



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI
INDUSTRIALI**

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA E
MECCATRONICA
CURRICULUM MECCATRONICO**

TESI DI LAUREA

Prescrizioni costruttive per impianti in ambienti a rischio esplosivo

Relatore: Prof. DIEGO DAINESE

Laureando: MIRAGLIA NICOLÒ Matricola 1046198

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

INDICE

INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO 1: GENERALITA'	7
1.1 COS'E' L'ATEX.....	7
1.2 L'ESPLOSIONE E I SUOI PARAMETRI FISICI FONDAMENTALI.....	7
1.3 SORGENTI D'INNESCO.....	10
1.4 QUANDO SI VERIFICA L'ESPLOSIONE?.....	11
CAPITOLO 2: LA DIRETTIVA ATEX 2014/34/UE E LA NORMA CEI EN 60079-0	13
2.1 APPLICABILITÀ ED ESCLUSIONI.....	13
2.2 LA CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE	14
2.3 GRUPPI E CATEGORIE.....	14
2.4 PROCEDURE DI CONFORMITÀ.....	16
2.5 LA NORMA CEI EN 60079-0.....	16
2.6 LIVELLO DI PROTEZIONE DELLE APPARECCHIATURE EPL.....	16
2.7 MARCATURA.....	18
CAPITOLO 3: COME AGIRE IN PRESENZA DI UN'ATMOSFERA ESPLOSIVA	21
3.1 GENERALITÀ.....	21
3.2 IL DOCUMENTO SULLA PROTEZIONE CONTRO LE ESPLOSIONI.....	21
3.3 LE MISURE CONTRO L'ESPLOSIONE.....	22
CAPITOLO 4: CRITERI E PROCEDURE DI CLASSIFICAZIONE DELLE AREE	23
4.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	23
4.2 CENNI SULLA PROCEDURA PER GAS.....	23
4.2.1 GRADO DELL'EMISSIONE.....	24
4.2.2 DISPONIBILITÀ DELLA VENTILAZIONE.....	24
4.2.3 GRADO DELLA VENTILAZIONE.....	24
4.2.3.1 VENTILAZIONE PER AMBIENTI APERTI.....	24
4.2.3.2 VENTILAZIONE PER AMBIENTI CHIUSI.....	27
4.2.4 CONCLUSIONE.....	29
4.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE PER PRESENZA DI POLVERI.....	29
CAPITOLO 5: PROTEZIONE DALLE ESPLOSIONI: CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO	33
5.1 GENERALITÀ.....	33
5.2 LA PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE P.....	34
5.3 IL DANNO D.....	37
5.4 IL RISCHIO R.....	39
CAPITOLO 6: MODI DI PROTEZIONE DELLE APPARECCHI	41
6.1 I MODI DI PROTEZIONE.....	41
6.2 CUSTODIE A PROVA DI ESPLOSIONE.....	42
6.3 PROTEZIONE MEDIANTE CUSTODIE A TENUTA DI POLVERE.....	42
6.4 PROTEZIONE A SICUREZZA AUMENTATA.....	43
6.5 PROTEZIONE EX N.....	43
6.5.1 APPARECCHIATURE NON SCINTILLANTI	43
6.5.2 CUSTODIE A RESPIRAZIONE LIMITATA	44

6.6 SOVRAPRESSIONE INTERNA.....	44
6.7 INCAPSULAMENTO.....	44
6.8 SICUREZZA INTRINSECA.....	45
CAPITOLO 7: CRITERI DI SCELTA DELLE APPARECCHIATURE.....	47
7.1 PRINCIPALI CRITERI DI SCELTA.....	47
7.1.2 PRINCIPALI CRITERI DI SCELTA PER GAS/VAPORI/NEBBIE.....	47
7.1.2.1 COME SI DETERMINA LA MASSIMA TEMPERATURA SUPERFICIALE.....	48
7.1.3 PRINCIPALI CRITERI DI SCELTA PER POLVERI.....	49
7.2 APPARECCHIATURE IRRADIANTI ENERGIA ELETTROMAGNETICA ED ULTRASONICA.....	51
7.2.1 SORGENTI DI RADIOFREQUENZA.....	51
7.2.2 LASER O ALTRE SORGENTI AD ONDA CONTINUA.....	51
7.2.3 SORGENTI ULTRASONICHE.....	52
7.3 SPINE E PRESE A SPINA.....	52
7.4 SEZIONATORI.....	53
7.5 CAVI E CONDUTTURE.....	53
7.5.1 CONDUTTORI IN ALLUMINIO.....	53
7.5.2 CAVI.....	54
7.5.2.1 CAVI PER INSTALLAZIONI FISSE.....	54
7.5.2.2 CAVI FLESSIBILI PER INSTALLAZIONI FISSE.....	54
7.5.2.3 CAVI FLESSIBILI PER APPARECCHIATURE MOVIBILI E PORTATILI.....	54
7.5.2.4 LINEE AEREE.....	55
CAPITOLO 8: PRESCRIZIONI GENERALI PER CUSTODIE.....	57
8.1 TEMPI DI APERTURA.....	57
8.2 CUSTODIE METALLICHE.....	57
8.2.1 GRUPPO I.....	57
8.2.2 GRUPPO II.....	57
8.2.3 GRUPPO III.....	58
8.3 CARICHE ELETTROSTATICHE SU PARTI NON METALLICHE DI UNA CUSTODIA.....	58
8.3.1 IMPEDIMENTI PER APPARECCHIATURE ELETTRICHE DEL GRUPPO I E II.....	58
8.3.2 IMPEDIMENTI PER APPARECCHIATURE ELETTRICHE DEL GRUPPO III.....	60
8.3.3 CARICHE ELETTROSTATICHE SU PARTI METALLICHE ACCESSIBILI.....	60
CAPITOLO 9: SISTEMI DI PROTEZIONE DALLE ESPLOSIONI.....	61
9.1 GENERALITÀ.....	61
9.2 SOPPRESSORI.....	61
9.3 SISTEMI DI ISOLAMENTO DELL'ESPLOSIONE.....	63
9.4 EQUIPAGGIAMENTI RESISTENTI ALL'ESPLOSIONE.....	64
9.5 SCARICO DELLE ESPLOSIONI.....	65
CONCLUSIONI.....	67
BIBLIOGRAFIA.....	68

INTRODUZIONE

Nonostante i continui miglioramenti delle condizioni di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro che hanno caratterizzato gli ultimi decenni, l'impatto degli infortuni e delle malattie correlate al lavoro rimane a tutt'oggi assai rilevante. La Commissione UE, accanto all'implementazione della normativa comunitaria, ha ritenuto prioritario concentrare gli sforzi per consolidare il legame tra salute e sicurezza nei luoghi di lavoro e per definire la natura, l'entità e l'impatto dei nuovi fattori di rischio che sono emersi o stanno emergendo in relazione ai rapidi cambiamenti del mondo del lavoro.

Il Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (il Decreto Legislativo 81 del 2008) ha previsto un'apposita sezione dedicata alle atmosfere esplosive e alla sicurezza dei lavoratori che sono tenuti a lavorare in questi ambienti particolarmente pericolosi.

Il rischio esplosione non interessa solo grandi impianti petrolchimici, infatti ogni anno vengono segnalate circa 50 esplosioni nelle piccole e medie aziende con qualche morto e ferito.

Il rischio esplosione ha alcune peculiarità che lo differenziano dalle altre tipologie di rischio trattate dal D.Lgs 81/08:

- L'entità del danno è quasi sempre elevata sia in termini di perdita di vita umana che di perdita economica;
- Gli effetti del danno sono difficilmente prevedibili, per questo di fatto non vi sono molte misure di mitigazione che possono contenere il danno, ma solo misure che in qualche modo possono limitare gli effetti dell'esplosione a dimensioni meno pericolose;
- Non esistono di fatto dispositivi di protezione individuali che proteggono dagli effetti dell'esplosione

Il settore delle atmosfere potenzialmente esplosive è regolamentato dalle Direttive ATEX 94/9/CE, che a partire da aprile 2016 sarà abrogata e sostituita dalla Direttiva 2014/34/UE, e 99/92/CE.

La Direttiva 94/9/CE è stata recepita in Italia con il DPR n. 126 del 23 marzo 1998 ed è entrata in vigore dal 1° luglio 2003. Questa e la successiva 2014/34/UE sono una direttiva di prodotto che si rivolge ai costruttori con lo scopo di garantire all'interno della Comunità Europea la libera circolazione dei prodotti fissandone i requisiti essenziali di sicurezza e salute.

La Direttiva 99/92/CE è stata recepita in Italia con il D.Lgs. n. 233 del 12 giugno 2003 (in vigore dal 10 settembre 2003) ed è una direttiva sociale che integra il D.Lgs. 81/08 con il Titolo XI, fissando una serie di obblighi per il datore di lavoro, in relazione alla tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori.

L'applicazione di queste direttive richiede un notevole impegno sia per il costruttore sia per il datore di lavoro in quanto comporta azioni e valutazioni sulle attrezzature e sui luoghi e, non ultima, la stesura di un "documento sulla protezione contro le esplosioni".

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

A tal scopo si partirà da una panoramica generale di cosa sono le esplosioni e le atmosfere esplosive e poi quali sono le informazioni principali contenute in direttive e norme. Nel capitolo 3 si affronterà il problema di come deve agire il datore di lavoro o il costruttore per garantire la sicurezza approfondendone poi i principali aspetti nei capitoli successivi. Si partirà quindi con il metodo per classificare le aree per passare poi alla valutazione del rischio, ai modi di protezione applicabili, ai criteri che ogni apparecchiatura deve rispettare per poter lavorare in una determinata zona, alle prescrizioni generali per custodie e infine ai metodi di protezione contro le esplosioni.

CAPITOLO 1: GENERALITÀ

1.1 COS'È L'ATEX?

Il termine “ATEX” deriva dalle parole ATmosphères ed EXplosibles, ovvero atmosfera esplosiva. Questa è definita dall'articolo 288 del D.Lgs. 81/2008 (Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro) 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”.

Esempi di gas o vapori infiammabili sono idrocarburi, solventi, vernici, diluenti, benzina, alcol, coloranti, profumi, prodotti chimici, agenti di fabbricazione delle materie plastiche.

Per polvere s'intende l'insieme di piccole particelle solide presenti in atmosfera, che si depositano per effetto del proprio peso, ma che possono restare in sospensione per un certo periodo di tempo. In genere si considerano pericolose polveri combustibili che hanno dimensioni delle particelle minori od uguali a 500 micrometri.

Esempi di polveri infiammabili sono legno, zucchero, carta, caffè, latte, mais, resine, alluminio, magnesio, zinco, zolfo, titanio, ferro e PVC.

Sempre l'articolo 288 del D.Lgs 81/2008 riporta che le condizioni atmosferiche considerate ai fini della definizione di atmosfera esplosiva prevedono una concentrazione dell'ossigeno approssimativamente del 21% e livelli di riferimento per pressione e temperatura, rispettivamente pari a 101325 Pa e 293 K. Rispetto ai valori di riferimento di pressione e temperatura, sono ammesse delle variazioni, purché queste non incidano significativamente sulle proprietà esplosive della sostanza infiammabile o combustibile. A tal proposito le Linee Guida della Comunità Europea suggeriscono che le condizioni atmosferiche entro le quali le apparecchiature elettriche possono operare sono:

- temperatura, da -20 °C a +60 °C;
- pressione, da 80 kPa (0,8 bar) a 110 kPa (1,1 bar);
- aria con contenuto di ossigeno normale, tipicamente del 21 % v/v.

1.2 L'ESPLOSIONE E I SUOI PARAMETRI FISICI FONDAMENTALI

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

Il comburente è la sostanza in presenza della quale il combustibile brucia; nel nostro caso si tratta dell'ossigeno contenuto nell'aria in percentuale pari a circa il 21% in volume.

Le sostanze che combinate con l'aria possono provocare la reazione esotermica di esplosione sono dette infiammabili, con l'eccezione delle polveri, per le quali si preferisce usare il termine combustibili.



Figura 1: Il triangolo dell'esplosione

Affinché si possa verificare un'esplosione, la miscela esplosiva deve trovarsi in presenza di una sorgente di accensione efficace, cioè in grado di innescare la reazione.

Questo è rappresentato in maniera grafica dal noto triangolo presente in figura, dove i lati dello stesso indicano le tre condizioni necessarie affinché si possa verificare la reazione esplosiva.

La sorgente di innesco deve essere in grado di fornire alla miscela esplosiva, per una data concentrazione della sostanza in aria, una quantità di energia sufficiente affinché la combustione

superi quel punto critico oltre il quale è in grado di auto-sostenersi, permettendo al fronte di fiamma di propagarsi da solo senza apporto di energia dall'esterno. Tale energia è specifica di ogni sostanza ed il valore minimo è chiamato energia minima di accensione. Affinché l'esplosione avvenga è necessario che la sostanza infiammabile venga accesa trovandosi in una concentrazione in aria compresa entro un limite inferiore detto LEL (Lower Explosion Limit) ed uno superiore detto UEL (Upper Explosion Limit). Questi parametri individuano il range di esplosione (figura 2), cioè l'intervallo di concentrazione entro il quale la miscela infiammabile può esplodere. Ovviamente questi livelli variano fra le varie sostanze in questione.

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

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



Figura 2: Range di esplosione

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

Nella seguente tabella vengono riportati i valori di UEL, LEL e MIE di alcune sostanze.

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

Tabella 1: Valori di MIE, LEL e UEL di alcune sostanze

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

Questo parametro è importante perché permette di valutare se nelle condizioni di temperatura in cui si trova il liquido (ambientali, di stoccaggio, di processo) esiste il pericolo di esplosione.

Il gasolio, per esempio, ha una temperatura di infiammabilità compresa fra 55 e 65 °C ed in condizioni ambientali non può formare una miscela esplosiva (solo rischio di incendio); potrebbe viceversa generarla se in un determinato processo venisse riscaldato a quella temperatura.

La temperatura di accensione di una atmosfera esplosiva per la presenza di gas, così come definita dalla CEI 60079-0 è "la minima temperatura di una superficie riscaldata alla quale avviene l'accensione di una sostanza infiammabile allo stato di gas o vapore in miscela con

l'aria". Tale valore è utile per determinare le massime temperature raggiungibili dalle superfici delle apparecchiature che si trovano in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive. In tabella vengono riportati i valori di temperatura di infiammabilità e di accensione di alcune sostanze.

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

Tabella 2: Valori di temperatura di infiammabilità ed accensione

Per le polveri vengono rispettivamente definite la temperatura di accensione di una nube e la temperatura di accensione di uno strato di polvere.

La temperatura di accensione di una nube è la più bassa temperatura di una parete calda interna ad un forno alla quale si verifica l'accensione in una nube di polvere nell'aria contenuta al suo interno.

La temperatura di accensione di uno strato di polvere è la più bassa temperatura di una superficie calda alla quale si verifica l'accensione in uno strato di polvere di spessore specificato su una superficie calda.

Uno strato di polveri è considerato pericoloso sia perché può sollevarsi in nube sia perché può accendersi e dare origine ad esplosioni successive (effetto domino).

Nella seguente tabella vengono riportati alcuni esempi di polveri infiammabili e le relative temperature di accensione, sia nel caso di nube, sia nel caso di strato.

Polveri	Temperatura di accensione tipica (°C)	
	Nube	Strato
Alluminio	560	450
Carbone macinato	420	230
Cellulosa	520	410
Farina	380	320
Gomma sintetica	450	220
Legno	410	220
Metilcellulosa	420	320
Resina fenolica	530	>450
Polietilene	420	fonde
PVC	700	>450
Toner	530	fonde
Amido	460	435
Zucchero	490	460

Tabella 3: Temperatura di accensione di nubi e strati di polvere

Un altro parametro di notevole interesse è rappresentato dalla classe di combustibilità BZ che rappresenta l'attitudine della polvere a bruciare in strato. Più la polvere tende a bruciare, maggiori sono le condizioni di rischio sia per la presenza di sorgenti di accensione sia per la possibilità che lo strato possa sollevarsi in nube e provocare esplosioni successive.

Infine si ricorda l'indice di esplosione K, che indica quanto forte può essere un'esplosione. Tale parametro si determina sperimentalmente con analisi di laboratorio in specificate condizioni e

riveste una grande importanza soprattutto per le polveri, in quanto ne caratterizza il comportamento. Esso dipende dal volume occupato dalla polvere e dalla massima variazione di pressione nel tempo secondo la seguente formula:

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

In particolare i valori dell'indice di esplosione per le polveri K_{st} sono suddivisi in 4 intervalli ad ognuno dei quali è associata una classe di esplosione St. A valori crescenti di St corrispondono valori di intensità crescente dell'esplosione come indicato nella seguente tabella.

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

Tabella 4: Classi di esplosione

1.3 SORGENTI D'INNESCO

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

Le sorgenti efficaci, secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 1127-1, possono essere costituite da:

- superfici calde
- fiamme e gas caldi
- scintille di origine meccanica
- materiale elettrico
- correnti elettriche vaganti
- elettricità statica
- fulmini
- radiofrequenza (da 10^4 Hz a 3×10^{12} Hz)
- onde elettromagnetiche (da 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz)
- radiazioni ionizzanti
- ultrasuoni
- compressioni adiabatiche e onde d'urto
- reazioni esotermiche, inclusa l'autoaccensione delle polveri

1.4 QUANDO SI VERIFICA L'ESPLOSIONE?

In conclusione quindi si può generare un'esplosione di un gas e/o vapore quando:

1. la sostanza o combustibile è infiammabile;
2. la sostanza ha un giusto grado di dispersione;
3. la concentrazione della sostanza in aria è compresa tra i limiti LEL e UEL;
4. l'atmosfera esplosiva è significativa e supportata dal comburente;
5. è presente una sorgente d'innesco con energia minima di innesco sufficiente.

Se manca una delle condizioni elencate da 1 a 4 non si possono formare atmosfere esplosive. Se manca la condizione 5 l'esplosione non può avvenire.

Invece, per quanto riguarda le polveri, l'esplosione si può generare quando:

1. la polvere sia combustibile;
2. la polvere è dispersa in modo da formare una nube ben amalgamata;
3. la granulometria è tale da propagare la fiamma;
4. la concentrazione è tra i limiti LEL e UEL;
5. nell'ambiente vi è sufficiente ossigeno;
6. è presente una sorgente minima di innesco.

Se manca una delle condizioni elencate da 1 a 5 non si possono formare atmosfere esplosive. Se manca la condizione 6 la sostanza non si innesca.

Per poter prevenire un possibile rischio di esplosione si deve fare in modo che non coesistono nello spazio e nel tempo le condizioni precedentemente illustrate. Quindi la priorità, sia per il costruttore che per l'utilizzatore, deve essere quella di evitare che possano manifestarsi atmosfere potenzialmente esplosive e che queste, se presenti, non possano venire in contatto con fonti di innesco efficaci. Qualora queste misure preventive siano insufficienti a raggiungere un livello soddisfacente di protezione, allora è necessario ricorrere a misure di protezione che limitino gli effetti di qualunque esplosione ad un livello accettabile.

Sostanzialmente la prevenzione consiste nella:

- A) Classificazione dei luoghi;
- B) Scelta ed installazione di impianti e prodotti con adeguati requisiti.

CAPITOLO 2: LA DIRETTIVA ATEX 2014/34/UE E LA NORMA CEI EN 60079-0

2.1 APPLICABILITÀ ED ESCLUSIONI

La nuova direttiva ATEX 2014/34/UE così come la precedente si applica ai seguenti prodotti:

- a) Apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva;
- b) Dispositivi di sicurezza, di controllo e di regolazione destinati a essere utilizzati al di fuori di atmosfere potenzialmente esplosive ma necessari o utili per il funzionamento sicuro degli apparecchi e sistemi di protezione, rispetto ai rischi di esplosione;
- c) Componenti destinati ad essere inseriti negli apparecchi e sistemi di protezione di cui alla lettera a)

La direttiva invece non si applica ai seguenti prodotti:

- Apparecchiature mediche;
- Apparecchi e sistemi di protezione, quando il pericolo di esplosione è dovuto esclusivamente alla presenza di materie esplosive o di materie chimiche instabili;
- Apparecchi destinati a impieghi in ambienti domestici e non commerciali, nei quali un'atmosfera potenzialmente esplosiva può essere provocata solo raramente e unicamente in conseguenza di una fuga accidentale di gas;
- Attrezzature di protezione individuale;
- Navi marittime e unità mobili offshore, nonché le attrezzature utilizzate a bordo di dette navi o unità;
- Mezzi di trasporto, vale a dire veicoli e loro rimorchi destinati unicamente al trasporto di persone per via aerea oppure su reti stradali, ferroviarie o di navigazione e mezzi di trasporto, nella misura in cui sono concepiti per trasportare merci per via aerea o su reti pubbliche stradali o ferroviarie o di navigazione. I veicoli destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva, non sono esclusi dall'ambito di applicazione della presente direttiva;
- Armi, munizioni e materiale bellico.

È opportuno ricordare che la direttiva ATEX non si applica agli spazi all'interno delle macchine in cui può essere presente un'atmosfera potenzialmente esplosiva. Infatti i rischi di esplosione causati dalla macchina o che insorgono al suo interno o dovuti a gas, liquidi, polveri, vapori o altre sostanze prodotte o impiegate dalla macchina sono oggetto della direttiva macchine.

Bisogna quindi prestare attenzione al fatto che la direttiva ATEX non guarda cosa contiene la macchina in questione bensì l'ambiente in cui questa macchina andrà a lavorare.

2.2 LA CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE

Le aree a rischio di esplosione sono ripartite in zone in base alla frequenza e alla durata della presenza di atmosfere esplosive.

Secondo l'allegato XLIX del D.Lgs 81/2008 si distinguono i seguenti tre tipi di zone per miscele pericolose in aria di gas, vapore e nebbie:

- Zona 0: "area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili, sotto forma di gas, vapore o nebbia"
- Zona 1: "area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili, sotto forma di gas, vapori o nebbia, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività"
- Zona 2: "area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e sostanze infiammabili, sotto forma di gas, vapore o nebbia o, qualora si verifici, sia unicamente di breve durata"

Analogamente per le polveri:

- Zona 20: "area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria"
- Zona 21: "area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività"
- Zona 22: "area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria o, qualora si verifici, sia unicamente di breve durata"

La classificazione in zone è importante perché è necessario adottare precise misure di sicurezza a seconda del tipo di zona. In particolare è previsto l'impiego di attrezzature con requisiti specifici a seconda della zona individuata. L'allegato L del D.Lgs 81/2008 infatti dice che in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive devono essere impiegate le seguenti categorie di apparecchi, purché adatti, a seconda dei casi, a gas, vapori o nebbie e/o polveri:

- nella zona 0 o nella zona 20, apparecchi di categoria 1;
- nella zona 1 o nella zona 21, apparecchi di categoria 1 o di categoria 2;
- nella zona 2 o nella zona 22, apparecchi di categoria 1, 2 o 3.

2.3 GRUPPI E CATEGORIE

La direttiva divide i prodotti in due gruppi (gruppo I e gruppo II), il primo dei quali comprende gli apparecchi destinati alle miniere ed il secondo tutti gli altri.

A loro volta, all'interno dei gruppi i prodotti sono divisi in categorie a seconda del livello di protezione garantito contro il rischio di innesco dell'atmosfera potenzialmente esplosiva, come indicato nella seguente tabella:

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

Tabella 5: Gruppi e categorie

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

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

Il livello molto elevato garantisce la protezione anche nel caso di un guasto raro (anomalie rare) ed è idoneo per ambienti in cui l'atmosfera esplosiva è presente spesso o in maniera continua (zona 0 per gas e zona 20 per le polveri). In caso di doppio guasto questo livello garantisce la protezione richiesta.

Naturalmente un apparecchio appartenente ad una categoria superiore (nel senso della protezione) è idoneo, perché sovrabbondante, anche ad ambienti in cui è richiesto un livello di protezione inferiore.

Le principali caratteristiche delle singole categorie sono le seguenti:

M1

- zona di destinazione: miniere;
- livello di protezione: molto elevato;
- operatività in caso di guasto;
- operatività con atmosfere esplosive;
- mezzi di protezione: se si guasta un mezzo di protezione ne esiste un altro indipendente che assicura il livello di sicurezza richiesto oppure se si verificano due guasti indipendenti resta garantito il livello di sicurezza richiesto.

M2

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

Cat. 1

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

Cat. 2

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

Cat. 3

- zona di destinazione: rispettivamente zona 2 per gas e 22 per polveri;
- livello di protezione: normale;

- mezzi di protezione: assicurano il livello di protezione richiesto nel funzionamento normale.

Il livello di protezione adeguato alla categoria richiesta viene raggiunto adottando opportuni modi di protezione, la cui applicazione è regolata per gli apparecchi elettrici dalle norme CENELEC (recepite in Italia dal CEI) e per gli apparecchi non elettrici dalle norme del CEN (recepite in Italia dall'UNI).

2.4 PROCEDURE DI CONFORMITÀ

Ai fini della marcatura sono previste varie procedure di conformità in funzione del prodotto e della categoria di appartenenza.

Tutte le apparecchiature elettriche di categoria 1 e categoria 2 devono essere obbligatoriamente certificate presso Organismi Notificati ATEX, anche Notified Body, ovvero gli Organismi ai quali l'autorità nazionale ha affidato il compito di effettuare la verifica della conformità alla direttiva (in Italia, ad esempio: IMQ, CESI, ICEPI, TUV).

Per le aziende che producono apparecchi elettrici di categoria 1 e di categoria 2 è obbligatoria anche la notifica e la sorveglianza del sistema di qualità tramite NB ATEX.

Per tutte le apparecchiature di categoria 3 è prevista l'autocertificazione, con il controllo di fabbricazione interno.

Il fabbricante deve preparare la documentazione tecnica che dimostri la conformità dell'apparecchiatura ai requisiti della Direttiva; la documentazione deve rimanere a disposizione per almeno 10 anni dall'ultima immissione sul mercato.

Tutti i prodotti (categoria 1, 2 e 3) devono essere obbligatoriamente accompagnati dalla dichiarazione scritta di conformità CE e dalle istruzioni d'uso.

2.5 LA NORMA CEI EN 60079-0

Questa norma definisce le prescrizioni generali relativamente alla costruzione, prova e marcatura degli apparecchi elettrici e dei componenti Ex destinati ad essere utilizzati in ambienti con atmosfere esplosive. Gli apparecchi elettrici conformi alle prescrizioni della Norma sono adatti per l'uso in aree pericolose dove le atmosfere sono presenti in condizioni atmosferiche normali (cioè quelle specificate nel paragrafo 1.1).

2.6 LIVELLO DI PROTEZIONE DELLE APPARECCHIATURE EPL (EQUIPMENT PROTECTION LEVEL)

L'adozione a livello europeo delle norme internazionali IEC, a partire dalla norma EN 60079-0, ha introdotto, per identificare il livello di protezione di un'apparecchiatura, il concetto di EPL. Questo viene definito dalla medesima norma come "livello di protezione assegnato ad un'apparecchiatura elettrica basato sulla sua probabilità di diventare una sorgente di accensione, e distintivo delle differenze tra atmosfere esplosive da gas, atmosfere esplosive da polveri, e atmosfere esplosive in miniere grisoutose¹". Questa è una definizione del tutto analoga a quella delle categorie definite nella Direttiva ATEX. Possiamo quindi dire che semplicemente si tratta di chiamare con nome diverso una stessa entità.

¹ grisou: miscela infiammabile di più gas che si presenta naturalmente in una miniera.

Il grisou si compone principalmente di metano, ma contiene sempre piccole quantità di altri gas, come azoto, anidride carbonica e idrogeno, e talvolta etano e monossido di carbonio. Nel comparto minerario, i termini grisou e metano sono usati spesso come sinonimi.

Un'ulteriore differenza fra Direttiva ATEX e normative è che mentre la direttiva divide gli apparecchi in due gruppi, le normative li dividono in tre. Il gruppo I è analogo, ovvero riguarda sempre gli apparecchi destinati alle miniere. La distinzione è sui restanti apparecchi. Mentre la Direttiva li raggruppa tutti assieme nel gruppo II, le normative distinguono a seconda che l'atmosfera esplosiva in cui questi andranno a lavorare sarà dovuta a gas (gruppo II) o a polveri (gruppo III).

In particolare la norma CEI EN 60079-0 definisce, in conformità alla natura dell'atmosfera esplosiva per la presenza di gas (per il gruppo II) o polveri (per il gruppo III) per le quali sono destinate, le seguenti suddivisioni.

Suddivisioni del Gruppo II:

IIA: acido acetico, acetone, ammoniaca, butano, cicloesano, etanolo (alcol etilico), cherosene, metano, metanolo, propano, propanolo, toluene, xilene;
 IIB: etilene, metiletilchetone (MEK), tetraidrofurano (THF);
 IIC: idrogeno e acetilene.

Suddivisioni del Gruppo III:

IIIA: particelle combustibili quali legno, carta e cotone
 IIIB: polvere non conduttrice
 IIIC: polvere conduttrice

Quello che è importante precisare è che, a seguito di questa trasposizione all'interno delle norme, l'EPL sta gradualmente sostituendo le categorie della Direttiva ATEX.

La sigla dell'EPL consiste in una prima lettera maiuscola che può essere G, se ci si riferisce a gas, D se ci si riferisce a polvere ed M per le miniere. È completata da una seconda lettera minuscola che indica il livello di protezione nella seguente maniera:

- "a" livello di protezione molto elevato;
- "b" livello di protezione elevato;
- "c" livello di protezione normale.

Per le miniere esistono solo il livello "a" e "b".

Nella seguente tabella viene riportata l'analogia fra categorie, come definite dalla Direttiva ATEX, e EPL, come invece definiti nella EN 60079-0, con specificato la relativa zona a cui sono destinate.

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

Tabella 6: Categorie ed EPL

2.7 MARCATURA

Ai sensi della direttiva ATEX 2014/34/UE, i prodotti dovranno essere dotati di apposita targhetta identificativa dove devono figurare in modo leggibile e indelebile almeno le seguenti indicazioni:

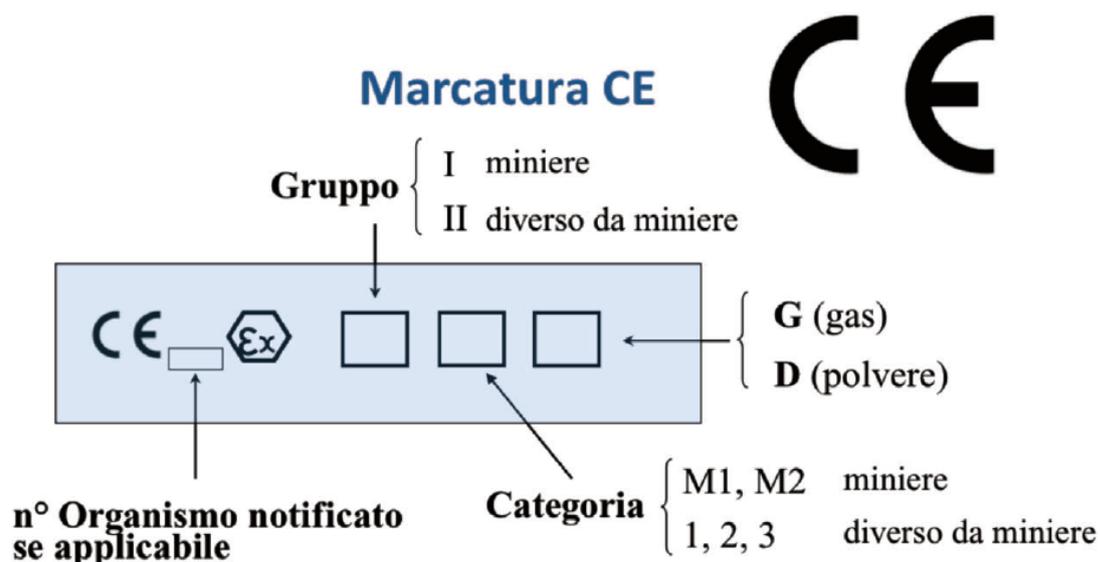
- nome ed indirizzo del fabbricante;
- tipo costruttivo;
- numero di serie;
- anno di costruzione;
- marcatura CE e numero organismo notificato se applicabile;
- marchio specifico di protezione dalle esplosioni (figura 3);
- gruppo e categoria.



Figura 3: marchio specifico di protezione dalle esplosioni

Per il gruppo II si usa la lettera G per le apparecchiature per Gas mentre quelle per polveri sono individuate dalla lettera D (Dust).

La figura seguente descrive la marcatura CE ai sensi della direttiva ATEX. Il numero dell'Organismo Notificato viene apposto nel caso in cui siano effettuate procedure relative ad un controllo di qualità.



Es. Apparecchio del gruppo II idoneo alla zona 20 (polveri)



Figura 4: marcatura ai sensi della direttiva

Come visto in precedenza, la norma CEI EN 60079-0 introduce il concetto di EPL ed assieme ad esso introduce anche un nuovo metodo di marcatura.

Nel caso di gas vanno riportati la scritta "Ex", il modo di protezione applicato, il gruppo del gas (A, B o C), la classe di temperatura e infine l'EPL.

Esempio: Ex d IIC T4 Gb

Nel caso di polveri vanno invece riportati la scritta “Ex”, il modo di protezione applicato, il gruppo della polvere in questione (A, B o C), la massima temperatura superficiale raggiungibile, l’EPL e infine il grado di protezione IP garantito.

Esempio: Ex tc IIIC T135°C Dc IP6x

Spesso quindi si rispettano sia i requisiti previsti dalla direttiva sia quelli della norma. In questo modo si è sicuri di rispettare entrambi e di non commettere errori. È quindi facile trovare marcature come la seguente.



Figura 5:marcatura ATEX completa

Nota: modo di protezione, classe di temperatura, massima temperatura superficiale raggiungibile e grado di protezione IP verranno affrontati nei capitoli 6 e 7.

CAPITOLO 3: COME AGIRE IN PRESENZA DI UN'ATMOSFERA ESPLOSIVA

3.1 GENERALITÀ

Il datore di lavoro a capo di un'azienda o un'impresa che per qualsiasi motivo contiene un'atmosfera esplosiva deve porsi i tre seguenti obiettivi:

1. Prevenire la formazione di atmosfera esplosiva;
2. Evitare la presenza di sorgenti di innesco efficaci;
3. Limitare gli effetti dell'esplosione.

Per far questo si può agire nel seguente modo:

- Analizzare il processo produttivo ed individuare le sostanze ed i reparti/impianti potenzialmente esposti al pericolo esplosione;
- Individuare e censire i punti o aree di lavoro dove possono verificarsi emissioni di sostanze in grado di formare una miscela potenzialmente esplosiva;
- Classificare le aree di lavoro, le macchine ed impianti dove si possono formare atmosfere potenzialmente esplosive;
- Produrre e mantenere aggiornato il “documento sulla protezione contro le esplosioni”;
- Individuare e valutare il rischio esplosione nelle zone classificate;
- Definire i requisiti dell'apparecchio da utilizzare all'interno dell'atmosfera esplosiva;
- Acquistare o produrre l'apparecchio dotato di tali requisiti;
- Adottare misure tecniche per la prevenzione e protezione;
- Adottare misure organizzative.

3.2 IL DOCUMENTO SULLA PROTEZIONE CONTRO LE ESPLOSIONI

Il documento sulla protezione contro le esplosioni è stato introdotto dal D.Lgs. 233/03 e di conseguenza è presente pure nel D.Lgs. 81/08 (Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro). In quest'ultimo, all'articolo 294, è specificato che in tale documento il datore di lavoro precisa:

- di aver individuato e valutato i rischi;
- di aver preso le misure di protezione necessarie;
- quali sono i luoghi classificati e quelli in cui si applicano le prescrizioni minime;
- che luoghi e attrezzature sono concepiti, impiegati e mantenuti secondo criteri di sicurezza.

3.3 LE MISURE CONTRO L'ESPLOSIONE

Le misure contro l'esplosione si dividono quindi in due grandi categorie: quelle tecniche, a loro volta suddivise in di prevenzione e in di protezione, e quelle organizzative.

Le misure tecniche di prevenzione riguardano l'evitare la formazione di atmosfera esplosiva e l'evitare la presenza di sorgenti di accensione efficaci. La formazione di atmosfera esplosiva può essere evitata in vari modi tra cui:

- sostituzione delle sostanze infiammabili;
- ridurre i quantitativi in gioco nel processo;
- limitare la concentrazione e/o la quantità di atmosfera esplosiva che si genera tramite uso di rilevatori gas o dispositivi di controllo temperatura liquidi infiammabili;
- inertizzazione, ovvero una procedura in cui la concentrazione di ossigeno presente nell'aria viene ridotta tramite l'aggiunta di gas inerti ad un valore al disotto della concentrazione limite di ossigeno;
- progettare le macchine in modo che le sostanze siano sempre in ambienti chiusi;
- minimizzare le emissioni di sostanze tramite la scelta di componenti a tenuta;
- diluizione per ventilazione;
- evitare gli accumuli di polvere.

Se non è possibile attuare le tecniche di prevenzione e quindi non si riesce ad eliminare l'atmosfera esplosiva e/o la sorgente di innesco bisogna ricorrere alle misure tecniche di protezione. Queste sono:

- progettazione resistente all'esplosione;
- scarico dell'esplosione;
- soppressione dell'esplosione;
- prevenzione della propagazione degli effetti (isolamento).

Queste verranno affrontate in modo più approfondito nel capitolo 9.

Le misure organizzative invece sono ad esempio:

- qualificazione del personale;
- formazione del personale;
- sistema autorizzazioni scritte al lavoro;
- istruzioni scritte al lavoro;
- gestione sicurezza in manutenzione;
- coordinamento imprese esterne;
- controllo sorveglianza;
- segnalazione tramite cartellonistica.

CAPITOLO 4: CRITERI E PROCEDURE DI CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

4.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Esistono diversi metodi per effettuare la classificazione delle aree che fanno riferimento a norme, guide e raccomandazioni. Il D.lgs. 81/08 nell'allegato XLIX afferma che si può, ma non è obbligatorio, fare riferimento alle norme europee EN 60079-10 (CEI 31-30) per atmosfere esplosive in presenza di gas ed alla norma EN 61241-10 (CEI 31-66) per atmosfere esplosive in presenza di polveri combustibili, nonché alle guide CEI 31-35 (gas) e CEI 31-56 (polveri). Le norme EN di cui sopra sono state recentemente sostituite rispettivamente dalle norme EN 60079-10-1 (CEI 31-87) per gas ed EN 60079-10-2 (CEI 31-88) per polveri.

La norma EN 60079-10-1 si basa sugli effetti della ventilazione ed in particolare sul grado di ventilazione e propone un metodo analitico attraverso il quale si determina il tipo di zona. La guida CEI 31-35 si basa sulla norma europea e propone un procedimento per la valutazione dell'estensione della zona.

Analogamente avviene per le polveri, per le quali la norma EN 60079-10-2 propone un metodo non analitico, in cui il tipo di zona è determinato in base alla probabilità che si presenti un'atmosfera pericolosa, mentre la relativa estensione è prefissata e dipende dal tipo di zona. La guida CEI 31-56 propone, invece, un metodo più elaborato che porta fino alla determinazione dell'estensione della zona.

4.2 CENNI SULLA PROCEDURA PER GAS SECONDO EN 60079-10-1 (CEI 31-87)

In questo paragrafo viene illustrata in maniera semplice e sintetica la procedura per la classificazione di ambienti dove può formarsi un'atmosfera pericolosa per miscele di aria con gas, secondo la norma EN 60079-10-1 (CEI 31-87).

Tale norma non è di facile applicazione per cui si fa riferimento alla relativa Guida CEI 31-35, alla quale si rimanda per una trattazione più esauriente e completa poiché in questo capitolo ci si limiterà ai concetti più generali.

È evidente che la prima cosa da fare è individuare le sostanze pericolose determinando i parametri fisici che le caratterizzano, come per esempio:

- massa volumica;
- temperatura di accensione;
- temperatura d'infiammabilità;
- LEL;
- UEL.

Si ricorda che, nel caso di una miscela di sostanze infiammabili, il LEL può essere definito tramite la legge di Le Chatelier (vedi CEI 31-35).

Altri parametri possono essere necessari a seconda della specifica situazione (es. tensione di vapore). Successivamente, occorre individuare le possibili fonti di emissione di sostanze infiammabili registrandone ubicazione e caratteristiche.

Il tipo di zona viene determinato utilizzando una tabella che tiene conto di tre fattori:

- grado dell'emissione
- disponibilità della ventilazione
- grado della ventilazione

4.2.1 Grado dell'emissione

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

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

Tabella 7: grado dell'emissione per gas

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

4.2.2 Disponibilità della ventilazione

La disponibilità della ventilazione si valuta scegliendo fra i casi riportati nella tabella

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

Tabella 8: disponibilità della ventilazione

seguito: La disponibilità è buona se la ventilazione è presente con continuità. È invece considerata adeguata se presente durante il funzionamento normale ed eventuali interruzioni devono essere poco frequenti e di breve durata. È scarsa invece quando non è né buona né adeguata e le interruzioni non hanno lunga durata.

In ambienti aperti la disponibilità è generalmente considerata buona se esiste una velocità del vento pari a 0,5 m/s.

Se la disponibilità è adeguata o scarsa significa che esiste una ventilazione primaria che, in determinate circostanze, può venir meno lasciando presente solo una ventilazione residua.

4.2.3 Grado della ventilazione

Per quanto riguarda il grado della ventilazione nell'ambiente considerato bisogna distinguere fra il caso di ambienti aperti ed il caso di ambienti chiusi.

4.2.3.1 Ventilazione per ambienti aperti

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

$$C_0 = \frac{Q_0}{V_0}$$

dove:

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

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

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

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

dove w_a è la velocità dell'aria.

La lunghezza L_0 si ricava a partire dalla determinazione della dimensione dz , che definisce la distanza dalla sorgente di emissione a cui la concentrazione è inferiore a $k_{dz} \cdot \text{LEL}$ (esistono formule riportate nella guida CEI 31-35 per diversi casi).

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

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

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

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

$$\frac{Q_{a \min}}{Q_g} = \frac{1}{k \cdot \text{LEL}} \cdot \frac{T_a}{293}$$

Q_g (kg/s); Q_{amin} (m³/s di aria); LEL_m (kg/m³)

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

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

Dove:

c_p = calore specifico a pressione costante [J/(Kg K)];

c_v = calore specifico a volume costante [J/(Kg K)];

γ = indice di espansione c_p/c_v

S = sezione del foro di emissione[m²];

P = pressione assoluta all'interno del contenitore [Pa];

T_a = temperatura ambiente (°K);

M = massa molare della sostanza infiammabile [kg/kmol];

T = temperatura di riferimento, o temperatura assoluta all'interno del sistema di contenimento nel punto di emissione (sorgente di emissione), o temperatura del liquido [K];

R = costante universale dei gas pari a 8314.472 [J/K kmol].

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

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

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

$$Q_{a \min} = \frac{Q_g}{k \cdot LEL} \frac{T_a}{293}$$

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

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

Dove f_{SE} varia da 1 (buona capacità di diluizione) a 5 (cattiva capacità di diluizione), in funzione della maggiore o minore capacità di diluizione dell'atmosfera esplosiva da parte della circolazione d'aria, in prossimità della sorgente di emissione.

Si noti bene che V_z non è il volume effettivo della zona pericolosa che definisce l'estensione della zona: il volume effettivo e le dimensioni della zona sono determinate dal parametro "a" precedentemente definito.

V_z è una stima del volume di atmosfera esplosiva prodotto ed è utilizzato per stabilire il grado della ventilazione dopo aver deciso se esso è trascurabile (non pericoloso) o non trascurabile (pericoloso).

In ambienti aperti la normativa IEC 60079-10-1 suggerisce di considerare pericoloso un volume V_z dell'ordine di 100 dm^3 o superiore.

La guida CEI 31-35, considerando che il rischio è determinato dalla probabilità di accadimento del danno e dalla gravità del danno, suggerisce di considerare il volume di miscela esplosiva effettivamente presente V_{ex} pari a:

$$V_{ex} = k \cdot V_z$$

dove k è il coefficiente di sicurezza già definito (applicato al LEL).

V_z è considerato trascurabile se vengono rispettate le seguenti disuguaglianze:

- per la zona 0: $V_{ex} < 1 \text{ dm}^3$;
- per la zona 1: $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$;
- per la zona 2: $V_{ex} < 10 \text{ dm}^3$.

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

$$t_{patm} = \frac{-f_{SE}}{C_0} \ln \frac{KLEL}{X_0}$$

dove:

X_0 è la concentrazione iniziale in V_0 .

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

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

Tabella 9: grado della ventilazione all'aperto

Il grado di ventilazione è alto se V_z è trascurabile.

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

4.2.3.2 Ventilazione per ambienti chiusi

In ambiente chiuso può esistere la ventilazione naturale che deve essere calcolata e/o quella artificiale che invece è nota. Nella guida CEI 31-35 sono suggerite formule per il calcolo della prima in funzione delle aperture esistenti nel locale.

La portata di ventilazione artificiale e le attrezzature ad essa relative devono essere tali da ridurre l'estensione della zona a dimensioni trascurabili.

La disponibilità della ventilazione naturale può essere buona o adeguata o scarsa. Se la disponibilità è buona il tipo di zona dipende dal grado di emissione e le sue dimensioni (V_z) possono essere trascurabili.

Nel caso di grado di emissione continuo e primo, se la disponibilità è adeguata o scarsa, oltre alla prima zona, esiste una seconda zona di tipo zona 2, con dimensioni che dipendono dalla ventilazione residua che è quella presente quando la ventilazione artificiale viene a mancare.

La guida CEI 31-35 fornisce indicazioni specifiche procedurali per sorgenti di emissione a cui è applicata la ventilazione artificiale.

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

Le emissioni di grado continuo sono tutte contemporanee, quindi:

$$X_m = \sum X_r \% = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} 100$$

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

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

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

dove:

$$X_{te} \% (conc. dopo te) = \frac{Q_g}{Q_a \cdot \rho_{gas}} (1 - e^{-c_a \cdot te}) \cdot 100$$

Con:

$$C_a = \frac{Q_a}{V_a}$$

C_a è il numero di ricambi nel volume V_a dell'ambiente considerato.

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

$$X_m = \sum X_r \% + \sum X_{te \text{ primo grado}} \% (contemporanee) + X_{te \text{ secondo grado}} \% (singola o più gravosa)$$

La concentrazione media $X_m\%$ nel campo lontano deve essere confrontata con il parametro di riferimento $kLEL\%/f$.

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

Se viceversa è soddisfatta la seguente condizione:

$$X_m \% \leq kLEL\%/f$$

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

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

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

Tabella 10: grado della ventilazione al chiuso

Per il grado di ventilazione medio il V_z non è trascurabile ma il tempo di persistenza deve essere compatibile con la zona.

Il grado di ventilazione è basso se $X_m\% > kLEL\%/f$ e/o il tempo di persistenza non è compatibile con il tipo di zona.

4.2.4 Conclusione

A questo punto sono disponibili tutti i dati per determinare il tipo di zona utilizzando la tabella seguente:

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

Tabella 11: determinazione delle zone

Quando il grado della ventilazione è alto le zone assumono una estensione trascurabile e vengono chiamate rispettivamente zona 0 NE, 1 NE, 2 NE ad indicare che queste sono zone considerate non pericolose (infatti NE è l'abbreviazione di "non esplosive").

È possibile notare come in corrispondenza di disponibilità adeguata o scarsa per i gradi di emissione continuo e primo sussistano, come già accennato, due zone: la prima di queste zone deve essere valutata con il procedimento indicato con la ventilazione esistente durante il normale funzionamento. La seconda zona deve essere valutata con la stessa procedura, ma considerando solo la ventilazione residua che resta al venir meno di quella primaria.

L'estensione della zona pericolosa, quando essa non comprenda tutto l'ambiente in esame, è determinata dalla quota "a" già definita e dalle dimensioni della sorgente di emissione. La forma sarà scelta in funzione del tipo di emissione per esempio sfera, cilindro o cono, ricavando le dimensioni rappresentative con multipli o sottomultipli di "a".

4.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE PER PRESENZA DI POLVERI SECONDO EN 60079-10-2 (CEI 31-88)

In questo paragrafo viene illustrata in maniera semplice e sintetica la procedura per la classificazione di ambienti dove può formarsi un'atmosfera pericolosa per miscele di aria con polveri, secondo la norma EN 60079-10-2 (CEI 31-88), alla quale si rimanda per ulteriori necessari approfondimenti.

Questa norma, come già detto, presenta un metodo non analitico a causa della natura delle nubi di polvere, caratterizzate da un comportamento aleatorio e da una distribuzione non omogenea nell'ambiente.

Il tipo di zona viene valutato in funzione della natura delle polveri e della frequenza e durata con cui può manifestarsi l'atmosfera esplosiva; per l'estensione sono fissate delle dimensioni minime in funzione del tipo di zona. Ne deriva che apparentemente il metodo è più semplice, in realtà occorre avere delle conoscenze che riguardano la sostanza pericolosa, il tipo di lavorazione e di processo, l'umidità, la ventilazione e la pulizia dell'ambiente.

Lo strato di polvere è considerato una sorgente di pericolo sia perché può sollevarsi e disperdersi in nube esplosiva nell'ambiente, sia perché può incendiarsi.

La definizione delle zone è peraltro unicamente riferita alla presenza di nubi di polvere.

Le polveri, secondo la denominazione internazionale, appartengono al Gruppo III delle sostanze che possono generare atmosfere potenzialmente esplosive, il quale a sua volta si divide in:

- Gruppo IIIA: particolato combustibile;
- Gruppo IIIB: polvere non conduttrice;
- Gruppo IIIC: polvere conduttrice.

I parametri più importanti che possono essere presi in considerazione per valutare la pericolosità delle polveri sono:

- Granulometria: ovvero la grandezza media delle particelle (misurata in μm); è determinante per la sospensione in aria della polvere e per la sua pericolosità;
- Temperatura di accensione:
 - Temperatura minima di accensione di uno strato T1 (generalmente si fa riferimento ad uno strato di 5 mm);
 - Temperatura minima di accensione della nube Tc1.
- LEL (g/m^3);
- UEL (g/m^3);
- Energia minima di accensione (può variare da $\sim 1 \text{ mJ}$ a $\sim 10 \text{ J}$);
- Conducibilità elettrica. Le polveri si dividono in elettroconduttrici (E) e non elettroconduttrici (NE). Sono conduttrici se la resistività è minore od uguale a $1 \text{ k}\Omega\text{m}$;
- Umidità: il contenuto crescente di umidità diminuisce la pericolosità.

È necessario, qualora non si conosca la natura della polvere in esame, procedere alla determinazione delle sue caratteristiche fisiche attraverso l'analisi da parte di un laboratorio specializzato.

Individuate le polveri pericolose occorre determinare le sorgenti, divise a seconda del grado di emissione, scegliendo fra tre possibili casi, come indicato nella tabella seguente:

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

Tabella 12: grado di emissione di polveri

Si ricorda inoltre che uno strato è considerato sorgente di emissione e che la sua pericolosità può essere ridotta sia attraverso la scelta dell'apparecchiatura (temperatura delle superfici) sia per mezzo del controllo del livello di pulizia.

Le zone possono quindi essere determinate sulla base della seguente tabella:

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

Tabella 13: determinazione delle zone per polveri

Come già evidenziato, la norma EN 60079-10-2 (CEI 31-88) non fornisce un metodo analitico, lasciando al classificatore l'onere della determinazione e dando altresì delle indicazioni generiche relativamente ad esempi di tipologie di zone.

Esempi di Zone 20 possono essere:

- interno di sistemi di contenimento: tramogge, silo, filtri;
- sistemi di trasporto delle polveri eccetto alcune parti dei trasportatori a nastro e a catena;
- interno di miscelatori, macine, essiccatori, apparecchiature per insaccaggio.

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

Esempi di Zone 21 possono essere:

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

Esempi di Zone 22 possono essere:

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

Per quanto riguarda l'estensione:

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

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

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

CAPITOLO 5: PROTEZIONE DALLE ESPLOSIONI: CRITERI DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

5.1 GENERALITÀ

Nel presente capitolo è illustrata una metodologia per la valutazione del rischio da esplosioni, che va ad integrare il documento sulla protezione contro le esplosioni previsto dall'articolo 294 del D.Lgs. 81/08 "Testo unico sulla sicurezza".

Il processo di valutazione del rischio di esplosione va effettuato caso per caso, non presentando una soluzione valida a priori. Infatti, l'articolo 290 del D.Lgs. 81/08 impone al datore di lavoro una valutazione che tenga conto almeno dei seguenti elementi:

- probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive;
- probabilità che le fonti di accensione, comprese le scariche elettrostatiche, siano presenti e divengano attive ed efficaci;
- caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processi e possibili interazioni;
- entità degli effetti prevedibili.

Dunque, se si vuole analizzare un'attività sotto l'aspetto del rischio di esplosione, tale valutazione dovrà essere svolta considerando la probabilità di accadimento dell'evento esplosivo (ovvero la sua frequenza) e le conseguenze dell'incidente prevedibile. Da questa premessa si evince che la valutazione del rischio, visto come funzione dello scenario ipotizzato, è un processo necessariamente articolato.

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

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

Una volta individuati i pericoli si deve:

- individuare le sorgenti di emissione;
- valutare la probabilità che si formi un'atmosfera esplosiva e la sua durata;
- valutare se i volumi di atmosfera esplosiva sono pericolosi;
- valutare se esistono sorgenti di accensione efficaci e con quale probabilità;
- valutare i possibili effetti di una esplosione (onda di pressione, fiamme e gradiente di temperatura, proiezione di materiale e sostanze pericolose) ed i danni ad essi connessi (relativi alla presenza di persone).

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

- evitare la formazione di atmosfere esplosive e se questo non è possibile:
 - sostituzione delle sostanze pericolose,
 - limitazione delle concentrazioni;
 - costruzione idonea, inertizzazione, utilizzo di sistemi chiusi, ventilazione, monitoraggio, pulizia;
 - ed infine si procede alla classificazione delle aree, che può essere considerata una misura protettiva.
- evitare le sorgenti efficaci: mediante la scelta delle apparecchiature (es. modi di protezione) e delle loro caratteristiche;

- adottare misure di tipo tecnico (es. sistemi di soppressione dell'esplosione, costruzioni resistenti all'esplosione);
- adottare misure di tipo organizzativo (segnalazione, permessi di lavoro, procedure scritte, manutenzione programmata).

Alcune di queste misure devono essere attuate in maniera immediata, altre possono prevedere una tempistica diversa sempre nel rispetto delle condizioni di sicurezza.

Di seguito viene illustrata, a scopo puramente esemplificativo, un'ipotesi di metodologia di valutazione del rischio non vincolante, semplice, applicabile a situazioni non complesse, riconducibile a procedimenti più o meno simili, adottati nella pratica e reperibili in letteratura, in grado di fornire una visione del processo da effettuare e dei parametri che possono essere considerati.

La metodologia è di tipo qualitativo e prevede la determinazione del rischio in funzione della probabilità di accadimento dell'esplosione e dell'eventuale danno procurato sia sotto il profilo della salute che della sicurezza dei lavoratori.

Infatti, l'entità del rischio R è definita come prodotto tra la Probabilità P che si verifichi un determinato evento e la magnitudo del Danno D che tale evento, una volta verificatosi, può determinare.

5.2 LA PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE P

Il fattore di probabilità P racchiude al suo interno tutta una serie di parametri che influiscono sul possibile verificarsi di una esplosione. Essi contemplano, per esempio: il livello di manutenzione di attrezzature e impianti, la presenza e pericolosità di sorgenti di innesco, la formazione stessa dell'atmosfera esplosiva ed il confinamento dell'area eventualmente interessata dall'esplosione.

In questa sede consideriamo che la probabilità P che si verifichi un'esplosione sia connessa con il tipo di zona (già determinata mediante la classificazione delle aree) e con la probabilità che siano presenti sorgenti efficaci di accensione.

La probabilità P che possa avvenire un'esplosione può essere suddivisa qualitativamente in 4 livelli cioè improbabile, poco probabile, probabile e molto probabile, a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella tabella di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

GRADO DI PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE "P"	DEFINIZIONE QUALITATIVA
P = 1	L'esplosione è IMPROBABILE quando il suo manifestarsi è legato ad una serie di eventi tra loro indipendenti poco probabili. Non si sono mai manifestati eventi in condizioni analoghe.
P = 2	L'esplosione è POCO PROBABILE quando il suo manifestarsi è legato al contemporaneo verificarsi di eventi sfavorevoli, anche non indipendenti tra loro. Sono noti solo rarissimi episodi già verificatesi in circostanze analoghe.
P = 3	L'esplosione è PROBABILE quando è legata ad un evento o a più eventi concorrenti che possono innescare l'atmosfera esplosiva.
P = 4	L'esplosione è MOLTO PROBABILE quando l'evento che può determinarla ha una elevata probabilità di verificarsi. Ad esempio: presenza di sorgenti di innesco nelle immediate vicinanze di atmosfere esplosive.

Tabella 14: probabilità P di esplosione

In linea generale, si può considerare che la probabilità **P** che si verifichi una esplosione dipenda dai seguenti parametri:

- Probabilità che la sorgente di emissione SE generi una atmosfera esplosiva, che si può indicare con P_{SE} ;
- Probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva P_{INN} .

La probabilità P_{SE} che possa crearsi un'atmosfera esplosiva può essere associata per semplicità direttamente al tipo di zona ed essere suddivisa anch'essa qualitativamente in 4 livelli rispettivamente per le zone 0/20, 1/21, 2/22 e per le zone non pericolose indicate con NE, dove l'atmosfera esplosiva non esiste oppure è di dimensioni tanto ridotte da non essere considerata pericolosa. A ciascuno di questi livelli è assegnato un punteggio che parte dal valore 4 per le zone 0/20 e finisce con il valore 1 per quelle NE, come indicato nella tabella che segue.

P_{SE}	DEFINIZIONE	Punti
$P_{SE} 4$	Zona 0/20 - Area in cui è presente in permanenza o per lunghi periodi o frequentemente un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri.	4
$P_{SE} 3$	Zona 1/21 - Area in cui la formazione di un'atmosfera esplosiva, consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapori, nebbia o polveri, è probabile che avvenga occasionalmente durante le normali attività.	3
$P_{SE} 2$	Zona 2/22 - Area in cui durante le normali attività non è probabile la formazione di un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri o, qualora si verifichi, sia unicamente di breve durata.	2
$P_{SE} 1$	Zona NE - Area non pericolosa, nella quale è quasi impossibile che si formi un'atmosfera esplosiva consistente in una miscela di aria e di sostanze infiammabili sotto forma di gas, vapore, nebbia o polveri.	1

Tabella 15: probabilità P_{SE} di formazione dell'atmosfera esplosiva

La probabilità P_{INN} che possa avvenire l'innesco di un'atmosfera esplosiva può essere suddivisa qualitativamente in 4 livelli cioè improbabile, poco probabile, probabile e molto probabile a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella tabella di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello.

P_{INN}	DEFINIZIONE	Punti
$P_{INN} 4$ (Molto probabile)	Le sorgenti di accensione sono presenti in maniera continua o frequente durante il normale funzionamento.	4
$P_{INN} 3$ (Probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze rare a seguito di malfunzionamenti.	3
$P_{INN} 2$ (Poco probabile)	Le sorgenti di accensione possono manifestarsi in circostanze molto rare a seguito di malfunzionamenti.	2
$P_{INN} 1$ (Improbabile)	Sorgenti di accensione assenti o, se presenti, praticamente non efficaci	1

Tabella 16: probabilità di innesco dell'atmosfera esplosiva

Una volta determinati P_{SE} e P_{INN} , la probabilità P che si verifichi un'esplosione può essere ricavata dalla matrice che segue, leggendo il valore corrispondente ai due parametri riportati rispettivamente in ascisse ed ordinate (tabella 17).

P_{INN}	4	1	3	4	4
	3	1	2	4	4
	2	1	2	2	3
	1	1	1	1	1
		1	2	3	4

Tabella 17: matrice per la valutazione della probabilità P P_{SE}

Possono essere utilizzate delle tabelle, come quella sotto riportata, per sintetizzare i risultati relativi a ciascuna sorgente di emission.

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

Tabella 18: sorgenti di emission e probabilità P

5.3 IL DANNO D

Il danno **D** può essere qualitativamente suddiviso in 4 livelli cioè trascurabile, lieve, grave e gravissimo, a ciascuno dei quali è associato un valore numerico rispettivamente da 1 a 4, come nella tabella di seguito indicata. Nella tabella stessa vengono specificati i significati attribuiti a ciascun livello:

Valore	Livello	Definizioni/criteri
4	Gravissimo	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti anche letali o che possono determinare una condizione di invalidità permanente. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti totalmente invalidanti.
3	Grave	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di invalidità parziale. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico croniche con effetti parzialmente invalidanti.
2	Lieve	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità reversibile. • Infortuni o patologie di carattere fisico e/o psicofisico con effetti reversibili.
1	Trascurabile	<ul style="list-style-type: none"> • Infortunio o episodio di esposizione con inabilità rapidamente reversibile. • Piccoli infortuni o patologie di carattere fisico rapidamente reversibili.

Tabella 19: il danno D

La magnitudo del danno può essere considerata dipendente dai seguenti parametri:

- Classificazione della zona CL_{ZONA} ;
- Presenza di lavoratori esposti L_{ESP} ;
- Fattore di esplodibilità dell'atmosfera K_{EXP} ;
- Indice relativo al volume V_z pericoloso F_{VZ} ;
- Indice relativo allo spessore di strati di polvere I_S ;
- Fattore di confinamento F_C . Un'atmosfera esplosiva confinata o localizzata in una zona molto congestionata da strutture, impianti, che ne ostacolano l'espansione o lo sfogo ha una probabilità maggiore di produrre danni elevati.

Per il parametro CL_{ZONA} vengono definiti 4 livelli associati al tipo di zona e ad ognuno viene attribuito un valore numerico crescente con la pericolosità della zona, come indicato nella tabella seguente:

Zona	CL_{Zona}
Zona 0	2
Zona 1	1
Zona 2	0,5
Zona NE (Non Estesa)	0

Tabella 20: parametri CL_{ZONA}

Per il parametro L_{ESP} vengono definiti 3 livelli associati alla presenza di persone che può essere nulla, saltuaria o continua e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente:

Presenza Lavoratori	L_{esp}
Nulla	0
Saltuaria	0,25
Continua	0,50

Tabella 21: parametro L_{ESP}

Per il parametro K_{Exp} vengono definiti 3 livelli associati al valore dell'indice di esplosione K_G o K_{ST} , a seconda che si tratti di gas oppure di polveri e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nelle tabelle seguenti:

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

Tabella 22: parametro K_{Exp} per gas

K_{ST} [bar m/s)	K_{Exp}
≤ 2500	0
$200 < K_{ST} \leq 300$	0,25
> 300	0,50

Tabella 23: parametro K_{Exp} per polveri

Per il parametro F_{VZ} , relativo ad atmosfere esplosive generate da miscele di gas ed aria, vengono definiti 3 livelli associati al valore del volume ipotetico di atmosfera potenzialmente esplosiva V_Z e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente:

V_z [dm ³)	F_{Vz}
≤ 10	0
$10 < V_z \leq 100$	0,25
> 100	0,50

Tabella 24: parametro F_{Vz}

Per il parametro I_s , relativo alla presenza di strati di polvere combustibile, vengono definiti 3 livelli associati alla presenza di strati di polvere e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente:

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

Tabella 25: parametro I_s

Per il parametro F_C vengono definiti 3 livelli associati al confinamento dell'atmosfera potenzialmente esplosiva e ad ognuno viene attribuito un valore numerico, come indicato nella tabella seguente:

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

Tabella 26: parametro F_C

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

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

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

Occorre sottolineare che i fattori Probabilità e Danno sono parametrizzati in modo da consentire una congruente valutazione del rischio, sulla base di dati deducibili da contesti produttivi nei quali sono presenti atmosfere potenzialmente esplosive.

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

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

Tabella 27: sorgenti di Emissione e fattori di probabilità per il danno

5.4 IL RISCHIO R

Il rischio, per ciascuna zona di emissione R_{SE} può essere calcolato con la formula $R = P \times D$, arrotondando il valore alla cifra intera.

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

SE	D	P	R

Tabella 28: sorgenti di emissione e fattori di probabilità per il rischio

L'intervallo di risultato ottenibile per R è compreso tra 1 e 16. Questi valori possono essere raggruppati in 4 intervalli, ad ognuno dei quali è associato un livello di rischio cioè, trascurabile, basso, medio, alto come indicato nella tabella seguente:

$1 \leq R \leq 2$	$2 \leq R \leq 4$	$4 \leq R \leq 9$	$9 \leq R \leq 16$
TRASCURABILE	BASSO	MEDIO	ALTO

Tabella 29: livelli di rischio

A valle della valutazione, e quindi dell'attribuzione dei valori di R, devono essere previsti gli opportuni interventi di Prevenzione e Protezione in tempi idonei. A questo punto occorre distinguere due casi significativi ai fini della programmazione delle misure preventive e protettive.

Entrambi si riferiscono al medesimo valore di Rischio R, ottenuto però in un caso da bassi valori di P e alti valori di D, e nell'altro da bassi valori di D e alti valori di P.

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

In ogni caso il metodo di analisi e valutazione, che porta alla definizione dei livelli di rischio R, va attuato tenendo sempre in debita considerazione tutti gli elementi di contesto del sito produttivo e dei singoli aspetti produttivi. Le misure di prevenzione e protezione non vanno predisposte in relazione solo al Rischio determinato, ma anche agli eventuali effetti di danno che potrebbero verificarsi a seguito di incidenti.

In linea di principio, basandosi sulla classificazione del Rischio, possono essere programmate le misure di Prevenzione e Protezione secondo la tabella seguente:

RISCHIO	MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE
ALTO	Sono richieste misure di prevenzione e protezione urgenti poiché determinano i presupposti per l'accadimento di un possibile infortunio di GRAVISSIMA entità.
MEDIO	Grado di rischio che implica la sussistenza di una condizione di rischio grave, ma non imminente per i lavoratori, e che potrebbe causare GRAVI danni con un elevato grado di inabilità o determinare patologie dagli effetti invalidanti permanenti. Sono richiesti interventi a medio termine .
BASSO	Gli interventi di adeguamento corrispondenti al presente livello di priorità possono essere programmati nel tempo in funzione della fattibilità degli stessi.
TRASCURABILE	Gli interventi di adeguamento corrispondenti, di tipo organizzativo e tecnico, verranno programmati nel tempo con il fine di elevare il livello di prevenzione e ottimizzare lo stato dei luoghi e le procedure di lavoro.

Tabella 30: misure di Prevenzione e Protezione

Quanto riportato nella tabella precedente ha la sola funzione di evidenziare una tipologia di approccio all'attuazione di misure preventive e protettive. Termini quali "**urgenti**" e "**medio termine**" assumono in questo contesto una importanza relativa. Il Datore di Lavoro e il Servizio di Prevenzione e Protezione stabiliscono di volta in volta quale valenza temporale attribuire agli interventi di prevenzione e/o tecnici, finalizzati a minimizzare sia la probabilità di formazione di atmosfere esplosive, sia i relativi fattori di danno conseguente.

CAPITOLO 6: MODI DI PROTEZIONE DELLE APPARECCHIATURE

6.1 I MODI DI PROTEZIONE

Il livello di protezione di una apparecchiatura può essere raggiunto adottando, nella progettazione della stessa, tecniche o barriere idonee ad evitare che eventuali sorgenti di accensione possano innescare l'atmosfera esplosiva. Tali soluzioni tecniche che sfruttano per esempio principi di confinamento, segregazione e sovradimensionamento, costituiscono i cosiddetti modi di protezione.

I principali modi di protezione, ognuno con la relativa norma in cui viene trattato, sono elencati nell'articolo 1 della norma CEI EN 60079-0. Essi sono:

- IEC 60079-1: Gas - Custodie a prova d'esplosione "d";
- IEC 60079-2: Gas - Custodie a sovrappressione "p";
- IEC 60079-5: Gas - Riempimento polverulento "q";
- IEC 60079-6: Gas - Immersione in olio "o";
- IEC 60079-7: Gas - Sicurezza aumentata "e";
- IEC 60079-11: Gas - Sicurezza intrinseca "i";
- IEC 60079-15: Gas - Modo di protezione "n";
- IEC 60079-18: Gas - Incapsulamento "m";
- IEC 60079-31: Polvere - Protezione per mezzo di custodie "t";
- IEC 61241-4: Polvere - Custodie a sovrappressione "pD";
- IEC 61241-11: Polvere - Sicurezza intrinseca "i";
- IEC 61241-18: Polvere - Incapsulamento "m".

Le tabelle seguenti riportano i modi di protezione per apparecchiature elettriche e l'EPL e categoria che essi garantiscono. La tabella 31 riguarda i modi di protezione per gas mentre la tabella 32 quelli per polveri.

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

Tabella 31: modi di protezione per apparecchiature elettriche per gas

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

Tabella 32: modi di protezione per apparecchiature elettriche per polveri

Di seguito vengono trattati alcuni dei modi di protezione precedentemente elencati

6.2 CUSTODIE A PROVA DI ESPLOSIONE

Marcatura "Ex d", categoria 2G, norma IEC 60079-1, zona 1, 2.

Principio: il modo di protezione Ex d è l'unico modo di protezione basato sul contenimento dell'esplosione. I componenti elettrici che possono accendere un'atmosfera esplosiva sono racchiusi in custodie in grado di resistere alla pressione dell'esplosione dell'atmosfera esplosiva, formatasi all'interno per la penetrazione di un gas o vapore infiammabile (tenuta alla pressione); la custodia deve inoltre impedire la trasmissione dell'esplosione all'atmosfera esterna (tenuta alla fiamma).

Applicazioni: apparecchiature elettriche varie che, in servizio normale, danno luogo a scintille o sovratemperature: interruttori, sezionatori, lampade, unità di comando, controllo e segnalazione, motori, trasformatori MT/BT, strumentazione, ecc.

6.3 PROTEZIONE MEDIANTE CUSTODIE A TENUTA DI POLVERE

Marcatura "Ex t", norma IEC 60079-31, zona 20, 21, 22

Principio: il modo di protezione Ex t è basato sulla protezione mediante una custodia con requisiti di tenuta alla penetrazione della polvere e limitazione della temperatura superficiale. I componenti elettrici che possono innescare (alte temperature, scintille, ecc) vengono racchiusi in custodie con grado di protezione IP6X; in zona 22 con polvere non conduttrice è ammesso il grado di protezione IP5X. Inoltre la temperatura delle superfici esterne dell'apparecchiatura è mantenuta al di sotto della temperatura superficiale massima T, in relazione con la massima in nube T_{Cl} e in strato T₁ previste nel luogo di installazione.

Applicazioni: interruttori, unità di comando e controllo, motori, trasformatori, lampade, strumentazione e in genere tutte le apparecchiature che in funzionamento normale possono causare l'innescò di una nube o l'accensione di uno strato di polvere combustibile (ad esempio a causa di archi, scintille o temperature pericolose).

6.4 PROTEZIONE A SICUREZZA AUMENTATA

Marcatura “Ex e”, categoria 2G, norma IEC 60079-7, zona 1, 2.

Principio: la protezione Ex e si applica alle apparecchiature elettriche che non producono archi, scintille o temperature pericolose nel funzionamento ordinario (costruzioni non scintillanti). Sono applicate misure complementari di protezione, al fine di fornire una sicurezza aumentata con elevato coefficiente di sicurezza, che devono impedire la formazione di archi o scintille, o la possibilità di temperature tali da innescare la miscela esplosiva; questo obiettivo è basato su un generale sovradimensionamento, sia dei materiali isolanti, sia delle parti elettriche attive rispetto alle costruzioni elettriche di normale produzione industriale, già di per sé non innescanti.

Applicazioni: materiale impiantistico come custodie con morsetti, elettromagneti e bobine, motori e generatori, lampade, batterie, riscaldatori elettrici a resistenza, trasformatori di misura di corrente (TA) e tensione (TV).

6.5 PROTEZIONE EX N

Norma IEC 60079-15, categoria 3G, zona 2.

Il modo di protezione “n” raggruppa in realtà un insieme di modi di protezione: contenimento, segregazione e prevenzione, ciascuno in grado di impedire l'accensione dell'atmosfera esplosiva, soltanto durante il funzionamento ordinario.

La protezione Ex n è applicabile solo per zona 2, categoria 3G; in zona 2 la probabilità di presenza di atmosfera esplosiva è molto bassa e quindi il livello di protezione richiesto è inferiore dei componenti per zona 0 e 1 (categoria 1 e 2).

La protezione Ex n comprende modi di protezione “semplificati”, ma non semplici nei requisiti tecnico/normativi, ciascuno dei quali viene applicato preferibilmente ad alcune tipologie di apparecchiature.

La norma contempla sia i requisiti generali (materiali metallici e plastici, resistenza meccanica e isolamento, distanze, collegamento a terra, grado di protezione IP) applicabili a tutte le apparecchiature, che i requisiti specifici per tipologia di protezione. Le apparecchiature sono suddivise in apparecchiature “non scintillanti” e apparecchiature “scintillanti” ovvero che producono archi, scintille o elevate temperature superficiali in funzionamento normale.

Fra le apparecchiature non scintillanti possiamo citare per esempio i motori e le lampade, che hanno requisiti simili a quanto previsto dalla sicurezza aumentata Ex e. Alla categoria delle apparecchiature considerate scintillanti appartengono altre tecniche di protezione quali le “custodie a respirazione limitata”, i “dispositivi in cella chiusa” e i “dispositivi ermeticamente sigillati”; in sintesi possiamo avere:

- Ex nA: apparecchiature non scintillanti;
- Ex nC: apparecchiature scintillanti;
- Ex nL: limitazione di energia;
- Ex nR: custodie a respirazione limitata;
- Ex nZ: sovrappressione.

6.5.1 Apparecchiature non scintillanti

Marcatura “Ex nA” categoria 3G.

Principio: questo principio si applica alle apparecchiature “non scintillanti”, cioè che nel funzionamento normale non producono archi, scintille o sovratemperature.

Applicazioni: motori, fusibili, lampade, strumenti e apparecchiature di bassa potenza, trasformatori di corrente, materiale impiantistico quali morsettiere, scatole di derivazione e prese a spina.

6.5.2 Custodie a respirazione limitata

Marcatura “Ex nR” categoria 3G

Principio: la tecnica della respirazione limitata è intesa a ridurre ad un basso livello la possibilità di ingresso di una atmosfera esplosiva circostante, ovvero garantire che la concentrazione di gas infiammabile all'interno della custodia non superi il limite inferiore di esplosività del gas, per il periodo di tempo in cui il gas è presente nell'atmosfera esterna.

Le custodie Ex nR sono progettate e costruite in modo da limitare l'ingresso di gas; le prove si effettuano creando una differenza di pressione tra interno ed esterno della custodia e verificando che le perdite siano inferiori ad un valore prestabilito in un certo tempo. Inoltre le apparecchiature installate all'interno di custodie Ex nR devono avere una ridotta dissipazione di calore in modo che la temperatura interna non superi di 10°C la temperatura ambiente esterna. Le custodie a respirazione limitata devono essere dotate di un attacco di prova che consenta durante l'esercizio il controllo e il mantenimento delle proprietà della respirazione anche dopo l'installazione e la manutenzione.

Applicazioni: Si applica alle apparecchiature “scintillanti” cioè che nel funzionamento ordinario producono archi o scintille o punti caldi (interruttori, contattori, relè, strumenti di misura, lampade).

6.6 SOVRAPRESSIONE INTERNA

Marcatura “Ex p”, categoria 2G, norma IEC 60079-2, zona 1, 2

Marcatura “Ex pD”, categoria 2D, norma IEC 61241-4, zona 21,22

Principio: il modo di protezione Ex p, a sovrappressione interna, consiste nell'introdurre un gas di protezione nella custodia per mantenerla in sovrappressione rispetto all'atmosfera esterna, impedendo la formazione di atmosfera esplosiva all'interno della custodia stessa. Il gas di protezione può essere costituito da aria oppure da gas inerte, per esempio azoto; in caso di mancanza della sovrappressione l'unità di controllo procede con l'arresto o allarme dell'apparecchiatura pressurizzata. La tecnica della sovrappressione interna può essere applicata, sostanzialmente con le stesse caratteristiche, anche alle apparecchiature per polveri applicando la norma specifica; in tal caso la marcatura è Ex pD.

Applicazioni: trasformatori MT/BT, grandi macchine elettriche (alternativa alla protezione Ex e), quadri di automazione e strumentazione, sistemi di controllo processi industriali, cabine di analisi e locali pressurizzati.

6.7 INCAPSULAMENTO

Marcatura “Ex m”, norma IEC 60079-18, zona 0, 1, 2

Marcatura “Ex mD”, norma IEC 61241-18, zona 20, 21, 22

Principio: nel modo di protezione Ex m le apparecchiature elettriche, oppure i loro componenti, che potrebbero accendere un'atmosfera esplosiva con scintille o riscaldamenti sono “segregati” (racchiusi) in modo che l'atmosfera esplosiva non possa essere accesa; l'incapsulamento dei componenti che sono particolarmente soggetti ai fattori ambientali, in particolare elettrici, termici, meccanici e chimici viene effettuato mediante resina. Le apparecchiature Ex mb sono adatte alla zona 1 mentre la protezione Ex ma è applicabile anche in zona 0. Il modo di protezione Ex mD è basato sull'incapsulamento con requisiti di tenuta alla penetrazione di polvere e limitazione della temperatura superficiale.

Applicazioni: la protezione Ex m può essere applicata a fusibili, condensatori, avvolgimenti, trasformatori, elettrovalvole, sensori e dispositivi elettronici in genere.

6.8 SICUREZZA INTRINSECA

Marcatura “Ex i”, norma IEC 60079-11, zona 0, 1, 2

Marcatura “Ex iD”, norma IEC 61241-11, zona 20, 21, 22

Principio: la sicurezza intrinseca sfrutta il principio della limitazione energetica. In un circuito a sicurezza intrinseca nessuna scintilla o effetto termico, in condizioni normali e condizioni di guasto specificate dalla norma, è in grado di provocare l'accensione di una data miscela esplosiva, in funzione del gruppo di gas (IIA, IIB e IIC); ciò è possibile se le caratteristiche del circuito e dei suoi componenti sono tali da limitare l'energia accumulata e rilasciata dal circuito stesso.

Per le apparecchiature a sicurezza intrinseca sono previsti 3 livelli di protezione, in funzione delle caratteristiche costruttive previste dalla norma:

- Ex ia: applicabile in zona 0;
- Ex ib: applicabile in zona 1;
- Ex ic: applicabile in zona 2.

Il modo di protezione Ex iD è analogo alla protezione Ex i prevista per le atmosfere esplosive con i gas. Il livello di energia deve essere quello corrispondente al gruppo IIB. Ricordiamo che l'energia di accensione dei gas è inferiore all'energia di accensione delle polveri.

Applicazioni: la sicurezza intrinseca si applica alla strumentazione di misura, di controllo e di regolazione utilizzabile nei processi industriali, sistemi di telecomunicazione e apparecchiature portatili.

CAPITOLO 7: CRITERI DI SCELTA DELLE APPARECCHIATURE

7.1 PRINCIPALI CRITERI DI SCELTA

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

7.1.2 Principali criteri di scelta per gas/vapori/nebbie

Nel caso di miscele di gas/vapori/nebbie la scelta deve essere fatta:

- in base alla zona di destinazione (D.Lgs 81/08)
- in base al gruppo del gas (EN 60079-0 ed EN 13463-1)
- in base alla classe di temperatura (EN 60079-0 ed EN 13463-1)

Come già indicato, l'allegato L del D.Lgs. 81/08, prescrive che in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive dovute a gas dovranno essere impiegate le seguenti categorie di apparecchi:

- nella zona 0, apparecchi di categoria 1G
- nella zona 1, apparecchi di categoria 1G o di categoria 2G
- nella zona 2, apparecchi di categoria 1G, 2G o 3G

La suddivisione degli apparecchi in base al gruppo del gas (IIA, IIB, IIC) dipende dal fatto che sostanze diverse hanno un diverso comportamento nei confronti del fenomeno dell'esplosione.

Per quanto riguarda il terzo punto, se un apparecchio appartiene ad una determinata classe di temperatura, allora la sua temperatura superficiale deve essere inferiore di un adeguato margine di sicurezza alla massima temperatura caratteristica di quella classe, la quale deve a sua volta essere inferiore alla temperatura di accensione della sostanza infiammabile. Quindi, per gli apparecchi del gruppo II, a seconda di quale sia il gas presente nell'ambiente in cui l'apparecchio dovrà andare a lavorare, si avrà una determinata temperatura di accensione. L'apparecchio dovrà appartenere a una determinata classe di temperatura la quale deve avere come massima temperatura caratteristica un valore inferiore a quello della temperatura di accensione del gas. Per far sì che l'apparecchio appartenga a questa classe di temperatura, esso dovrà avere una massima temperatura superficiale inferiore di un certo margine rispetto alla

massima temperatura caratteristica della classe in questione. Nel seguente schema è raffigurato quanto ora spiegato mentre nella successiva tabella sono riportate le classi di temperatura con le relative temperature massime.

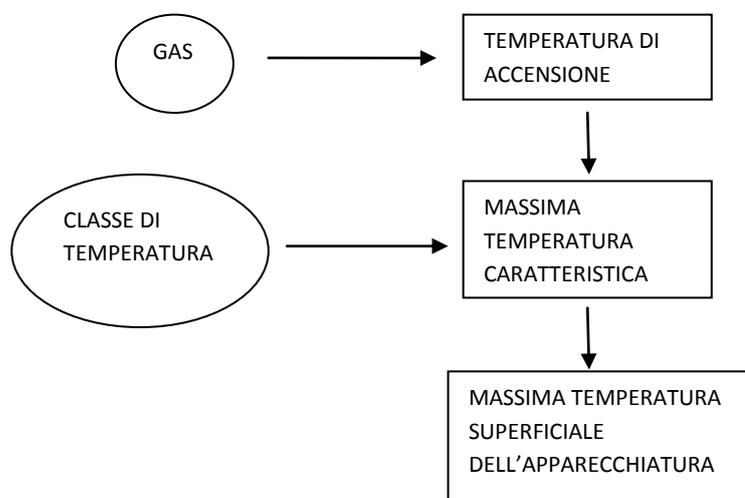


Figura 6: relazione fra temperatura di accensione del gas, classe di temperatura e temperatura superficiale dell'apparecchiatura

Classe di temperatura	Massima temperatura superficiale °C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Tabella 33: classi di temperatura e relative massime temperature

7.1.2.1 Come si determina la massima temperatura superficiale

Innanzitutto essa è definita dalla CEI EN 60079-0 come “la più alta temperatura raggiunta in servizio nelle condizioni più sfavorevoli (ma entro le tolleranze specificate) da ciascuna parte o superficie di un'apparecchiatura elettrica”. La massima temperatura superficiale deve essere determinata secondo la prova esposta al punto 26.5.1 della CEI EN 60079-0 considerando la massima temperatura ambiente e, dove significativo, il valore nominale massimo della sorgente di riscaldamento esterna.

Per le apparecchiature elettriche del gruppo I la massima temperatura superficiale non deve superare:

- – 150 °C su ogni superficie dove la polvere di carbone può formare uno strato
- – 450 °C dove non è probabile che la polvere di carbone formi uno strato

7.1.3 Principali criteri di scelta per polveri

Nel caso di miscele di polveri combustibili la scelta deve essere fatta in base:

- alla zona di destinazione (D.Lgs 81/08)
- al grado di protezione IP (EN 60079-14) per gli apparecchi elettrici
- alla temperatura superficiale (EN 1127-1, EN 13463-1, EN 61241-14 ed EN 60079-14)

Come già indicato, l'allegato L del D.Lgs. 81/08, prescrive che in tutte le aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive dovute a polveri dovranno essere impiegate le seguenti categorie di apparecchi:

- nella zona 20, apparecchi di categoria 1D;
- nella zona 21, apparecchi di categoria 1D o di categoria 2D;
- nella zona 22, apparecchi di categoria 1D, 2D o 3D.

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

La tabella seguente indica il grado di protezione in base alla zona di destinazione.

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

* polveri conduttrici ; ** polveri non conduttrici

Tabella 34: grado di protezione e zone pericolose

La temperatura superficiale deve essere inferiore od uguale ad una temperatura massima ammessa, che è funzione dello spessore dello strato, della temperatura di accensione della nube e della temperatura di accensione dello strato, come illustrato nella norma EN 60079-14.

Con l'aumentare dello spessore dello strato, gli strati di polvere mostrano una riduzione della temperatura minima di accensione ed un aumento dell'isolamento termico.

Per quanto riguarda il caso di nubi di polvere, la massima temperatura superficiale di un'apparecchiatura, quando provata in assenza di polvere secondo il metodo di prova descritto nella EN 60079-0, non deve superare i due terzi della temperatura minima di accensione, in gradi Celsius, della miscela polvere/aria di interesse:

$$T_{max} \leq \frac{2}{3} T_{CL}$$

dove T_{CL} è la temperatura minima di accensione della nube di polvere.

Per quanto riguarda il caso di strati di polvere, se l'apparecchiatura non è contrassegnata con un parametro di temperatura T che considera lo spessore di uno strato di polvere, deve essere applicato un fattore di sicurezza in relazione allo spessore dello strato di polvere come segue:

- spessore fino a 5 mm:
la massima temperatura superficiale dell'apparecchiatura, quando provata in assenza di polvere secondo il metodo di prova della EN 60079-0, non deve superare un valore di 75 °C al di sotto della temperatura minima di accensione dello strato di spessore di 5 mm della polvere di interesse:

$$T_{max} \leq T_{5\text{ mm}} - 75^{\circ}\text{C}$$

dove $T_{5\text{ mm}}$ è la temperatura minima di accensione dello strato di polvere di 5 mm.

- Spessore compreso fra 5 mm e 50 mm:
la massima temperatura superficiale consentita deve essere ridotta. Come guida, il grafico a pagina seguente riporta esempi della riduzione della massima temperatura superficiale ammissibile in relazione all'aumento dello spessore degli strati.

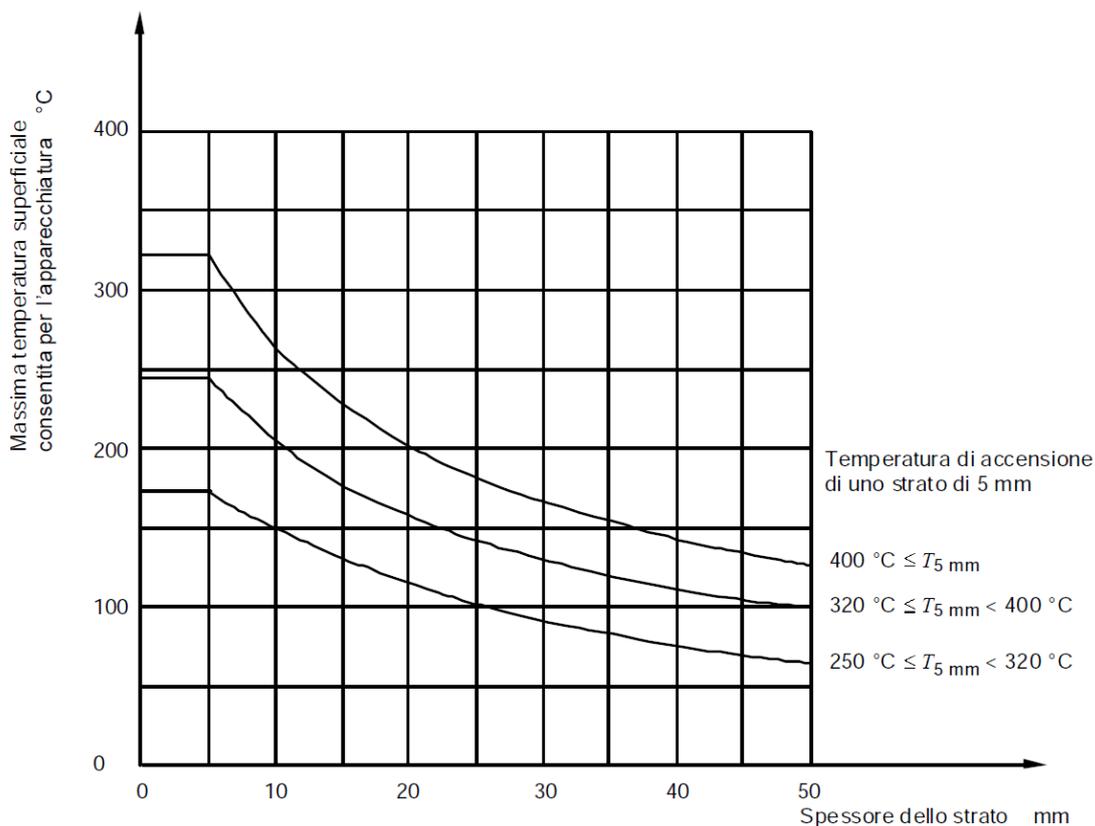


Figura 7: massima temperatura superficiale consentita in funzione dello spessore dello strato di polvere

Per strati di polvere di spessore superiore a 50 mm è necessario che la temperatura superficiale sia ulteriormente inferiore a causa degli effetti dell'isolamento termico. La massima temperatura superficiale dell'apparecchiatura può essere contrassegnata con la massima temperatura superficiale T_L quale riferimento dello spessore massimo consentito dello strato. Quando l'apparecchiatura è contrassegnata col simbolo T_L per lo spessore dello strato, la temperatura di accensione della polvere combustibile, riferita allo spessore dello strato L , deve essere utilizzata al posto della $T_{5\text{mm}}$. La massima temperatura superficiale della costruzione T_L deve essere inferiore di almeno $75 \text{ }^\circ\text{C}$ alla temperatura di accensione della polvere allo spessore dello strato L . Esempi di strati di polvere combustibile di spessore eccessivo possono essere trovati nell'Allegato L della CEI EN 60079-14.

7.2 APPARECCHIATURE IRRADIANTI ENERGIA ELETTROMAGNETICA ED ULTRASONICA

7.2.1 Sorgenti di radiofrequenza

La soglia della potenza di radiofrequenza (da 9 kHz a 60 GHz), per trasmissioni continue e trasmissioni ad impulsi la cui durata eccede il tempo di iniziazione termica², non deve superare i valori indicati nella seguente tabella. Non sono permessi software o sistemi di controllo programmabili realizzati per essere regolati dall'utilizzatore.

Apparecchiature del	Soglia di potenza W	Tempo di iniziazione termica μ s
Gruppo I	6	200
Gruppo IIA	6	100
Gruppo IIB	3,5	80
Gruppo IIC	2	20
Gruppo III	6	200

Tabella 35: soglie di potenza della radiofrequenza

Per radar pulsanti e altre trasmissioni dove gli impulsi sono brevi se comparati con il tempo di iniziazione termica, i valori limite di energia Z_{th} non devono superare quelli riportati nella seguente tabella.

Apparecchiature del	Soglia di energia Z_{th} μ J
Gruppo I	1 500
Gruppo IIA	950
Gruppo IIB	250
Gruppo IIC	50
Gruppo III	1 500

Tabella 36: soglia di energia della radiofrequenza

7.2.2 Laser o altre sorgenti ad onda continua

I parametri di uscita di laser o di altre sorgenti ad onda continua di apparecchiature elettriche con EPL Ma oppure Mb non devono superare i seguenti valori:

- 20 mW/mm² oppure 150 mW per laser ad onda continua e altre sorgenti ad onda continua;
- 0,1 mJ/mm² per laser ad impulsi o sorgenti di luce ad impulsi con intervalli degli impulsi di almeno 5 s.

I parametri in uscita di laser o altre sorgenti ad onda continua di apparecchiature elettriche aventi EPL Ga, Da, Gb o Db non devono superare i seguenti valori:

- 5 mW/mm² o 35 mW per laser a onda continua e per altre sorgenti ad onda continua;
- 0,1 mJ/mm² per laser ad impulsi o per sorgenti di luce ad impulsi con intervalli degli impulsi di almeno 5 s.

² Tempo di iniziazione termica: tempo durante il quale l'energia depositata da una scintilla si accumula in un piccolo volume di gas attorno ad essa senza dissipazione termica significativa

I parametri in uscita di laser od altre sorgenti ad onda continua di apparecchiature elettriche aventi EPL Gc o Dc non devono superare i seguenti valori:

- 10 mW/mm² o 35 mW per laser a onda continua e per altre sorgenti ad onda continua;
- 0,5 mJ/mm² per laser ad impulsi o per sorgenti di luce ad impulsi.

(Sorgenti irradianti con intervalli degli impulsi inferiori a 5 s sono considerate come sorgenti ad onda continua)

7.2.3 Sorgenti ultrasoniche

Per le apparecchiature installate all'interno di un luogo pericoloso, oppure all'esterno, ma che irradiano all'interno di detto luogo, i parametri in uscita dalle sorgenti di ultrasuoni delle apparecchiature elettriche aventi EPL Ga, Gb, Gc, Da, Db o Dc non devono superare i seguenti valori:

- 0,1 W/cm² e 10 MHz per le sorgenti continue;
- densità di potenza media di 0,1 W/cm² e 2 mJ/cm² per le sorgenti ad impulsi.

7.3 SPINE E PRESE A SPINA

Le spine e le prese a spina non sono ammesse in luoghi che richiedono un EPL "Ga" e "Da".

Nei luoghi che richiedono gli EPL "Db" e "Dc", le prese a spina devono essere installate in modo che la polvere non riesca ad entrare nella presa a spina, con o senza la spina inserita. Per limitare l'ingresso di polvere nel caso in cui il coperchio di protezione dalla polvere sia stato

accidentalmente rimosso, la presa a spina deve essere posizionata ad un angolo che non sia superiore a 60° sulla verticale e con l'apertura orientata verso il basso.

Se nei luoghi pericolosi per la presenza di atmosfere esplosive dovute a polvere sono utilizzati dei connettori, occorre prestare attenzione affinché la polvere non entri nel connettore quando scollegato.

Le prese a spina devono essere installate in posizioni tali per le quali il cavo flessibile richiesto sia il più corto possibile, al fine di soddisfare il tempo di interruzione in caso di guasto di cui alla IEC 60364-4-1.



Figura 8: esempio di presa a spina adatta per ambienti esplosivi

Inoltre le spine e le prese a spina devono:

- a) essere interbloccate meccanicamente, o elettricamente, o progettate diversamente in modo da non poter essere separate quando i contatti sono in tensione, ed i contatti non possano essere messi in tensione se la spina e la presa a spina sono separate, oppure
- b) essere fissate insieme mediante mezzi di unione speciali e l'apparecchiatura contrassegnata nel seguente modo: "AVVERTIMENTO - NON APRIRE QUANDO IN TENSIONE".

7.4 SEZIONATORI

Se l'apparecchiatura di manovra comprende un sezionatore, questo deve sezionare tutti i poli. L'apparecchiatura di manovra deve essere concepita in modo tale che:

- la posizione dei contatti del sezionatore sia visibile, oppure
- la loro posizione di "aperto" sia indicata in modo affidabile.

Se tra il sezionatore e il coperchio o la porta dell'apparecchiatura di manovra non è previsto un interblocco per garantire che detto coperchio o porta possano essere aperti solo quando i contatti del sezionatore sono già aperti, sull'apparecchiatura deve essere riportata l'avvertenza: "AVVERTIMENTO - NON APRIRE QUANDO IN TENSIONE".



Figura 9: interruttore-sezionatore antideflagrante

I sezionatori, che non sono progettati per essere fatti funzionare sotto il carico previsto, devono anche:

- essere elettricamente o meccanicamente interbloccati con un adeguato dispositivo di interruzione del carico, oppure
- solo per le apparecchiature di Gruppo II, essere contrassegnati in un punto vicino agli attuatori del sezionatore nel seguente modo: "AVVERTIMENTO - NON FAR FUNZIONARE SOTTO CARICO".

Per le apparecchiature di manovra del Gruppo I, il meccanismo di funzionamento dei sezionatori deve poter essere lucchettato in posizione di aperto. Si devono prendere provvedimenti per consentire agli eventuali relè di protezione contro il cortocircuito e contro il guasto a terra, di scattare. Se l'apparecchiatura di interruzione ha un dispositivo di riarmo locale accessibile dall'esterno della custodia, il suo coperchio di accesso deve avere un dispositivo di fissaggio speciale.

7.5 CAVI E CONDUTTURE

7.5.1 Conduttori in alluminio

Quando l'alluminio è utilizzato come materiale conduttore, devono essere utilizzate solo connessioni idonee a detto materiale e, ad eccezione dei sistemi a sicurezza intrinseca e ad energia limitata, i conduttori devono avere una sezione non inferiore a 16 mm².

Le connessioni devono assicurare che le distanze di isolamento superficiale e in aria non siano ridotte dai mezzi supplementari che sono richiesti per la connessione di conduttori di alluminio. Le distanze di isolamento superficiale ed in aria minime possono essere determinate dal livello di tensione e/o dalle prescrizioni per il modo di protezione.

7.5.2 Cavi

I cavi con guaine con bassa resistenza alla trazione (comunemente noti come cavi "easy tear") non devono essere utilizzati in luoghi pericolosi a meno che siano installati in tubo protettivo.

Cavi unipolari senza guaina, tranne che nei circuiti a sicurezza intrinseca, non devono essere usati come conduttori attivi, a meno che essi siano installati all'interno di quadri, custodie o tubi protettivi.

7.5.2.1 Cavi per installazioni fisse

I cavi usati per le installazioni fisse in luoghi pericolosi, in condizioni di funzionamento, devono essere idonei alle condizioni ambientali. I cavi devono essere:

- a) con guaina in materiale termoplastico, termoindurente o elastomerico. Essi devono essere circolari e compatti. Eventuali imbottiture o guaine devono essere estruse. Gli eventuali riempitivi devono essere di materiale non igroscopico; o
- b) ad isolamento minerale sotto guaina metallica; o
- c) speciali, ad esempio cavi piatti provvisti di pressacavi adeguati. Essi devono essere compatti ed eventuali imbottiture o guaine devono essere estruse. Gli eventuali riempitivi devono essere di materiale non igroscopico.

Quando c'è la probabilità che la propagazione delle fiamme possa avvenire attraverso gli interstizi presenti tra le singole anime di un cavo, deve essere considerata anche questa possibilità.

I cavi ad isolamento minerale devono essere sigillati.

7.5.2.2 Cavi flessibili per installazioni fisse (circuiti a sicurezza intrinseca esclusi)

I cavi flessibili utilizzabili nei luoghi pericolosi devono essere scelti tra i seguenti:

- a) con guaina in gomma dura per utilizzo ordinario;
- b) con guaina in policloroprene per utilizzo ordinario;
- c) con guaina in gomma dura per utilizzo gravoso;
- d) con guaina in policloroprene per utilizzo gravoso;
- e) con isolamento termoplastico e di robusta costruzione equivalente a quella dei cavi flessibili con guaina di gomma dura per utilizzo gravoso.

Per i collegamenti ad apparecchiature fisse che possono richiedere di essere spostate saltuariamente per brevi distanze (ad esempio motori installati su guide scorrevoli), i cavi dovrebbero essere sistemati in modo da permetterne il necessario movimento senza danneggiarsi. In alternativa, può essere utilizzato un tipo di cavo adeguato per l'uso con apparecchi mobili. Quando la condotta fissa non è di per sé di tipo adeguato per consentirne il necessario movimento, devono essere previste scatole morsetti opportunamente protette per la giunzione tra la condotta fissa e la condotta dell'apparecchiatura. Se si utilizza una guaina metallica flessibile, detta guaina ed i suoi accessori devono essere costruiti in modo tale che sia evitato il danneggiamento dei cavi conseguente la sua utilizzazione. Deve essere mantenuta un'adeguata messa a terra o un adeguato collegamento al sistema di equalizzazione del potenziale; la guaina metallica flessibile non dovrebbe essere l'unico mezzo per la messa a terra. La guaina metallica flessibile deve essere impermeabile alla polvere ed il suo utilizzo non deve alterare l'integrità della custodia dell'apparecchiatura a cui è connessa.

7.5.2.3 Cavi flessibili per l'alimentazione di apparecchiature mobili e portatili (circuiti a sicurezza intrinseca esclusi)

Le apparecchiature elettriche mobili o trasportabili devono essere dotate di cavi con una guaina in policloroprene per utilizzo gravoso o altro elastomero sintetico equivalente, cavi con guaina in gomma dura per utilizzo gravoso, o cavi aventi un costruzione robusta equivalente. I conduttori dell'alimentazione devono essere cordati e devono avere una sezione minima di 1,0

mm². Quando risulta necessario prevedere un conduttore di protezione (PE), esso deve essere isolato separatamente in modo simile agli altri conduttori ed essere incorporato all'interno della guaina del cavo di alimentazione.

Quando, per apparecchiature elettriche movibili o trasportabili, il cavo è dotato di un'armatura o di uno schermo metallico flessibile, questo non deve essere usato come unico conduttore di protezione. Il cavo deve essere idoneo per la configurazione di protezione del circuito, per esempio, quando è previsto l'impiego del controllo dell'isolamento deve essere incluso il numero di conduttori necessario. Quando l'apparecchiatura deve essere messa a terra, oltre al conduttore PE, il cavo può comprendere uno schermo metallico flessibile messo a terra.

Apparecchiature portatili con tensione nominale non superiore a 250 V verso terra e con corrente nominale non superiore a 6 A possono essere dotate di cavi:

- con guaina in policloroprene ordinario o altro elastomero sintetico equivalente, o
- con guaina in gomma dura ordinaria, o
- con una costruzione robusta equivalente.

Questi cavi non sono permessi per apparecchi elettrici portatili esposti a forti sollecitazioni meccaniche, per esempio, lampade portatili, interruttori a pedale, pompe carrellate.

7.5.2.4 Linee aeree

Quando una linea aerea con conduttori non isolati fornisce un'alimentazione o servizi di telecomunicazione ad apparecchiature elettriche in un luogo pericoloso, essa dovrebbe essere terminata in un luogo non pericoloso e il servizio reso nel luogo pericoloso dovrebbe essere portato mediante un cavo o un tubo protettivo.

Conduttori non isolati non dovrebbero essere installati al di sopra di luoghi pericolosi.

CAPITOLO 8: PRESCRIZIONI GENERALI PER CUSTODIE

8.1 TEMPI DI APERTURA

Le custodie che possono essere aperte più velocemente di quanto

a) un qualsiasi condensatore incorporato, caricato con una tensione uguale o superiore a 200 V, si scarichi ad un valore di energia residua di:

- 0,2 mJ per apparecchiature elettriche del Gruppo I oppure del Gruppo IIA,
- 0,06 mJ per apparecchiature elettriche del Gruppo IIB,
- 0,02 mJ per apparecchiature elettriche del Gruppo IIC, incluse le apparecchiature contrassegnate solo del Gruppo II,
- 0,2 mJ per apparecchiature elettriche del Gruppo III,

oppure a valori di energia doppi di quelli sopra indicati qualora la tensione di carica è inferiore a 200 V, oppure

b) la temperatura superficiale di componenti caldi racchiusi si riduca al di sotto della massima temperatura superficiale dell'apparecchiatura elettrica

devono essere contrassegnate con uno dei seguenti avvertimenti:

- un contrassegno sulla custodia che segnali il ritardo di apertura della custodia nel seguente modo: "AVVERTIMENTO - DOPO LA MESSA FUORI TENSIONE, RITARDARE Y MINUTI PRIMA DELL'APERTURA" (Y è il valore in minuti del ritardo richiesto); oppure
- un contrassegno sulla custodia come il seguente: "AVVERTIMENTO - NON APRIRE QUANDO È PRESENTE UN'ATMOSFERA ESPLOSIVA".

8.2 CUSTODIE METALLICHE

8.2.1 Gruppo I

I materiali utilizzati per la costruzione di custodie di apparecchiature elettriche del Gruppo I con EPL Ma oppure Mb non devono contenere, in massa, più del:

- 15 % in totale di alluminio, magnesio, titanio e zirconio;
- 7,5 % in totale di magnesio, titanio e zirconio.

Le prescrizioni di cui sopra non è necessario che siano applicate alle apparecchiature portatili di misura del Gruppo I, ma queste apparecchiature devono essere contrassegnate col simbolo "X" in accordo al punto e) del paragrafo 29.3 della CEI EN 60079-0, e le condizioni d'uso specifiche devono indicare le precauzioni speciali da applicare durante l'immagazzinamento, il trasporto e l'uso.

8.2.2 Gruppo II

I materiali utilizzati per la costruzione di custodie di apparecchiature elettriche del Gruppo II non devono contenere in base al livello di protezione delle apparecchiature, in massa, più del:

- per l'EPL Ga:
10 % in totale di alluminio, magnesio, titanio e zirconio;
7,5 % in totale di magnesio, titanio e zirconio;
- per l'EPL Gb:
7,5 % in totale di magnesio, titanio e zirconio;
- per l'EPL Gc:
nessuna prescrizione eccetto che per le giranti dei ventilatori, le cappe di protezione e le protezioni delle aperture di ventilazione, che devono essere conformi con le prescrizioni dell'EPL Gb.

Per le apparecchiature con EPL Ga o Gb, quando i limiti fissati per i materiali non vengono rispettati, le apparecchiature devono essere contrassegnate con il simbolo "X" in conformità con il punto e) del paragrafo 29.3 della CEI EN 60079-0 e le condizioni d'uso specifiche devono contenere informazioni sufficienti per consentire all'utilizzatore di determinare l'idoneità delle apparecchiature per la particolare applicazione, ad esempio, per evitare il rischio di accensione a causa di urti o attriti.

8.2.3 Gruppo III

I materiali utilizzati per la costruzione di custodie di apparecchiature elettriche del Gruppo III non devono contenere in base al livello di protezione delle apparecchiature, in massa, più del:

- per l'EPL Da:
7,5 % in totale di magnesio, titanio e zirconio;
- per l'EPL Db:
7,5 % in totale di magnesio, titanio e zirconio;
- per l'EPL Dc:
nessuna prescrizione eccetto che per le giranti dei ventilatori, le cappe di protezione e le protezioni delle aperture di ventilazione, che devono essere conformi con le prescrizioni dell'EPL Db.

Per le apparecchiature con EPL Da o Db, quando i limiti fissati per i materiali non vengono rispettati, le apparecchiature devono essere contrassegnate con il simbolo "X" in conformità con il punto e) del paragrafo 29.3 della CEI EN 60079-0 e le condizioni d'uso specifiche devono contenere informazioni sufficienti per consentire all'utilizzatore di determinare l'idoneità delle apparecchiature per la particolare applicazione, ad esempio, per evitare il rischio di accensione a causa di urti o attriti.

8.3 CARICHE ELETTROSTATICHE SU PARTI NON METALLICHE DI UNA CUSTODIA

Uno dei maggiori pericoli delle custodie non metalliche, e quindi realizzate utilizzando materiali plastici o elastomeri, è il fatto che in esse si accumulino cariche elettrostatiche le quali poi possono diventare una sorgente d'innesco.

8.3.1 Impedimenti per la formazione di cariche elettrostatiche su apparecchiature elettriche del Gruppo I oppure del Gruppo II

Le apparecchiature elettriche devono essere progettate in modo che nelle normali condizioni d'uso, manutenzione e pulizia, si eviti il pericolo di accensione dovuto alla presenza di cariche elettrostatiche. Questa prescrizione deve essere soddisfatta tramite una delle seguenti soluzioni:

- a) tramite la scelta del materiale adatto in modo che la resistenza superficiale risulti conforme ad uno dei seguenti limiti:
 $10^9 \Omega$ misurati al $(50 \pm 5) \%$ di umidità relativa;
 $10^{11} \Omega$ misurati al $(30 \pm 5) \%$ di umidità relativa.
- b) limitando la superficie delle aree delle parti non metalliche delle custodie come mostrato nella tabella a pagina seguente.

Massima superficie dell'area mm ²				
Apparecchiature del Gruppo I	Apparecchiature del Gruppo II			
	Livello di protezione dell'apparecchiatura	Gruppo IIA	Gruppo IIB	Gruppo IIC
10 000	EPL Ga	5 000	2 500	400
	EPL Gb	10 000	10 000	2 000
	EPL Gc	10 000	10 000	2 000

Tabella 37: limitazione della superficie delle aree

I valori per la superficie dell'area possono essere aumentati di un fattore quattro se l'area esposta di materiale non metallico è circondata ed in contatto con telai metallici messi a terra.

In alternativa, per parti lunghe con superfici non metalliche, come tubi, barre, oppure funi, la superficie dell'area non è necessario sia considerata, ma i diametri o le larghezze non devono superare i valori mostrati nella seguente tabella. I cavi per la connessione dei circuiti esterni non sono considerati ricadere in questa prescrizione.

Massimo diametro o larghezza mm				
Apparecchiature del Gruppo I	Apparecchiature del Gruppo II			
	Livello di protezione dell'apparecchiatura	Gruppo IIA	Gruppo IIB	Gruppo IIC
30	EPL Ga	3	3	1
	EPL Gb	30	30	20
	EPL Gc	30	30	20

Tabella 38: massimo diametro o larghezza

- c) tramite uno strato di materiale non metallico collegato ad una superficie conduttiva. Lo spessore dello strato di materiale non metallico non deve superare i valori riportati nella tabella seguente o la tensione di perforazione deve essere ≤ 4 kV (misurata attraverso lo spessore del materiale isolante).

Spessore massimo mm				
Apparecchiature del Gruppo I	Apparecchiature del Gruppo II			
	Livello di protezione dell'apparecchiatura	Gruppo IIA	Gruppo IIB	Gruppo IIC
2	EPL Ga	2	2	0,2
	EPL Gb	2	2	0,2
	EPL Gc	2	2	0,2

Tabella 39: limitazione dello spessore dello strato non metallico

- d) prevedendo un rivestimento conduttivo. Le superfici non metalliche possono essere ricoperte con un rivestimento conduttivo resistente collegato. La resistenza tra il rivestimento ed il punto per il collegamento equipotenziale (nel caso di apparecchiature per installazione fissa) oppure il punto più lontano dove può potenzialmente avvenire il contatto con l'involucro (nel caso di apparecchiature portatili), non deve superare $10^9 \Omega$. L'apparecchiatura deve essere contrassegnata con il simbolo "X", la documentazione deve fornire una guida sull'uso del collegamento equipotenziale e indicazioni per consentire all'utilizzatore di decidere sulla durata del materiale del rivestimento rispetto alle condizioni ambientali;

- e) per le installazioni fisse, dove l'installazione è pensata per minimizzare il rischio dovuto alle scariche elettrostatiche, l'apparecchiatura deve essere contrassegnata con il simbolo "X". Le istruzioni devono contenere le indicazioni per l'utilizzatore necessarie per minimizzare il rischio dovuto alle scariche elettrostatiche. Dove praticabile, l'apparecchiatura deve essere contrassegnata anche con il seguente avvertimento per le cariche elettrostatiche: "AVVERTIMENTO - POTENZIALE PERICOLO DI CARICHE ELETTROSTATICHE - VEDERE ISTRUZIONI".

8.3.2 Impedimenti per la formazione di cariche elettrostatiche su apparecchiature elettriche del Gruppo III

Apparecchiature verniciate/rivestite di materiale metallico e apparecchiature in materiale plastico devono essere progettate in modo che, nelle normali condizioni di uso, il pericolo di accensione dovuto alle scariche che si propagano "a spazzola" sia evitato.

Custodie di materiale plastico non possono essere caricate ad una densità di carica critica per la quale possano generarsi scariche che si propagano "a spazzola". Tuttavia, all'interno della custodia, non devono essere installate superfici conduttive piane estese (cioè superiori a 500 mm²) entro una distanza di 8 mm dalla superficie esterna.

Se viene impiegata della plastica con una superficie superiore a 500 mm² come rivestimento di un materiale conduttivo, la plastica deve avere almeno una delle seguenti caratteristiche:

- scelta di un materiale idoneo così che la sua resistenza superficiale sia conforme ai limiti descritti dal paragrafo 26.13 della CEI EN 60079-0;
- una tensione di perforazione ≤ 4 kV (misurata attraverso lo spessore del materiale isolante);
- uno spessore dell'isolamento esterno applicato sulle parti metalliche ≥ 8 mm;
- l'apposizione sull'apparecchiatura del contrassegno "X". Questo è applicabile solo alle apparecchiature elettriche destinate ad installazioni fisse in cui l'installazione è realizzata per ridurre al minimo il rischio dovuto alla presenza di scariche elettrostatiche. Le istruzioni devono fornire all'utilizzatore una guida per ridurre al minimo il rischio derivante dalle scariche elettrostatiche.

8.3.3 Cariche elettrostatiche su parti metalliche accessibili

Nel caso di parti metalliche accessibili con una resistenza verso terra superiore a 10^9 , queste devono essere sottoposte a una misura di capacità, in conformità con il metodo di prova esposto nel paragrafo 26.14 della norma CEI EN 60079-0, dato che potrebbero essere suscettibili alle cariche elettrostatiche da poter diventare una sorgente di accensione. Se la capacità misurata di ogni parte metallica supera il valore indicato nella seguente tabella, le apparecchiature devono essere contrassegnate con il simbolo "X" e le condizioni d'uso specifiche devono indicare il valore di capacità determinato per consentire all'utilizzatore di determinare l'idoneità nell'applicazione specifica.

Capacità massima pF				
Apparecchiature del Gruppo I o del Gruppo III	Apparecchiature del gruppo II			
	Livello di protezione dell'apparecchiatura	Gruppo IIA	Gruppo IIB	Gruppo IIC
10	EPL Ga	3	3	3
	EPL Gb	10	10	3
	EPL Gc	10	10	3

Tabella 40: capacità massima di parti metalliche non collegate a terra

CAPITOLO 9: SISTEMI DI PROTEZIONE DALLE ESPLOSIONI

9.1 GENERALITÀ

Un aspetto di primaria importanza nella gestione della sicurezza delle atmosfere potenzialmente esplosive è quello relativo ai sistemi di protezione definiti nell'articolo 2 della direttiva ATEX 2014/34/UE come "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".

Qui viene precisato il fatto che tali sistemi devono essere diversi da quelli utilizzati per scopi produttivi o funzionali e che devono avere la sola funzione di ridurre gli effetti dell'esplosione. Tali prodotti devono essere, pertanto, immessi sul mercato in modo separato con la specifica prescrizione di sistemi autonomi. Tra i sistemi di protezione vi sono:

- sistemi di soppressione dell'esplosione;
- sistemi d'isolamento dell'esplosione;
- equipaggiamenti resistenti all'esplosione;
- sistemi di scarico dell'esplosione.

La scelta e l'impiego di uno o più sistemi di protezione sopra elencati sono strettamente connessi al processo di analisi e valutazione del rischio di esplosione previsto dal Titolo XI del D.Lgs. 81/08.

La riduzione degli effetti di una esplosione e la conseguente scelta dei dispositivi di protezione è legata a molteplici fattori, tra cui il tipo di processo produttivo, la logistica dell'impianto in cui potrebbe formarsi l'atmosfera esplosiva e fattori di tipo ambientale.

Un aspetto rilevante per la protezione dalle esplosioni è l'aspetto progettuale, inteso come il complesso di scelte tecniche e dimensionali che consentono di ridurre gli effetti di una esplosione sin dalla fase di progetto.

Quest'ultimo aspetto, unito alla scelta di un efficiente sistema di protezione, consente di raggiungere un soddisfacente grado di protezione in caso di esplosione, con il risultato di avere limitati fattori di danno e ridotto rischio per i lavoratori.

9.2 SOPPRESSORI

Tra i sistemi di protezione, quelli cosiddetti a soppressione si caratterizzano per il fatto che vengono impiegati per il rilevamento di una possibile esplosione e l'immediata soppressione nei suoi primi istanti, limitando fortemente l'incidenza di eventuali danni.

Si ricorda che un'esplosione è sempre accompagnata da un aumento, oltre che di temperatura, anche di pressione. Ciò significa che se si rileva un rapido aumento di pressione questo è indice del fatto che sta iniziando un'esplosione.

A seguito del rilevamento delle prime fasi dell'esplosione, una sostanza soppressore dell'esplosione viene immediatamente scaricata all'interno del volume interessato dall'esplosione. In generale tale sostanza è contenuta all'interno di HRD (High Rate Discharge), cioè dispositivi a rilascio rapido.

L'effetto è quello di abbassare la pressione di esplosione ad un valore detto P_{red} , il cui andamento è rappresentato nella figura seguente:

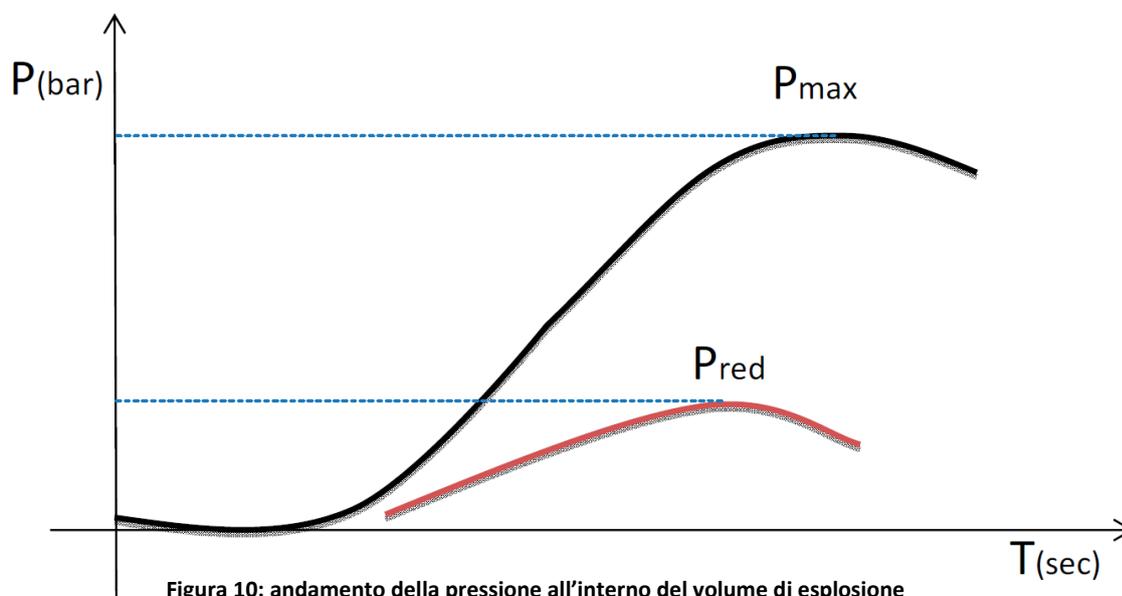


Figura 10: andamento della pressione all'interno del volume di esplosione

Nel grafico, la curva nera indica l'andamento della pressione all'interno del volume interessato dall'esplosione. L'azione dei soppressori fa sì che si abbia una riduzione della pressione fino al valore P_{red} .

In generale, valori pericolosi della pressione di esplosione vengono raggiunti in meno di 50 ms; pertanto, i sistemi di soppressione devono essere in grado di intervenire entro tale termine.

Con i sistemi di rilevazione a centralina elettronica, dall'istante di consenso del segnale di scarica all'effettiva apertura della valvola del soppressore trascorrono non più di 3,5 ms.

Se ne deduce quindi che uno dei fattori fondamentali per una efficace azione di soppressione è il corretto posizionamento dei sensori di rilevamento. In realtà la fase di rilevamento può essere effettuata impiegando anche dei sensori ottici, sensori UV e IR. Per applicazioni in ambienti chiusi e confinati, vengono più frequentemente impiegati sensori di pressione.

I sistemi di soppressione sono progettati in relazione al processo produttivo ed alla tipologia delle esplosioni. Essi possono essere ad acqua, sostanze chimiche estinguenti e polveri.

In figura sono rappresentati alcuni tipi di sistemi di soppressione.



Figura 11: sistemi di soppressione installati lungo le tubazioni del sistema

9.3 SISTEMI DI ISOLAMENTO DELL'ESPLOSIONE

I sistemi di isolamento dell'esplosione si suddividono in due categorie:

- I sistemi attivi di isolamento si basano sulla rilevazione preventiva dell'esplosione mediante sensori ed unità di controllo.
- I sistemi passivi di isolamento sono costituiti da dispositivi installati lungo le condotte di propagazione dell'esplosione e non richiedono sensori o sistemi di controllo.

In relazione alle specifiche esigenze e alla tipologia di impianto, si possono trovare i seguenti dispositivi per la realizzazione di un sistema di isolamento:



Figura 12: valvola di non ritorno

- Valvole di protezione, che possono essere sia attive che passive. Quelle attive vengono controllate da sensori e, tramite il sistema di controllo, ne viene attivata la chiusura al momento dell'esplosione, per evitare che la stessa raggiunga le zone da proteggere. Le valvole passive, per esempio quelle di non ritorno (flap valve), impediscono la propagazione dell'esplosione e del suo fronte di fiamma³.

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



Figura 13: valvola rotativa

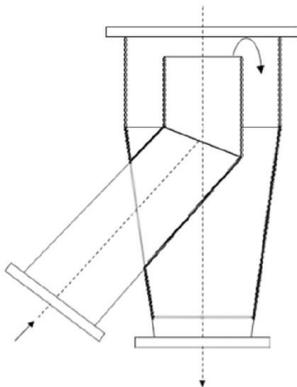


Figura 14: schema di funzionamento del diverter

- Deviatori (diverters), permettono la deviazione della propagazione del fronte di esplosione consentendo di ridurne gli effetti. La norma che regola questo tipo di dispositivi è la EN 16020. Si tratta di dispositivi passivi installati in contesti industriali che trattano polveri.

Le misure delle lunghezze di installazione dei diverters sono prescritte nelle relative norme e dipendono dal processo produttivo.

³ Il fronte di fiamma è la sottile regione di transizione fra la parte di gas o polvere incombusta e quella combusta

Un ulteriore sistema di isolamento è quello a ghigliottina mostrato nella seguente figura. Questi vengono installati con dei sensori che provocano la chiusura della ghigliottina prima dell'arrivo del fronte di fiamma.



Figura 15: valvola a ghigliottina

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

9.4 EQUIPAGGIAMENTI RESISTENTI ALL'ESPLOSIONE

Oltre ai componenti descritti sopra, un altro sistema di protezione passivo contro le esplosioni è quello degli apparecchi resistenti all'esplosione. Questo consiste nel prevedere opportune caratteristiche di resistenza meccanica degli apparecchi, che potrebbero essere soggetti ad una esplosione.

La norma EN 14460 stabilisce i requisiti costruttivi che gli apparecchi devono possedere per resistere alle pressioni di esplosione ed a shock dovuti a esplosioni. La norma definisce inoltre i limiti di pressione e temperatura di esercizio dell'apparecchiatura potenzialmente soggetta ad esplosione.

In modo più approfondito, la norma che definisce le grandezze di pressione da assumere come specifiche di progetto, i materiali e le definizioni è la EN 13445, nelle sue varie parti.

Tornando alla tipologia di apparecchi resistenti alle esplosioni, è possibile distinguere tra:

- apparecchi resistenti alle esplosioni con deformazione;
- apparecchi resistenti alle esplosioni senza deformazione.

In generale inoltre, si distingue tra due tipologie di progettazione:

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

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

9.5 SCARICO DELLE ESPLOSIONI

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

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



Figura 16: pannelli di rottura

Per impieghi indoor vengono utilizzati altri tipi di sistemi di sfogo che consentono di realizzare condizioni di sicurezza. È necessario evitare la proiezione di frammenti solidi durante lo sfogo dell'esplosione. A tal scopo vengono utilizzati sistemi di bloccaggio e contenimento come per esempio gabbie metalliche.

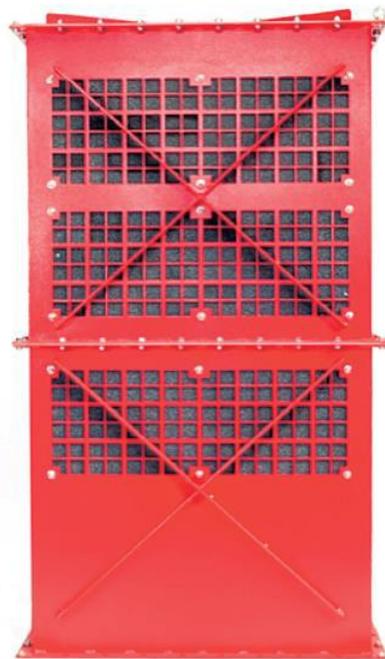


Figura 17: sistemi indoor

CONCLUSIONI

Abbiamo quindi visto che la protezione e la sicurezza in ambienti esplosivi è un argomento importante poiché, nonostante l'attenzione su di esso sia aumentata negli ultimi anni, ci sono ancora incidenti gravi con relativi feriti e morti. Il problema è che la sicurezza negli ambienti ATEX è un argomento complesso poiché non basta seguire uno schema fisso o applicare semplici formule o pochi provvedimenti. Infatti ci sono vari passaggi da seguire a partire dalla individuazione del tipo di ambiente in trattazione e dalla valutazione del rischio e, in base a questi e al particolare caso in questione, prendere varie decisioni, come se e quali modi di protezione o di sicurezza scegliere, e attuare i provvedimenti necessari.

Inoltre è richiesta la stretta collaborazione tra le varie figure interessate quali il progettista del dispositivo, il datore di lavoro e i vari organismi esterni notificati.

In conclusione quindi questo documento può essere visto come una sorta di linea guida d'aiuto a costruttori, progettisti e datori di lavoro che si trovano ad operare in ambienti a rischio esplosivo. Questo però senza scordare che contiene solamente le informazioni e le prescrizioni più importanti o comunque riscontrabili nei casi più frequenti mentre per casi e prescrizioni più particolari si rimanda alle relative norme di riferimento, ovvero la CEI EN 60079 nelle sue varie e molteplici parti.

BIBLIOGRAFIA

Direttiva 94/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 marzo 1994;

Direttiva 2014/34/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 26 febbraio 2014;

Direttiva 1999/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 1999;

D.lgs. n. 233 del 12/06/2003- Attuazione della Direttiva 1999/92/CE;

D.lgs. n. 81 del 09/04/2008 – Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro;

Norma CEI EN 60079- Atmosfere esplosive

Parte 0: Apparecchiature - Prescrizioni generali

Parte 14: Progettazione, scelta e installazione degli impianti elettrici

Norma UNI EN 1127 Atmosfere esplosive - Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione

Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia

Il rischio di esplosione, misure di protezione ed implementazione delle Direttive ATEX 94/9/CE e 99/92/CE - INAIL Edizione 2013

SCAME - Guida ATEX - Concetti base per la protezione in atmosfera esplosiva