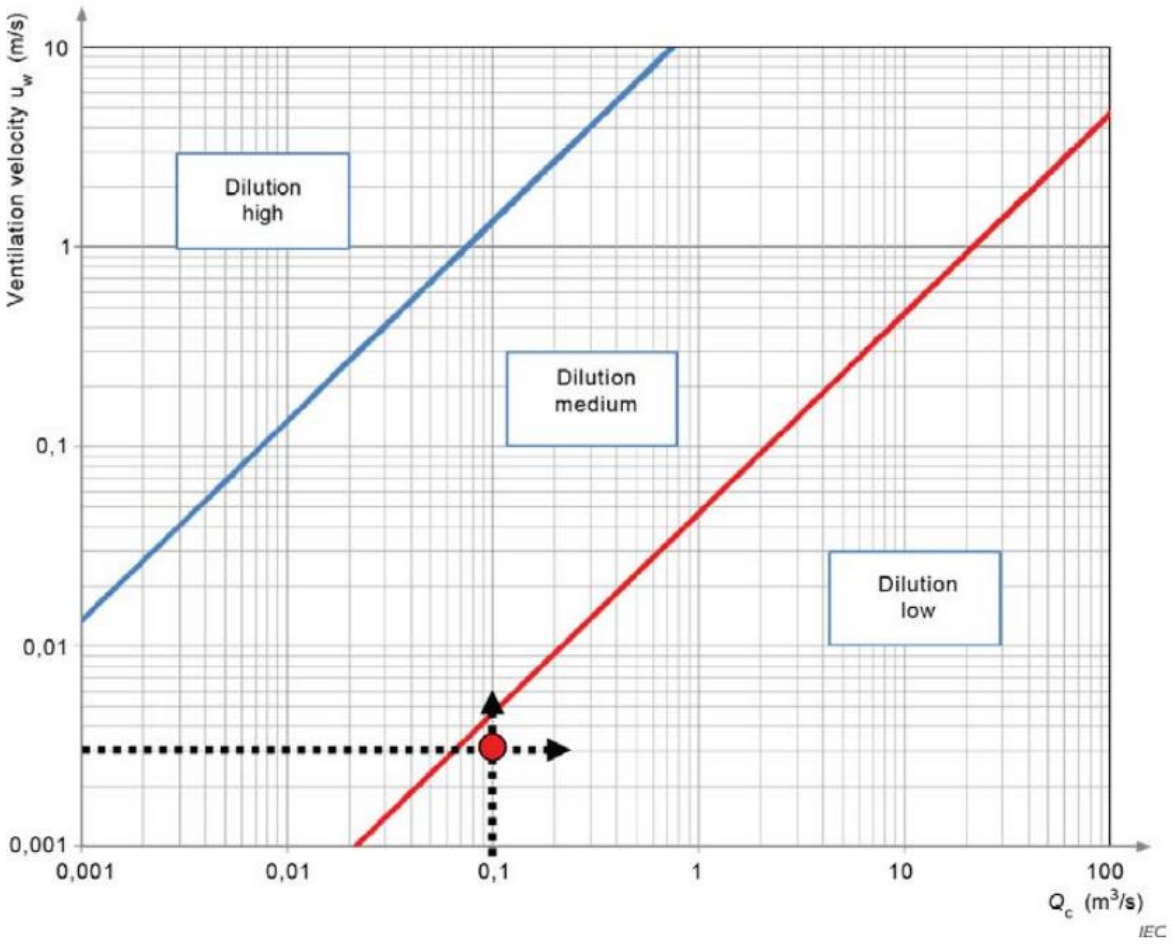


Figura 18: Figura E.4 di BS EN CEI 60079-10-1:2021 [5]

È stato ritenuto che l'esempio facesse riferimento a un ambiente chiuso di dimensioni relativamente ridotte, in cui la concentrazione di fondo risulta essere il doppio di quella critica. Inoltre, il tempo necessario per raggiungere la concentrazione critica è significativo, pari a quasi otto ore. Non vi sono pertanto motivi per individuare una zona verticale o una zona 2 successiva alla zona 1. [5] Il grafico impiegato per valutare l'estensione della zona pericolosa è stato rimosso. Qualora la portata dell'aria di ventilazione fosse migliorata, il grado di diluizione potrebbe essere classificato come "medio" e l'area pericolosa potrebbe essere una zona 2 anziché una zona 1. [5]

Esempio 3

L'esempio riporta il caso di un'emissione di vapore da una valvola di respiro installata all'aperto su un recipiente di processo. Vengono considerati due gradi di emissione, corrispondenti a due operazioni diverse: il riempimento del contenitore di processo e la rottura del dispositivo di tenuta.

I dati di densità del gas e la caratteristica di emissione volumetrica relativa al riempimento del contenitore sono stati corretti. Inoltre, sono state aggiornate le figure relative al grado di diluizione e all'estensione delle zone pericolose. Tuttavia, i risultati ottenuti dai grafici non

sono variati perché nella seconda edizione della norma era già stato considerato un coefficiente di sicurezza k pari a 1.

Esempio 4

Il quarto esempio riporta il caso di una valvola di controllo posizionata in un luogo congestionato, montata su un insieme di tubazioni di processo, di tipo chiuso, che trasporta gas infiammabile. I valori di densità del gas e di portata di emissione sono stati corretti. Il coefficiente di sicurezza k pari a 0,8 è stato eliminato, con conseguente variazione della caratteristica di emissione volumetrica che è passata da 0,22 m^3/s a 0,162 m^3/s.

Le figure relative al grado di diluizione e all'estensione della zona sono state aggiornate, ma i. valori dell'estensione della zona non hanno subito modifiche. In aggiunta, è stato specificato che, siccome il grafico non è valido per valori inferiori a 1m, allora la distanza minima della zona ATEX deve essere assunta pari a 1m. Qualora fosse necessario un ulteriore miglioramento dell'estensione di questa zona, è necessario ricorrere a una metodologia di valutazione alternativa. [5]

Esempio 5

Questo esempio si riferisce a un insieme di tubazioni di processo, di tipo chiuso, posizionato al chiuso, che trasporta gas infiammabile. [5] Sono stati aggiornati i dati relativi alla densità del gas, alla portata di emissione unitaria e alla portata volumetrica unitaria per i gradi di emissione continuo e secondo. Inoltre, sono variati i dati della dimensione dell'involucro, della portata d'aria e della velocità dell'aria. La disponibilità dell'aria, classificata precedentemente come "buona", è stata declassata a "adeguata".

Per ciascun tipo di sorgente è stata modificato il valore della concentrazione di fondo e il coefficiente di sicurezza k è stato cancellato, con conseguente variazione del valore della caratteristica di emissione volumetrica. Il tempo richiesto per raggiungere la concentrazione critica è passato da 0,57 a 1,23 ore.

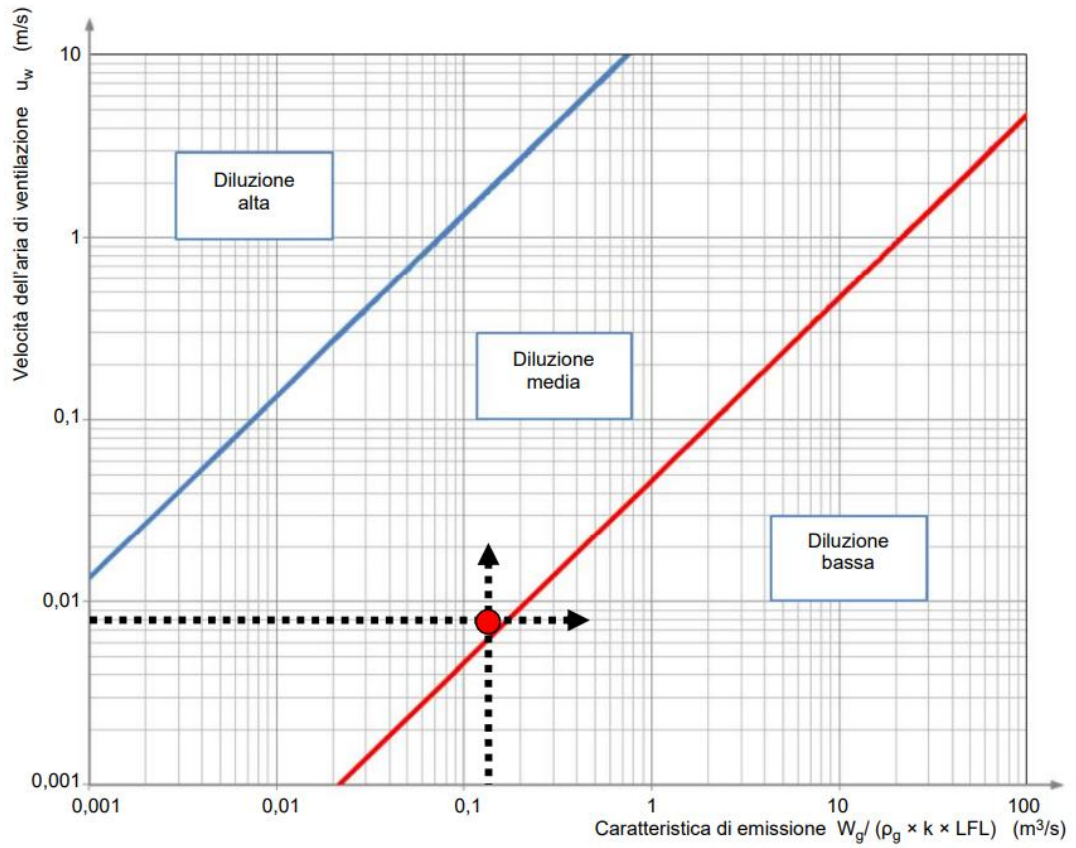


Figura 19: Figura E.12 della norma CEI EN 60079-10-1:2016 [19]

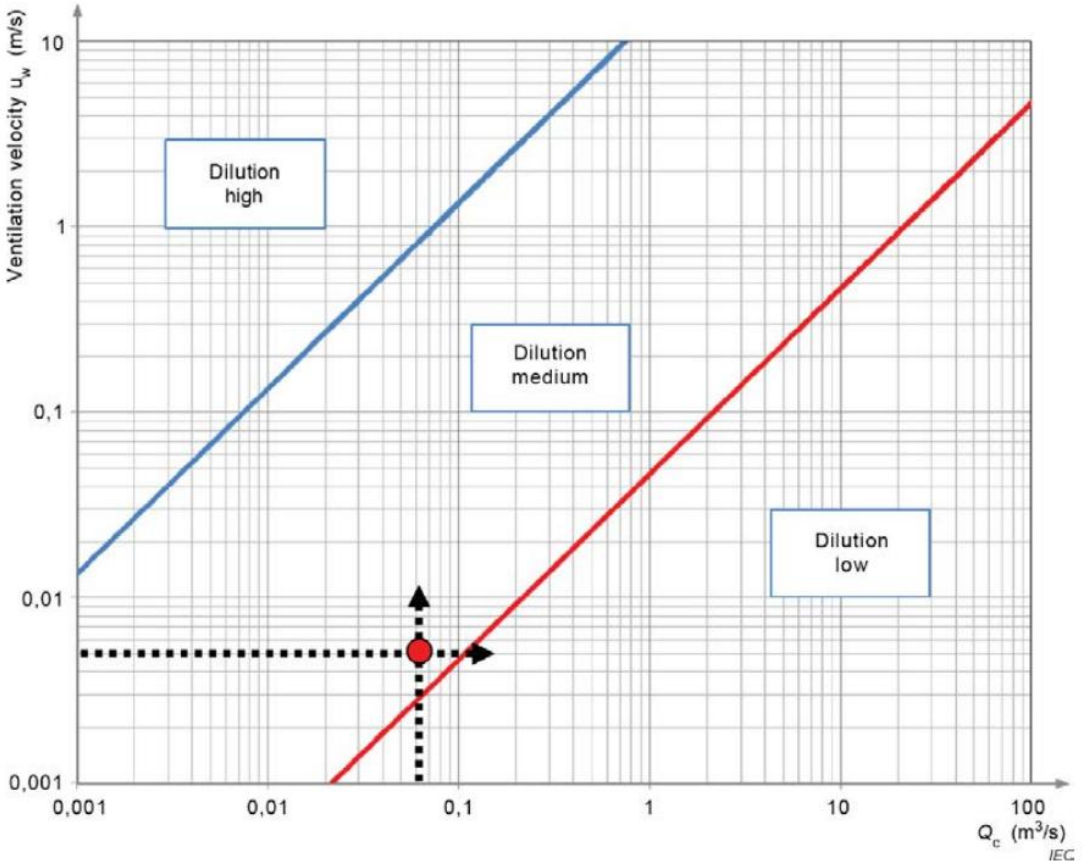


Figura 20: Figura E.11 della norma BS EN IEC 60079-10-1:2021 [5]

A seguito della variazione della velocità dell'aria e della caratteristica di emissione volumetrica, il punto rappresentativo nel diagramma si è spostato leggermente verso il basso e a sinistra. In questo caso, però, la determinazione del grado di diluizione non risulta necessaria perché nello spazio chiuso, la concentrazione di fondo è maggiore della concentrazione critica. Di conseguenza, il grado di diluizione sarebbe stato comunque classificato come "basso".

La Fig. E.11 (riportata in Figura 20 nella presente tesi) mostra che il punto di intersezione è all'interno dell'area di "diluizione media", ma in prossimità della linea di divisione. Permettendo margine di incertezza della metodologia, tale risultato conferma la validità della valutazione precedente.

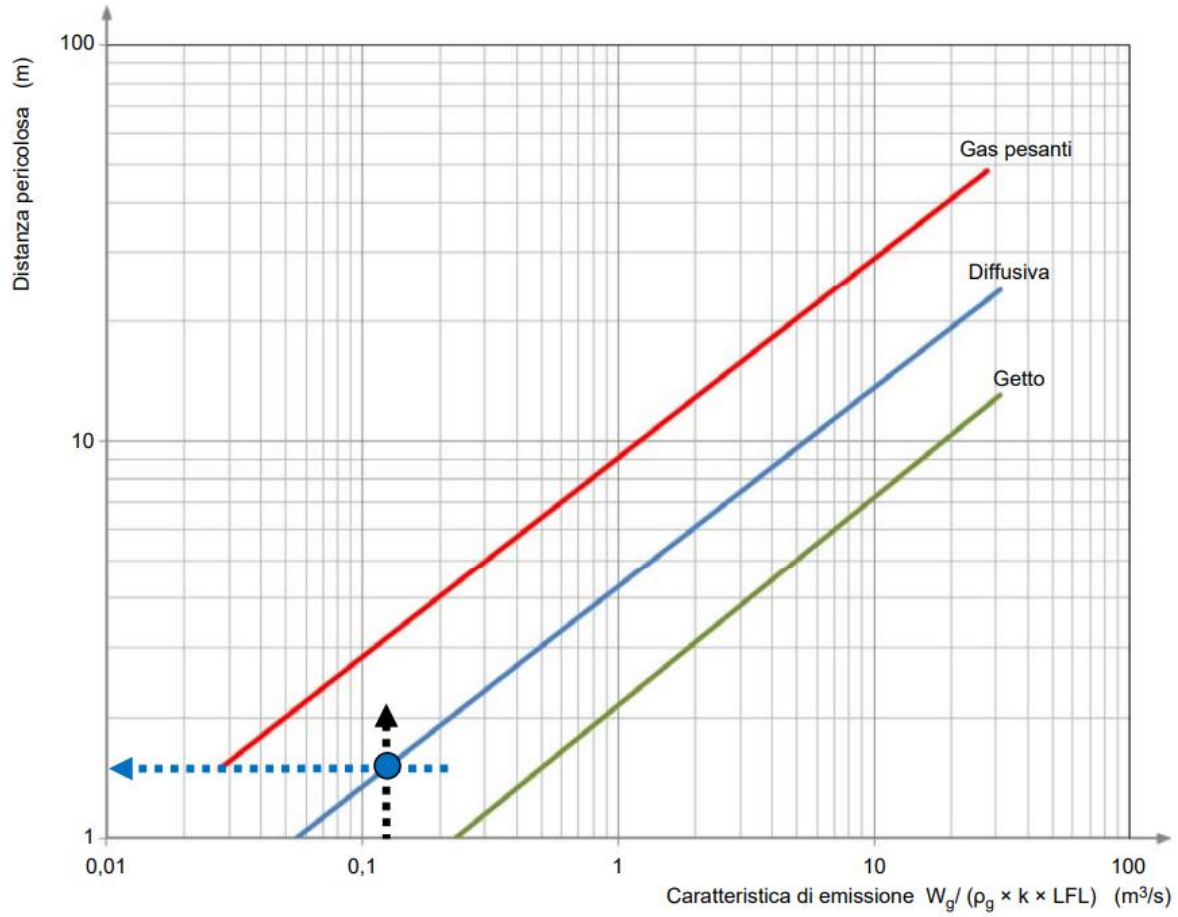


Figura 21: Figura E.13 della seconda edizione della norma [19]

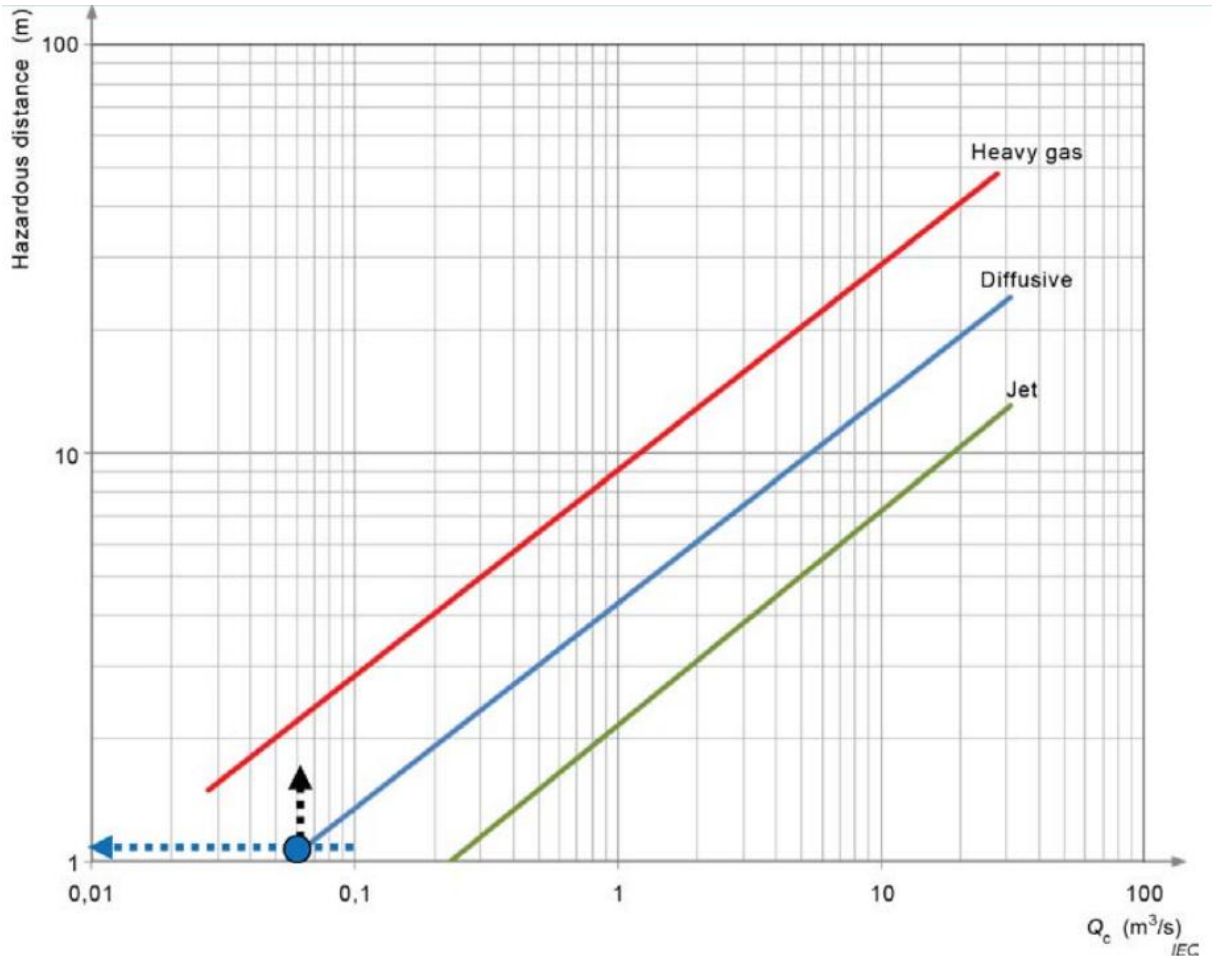


Figura 22: Figura E.12 della terza edizione della norma [5]

Dai grafici si può notare come l'estensione della zona sia diminuita, passando da 1,5 a 1m.

4.4.9 Allegato G, J e K

È stato aggiornato l'allegato G, relativo alle nebbie infiammabili, con l'aggiunta di ulteriori informazioni esplicative. In particolare, viene specificato che la valutazione del rischio associato alla presenza di nebbia deve basarsi su specifiche esperienze di settore e specifiche normative, siccome la nebbia infiammabile è soggetta a numerose incertezze. Inoltre, qualora venga accertata la presenza di un rischio di nebbia, questa non dovrebbe essere classificata come area pericolosa di zona 0, 1 o 2, poiché i tipi di protezione applicati per queste zone non sono richiesti per i rischi di nebbia. A tal proposito, si rimanda alla norma IEC 60079-14. Nel disegno dell'area, il potenziale rischio di nebbia dovrebbe essere distinto, da altre aree pericolose associate a gas e vapori, ad esempio mediante un'adeguata marcatura.

L'allegato J riporta delle equazioni di supporto alla classificazione dei luoghi pericolosi. A seguito della rimozione del coefficiente di sicurezza k, queste equazioni sono state aggiornate. Inoltre, nell'equazione J.2 è stato introdotto il fattore di inefficienza della ventilazione, e di conseguenza è stato rivisto anche l'esempio esplicativo correlato.

La tabella K.1 dell'allegato K, che riporta i codici industriali e standard nazionali, è stata aggiornata come seguito:

- inserimento dei documenti TRBS 3151/TRGS 751, TRGS 509 e TRGS 510 per la Germania;
- rimozione delle guide CEI 31-35 e la CEI 31-35/A per l'Italia, nonostante fosse già state abrogate con la seconda edizione della norma;
- aggiunta di NFPA 496 per gli Stati Uniti;

Infine, nella bibliografia è stata ampliata con nuove voci di riferimento.

5. Caso studio

Il presente capitolo si pone l'obiettivo di analizzare le conseguenze pratiche dell'aggiornamento della norma CEI EN 60079-10-1 sulla classificazione delle zone con pericolo di esplosione. Tramite un caso studio reale, si vuole determinare come le modifiche introdotte nella terza edizione della norma incidano sull'estensione e della tipologia delle zone ATEX.

La nuova edizione della norma CEI EN 60079-10-1 ha apportato delle modifiche significative alla metodologia per la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione dovuto alla presenza di gas infiammabili. Di conseguenza, numerosi datori di lavoro hanno richiesto una revisione delle valutazioni esistenti per adeguarsi alle nuove disposizioni.

Al fine di analizzare l'impatto dell'aggiornamento normativo, ho personalmente partecipato alla revisione della classificazione delle zone ATEX in collaborazione con ARIA S.r.l. (Analisi dei Rischi Industriali e Ambientali), società di servizi che si occupa di analisi dei rischi di processo e di ingegneria della sicurezza e dell'ambiente. Il caso studio ha riguardato un impianto dedicato alla produzione di carta.

Le cartiere presentano potenziali rischi di formazione di atmosfere esplosive sia per l'impiego di materiali a base di legno che possono generare polveri combustibili sia per l'utilizzo di prodotti chimici infiammabili che possono creare vapori infiammabili. La combinazione di tali sostanze con la presenza di macchinari complessi e fonti di calore può originare incendi o esplosioni, soprattutto nel caso di scarsa manutenzione.

Le principali cause di incendi nelle cartiere sono:

- l'assenza o l'obsolescenza dei sistemi di protezione contro le esplosioni;
- la carente manutenzione delle apparecchiature;
- l'impiego di personale non qualificato o la mancata supervisione delle aziende appaltatrici;
- il deterioramento delle apparecchiature;
- il mancato rispetto delle norme di sicurezza. [20]

Pur rispettando le norme tecniche, il rischio di incidente nelle cartiere non può essere eliminato dato l'utilizzo di apparecchiature complesse e di materie che possono formare atmosfere esplosive. Nonostante ciò, è possibile ridurre al minimo il rischio e le conseguenze mediante una corretta classificazione ATEX e scelta delle misure di prevenzione e protezione.

La cartiera presa in esame si occupa della produzione di carte speciali destinate alla filtrazione nell'ambito automotive e industriale, all'etichettatura per il settore alimentare e per i beni di consumo e di materiali adesivi per l'edilizia. L'impiego di solventi, resine e additivi infiammabili nei processi di impregnazione e di rivestimento rende tali impianti soggetti alla classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione.

Nei successivi paragrafi si procede alla delineazione dell'impianto e alla descrizione della classificazione delle zone ATEX, considerando sia la seconda che la terza edizione della norma CEI EN 60079-10-1. Il capitolo si conclude con la comparazione diretta dei risultati delle due classificazioni, atta a dimostrare gli effetti diretti dell'aggiornamento normativo. L'analisi di un caso reale permette di evidenziare in modo concreto le differenze tra le due versioni della classificazione, rappresentando così un'applicazione pratica che integra gli esempi riportati nell'Allegato E della norma.

5.1 Descrizione dell'impianto

Al fine di comprendere la classificazione delle zone pericolose, è indispensabile conoscere la struttura dell'impianto e i principali processi industriali coinvolti. I reparti e le apparecchiature vengono indicati con nomi convenzionali per motivi di riservatezza.

5.1.1 Il sito produttivo

Il sito produttivo si estende su un'area di dimensioni medio-grandi e comprende diversi reparti produttivi, depositi di materie prime e prodotti finiti, oltre a impianti ausiliari e aree di servizio. L'impianto è dedicato alla realizzazione di diversi prodotti a base di carta, e il processo produttivo può essere suddiviso in tre fasi principali:

- la preparazione dell'impasto;
- la formazione del foglio di carta
- la finitura e l'allestimento finale.

Le fibre impiegate possono essere naturali, come la cellulosa vergine, o sintetiche o fibre di vetro, in base al prodotto che si vuole ottenere.

Durante la fase iniziale, le fibre vengono miscelate con acqua all'interno dei "pulper" (spappolatori). L'impasto viene poi sottoposto a lavorazioni meccaniche e trattamenti chimici, depurato e ulteriormente diluito. Nella fase successiva l'impasto viene steso sulla tela di formazione della macchina continua per produrre il foglio di carta. Durante il movimento della tela, l'acqua presente viene drenata consentendo la formazione del foglio di carta, il quale sarà successivamente sottoposto alla sezione presse, composta da coppie di cilindri contrapposti che servono a comprimere il foglio per rimuovere l'acqua residua.

Dopo la fase di asciugatura, può seguire un'operazione di calandratura o impregnazione in base al prodotto finale desiderato. Durante la fase di impregnazione possono essere utlizzati resine e addditivi dispersi in metanolo. Segue un'ulteriore fase di asciugatura e l'allestimento finale del prodotto.

La revisione della classificazione delle zone ATEX ha interessato solo alcune aree del sito produttivo, dove sono presenti sostanze infiammabili in grado di generare un'atmosfera esplosiva. In particolare, l'analisi ha riguardato:

- Reparto A: dedicato alla miscelazione delle resine, degli additivi, dei solventi e delle polveri. Il solvente utilizzato può essere costituito da metanolo e, in alcuni casi, da

acqua. All'interno del reparto sono presenti diversi recipienti dotati di agitatore destinati alla preparazione delle soluzioni;
- Reparto B: in cui sono presenti serbatoi di stoccaggio;
- Reparto C: specializzato nella preparazione di miscele composte da diverse polveri, che verranno impiegate negli altri reparti;
- Reparto D: dedicato alla preparazione dell'additivo che avviene all'interno di un reattore in cui si miscelano polveri e metanolo.

5.1.2 Apparecchiature

Le principali apparecchiature presenti nei reparti soggetti alla classificazione ATEX sono:

- recipienti dotati di agitatore con diverse capacità;
- serbatoi di stoccaggio;
- tramogge di carico e coclee per la movimentazione delle polveri;
- linee di distribuzione dotate di pompe e valvole di intercettazione;
- linee di estrazione vapori;
- serbatoi di recupero e canali a pavimento per la raccolta di sversamenti;
- reattore per la produzione di additivi.

Inoltre, l'impianto è dotato di un sistema di controllo distribuito che consente di gestire i residui di produzione, Sono anche presenti dei rilevatori di vapori di metanolo che arrestano il processo di lavorazione.

5.1.3 Sostanze infiammabili

Oltre alle polveri combustibili, sono presenti altre sostanze infiammabili da prendere in considerazione per la classificazione ATEX. All'interno dell'impianto viene utilizzato l'acetone, che è un solvente organico incolore, infiammabile e volatile.

Nel reattore del reparto D avviene la miscelazione delle polveri con il metanolo, che provoca una reazione endotermica con un'energia di attivazione relativamente elevata. Per farla avvenire, è necessario riscaldare il composto a un livello di temperatura sufficientemente elevato, ma per motivi tecnologici e di risparmio energetico si utilizza un catalizzatore specifico che permette di diminuire l'energia di attivazione. Il catalizzatore impiegato è un liquido incolore e volatile. Inoltre, è una sostanza pericolosa, in quanto risulta essere tossica, corrosiva e infiammabile e, per questo, deve essere maneggiata con cautela.

Sono state analizzate le reazioni che avvengono nel reattore ed è stato dimostrato che queste non provocano reazioni fuggitive di tipo esotermico. Inoltre, gli apprestamenti per il monitoraggio e controllo della pressione e della temperatura sono tali da garantire le condizioni di sicurezza all'interno dell'impianto durante il processo di produzione dell'additivo.

Dalla descrizione dei reparti è emerso un impiego significativo di metanolo, un composto organico volatile, infiammabile e tossico. La conoscenza delle sostanze utilizzate, delle apparecchiature e del processo produttivo è fondamentale per la corretta applicazione della norma CEI EN 60079-10-1.

5.2 Classificazione secondo la norma CEI EN 60079-10-1:2016

Le sostanze pericolose prese in considerazione per la classificazione ATEX sono: l'alcool metilico (metanolo), l'acetone, il catalizzatore infiammabile e le polveri diciandiammide, esamina, paraformaldeide. La classificazione delle zone pericolose per la presenza di polveri non è oggetto della presente tesi.

5.2.1 Reparto A

Il Reparto A (RA) è stato suddiviso in quattro sotto-ambienti per facilitare la classificazione delle zone ATEX. I sotto-ambienti individuati sono:

- RA01 - miscelazione resine: ambiente chiuso di volume noto, dotato di ventilazione artificiale;
- RA02 - fossi di raccolta: ambiente chiuso coperto da grigliato;
- RA03 - vasca di raccolta degli sversamenti: ambiente chiuso,
- RA04 - esterno: ambiente aperto con ventilazione naturale.

Nel sotto-ambiente RA01 è stata individuata la sorgente SE01, che indica la possibile perdita da flange e giunti filettati presenti sulle tubazioni e di connessione tra le diverse apparecchiature contenute nel Reparto A. Tali perdite potrebbero generare una pozza di area non nota sul suolo. In seguito alla valutazione dell'elevato numero di sorgenti, del volume dell'ambiente abbastanza ridotto e dell'assenza di un presidio fisso da parte degli operatori si è deciso di estendere la zona 2 causata dalla sorgente SE01 all'intero ambiente del locale.

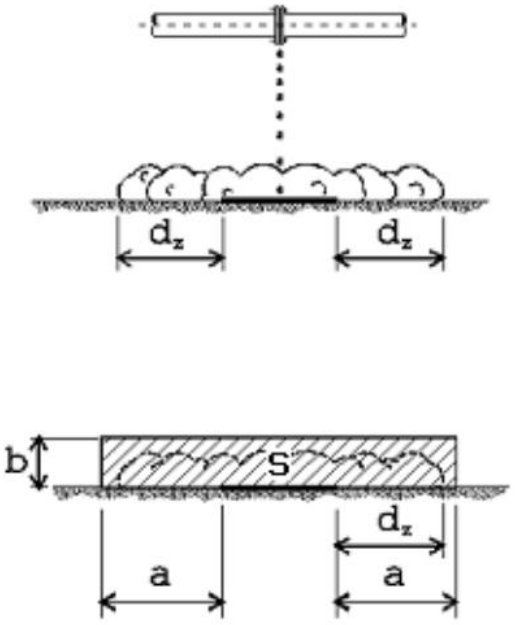


Figura 23: Esempio di emissione da giunzione e relativa zona pericolosa [21]

Sono state considerate altre due possibili sorgenti di emissione. La prima è il grigliato dei fossi di raccolta, ma la zona pericolosa creata risulta essere compresa all'interno di quella generata dalla SE01. L'altra possibile sorgente di emissione è costituita dal bocchettone del fusto di

acetone, che potrebbe generare una zona di tipo 1. Tuttavia, poiché il volume di atmosfera esplosiva generato è inferiore a 10 dm^3, e quindi sotto i limiti di accettabilità riportati all'articolo 5.10.3.5 della guida CEI 31-35:2012, tale sorgente è stata esclusa dalla valutazione.

Il sotto-ambiente RA02 identifica i fossi di raccolta collocati in posizione centrale nel locale e in prossimità dell'ingresso del Reparto A. È stata identificata un'unica sorgente di emissione, la SE03. Essa rappresenta l'eventualità di uno sversamento che viene raccolto nei fossi di raccolta, con la conseguente formazione di una pozza di estensione pari all'intera superficie dei fossi stessi, che risulta essere circa di 16 m^2.

Il sotto-ambiente RA03 corrisponde alla vasca di raccolta degli sversamenti che potrebbero generarsi all'interno del reparto. Anche in questo caso è presente una sola sorgente di emissione, la SE04. Questa rappresenta la pozza che si genera nella vasca di raccolta in seguito allo sversamento. La superficie della pozza risulta essere pari a quella della vasca stessa, ossia poco superiore ai 25 m^2.

Il sotto-ambiente RA04 si riferisce all'area esterna, dove è ubicato lo sfiato di raccolta degli sversamenti. La SE05 si riferisce al possibile rilascio, attraverso lo sfiato, dei vapori infiammabili generati da un'eventuale pozza contenuta nella vasca di raccolta.

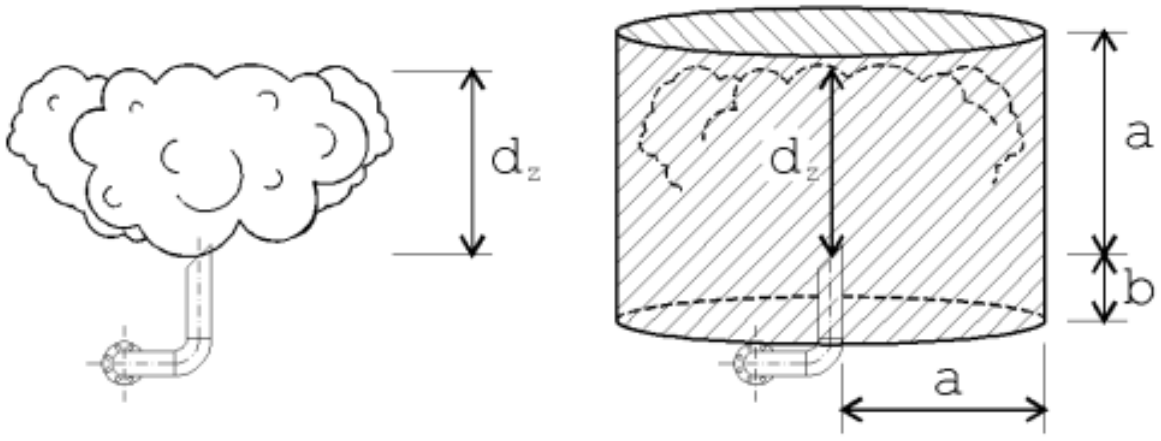


Figura 24: Esempio di zona pericolosa generata da uno sfiato [21]

Tabella 11: Classificazione della Reparto A

Sotto-ambiente	SE	Descrizione SE	Tipo di zona	Quota "a" [m], Quota "b" [m], Area della pozza [m^2]
RA01	01	Perdita di metanolo da giunzione	2	Quota a: 5,5 Quota b: 4,9 Area equivalente della pozza: 11,90
RA02	03	Fossi di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume
RA03	04	Vasca di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume
RA04	05	Sfiato vasca di raccolta	2	Quota a:0,7 Quota b:0,7

5.2.2 Reparto B

Anche nel caso del Reparto B (RB) sono stati individuati dei sotto-ambienti, qui di seguito riportati:

- RB01 - miscelazione resine: ambiente chiuso con volume noto, dotato di ventilazione artificiale;
- RB02 - fossi di raccolta: ambiente chiuso coperto da grigliato.

Nel sotto-ambiente RB01 è stata individuata la sorgente di emissione SE06, che, come la SE01, si riferisce alla perdita da flange e giunti filettati delle tubazioni e di connessione alle diverse apparecchiature presenti nel locale. Analogamente al caso precedente, considerando la quantità delle sorgenti, il volume ambientale relativamente ridotto e l'assenza di presidio fisso da parte degli operatori l'estensione della zona 2 corrisponde all'intero ambiente del reparto. Anche in questo caso, il grigliato dei fossi di raccolta non è stato considerato una possibile sorgente di emissione perché la zona pericolosa generata è compresa all'interno di quella associata alla SE06.

Il sotto-ambiente RB02 indica i fossi di raccolta che si trovano all'interno del Reparto B. La sorgente di emissione si riferisce alla formazione di una pozza all'interno dei fossi in seguito a uno sversamento. L'estensione della pozza è pari all'intera superfice dei fossi stessi, che risulta essere pari a 6,8 m^2.

Tabella 12: Classificazione del Reparto B

Sotto-ambiente	SE	Descrizione SE	Tipo di zona	Quota "a" [m], Quota "b" [m], Area della pozza [m^2]
RB01	06	Perdita da giunzione	2	Quota a: 5,5 Quota b: 4,9 Area equivalente della pozza: 11,90
RB02	07	Fossi di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume

5.2.3 Reparto D

Il Reparto D (RD) è stata suddiviso in due sotto-ambienti:

- RD01 - area vapore: ambiente chiuso con volume pari a 165 m^3, caratterizzato dalla presenza di un lato aperto di superficie 31,2 m^2, che permette una ventilazione di tipo naturale;
- RD02 - area polveri: ambiente chiuso simile al sotto-ambiente RD01.

Il Sotto-ambiente RD01 individua la parte del reparto in cui sono installati il reattore per la produzione dell'additivo, le tubazioni di mandata verso il Reparto A e la tubazione di arrivo dal serbatoio di metanolo. Le sorgenti di emissione individuate corrispondono alle potenziali perdite da flange (SE15) presenti sulle tubazioni di connessione tra le diverse apparecchiature. Considerando il numero di sorgenti, il volume dell'ambiente relativamente ridotto e l'assenza di presidio fisso da parte degli operatori, la zona 2 è estesa all'intero ambiente del locale, analogamente al caso dei reparti dedicati alla preparazione delle resine.

Sono state individuate altre due possibili sorgenti di emissione che possono formare un'atmosfera esplosiva. La prima è il trafilamento della tenuta del disco di rottura, mentre la seconda sono le perdite delle giunzioni della manichetta del fusto del catalizzatore infiammabile. In entrambi i casi, la zona pericolosa generata risulta essere già compresa nella zona pericolosa della SE15.

È presente, inoltre, una terza possibile sorgente di emissione: il bocchettone del fusto del catalizzatore infiammabile. Questa creerebbe una zona di tipo 1, ma il volume di atmosfera esplosiva formata sarebbe inferiore a 10 dm^3. Tale valore è inferiore ai limiti di accettabilità stabiliti all'articolo 5.10.3.5 della guida CEI 31-35:2012 ed è per questo che non viene presa in considerazione nella classificazione.

Tabella 13: Classificazione Reparto D

Sotto-ambiente	SE	Descrizione SE	Tipo di zona	Quota "a" [m], Quota "b" [m], Area della pozza [m^2]
RD01	15	Perdita di metanolo da giunzione (flangia)	2	Quota a: 4,12 Quota b: 3,71 Area equivalente della pozza: 7,67

5.3 Classificazione secondo la norma CEI EN 60079-10-1:2021

Nel 2023, in seguito all'aggiornamento normativo e agli interventi tecnici di miglioramento dell'impianto, la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per presenza di gas, vapori e liquidi infiammabili è stata revisionata. Il compito di revisione della classificazione non è stato affidato ad ARIA Srl, ma a un'altra azienda che fornisce servizi di ingegneria, consulenza e progettazione.

5.3.1 Prima revisione della classificazione

Nel Reparto A (RA01), la riclassificazione della sorgente di emissione dovuta a perdite da giunzioni/flange (SE01) ha determinato una zona 2 di estensione 2,88 m – 0,34 m. In base ai criteri definiti dalla guida CEI 31-35, si è assunta una zona pericolosa di estensione maggiore, a favore della sicurezza: 3 m in orizzontale (quota a) e 1,5 m in verticale (quota b) in corrispondenza della pavimentazione sottostante i singoli contenitori/condutture. Considerato l'elevato numero e la posizione delle sorgenti di emissione, la zona 2 è stata allargata a tutto il locale, fino a un'altezza di 1,5 m dal pavimento.

È stata introdotta una nuova sorgente di emissione, la SE01-bis, che corrisponde alla possibile formazione di una pozza di liquido infiammabile di area di 0,5 m^2 sulla superficie orizzontale di un serbatoio in seguito a piccole perdite o sversamento. La norma CEI EN IEC 60079-10-1:2021 riporta che un grado di diluizione alto può determinare la sussistenza di zone 2NE trascurabili. Ciò nonostante, per garantire sicurezza, la zona è stata classificata di tipo 2 con un'estensione pari a 0,3 m – 0,1 m. Essa si trova in corrispondenza del piano superiore dei serbatoi presenti nel reparto e intorno alle superfici dove si prevede la possibile formazione di piccole pozze di alcool metilico in caso di sversamento. Inoltre, le emissioni in ambiente dovute all'apertura di un bocchettone di ispezione di un serbatoio sono state ritenute trascurabili, siccome la superficie di emissione è decisamente inferiore a 0,5 m^2.

Anche la sorgente SE06 corrispondente alla perdita di giunzioni/flange nel Reparto B (RB) è stata revisionata. È stato stabilito che essa origina una zona 2 di estensione 5,67 m – 1,03 m. In analogia al caso della Reparto A e a favore della sicurezza, la zona pericolosa è stata estesa a tutto il locale, fino a un'altezza di 1,5 m dal pavimento.

Nel Reparto D (RD01) è stata rivista la classificazione riguardante la perdita da giunzione (SE15). La revisione ha determinato una zona 2 di estensione 2,96 m - 0,28 m. Ai fini di garantire un margine di sicurezza e considerando la numerosità delle sorgenti di emissione, la zona 2 è stata estesa a tutta la superficie del locale fino a un'altezza di 0,85 m dal pavimento.

In aggiunta, è stata introdotta una nuova sorgente di emissione, la SE15-bis. Essa rappresenta i fusti contenenti il catalizzatore infiammabile (SE15-bis), collocati su una vasca di raccolta di sversamenti. Una pompa provvede a inviare la sostanza infiammabile ai serbatoi. A favore della sicurezza, lo scenario ipotizzato è la perdita di liquido al di fuori delle vasche di contenimento, con conseguente formazione di una pozza intorno ai fusti. La valutazione ha determinato una zona 2 di estensione 2,36 m – 1,15 m. A fini cautelativi, la zona pericolosa è stata ampliata a 3 m intorno alla vasca di contenimento su cui sono posti i fusti e 1,5 m in verticale.

Tabella 14: Primo aggiornamento della classificazione delle zone ATEX dell'impianto

Sotto-ambiente	SE	Descrizione SE	Tipo di zona	Quota "a" [m], Quota "b" [m],
RA01	01	Perdita di metanolo da giunzione	2	Quota a: 3 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 1,5
	01-bis	Piccola pozza di liquido infiammabile	2	Quota a: 0,3 Quota b: 0,1
RB01	06	Perdita da giunzione/flangia	2	Quota a: 5,67 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 1,5
RD01	15	Perdita da giunzione/flangia	2	Quota a: 2,96 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 0,85
	15-bis	Fusti di catalizzatore infiammabile perdita da raccordo/giunzione	2	Quota a:3 (dalla vasca di contenimento dei fusti) Quota b:1,5

5.3.2 Seconda revisione della classificazione

Nel 2025, ai fini di integrare delle zone pericolose che precedentemente non erano state prese in considerazione, ho preso parte alla revisione della classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione della cartiera redatta dall'azienda ARIA Srl. Siccome la richiesta di valutare le aree

non ancora analizzate è avvenuta dopo l'aggiornamento normativo e ha fornito risultati soddisfacenti, si è ritenuto opportuno rivedere la classificazione già esistente.

Questa attività non ha interessato le sorgenti di emissione già valutate nella prima revisione della classificazione, a parte la sorgente SE15, indicata come SE18 nella seconda revisione della classificazione. Al momento, l'aggiornamento non è ancora stato inserito all'interno del Documento di protezione contro le esplosioni.

Nel Reparto A, la sorgente di emissione rappresentata dai fossi di raccolta è stata rivista. Si è tenuto conto di due possibili scenari: l'evaporazione di metanolo dai fossi di raccolta (SE4) e l'emissione di alcol metilico da apertura nei fossi di raccolta (SE5). Nel primo caso la classificazione è rimasta invariata rispetto alla valutazione precedente. Nel secondo caso, invece, si è originata una zona 2 di dimensioni pari a 0,25 m – 0,02 m. Per quest'ultima, nella classificazione precedente, non veniva riportato un dato puntuale relativo all'estensione della zona. Veniva soltanto specificato che la zona pericolosa generata dalla SE5 fosse compresa all'interno di quella associata alla perdita da giunzioni (SE1). La classificazione della vasca di raccolta (SE6) è rimasta identica, mentre l'aggiornamento relativo allo sfiato (SE7) ha determinato una zona 1NE.

In modo analogo alla Reparto A, anche per il Reparto B la sorgente costituita dall'evaporazione di metanolo dai fossi di raccolta (SE9) non è cambiata. L'emissione di alcol metilico dovuta all'apertura dei fossi (SE10) genera una zona 2 di estensione 0,2 m – 0,02 m. Anche in questo caso, la classificazione precedente non riportava un valore puntuale relativo all'estensione, perché questa era già stata inclusa nella zona pericolosa generata dalla perdita delle giunzioni (SE8). Comunque, le zone pericolose generate dalla SE5 e dalla SE10 all'interno delle cucine resine si estendono a partire dal perimetro dei fossi di raccolta e risultano comprese all'interno delle zone pericolose relative alle sorgenti SE1 e SE8.

Si è provveduto a riesaminare la sorgente che rappresenta la perdita di metanolo dalle giunzioni (SE18) nel Reparto D e ha determinato una zona 2, ma di dimensioni nettamente inferiori: 0,15 m – 0,1 m. Inoltre, è stata aggiunta una nuova sorgente di emissione, non presente nelle precedenti versioni della classificazione, corrispondente alla pompa P1 dell'additivo (SE20) al serbatoio di stoccaggio. In caso di perdita della tenuta della pompa P1 questa provoca una zona di tipo 2 estesa in orizzontale di 0,3 m e in verticale di 0,1 m.

Si è deciso di introdurre nella classificazione due nuovi reparti correlati all'additivo: l'area di stoccaggio (Reparto E) e la stazione di pompaggio dell'additivo (Reparto F). Nel primo ambiente sono state identificate due possibili sorgenti di emissione: il rilascio di vapori di metanolo dalla valvola di sicurezza (SE28), che genera una zona 1NE, e il rilascio dell'additivo dalla valvola di fondo (SE29) che provoca una zona 2 di estensione 0,8 m – 0,4 m. Anche nel secondo ambiente sono presenti due sorgenti di emissione: la perdita di additivo da giunzione (SE30) e dalla tenuta della pompa (SE31). Entrambi i casi generano una zona 2, ma di estensioni differenti: 0,35 m – 0,15 m nel caso della giunzione e 0,65 m – 0,30 m per la tenuta della pompa.

Tabella 15: Secondo aggiornamento della classificazione delle zone ATEX dell'impianto

Sotto-ambiente	SE	Descrizione SE	Tipo di zona	Quota “a” [m], Quota “b” [m],
RA02	4	Evaporazione metanolo nei fossi di raccolta	1	Volume interno dei fossi
	5	Emissione metanolo da apertura fossi di raccolta	2	Quota a: 0,25 Quota b: 0,02
RA03	6	Vasca di raccolta	1	Volume interno vasca
RA04	7	Sfiato vasca di raccolta	1NE	-
RB02	9	Evaporazione metanolo nei fossi di raccolta	1	Volume interno fossi
	10	Emissione metanolo da apertura fossi di raccolta	2	Quota a: 0,2 Quota b: 0,02
RD01	18	Perdita da giunzione/flangia	2	Quota a: 0,15 Quota b: 0,1
	20	Perdita dalla tenuta della pompa P1	2	Quota a: 0,3 Quota b: 0,15
RE	28	Rilascio vapori metanolo da valvola di sicurezza	1NE	-
	29	Rilascio additivo IO dalla valvola di fondo	2	Quota a: 0,8 Quota b: 0,4
RF	30	Perdita di additivo da giunzione (flangia)	2	Quota a: 0,35 Quota b: 0,15
	31	Perdita di additivo da tenuta pompa	2	Quota a: 0,65 Quota b: 0,30

L’estensione indicata delle sorgenti SE18, SE20, SE 29, SE 30, SE31 inizia dai confini della pozza di liquido che si forma a seguito del rilascio di liquido. Le dimensioni delle pozze vengono indicate di seguito:

- SE18: circa 2 m^2;
- SE20: circa 8 m^2;
- SE29: circa 71,5 m^2;
- SE30: circa 3,4 m^2;
- SE31: circa 13,6 m^2.

5.4 Confronto tra le classificazioni

In questa sezione si vogliono confrontare i risultati delle diverse versioni della classificazione al fine di valutare gli effetti dell'aggiornamento della norma EN 60079-10-1. La comparazione permette di evidenziare le modifiche ottenute in termini di tipologia e di estensione delle zone e l'introduzione delle nuove sorgenti di emissione. Al fine di facilitare la lettura della tabella, le diverse celle sono state colorate in base alla seguente legenda:

Tabella 16: Legenda

	SE rivalutata che ha restituito un esito di classificazione migliore (zona meno pericolosa o zona meno estesa)
	SE rivalutata che non ha restituito un esito di classificazione migliore (esito invariato)
	Nuova SE introdotta nella prima revisione della classificazione
	Nuova SE introdotta nella revisione della classificazione redatta da ARIA Srl e la sottoscritta

Tabella 17: Confronto delle diverse versioni della classificazione

Sotto-ambiente	Versione 2020				Post-revisione			
	SE	Descrizione	Zona pericolosa		SE	Descrizione	Zona pericolosa	
			Tipo	Estensione			Tipo	Estensione
RA01	01	Perdita di metanolo da giunzione	2	Quota a: 5,5 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 4,9	1	//	2	Quota a: 3 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 1,5
	-	-	-	-	01-bis	Piccola pozza di liquido infiammabile	2	Quota a: 0,3 Quota b: 0,1
	-	Apertura dei bocchettoni	NE	-	2		1NE	-
RA02	03	Fossi di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume	4	Evaporazione metanolo nei fossi di raccolta	1	Volume interno fossi

	-	Emissione metanolo da apertura fossi di raccolta	2	[i]	5	//	2	Quota a: 0,25 Quota b: 0,02
RA03	04	Vasca di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume	6	//	1	Volume interno vasca
RA04	05	Sfiato vasca di raccolta	2	Quota a:0,7 Quota b:0,7	7	//	1NE	-
RB01	06	Perdita da giunzione	2	Quota a: 5,5 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 4,9	8	//	2	Quota a: 5,67 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 1,5
RB02	07	Fossi di raccolta	1	Zona estesa all'intero volume	9	Evaporazione metanolo nei fossi di raccolta	1	Volume interno fossi
	-	Emissione metanolo da apertura fossi di raccolta	2	[ii]	10	//	2	Quota a: 0,2 Quota b: 0,02
RD01	15	Perdita di metanolo da giunzione (flangia)	2	Quota a: 4,12 (estesa a tutta la superficie del locale) Quota b: 3,71	18	//	2	Quota a:0,15 Quota b: 0,1
	-	-	-	-	18-bis	Fusti catalizzatore infiammabile	2	Quota a: 3 Quota b: 1,5

[i] Nella vecchia versione non veniva fornito un dato puntuale dell'estensione.
[ii] Nella vecchia versione non veniva fornito un dato puntuale dell'estensione.

	-	Bocchettoni catalizzatore infiammabile	NE	-	19	//	1NE	-
	-	-	-	-	20	Perdita dalla tenuta della pompa P1	2	Quota a: 0,3 Quota b: 0,15
RE	-	-	-	-	28	Rilascio vapori metanolo da valvola di sicurezza	1NE	-
	-	-	-	-	29	Rilascio additivo IO dalla valvola di fondo	2	Quota a: 0,8 Quota b: 0,4
RF	-	-	-	-	30	Perdita di additivo da giunzione (flangia)	2	Quota a: 0,35 Quota b: 0,15
	-	-	-	-	31	Perdita di additivo da tenuta pompa	2	Quota a: 0,65 Quota b: 0,30

Dall'analisi comparativa tra le diverse versioni si è riscontrato un miglioramento, in termini di classificazione, per sei sorgenti di emissione, mentre cinque sono rimaste invariate. Inoltre, sono state aggiunte nuove sorgenti di emissione nella classificazione: due nella prima revisione della classificazione, corrispondenti alla SE1-bis e alla SE18-bis, e cinque nell'ultima revisione, la SE20, la SE28, la SE29, la SE30 e la SE31.

Una delle principali modifiche introdotte dalla norma CEI EN 60079-10-1:2021 concerne la rimozione del coefficiente di sicurezza k applicato al limite inferiore di infiammabilità (LFL). Nelle edizioni precedenti, tale coefficiente aveva un valore generalmente compreso tra 0,5 e 1 e veniva impiegato come fattore di sicurezza per tener conto delle incertezze nella determinazione del LFL.

La sua rimozione determina una diminuzione della caratteristica volumetrica di emissione. Questo parametro viene utilizzato nel grafico C.1 dell'allegato C della norma per stabilire il grado di diluzione. A parità di velocità di ventilazione, una caratteristica volumetrica di emissione minore determina un maggiore efficacia della diluizione. Il grado di diluizione influisce direttamente sul tipo di zona che si stabilisce.

Nel caso specifico delle sorgenti SE01, SE06, SE15 la rimozione del coefficiente di sicurezza k e la conseguente modifica della caratteristica volumetrica di emissione non ha determinato variazioni apprezzabili del grado di diluizione e, per questo motivo, non si sono registrati cambiamenti della tipologia di zona rispetto alla classificazione precedente.

Il coefficiente di sicurezza k è stato rimosso anche dall'equazione J.1 per il calcolo della portata minima teorica di ventilazione con aria nuova. L'eliminazione del coefficiente comporta una diminuzione della portata minima teorica di ventilazione. Questo parametro viene impiegato per il calcolo del numero dei ricambi di aria che inficia sul valore della concentrazione di fondo della sostanza infiammabile, la quale rappresenta la concentrazione media della sostanza infiammabile all'interno del volume di interesse. Una riduzione della portata di ventilazione determina una diminuzione della frequenza di ricambi d'aria e un successivo incremento della concentrazione di fondo. Più è alto il valore della concentrazione di fondo e più basso è il grado di diluizione.

L'eliminazione del coefficiente di sicurezza k inficia anche sulla distanza pericolosa. Infatti, a parità di tipologia di emissione, una riduzione della caratteristica volumetrica di emissione comporta una diminuzione della distanza pericolosa, poiché la quantità di gas o vapore emessa è considerata inferiore.

Tuttavia, l'ultima edizione della norma specifica che il diagramma D.1 non può essere utilizzato in ambienti al chiuso con diluizione media o bassa. Quindi, per il caso in esame, si è dovuto ricorrere a equazioni provenienti dalla letteratura tecnica per la stima della distanza pericolosa. Questo approccio ha permesso di determinare in modo più accurato l'estensione della zona ATEX.

Per quanto riguarda la perdita di metanolo dalle giunzioni nella Reparto A la quota a è diminuita da un valore di circa 5 m a 3 m, la quale è stata poi estesa all'intera superficie del locale per motivi cautelativi. In entrambi i Reparti A e B, la quota verticale è stata ridotta da circa 5 m a 1,5 m, rappresentando un ottimo risultato in termini di riduzione dell'estensione della zona pericolosa.

La sorgente di emissione costituita dalla perdita delle giunzioni nel Reparto D ha riportato i risultati migliori in termini di classificazione. Infatti, la quota a è passata da 4,19 m (la quale è stata estesa a tutta la superficie) a 2,96 m, mentre la quota b è diminuita da 3,71 m a 0,85 m.

Come già anticipato, il valore dell'estensione della zona ATEX generata dall'emissione dai fossi di raccolta non è stato riportato, perché la suddetta zona risultava già compresa nella zona pericolosa associata alla perdita delle giunzioni del locale. Tramite il riesame della classificazione, è emerso che le zone ATEX causate dalle sorgenti SE5 e SE10 sono di estensione ridotta, con una quota a pari a 0,25 m nel primo caso e 0,2 m nel secondo caso e una quota b uguale per entrambe e pari a 0,02 m. Le zone pericolose generate si estendono a partire dal perimetro di emissione dei fossi di raccolta, ma risultano essere comunque all'interno delle zone ATEX delle sorgenti, rispettivamente, SE1 e SE8.

Nei casi di evaporazione dai fossi di raccolta, dalla vasca di raccolta e dall'apertura dei bocchettoni non si è osservato nessun miglioramento in termini di classificazione rispetto la versione precedente. I fossi e le vasche di raccolta sono luoghi chiusi e si trovano al livello del pavimento per raccogliere eventuali sversamenti. In tali condizioni, l'efficacia della ventilazione risulta essere bassa o pressoché nulla: Anche la rimozione del coefficiente di sicurezza k non è suffciente a determinare dei cambiamenti nel grado di diluzione e, per questo, la zona è rimasta classificata di tipo 1.

Lo sfiato di raccolta rappresenta una sorgente di emissione verso l'esterno, in cui i vapori vengono dispersi per effetto della ventilazione naturale. La revisione della sorgente di emissione ha determinato un netto miglioramento della classificazione, infatti si è passati da una zona 2 a una zona 1NE. L'eliminazione del coefficiente di sicurezza k ha ridotto la caratteristica volumetrica di emissione, migliorando il grado di diluizione.

L'ultima edizione della norma non si è limitata a definire la zona NE, ma ha introdotto anche i fattori da considerare per classificare una zona come trascurabile. I parametri di cui tener conto sono:

- Danni causati dall'onda di sovraprressione e/o causati dalla proiezione di solidi;
- Il calore prodotto;
- Indicazioni relative alle massime pressioni di esercizio per il gas distribuito [18].

5.4.1 Approfondimento relativo alle nuove sorgenti introdotte nella seconda revisione

L'ultima revisione ha permesso di diminuire ulteriormente l'estensione della zona relativa alla sorgente SE15, arrivando a una quota orizzontale pari a 0,15 m e una quota b di 0,1 m. Questa ulteriore diminuzione è giustificata dall'adozione di un modello di evaporazione con diffusione molecolare, il quale assume che la pozza non venga mai lambita dall'aria di ventilazione, in quanto essa risulta essere poco profonda rispetto all'altezza del bacino. Tramite questa assunzione la portata di evaporazione e la caratteristica di emissione della sostanza infiammabile risultano essere minori, con conseguente riduzione dell'estensione della zona pericolosa.

Si è deciso di utilizzare il modello di evaporazione con diffusione molecolare che ha permesso di diminuire le dimensioni delle zone pericolose anche per le nuove sorgenti di emissione introdotte con l'ultima revisione della classificazione. Nel caso della perdita della tenuta della pompa P1 (SE20), la zona pericolosa si estende dal confine della pozza di liquido di 0,3 m anziché 2,23 m e con una quota verticale di 0,15 m rispetto a 1,09 m. La zona pericolosa rimane confinata all'interno del bacino del reattore ed è interamente compresa nella zona pericoloda associata alla sorgente SE18-bis.

Anche per quanto riguarda la sorgente SE29, che rappresenta il rilascio dell'additivo dalla valvola di fondo del serbatoio, si è ottenuta una riduzione dell'estensione della zona ATEX grazie all'ipotesi di pozza non lambita dall'aria di ventilazione. Questa assunzione è accettabile poiché la pozza è poco profonda (0,02 m) rispetto all'altezza del bacino (0,7 m). Si è deciso di

simulare lo svuotamento totale del serbatoio, nonostante il tempo necessario risulti essere maggiore rispetto alla frequenza di sorveglianza settimanale da parte degli operatori. Anche in questo caso l'estensione della zona pericolosa dai confini della pozza è diminuita da 5, 41 m a 0,8 m in orizzontale e da 2,54 m a 0,4 m in verticale.

Anche nel caso delle sorgenti SE30 e SE31 l'assunzione di una pozza non lambita dall'aria di ventilazione ha consentito di ottenere una diminuzione dell'estensione della zona pericolosa. Nel primo caso la quota orizzontale si è ridotta da 1,19 m a 0,35 m in orizzontale e da 0, 56 m a 0,15 m in verticale. Nel secondo caso la quota a è diminuita da 2,32 m a 0,65 m e la quota b è passata da 1,09 m a 0,3 m.

In generale, la scelta di adottare un modello di evaporazione con diffusione molecolare permette di ridurre le dimensioni delle zone pericolose, perché la portata di evaporazione risulta essere inferiore rispetto a quella che si avrebbe in caso di ventilazione diretta sulla pozza. Infatti, all'aumentare del vento, la velocità contribuisce alla diluizione del gas o vapore infiammabile, ma contemporaneamente determina un incremento dell'evaporazione.

Le simulazioni sono state effettuate a tre temperature diverse. La temperatura massima dell'additivo risulta essere 40°C, ma una volta che avviene il rilascio e si forma la pozza, è prevedibile che la conseguente evaporazione avvenga a una temperatura inferiore di quella operativa. Pertanto, la temperatura di 30°C, rappresentativa del valor medio, è stata assunta come valore di riferimento. La temperatura ha un effetto diretto sull'estensione della zona pericolosa. Infatti, in tabella si può notare che all'aumentare della temperatura corrisponde un incremento della quantità di sostanza infiammabile evaporata e un conseguente aumento dell'estensione della zona ATEX.

Tabella 18: Simulazioni delle nuove sorgenti introdotte nella seconda revisione

SE	T_{amb} (°C)	Pozza lambita dall'aria di ventilazione			Pozza non lambita dall'aria di ventilazione		
		Portata di evaporazione (kg/s)	Estensione orizzontale (m)	Estensione verticale (m)	Portata di evaporazione (kg/s)	Estensione orizzontale (m)	Estensione verticale (m)
18	20	6,588E-04	(zona 2NE)	(zona 2NE)	7,83E-06	0,10	0,05
	30	1,075E-03	1,12	0,52	1,45E-05	0,13	0,06
	40	1,690E-03	1,42	0,67	2,69E-05	0,18	0,08
20	20	2,635E-03	1,72	0,81	3,13E-05	0,19	0,09
	30	4,298E-03	**2,23**	**1,05**	5,81E-05	**0,26**	**0,12**
	40	6,760E-03	2,84	1,33	1,08E-04	0,36	0,17
29	20	1,551E-02	4,17	1,95	2,79E-04	0,58	0,27
	30	2,530E-02	**5,41**	**2,54**	5,17E-04	**0,80**	**0,37**

	40	3,979E-02	6,9	3,23	9,57E-04	1,07	0,50
30	20	7,5E-04	0,92	0,43	4,74E-05	0,25	0,11
	30	1,22E-03	1,19	0,56	8,79E-05	0,35	0,15
	40	1,92E-03	1,52	0,71	1,63E-04	0,45	0,20
31	20	3,00E-03	1,84	0,86	1,89E-04	0,45	0,22
	30	4,90E-03	**2,40**	**1,12**	3,51E-04	**0,65**	**0,30**
	40	7,70E-03	3,00	1,43	6,51E-04	0,85	0,40

5.4.2 Considerazioni finali

Il confronto delle diverse versioni della classificazione ha mostrato un miglioramento complessivo, con l'introduzione di nuove sorgenti di emissione e il restringimento o declassamento di alcune aree pericolose. In particolare, alcune zone sono risultate più contenute o addirittura, in alcuni casi, trascurabili. Non si sono registrati aumenti dell'estensione o peggioramenti della tipologia di zona pericolosa degli ambienti presi in esame. Questo risultato dimostra che l'applicazione della norma CEI EN IEC 60079-10-1:2021 ha permesso una definizione più accurata e realistica delle zone ATEX, senza compromettere la sicurezza dell'impianto.

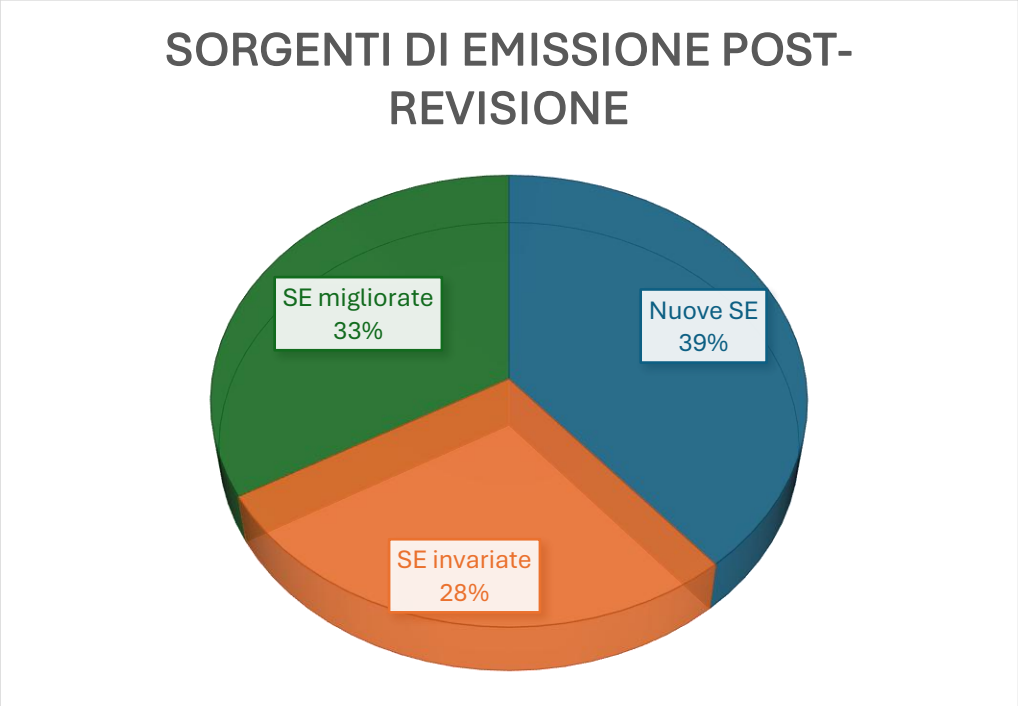


Figura 25: Esito della seconda revisione della classificazione

Il miglioramento generale della classificazione non è attribuibile soltanto all'aggiornamento normativo, ma anche alle assunzioni adottate e ai modelli analitici presi in considerazione. La classificazione delle aree con pericolo di esplosione è un'attività complessa che fa anche leva sull'esperienza del professionista incaricato. Infatti, la scelta dei modelli e le ipotesi di calcolo possono influenzare l'esito di una valutazione, come il caso della sorgente SE18, la cui

estensione della zona è ulteriormente diminuita in seguito all'ipotesi di utilizzare un modello di evaporazione con diffusione molecolare.

Le classificazioni ATEX devono essere revisionate non soltanto in occasione degli aggiornamenti normativi, ma anche in seguito a modifiche impiantistiche, all'introduzione di nuove pratiche operative e all'acquisizione di informazioni dal campo. Questo approccio dinamico permette di mantenere aggiornata la valutazione dei rischi in modo costante e di assicurare il rispetto delle normative vigenti.

Una zona ATEX meno pericolosa o più piccola può rappresentare un vantaggio sia operativo che economico per il datore di lavoro. Infatti, una minore estensione delle aree pericolose permette di diminuire i costi di installazione e manutenzione delle apparecchiature. Ad esempio, l'ottenimento di una zona trascurabile permette l'utilizzo di apparecchiature non certificate ATEX, riducendo così i costi investimento per l'acquisto dei dispositivi. Le apparecchiature ATEX hanno un costo maggiore perché richiedono certificazioni e test specifici al fine di garantire la sicurezza in luoghi con rischio di esplosione. La costruzione di questi dispositivi prevede l'utilizzo di materiali e tecnologie in grado di evitare l'innesco delle atmosfere esplosive.

È importante ricordare che la riduzione delle zone pericolose non significa un abbassamento del livello di sicurezza, anzi essa dimostra una valutazione più accurata e aderente alle condizioni operative reali. L'aggiornamento normativo ha il compito di ottimizzare la classificazione, garantendo la tutela della sicurezza senza cadere in un approccio eccessivamente conservativo.

Ciò nonostante, l'adeguamento all'ultima edizione della norma implica per le aziende l'obbligo di nuovi sopralluoghi e l'aggiornamento dei documenti tecnici. In particolare, il Documento sulla protezione contro le esplosioni e le misure di sicurezza esistenti devono essere revisionate, al fine di assicurare la piena conformità alle disposizioni vigenti.

6. Impatto sulla valutazione dei rischi di atmosfere esplosive

La valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori è stata resa obbligatoria dal D.Lgs 626/94, mentre i rischi relativi alla presenza di atmosfere esplosive sono stati approfonditi e regolamentati dal D.Lgs. 233/03. Entrambi i decreti sono oggi assorbiti nel D.Lgs. 81/08, il quale definisce la valutazione del rischio come la "valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza". [4]

L'articolo 290 di tale decreto stabilisce che il datore di lavoro, al fine di valutare i rischi derivanti da atmosfere esplosive, deve considerare:

- la probabilità e la durata della presenza di atmosfere esplosive;
- la probabilità che le fonti di innesco divengano attive ed efficaci;
- le caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processi e loro possibili interazioni;
- l'entità degli effetti prevedibili.

Bisogna tener conto anche dei luoghi che possono essere in collegamento, tramite aperture, con quelli in cui possono formarsi atmosfere esplosive. [4]

La valutazione del rischio di esplosione deve essere effettuata prima dell'avvio dell'attività e revisionata ogni volta che si verificano delle modifiche rilevanti. Le principali fasi da seguire per eseguire la valutazione sono descritte nel Decreto 3 agosto 2015, Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139, e sono:

- l'individuazione delle condizioni generali di pericolo di esplosione;
- l'identificazione delle caratteristiche delle sostanze infiammabili o delle polveri combustibili;
- la determinazione della probabilità di formazione, della durata e dell'estensione delle atmosfere esplosive;
- l'identificazione dei potenziali pericoli di innesco;
- la valutazione dell'entità degli effetti prevedibili di un'esplosione;
- la quantificazione del livello di rischio accettabile;
- l'adozione di misure finalizzate alla riduzione del rischio di esplosione. [22]

È fondamentale distinguere il concetto di pericolo e di rischio al fine di evitare incomprensioni. Il pericolo rappresenta la proprietà o qualità intrinseca di una determinata entità avente il potenziale di causare danni. Il rischio è la probabilità che sia raggiunto il livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego e/o di esposizione, nonché dimensioni possibili del danno stesso. Il pericolo è una potenziale sorgente di danno, mentre il rischio rappresenta la combinazione della probabilità di accadimento di un danno e della gravità di quel danno. [12]

Non vi sono delle regole ufficiali per l'esecuzione della valutazione dei rischi, ma tutti i metodi riconosciuti sono composti dalla fase di analisi dei rischi seguita dalla fase di ponderazione dei rischi.

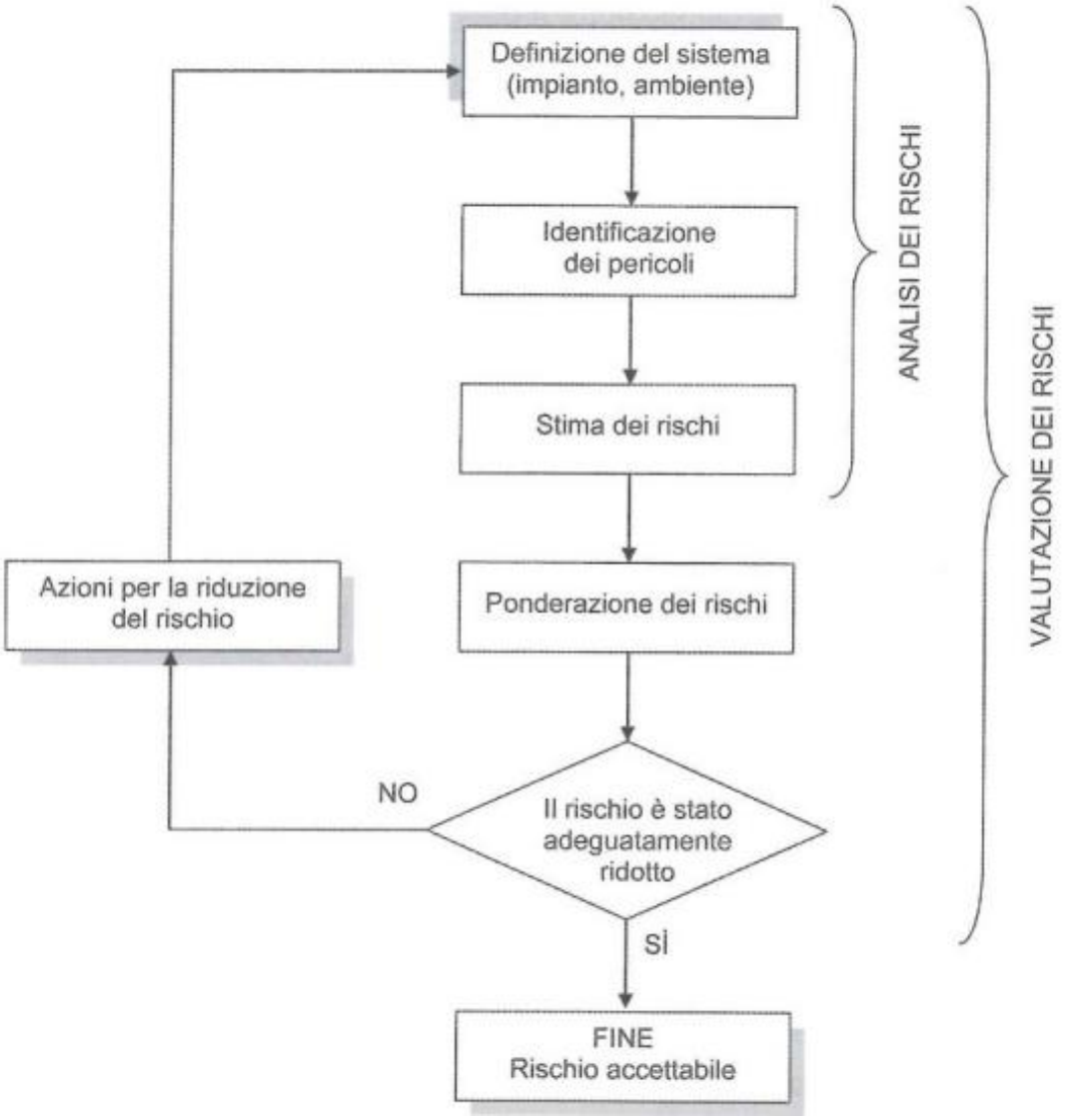


Figura 26: Procedimento per la valutazione dei rischi [17]

Dal punto di vista analitico, il rischio può essere espresso come il prodotto dei seguenti fattori:

$$R = P \cdot C \cdot D$$

dove:

R è il rischio di esplosione;

P è il fattore di pericolo, ossia la probabilità di esistenza del pericolo, associata al tipo di zona pericolosa;

C è il fattore di contatto, cioè la probabilità che il pericolo P sia causa di un danno D, e corrisponde alla sorgente di innesco;

D è il fattore di danno, che rappresenta la gravità del danno. [12]

Al fine di comprendere la valutazione dei rischi di esplosione, è necessario definire qualitativamente i fattori di pericolo, di contatto e di danno. Le relative definizioni vengono riportate nella seguente tabella.

Tabella 19: Definizione dei fattori di pericolo, di contatto e di danno

Fattore	Valore	Descrizione
P	3	Zona 0 / 20. Il pericolo è presente sempre o frequentemente.
	2	Zona 1 / 21. Il pericolo è presente talvolta, ogni tanto.
	1	Zona 2/ 22. Il pericolo è presente raramente o quasi mai.
	0	Zona NE. Il pericolo non c'è mai.
C	3	Contatto presente perennemente o frequentemente nella zona (luogo) considerata. Le sorgenti di accensione sono efficaci e sempre presenti durante il normale funzionamento.
	2	Contatto presente talvolta, ovvero ogni tanto nella zona (luogo) considerata. Le sorgenti di accensione efficaci possono manifestarsi in circostanze rare e unicamente a seguito di disfunzioni.
	1	Contatto presente talvolta ovvero quasi mai nella zona (luogo) considerata. Le sorgenti di accensione efficaci possono manifestarsi in circostanze molto rare e unicamente a seguito di rare disfunzioni.
	0	Contatto mai presente nella zona (luogo) considerata. Le sorgenti di accensione non sono efficaci e/o non si manifestano mai.
D	3	Danno gravissimo: un singolo individuo o un gruppo di individui, è presente continuamente o frequentemente nella zona (luogo) considerata. La gravità delle lesioni e dei danni alla salute è mortale. Un determinato bene materiale o comparto ambientale subisce danni molto gravi o di estensione generale.
	2	Danno medio o grave: un singolo individuo o un gruppo di individui, è presente saltuariamente, ovvero ogni tanto nella zona (luogo) considerata. La gravità delle lesioni e dei danni alla salute è grave (lesioni o danni normalmente irreversibili). Un determinato

		bene materiale o comparto ambientale subisce danni gravi o di estensione ampia.
	1	Danno lieve: un singolo individuo o un gruppo di individui, è presente occasionalmente ovvero quasi mai nella zona (luogo) considerata. La gravità delle lesioni e dei danni alla salute è lieve (lesioni o danni normalmente reversibili). Un determinato bene materiale o comparto ambientale subisce danni lievi o di estensione limitata.
	0	Danno trascurabile o nullo: un singolo individuo o un gruppo di individui, non è mai presente nella zona (luogo) considerata. Un determinato bene materiale o comparto ambientale non subisce danni.

Gli effetti da considerare per stabilire il fattore di danno sono:

- la radiazione termica;
- i picchi di sovrappressione;
- i detriti vaganti;
- le emissioni pericolose di materiali.

Per la determinazione del fattore di danno si assegna un valore (0 – 0,2 – 0,4 – 0, 6) ai seguenti elementi riportatati nella successiva tabella. La somma degli indici permette di ottenere il valore del fattore di danno D.

Tabella 20: Indici del fattore di danno D

Elementi del fattore di danno D	Indici			
	0	0,2	0,4	0,6
Tipologia di zona	NE	2 o 22	1 o 21	0 o 20
Presenza lavoratori (P_L)	Assenti	Occasionale	Saltuaria	Continua
K_{ST} Indice esplosione polveri (bar*m/s)	< 10	10 ÷ 50	51 ÷ 100	> 100
K_G Indice esplosione gas (bar*m/s)	< 10	10 ÷ 50	51 ÷ 100	> 100
Volume ipotetico ATEX V_Z o V_{DZ} (dm^3)	0	≤ 1	1 ≤ 10	> 10
Spessore strati polvere (mm) (*SS*)	Assente	≤ 5	5 ≤ 50	> 50

Ostruzione/Confinamento nube (*CN*)	Non prevista	Non confinata	Parzialmente confinata	Completamente confinata

Il rischio, quindi, tiene conto di: probabilità della formazione di atmosfera esplosiva, probabilità di presenza di una sorgente di innesco efficace e gravità dell'esplosione. Ad ogni sorgente di emissione viene associato un livello di rischio. Esistono quattro livelli di rischio: alto, medio, basso e trascurabile.

Tabella 21: Descrizione dei livelli di rischio

Valore R	Rischio	Descrizione	Azioni
$R \geq 18$	Alto	Si intendono a rischio di esplosione alto i luoghi di lavoro o parte di essi in cui la probabilità di atmosfera esplosiva è elevata (es. aree classificate come Zona 0 o Zona 20); in tali aree le condizioni locali e/o di esercizio presentano inneschi efficaci. In tali zone, in caso di esplosione, il livello di esposizione risulta elevato (persone esposte direttamente al pericolo, danni ingenti alle strutture e all'ambiente) e la probabilità di propagazione dell'esplosione è da ritenersi notevole.	Vanno immediatamente intraprese delle misure per ridurre il rischio
$9 \leq R < 18$	Medio	Si intendono a rischio di esplosione medio i luoghi di lavoro o parte di essi in cui la probabilità di atmosfera esplosiva è limitata (es. aree classificate come Zona 1 o Zona 21); in tali aree le condizioni locali e/o di esercizio possono favorire la presenza di inneschi efficaci. In tali zone, in caso di esplosione, il livello di esposizione risulta moderato (persone non esposte direttamente al pericolo, danni moderati alle strutture e all'ambiente) e la probabilità di propagazione dell'esplosione è da ritenersi limitata.	Vanno previste delle misure di miglioramento nel breve termine
$1 \leq R < 9$	Basso	Si intendono a rischio di esplosione basso i luoghi di lavoro o parte di essi in cui la probabilità di atmosfera esplosiva è estremamente limitata (es. aree classificate come Zona 2 o	Saranno prese in considerazione delle misure di riduzione del rischio in base ad una valutazione ALARP (As

		Zona 22); in tali aree le condizioni locali e/o di esercizio offrono scarse possibilità di presenza di inneschi efficaci. In tali zone, in caso di esplosione, il livello di esposizione risulta basso (persone non esposte al pericolo, danni limitati alle strutture e all'ambiente) e la probabilità di propagazione dell'esplosione è da ritenersi estremamente limitata.	Low As Reasonably Practicable)
R < 1	Trascurabile	Si intendono a rischio di esplosione trascurabile i luoghi di lavoro o parte di essi in cui la probabilità di atmosfera esplosiva è quasi impossibile (es. aree classificate come Zona NE); in tali aree le condizioni locali e/o di esercizio non offrono possibilità di presenza di inneschi efficaci. In tali zone, in caso di esplosione, il livello di esposizione è quasi nullo (persone non esposte al pericolo, non ci sono danni alle strutture e all'ambiente) e la probabilità di propagazione dell'esplosione è da ritenersi quasi nulla	Vanno mantenute le attuali condizioni operative al fine di non fare aumentare il rischio

Una volta determinato il rischio stimato bisogna stabilire le operazioni da attuare per gestirlo. La gestione del rischio prevede l'attuazione di misure di prevenzione e protezione per tutelare la salute e la sicurezza dei lavoratori. L'obiettivo della prevenzione è quello di eliminare le condizioni che permettono la formazione di un'atmosfera esplosiva e il suo innesco, mentre la protezione mira a ridurre gli effetti causati dall'esplosione.

6.1 Valutazione dei rischi pre-aggiornamento normativo

Il primo passo da attuare per il metodo semi-quantitativo di valutazione dei rischi prevede di determinare la probabilità di formazione, la quantità e la durata di un'atmosfera esplosiva, e questo coincide con la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione. Perciò, l'aggiornamento della norma CEI EN 60079-10-1 incide anche sulla valutazione del rischio.

Inoltre, il fattore di pericolo P è direttamente associato al tipo di zona, la quale influenza anche gli elementi che contribuiscono a stabilire il fattore di danno D. Una revisione della classificazione potrebbe ridurre il fattore di rischio R, permettendo l'impiego di misure di prevenzione e protezione meno severe.

Si analizza la valutazione del rischio relativa al caso studio per valutare gli effetti dell'aggiornamento normativo, evidenziando come le modifiche della norma CEI EN 60079-10-1 possano influenzare i fattori di rischio.

6.1.1 Fattore di pericolo P

Ad ogni sorgente di emissione individuata viene assegnato un grado del fattore di pericolo P, che rappresenta la probabilità dell'esistenza del pericolo costituito dall'atmosfera esplosiva. La classificazione delle zone ATEX coincide con la fase di identificazione del pericolo nel processo di valutazione del rischio.

In base alla definizione del fattore di pericolo, sono state assegnati i relativi gradi alle sorgenti di emissioni presenti nel caso studio in esame. I dati vengono riportati nella seguente tabella.

Tabella 22: Fattori di pericolo associati alle SE esaminate nella classificazione pre-aggiornamento normativo

Sotto-ambiente	SE	Descrizione	Zona	Fattore P
RA01	01	Perdita di metanolo da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1
RB	03	Fossi di raccolta	1	2
RA03	04	Vasca di raccolta	1	2
RA04	05	Sfiato vasca di raccolta	2	1
RB01	06	Perdita da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1
RB02	07	Fossi di raccolta	1	2
RD01	15	Perdita di metanolo da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1

6.1.2 Fattore di contatto C

Il pericolo potenziale si concretizza quando l'atmosfera esplosiva viene innescata da una sorgente di accensione, che corrisponde al fattore di contatto C. Esso rappresenta la probabilità che la sorgente di innesco si manifesti e sia efficace. Le sorgenti di innesco possono essere suddivise in base alla frequenza con cui si verificano:

- sorgente che può manifestarsi continuamente o frequentemente;
- sorgente che può manifestarsi in circostanze rare;
- sorgente che può manifestarsi in circostanze molto rare. [12]

Per il caso studio preso in esame sono state analizzate le seguenti fonti di innesco, previste dalla norma EN 1127-1:2011; e a ognuna di essa è stato associato un codice identificativo per semplificare la lettura delle tabelle:

- C1: superfici calde;

- C2: scintille meccaniche;
- C3: fiamme, gas caldi;
- C4: scintilla da materiale elettrico;
- C5: correnti elettriche vaganti;
- C6: elettricità statica;
- C7: fulmini;
- C8: onde elettromagnetiche;
- C9: radiazioni ionizzanti;
- C10: radiazioni ad alta frequenza;
- C11: ultrasuoni;
- C12: compressione adiabatica;
- C13: reazioni chimiche.

Si rimanda al capitolo 2 per la spiegazione delle sorgenti di innesco.

Tabella 23: Identificazione del grado del fattore di contatto C delle sorgenti di innesco presenti negli ambienti presi in esame

Possibile sorgente di innesco	Sotto-ambiente	Grado del fattore di contatto C
C1	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1
C2	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1
C3	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1
C4	RA01	2
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	2
	RD01	2
C5	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	0
	RB01	1
	RD01	1

C6	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1
C7	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1
C8	RA01	1
	RB – RA03 – RB02	1
	RB01	1
	RD01	1

Dall'analisi conseguita, le seguenti fonti di innesco non sono presenti e ad esse è stato associato un fattore di contatto C pari a 0: radiazioni ionizzanti (C9), radiazioni ad alta frequenza (C10), ultrasuoni (C11), compressione adiabatica (C12) e reazioni chimiche (C13). Si ricorda che nel Reparto D è presente una reazione, ma che questa sia di tipo endotermico.

6.1.3 Fattore di danno D

Il fattore di danno D rappresenta la gravità del danno. In base agli indici definiti in precedenza, i valori del fattore di danno D sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 24: Fattore di danno D associato alla classificazione pre-aggiornamento normativo

Sotto-ambiente	Zona generata			PL Presenza lavoratori		K_G Indice esplosione gas (bar*m/s)		Volume ipotetico ATEX V_Z o V_{DZ} (dm^3)		CN Confinamento nube		D
	SE	Tipo	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	
RA01	01	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4
RB	03	1	0,4	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,6
RA03	04	1	0,4	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,6
RB01	06	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4
RB02	07	1	0,4	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,6
RD01	15	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4

Dall'analisi dei valori del fattore di danno D per le sorgenti considerate questo risulta compreso tra 2 e 3, in particolare assume valori pari a 2,4 e 2,6. Sulla base delle definizioni dei gradi del fattore di danno D, i danni che si possono verificare possono essere medi o, addirittura, gravi.

6.1.4 Rischio R

Una volta stabiliti i fattori di pericolo, di contatto e di danno per ogni sorgente di emissione si procede al calcolo del rischio.

Tabella 25: Valutazione del rischio associato alla classificazione pre-aggiornamento normativo

SE	Fattore P	Fattore C								Fattore D	Rischio							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
01	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2
03	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2,6	5	5	5	5	<1	5	5	5
04	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2,6	5	5	5	5	<1	5	5	5
06	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2
07	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2,6	5	5	5	5	<1	5	5	5
15	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2

Il rischio calcolato per le fonti di innesco costituite da radiazioni ionizzanti (C9), radiazioni ad alta frequenza (C10), ultrasuoni (C11), compressione adiabatica (C12) e reazioni chimiche (C13) è inferiore a 1 e quindi trascurabile. Anche per i fossi e le vasche di raccolta, il rischio associato alle correnti elettriche vaganti risulta essere minore a 1 e quindi trascurabile. Per il resto delle sorgenti di emissione di gas il livello di rischio determinato è basso.

6.2 Valutazione dei rischi post-aggiornamento normativo

Per valutare gli effetti delle modifiche della norma CEI EN 60079-10-1 si vuole analizzare la valutazione dei rischi relativa alle sorgenti considerate nella prima revisione della classificazione.

6.2.1 Fattore di pericolo P

Nella seguente tabella viene presentato il grado del fattore di pericolo P associato alle sorgenti di emissione esaminate nella prima revisione della classificazione delle zone ATEX.

Tabella 26: Fattori di pericolo associati alle SE esaminate nella prima revisione della classificazione post-aggiornamento normativo

Sotto-ambiente	SE	Descrizione	Zona	Fattore P
RA01	01	Perdita di metanolo da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1
	01-bis	Piccola pozza di liquido infiammabile	2	1

RB01	06	Perdita da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1
RB02	07	Fossi di raccolta	1	2
RD01	15	Perdita di metanolo da giunzione (flangia/giunto filettato)	2	1
RD01	15-bis	Fusti di catalizzatore infiammabile	2	1

La prima revisione della classificazione non ha comportato modifiche del fattore di pericolo P. Infatti, la riduzione dell'estensione delle zone ATEX non incide su tale fattore, ma quest'ultimo è determinato in base alla probabilità di formazione delle zone pericolose, e quindi dalla tipologia della zona. La revisione ha introdotto le sorgenti di emissione SE01-bis e SE15-bis e il loro relativo fattore di pericolo P.

6.2.2 Fattore di contatto C

La valutazione del fattore di contatto è rimasta invariata poiché l'identificazione delle potenziali fonte di innesco si basa sulla frequenza e l'efficacia delle stesse all'interno degli ambienti considerati e non esaminando gli inneschi efficaci che insistono sulle singole sorgenti di emissione. Perciò, si ritiene valida la valutazione precedente.

6.2.3 Fattore di danno D

La determinazione del fattore di danno D relativo alle sorgenti di emissione esaminate nella prima revisione della classificazione ATEX viene riportato nella seguente tabella.

Tabella 27: Fattore di danno associato alla classificazione post-aggiornamento normativo

Sotto-ambiente	Zona generata			PL Presenza lavoratori		K_G Indice esplosione gas (bar*m/s)		Volume ipotetico ATEX V_Z o V_{DZ} (dm^3)		CN Confinamento nube		D
	SE	Tipo	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	Valore	Indice	
RA01	01	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4
RA01	01-bis	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4
RB01	06	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Completamente confinata	0,6	2,4
RD01	15	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Parzialmente confinata	0,4	2,2
RD01	15-bis	2	0,2	Continua	0,6	75	0,4	>10	0,6	Parzialmente confinata	0,4	2,2

Dall'analisi dei risultati, il grado del fattore di danno D è rimasto invariato per le sorgenti di emissione SE01 e SE06. Sono state introdotte le nuove sorgenti di emissione rappresentanti la

piccola pozza di liquido infiammabile che si può formare in seguito a piccole perdite o sversamento (SE01-bis) e i fusti contenenti il catalizzatore infiammabile (SE15-bis). Il valore del confinamento della nube del Reparto D è variato, infatti, da completamente confinato è diventato parzialmente. Questo cambiamento è dovuto all'installazione di un estrattore di aria che permette di assimilare il locale a un ambiente aperto. Il relativo grado del fattore di danno D è diminuito da 2,4 a 2,2.

6.2.4 Rischio R

Nella successiva tabella si riporta il calcolo del rischio associato alle sorgenti di emissione presenti nella prima revisione della classificazione ATEX.

Tabella 28: Valutazione del rischio associato alla classificazione post-aggiornamento normativo

SE	Fattore P	Fattore C								Fattore D	Rischio							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
01	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2
01-bis	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2
06	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,4	2	2	2	5	2	2	2	2
15	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,2	2	2	2	4	2	2	2	2
15-bis	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2,2	2	2	2	4	2	2	2	2

La revisione della valutazione del rischio non ha fatto emergere nessuna criticità, difatti il rischio associato alle sorgenti di emissione esaminate è rimasto basso. Sono state aggiunte le nuove sorgenti di emissione, SE01-bis e SE15-bis, che hanno presentato anch'esse un rischio basso. L'unica variazione registrata è stata quella associata al Reparto D, in particolare al rischio dovuto alla fonte di innesco rappresentato dalle scintille da materiale elettrico. La variazione del fattore di danno ha causato la riduzione del rischio, che è diminuito da un valore di 5 a 4.

6.3 Risultati

I dati a disposizione si riferiscono esclusivamente alla prima revisione della classificazione ATEX e non comprendono i risultati della seconda revisione. Quest'ultima ha permesso di ottenere dei miglioramenti significativi, oltre che in termine di estensione, anche in termini di tipologia di zona pericolosa.

Ad esempio, la sorgente rappresentativa dello sfiato della vasca di raccolta, in seguito al riesame, è stata declassata da zona 2 a zona 1NE. Avendo subito un abbassamento del livello di pericolosità della zona, ed essendo questa stata definita trascurabile, si presume una riduzione del rischio associato. Tuttavia, l'assenza di dati non permette di verificare in modo oggettivo l'impatto sulla valutazione del rischio.

Nonostante questo limite, è possibile elaborare alcune considerazioni qualitative sull'influenza dell'aggiornamento normativo sulla valutazione dei rischi. L'ultima edizione della norma CEI EN 60079-10-1 ha apportato delle modifiche sostanziali nei criteri utilizzati nella classificazione ATEX e l'analisi del caso studio ha dimostrato l'effetto di tale cambiamento.

La riduzione dell'estensione di alcune sorgenti di emissione e l'introduzione di nuove hanno indicato una classificazione più precisa e conforme alla realtà. Questi aspetti non influenzano direttamente i fattori di pericolo, di contatto e di danno, ma possono contribuire a un abbassamento indiretto del rischio complessivo, grazie a:

- una maggiore precisione nella definizione delle zone ATEX;
- un miglior controllo delle sorgenti di emissione;
- una gestione più specifica nelle misure di prevenzione.

Il miglioramento, sia in termini di tipologia che di estensione, della classificazione comporta anche un adattamento delle misure di sicurezza. Infatti, avere zone più ristrette implica una maggiore sicurezza dell'ambiente, perché tali zone richiedono attrezzature meno complesse e riducono l'area di rischio complessiva. Questo comporta una maggiore efficienza nelle strategie di prevenzione e protezione, senza rinunciare alla sicurezza dell'impianto.

La revisione della documentazione tecnica, e in particolare del Documento contro le esplosioni (DPCE), si è resa necessaria per assicurare la piena conformità alla nuova edizione della CEI EN 60079-10-1.

In conclusione, nonostante non sia stato possibile dimostrare il miglioramento della valutazione del rischio dal punto di vista quantitativo, l'analisi svolta ha permesso di rivelare come l'aggiornamento normativo abbia contribuito a una valutazione più precisa e consapevole e a una maggiore efficienza del sistema di prevenzione e sicurezza.

7. Conclusioni

La classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione è un'attività multidisciplinare complessa, che necessita la conoscenza delle norme, delle sostanze pericolose e dei processi produttivi che avvengono nell'impianto. Il quadro normativo che la disciplina è stato soggetto a continui cambiamenti, passando da una regolamentazione incentrata sulle apparecchiature elettriche a una gestione sistematica del rischio, la quale è diventata parte integrante della sicurezza dei luoghi di lavoro.

Il riferimento tecnico per la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per presenza di gas, vapori e nebbie infiammabile è la norma CEI EN 60079-10-1, che nel tempo ha subito diverse revisioni. L'ultima edizione è stata pubblicata nel 2021 e ha introdotto dei cambiamenti sostanziali rispetto all'edizione precedente, rendendo necessario un approfondimento. L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di verificare gli effetti concreti di queste modifiche in un caso reale, confrontando i risultati pre e post aggiornamento.

La classificazione è stata oggetto di due revisioni: la prima in seguito alla pubblicazione della nuova edizione della norma e a interventi di miglioramento dell'impianto, mentre la seconda revisione ha interessato zone che prima non erano state prese in considerazione. Dal confronto complessivo dei risultati, non è emerso nessun peggioramento della classificazione: Questo significa che le zone pericolose non hanno dimostrato una maggiore probabilità di presenza dell'atmosfera esplosiva e una sua maggiore estensione, registrando così un risultato positivo.

Grazie alla revisione della classificazione sono state aggiunte sette sorgenti di emissione, determinando così una maggiore accuratezza della classificazione. Cinque sorgenti di emissione sono rimaste invariate, mentre sei sono migliorate. In particolare, una sorgente di emissione è stata declassata a trascurabile, mentre si è verificata una riduzione dell'estensione per le altre cinque. Questi risultati confermano che l'ultima edizione della norma ha permesso una definizione più realistica e meno conservativa delle zone ATEX, senza diminuire il livello di sicurezza.

Una delle modifiche più rilevanti apportate nell'ultima edizione della norma è stata l'eliminazione del coefficiente di sicurezza k. Questo ha comportato il miglioramento della classificazione di alcune sorgenti di emissione. Infatti, la rimozione di tale coefficiente ha inciso sulla caratteristica volumetrica di emissione, riducendone il valore. Di conseguenza, l'efficacia della ventilazione è incrementata e l'estensione della zona pericolosa si è ridotta.

La classificazione di alcune sorgenti invece non è variata, nonostante le modifiche metodologiche. Ciò dimostra che l'aggiornamento normativo non ha determinato un alleggerimento generalizzato, ma un affinamento tecnico che permette di adeguare la classificazione a condizioni più realistiche.

In aggiunta, l'analisi condotta ha dimostrato l'importanza della scelta dei modelli e delle assunzioni per stimare le grandezze fisiche in gioco. La seconda revisione della classificazione ha permesso di ridurre, in alcuni casi, l'estensione della zona ATEX grazie all'adozione del

modello di evaporazione per diffusione molecolare, confermando l'importanza del ruolo del professionista e della scelta del modello più appropriato.

Si è voluto verificare l'effetto dell'aggiornamento normativo anche sulla valutazione del rischio. Il fattore di pericolo P è direttamente correlato al tipo di zona pericolosa, di conseguenza, una declassazione comporta una diminuzione del fattore stesso. In modo analogo, il tipo di zona influisce anche sugli elementi che contribuiscono a determinare il fattore di danno D. Una zona meno pericolosa comporta un fattore di danno più piccolo.

Nonostante non sia stato possibile verificare quantitativamente l'impatto diretto dell'aggiornamento della classificazione sulla valutazione dei rischi, sono state comunque elaborate delle considerazioni qualitative. Infatti, la riduzione dell'estensione della zona ATEX non influisce sui fattori che concorrono alla determinazione del rischio. Eppure, una zona più piccola può determinare una maggiore precisione nella definizione delle zone pericolose, un maggior controllo delle sorgenti di emissione e una gestione più mirata delle misure di prevenzione e protezione.

La riduzione delle aree classificate comporta vantaggi sia operativi che economici. Infatti, nelle zone non pericolose è possibile installare apparecchiature standard, che risultano meno complesse, semplificando l'attività di manutenzione. Le apparecchiature certificate ATEX, necessarie nei luoghi con pericolo di esplosione, sono più costose perché richiedono materiali e test specifici per evitare l'innesco di atmosfere esplosive.

L'aggiornamento periodico della valutazione del rischio non deve essere pensato solo come obbligo normativo, ma come uno strumento di miglioramento continuo della sicurezza. Ogni aggiornamento implica la revisione del Documento contro le esplosioni e delle misure di prevenzione e protezione, al fine di assicurare conformità alla norma vigente e una gestione del rischio più consapevole.

Il presente lavoro di tesi ha conseguito l'obiettivo prefissato, dimostrando che l'aggiornamento della norma CEI EN 60079-10-1 ha determinato un miglioramento della classificazione e non si sono verificati dei peggioramenti. L'evoluzione normativa ha il compito di ottimizzare il processo di classificazione, evitando approcci che possano risultare troppo cautelativi. La presente tesi offre un esempio concreto dell'applicazione della terza edizione della norma e dei suoi effetti sulla classificazione ATEX.

L'assenza di dati riguardanti gli effetti della revisione della classificazione sulla valutazione del rischio rappresenta il principale limite dello studio svolto. I possibili sviluppi futuri potrebbero riguardare l'analisi di altri casi studio per valutare in modo quantitativo gli effetti dell'aggiornamento normativo sulla valutazione del rischio, oppure, potrebbero stimare l'impatto economico della scelta delle apparecchiature in relazione alla revisione della classificazione. Tali approfondimenti porterebbero a rafforzare il rapporto tra evoluzione normativa, gestione del rischio e ottimizzazione economica.

Bibliografia

I documenti consultati per l'elaborazione del quinto e del sesto capitolo della tesi, che trattano il caso studio, sono documenti aziendali non citabili.

[1] INAIL, «Gli infortuni mortali causati da esplosioni, Infor:MO,» 2020.

[2] *UNI EN 1127-1:2019 Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione - Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia.*

[3] «https://seitron.com/it/triangolo-del-fuoco-quando-avviene-una-combustione/,» [Online]. [Consultato il giorno 18 Agosto 2025].

[4] *Decreto legislativo n.81 del 2008:" Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro".*

[5] *BS EN IEC 60079-10-1:2021:"Explosive atmospheres: Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres",* BSI Standards Publication.

[6] *DIRETTIVA 2014/34/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO 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.*

[7] P. Cardillo, «Le esplosioni di gas, vapori e polveri,» *Sviluppo Chimica editore,* 2002.

[8] R. Costello, «https://rccostello.com/wordpress/hydrocarbon/hydrocarbon-gas-flammability-part-1-3/,» 2018. [Online]. [Consultato il giorno 20 8 2025].

[9] *NFPA 69, Standard on Explosion Prevention Systems,* 2002.

[10] *UNI EN 13237:2025 Atmosfere potenzialmente esplosive - Termini e definizioni per apparecchi e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfere potenzialmente esplosive.*

[11] P. Thakur, Advanced Mine Ventilation: Respirable Coal Dust, Combustible Gas and Mine, 2019.

[12] A. Cavaliere, Manuale per l'applicazione delle direttive ATEX. Classificazione dei luoghi, valutazione e gestione dei rischi da atmosfere esplosive, redazione del DPCE e collegamenti con il Codice di prevenzione incendi, EPC Editore, 2021.

[13] F. Monti , L. Papacchini, D. Petrucci e F. E. Spagnuolo, «Fondamenti normativi in materia di sicurezza e igiene del lavoro,» Roma.

[14] «New legislative framework,» European Commission, [Online]. Available: https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/goods/new-legislative-framework_en?prefLang=it.

[15] «Direttive ATEX,» ATEX ITALIA, [Online]. Available: https://www.atexitalia.it/atex/. [Consultato il giorno 30 Settembre 2025].

[16] «DIRETTIVA 1999/92/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 16 dicembre 1999 relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive».

[17] A. Cavaliere, Manuale per l'applicazione delle direttive ATEX. Classificazione dei luoghi, valutazione e gestione dei rischi da atmosfere esplosive, EPC Libri, 2011.

[18] M. Marigo, Guida alla classificazione ATEX, Wolters Kluwer Italia, 2022.

[19] ATEX center, «Explosion hazards in pulp and paper mills: how to minimise the risk and avoid the consequences,» [Online]. Available: https://atex.center/explosion-hazards-in-pulp-and-paper-mills-how-to-minimise-the-risk-and-avoid-the-consequences/. [Consultato il giorno 30 Ottobre 2025].

[20] «Guida CEI 31-35: 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),» 2012.

[21] «DECRETO 3 agosto 2015 Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139».

Appendici

Definizione del LEL, espresso in % di volume, per miscele gassose con la regola di Le Chatelier:

$$LEL = \frac{y_{tot}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{y_i}{LEL_i}}$$

Di cui:

n = numero di sostanze infiammabili che costituiscono la miscela;

y_i = frazione molare della i-esima sostanza;

y_{tot} = frazione molare complessiva dei componenti infiammabili *i*;

LEL_i = limite inferiore del componente i (% volume).

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia gratitudine a tutte le persone che hanno contribuito al completamento di questa tesi. In particolare, desidero ringraziare la Professoressa Micaela Demichela per avermi guidato nella fase finale del mio percorso accademico.

Voglio ringraziare l'azienda ARIA Srl per avermi offerto l'opportunità di svolgere il mio progetto di tesi, e in modo particolare l'Ingegnere Salvina Muré per avermi aiutato nella realizzazione di questo progetto.

Alla mia famiglia e ai miei amici, grazie il vostro sostegno durante il mio percorso universitario.