

Presenza di polveri combustibili o esplosivi base della classificazione dei luoghi pericolosi

di **Gianluca Saputi**, Dipartimento Omologazione e Certificazione ISPESL

Il pericolo di esplosioni dovute a polveri combustibili viene spesso sottovalutato rispetto a quello dovuto ai liquidi e gas infiammabili, sebbene i danni causati possano essere anche maggiori. Le polveri combustibili che possono dare origine ad esplosioni sono presenti in una gran parte delle industrie italiane come quella alimentare, chimica, metallurgica, della lavorazione del legno, ecc. Basti pensare all'industria alimentare e in particolare a quella parte che si occupa della lavorazione delle polveri di grano, cereali, legumi, foraggi, del latte in polvere e dello zucchero. Tutti noi utilizziamo questi prodotti nel vivere quotidiano ignorando, nella maggior parte dei casi, che possono essere particolarmente pericolosi nella loro lavorazione nei cicli industriali.

È necessario affrontare, quindi, le problematiche della scelta degli impianti e componenti elettrici da utilizzare in queste industrie e della classificazione dei luoghi pericolosi per presenza di polveri combustibili all'interno degli ambienti. Tutto questo è affrontato facendo riferimento alla normativa vigente comprendente il D.Lgs. 233/03 e le norme CEI 31-67, CEI 31-66 e CEI 31-56.

Le polveri combustibili possono dar luogo a due tipi di pericolo:

- in caso di dispersione in atmosfera possono causare delle esplosioni;
- in caso di deposito in strati su componenti che producono calore possono dare origine ad incendi.

Il pericolo di esplosione dovuto alla presenza di polveri combustibili si manifesta quando queste, disperse nell'aria, formano delle miscele (nubi) di combustibile (polvere) e di comburente (ossigeno presente nell'aria), cosicché, in presenza di una sorgente di accensione di sufficiente energia, sono in grado di formare un'onda di pressione ed un fronte di fiamma con effetti esplosivi. Perché questo si verifichi è necessario che la polvere combustibile sia presente all'interno della nube in una concentrazione compresa nel campo di esplosibilità della stessa.

Un altro parametro, che si può introdurre per capire quale sia il pericolo che può originare una data polvere combustibile, è la *granulometria*. Essa consiste nella misurazione della ripartizione percentuale delle particelle della polvere combustibile in questione in funzione del loro diametro. Visto che le particelle di polveri combustibili con grandezza superiore a 500 μm possono considerarsi, con una certa cautela, non in grado di dare origine a nubi esplosive, se da questa misura risulta che la polvere in questione è formata in gran parte da particelle aventi queste dimensioni, si può fare riferimento al solo pericolo di incendio. È da ricordare che, comunque, per l'effettuazione di questa misura deve essere preso in considerazione un campione rappresentativo di tale polvere prevedibile nell'ambiente oggetto di studio nelle peggiori condizioni. Questo in quanto le particelle di polvere possono essere sottoposte, durante la lavorazione e il trasporto, a diverse operazioni che ne determinano uno sminuzzamento con la conseguente formazione di particelle più fini, che possono creare pericoli di esplosione.

Il pericolo di incendio è dovuto, solitamente, al deposito di strati di polvere sulle apparecchiature elettriche, che ne causano un peggioramento del raffreddamento con un conseguente aumento della temperatura superficiale. Se questo aumento di temperatura porta ad una temperatura finale maggiore di quella di accensione della polvere in strato, questa si innesca dando origine al solo incendio nel caso in cui questi strati siano incapaci di sollevarsi e quindi di formare nubi esplosive. Questo pericolo può essere evitato mantenendo un buon livello di pulizia, che tenga lo spessore degli strati entro limiti trascurabili.

Classificazione dei luoghi

Per la classificazione dei luoghi con presenza di polveri combustibili si deve far riferimento alla norma CEI 31-66 che, dal 1 luglio 2007, sostituirà totalmente la norma CEI 31-52. Poiché questa norma non apporta cambiamenti fondamentali rispetto alla vecchia, ma differisce in particolare solo in alcune definizioni e, finora, non è stata pubblicata nessuna guida alla sua applicazione, si farà riferimento alla guida CEI 31-56, "Guida all'applicazione della norma CEI 31-52". La procedura descritta nelle norme sopraccitate può essere così riassunta:

- Individuazione e classificazione delle sorgenti di emissione (SE);
- Valutazione delle condizioni di ventilazione;
- Individuazione delle zone pericolose;
- Determinazione dell'estensione delle zone pericolose.

La sorgente di emissione

Per procedere all'individuazione e classificazione delle sorgenti di emissione, è necessario fornirne una definizione. *Definita come un punto o una parte di un sistema di contenimento da cui può essere emessa nell'aria polvere combustibile in grado di dar luogo ad una atmosfera esplosiva*, la sorgente di emissione può emettere polveri sia in funzionamento normale sia anomalo, nonché durante la manutenzione.

Una sorgente di emissione da considerare sono gli strati di polvere all'interno di un sistema di contenimento in cui vengono lavorate e movimentate polveri, di cui è spesso impossibile evitare la formazione essendo questi parte integrante del processo. In particolare, questi strati, in presenza di turbolenze o azioni meccaniche, possono essere dispersi nell'ambiente formando delle nubi esplosive pericolose. Un effetto molto comune nel caso degli strati di polvere è il cosiddetto effetto *domino* dovuto ad una prima piccola esplosione, detta primaria, determinata dall'accensione di polvere in strato che solleva, per azione dell'onda di pressione, una quantità molto maggiore di polvere con una seconda esplosione, detta secondaria, avente effetti molto maggiori della prima.

La formazione degli strati di polvere viene favorita dalle superfici orizzontali o poco inclinate e dagli angoli. Essendo essi delle vere e proprie sorgenti di emissione, la loro presenza ed estensione dovrebbe essere sempre limitata mediante interventi di pulizia.

Le sorgenti di emissione (SE) vengono classificate, secondo la normativa vigente, in:

- **SE di grado continuo** - emissione continua o che può avvenire per lunghi periodi, oppure per brevi periodi ad intervalli frequenti;
- **SE di grado primo** - emissione che può avvenire periodicamente o occasionalmente durante il funzionamento normale;
- **SE di grado secondo** - emissione che non è prevista durante il funzionamento normale e, se avviene, è possibile solo poco frequentemente o per brevi periodi.

Il grado di emissione (continuo, primo o secondo) di uno strato di polvere dipende dal livello di mantenimento della pulizia (buono, adeguato, scarso), dal disturbo dello strato (frequente o poco frequente) e dal grado di emissione della sorgente di emissione del sistema di contenimento, come causa primaria della formazione dello strato.

Secondo la guida CEI 31-56 il livello di mantenimento della pulizia dell'ambiente si può definire:

- **Livello buono** - quando gli strati di polvere sono mantenuti a spessore trascurabile o sono assenti;
- **Livello adeguato** - quando gli strati di polvere non sono trascurabili, ma permangono per breve tempo (massimo 8 h circa);
- **Livello scarso** - quando gli strati di polvere non sono trascurabili e perdurano per oltre un turno di lavoro (più di 8 h).

Per quanto riguarda il disturbo dello strato, è logico che se esso viene disturbato di frequente, la polvere si solleva con frequenza maggiore e di conseguenza il grado di emissione risulta più elevato. Per la determinazione del grado di emissione di uno strato, in funzione del disturbo dello stesso e del grado della sorgente di emissione del contenitore si può far riferimento alla *tabella 1*.

Tabella 1 – Determinazione del grado di emissione di uno strato in funzione del disturbo e della sorgente

	Grado della sorgente di emissione del contenitore	<i>Continuo o primo</i>	<i>Secondo</i>
Livello di pulizia	Disturbo strato	Grado di emissione strato	Grado di emissione strato
<i>Adeguato</i>	<i>Frequente</i>	Primo	Secondo
	<i>Poco frequente</i>	Secondo	$\frac{3}{4}$
<i>Scarso</i>	<i>Frequente</i>	Continuo	Primo
	<i>Poco frequente</i>	Primo	Secondo

Il sistema di aspirazione

La valutazione delle condizioni di ventilazione nei luoghi con presenza di polveri combustibili rappresenta un passaggio fondamentale e la presenza di un impianto di aspirazione ben dimensionato in prossimità della sorgente di emissione determina, secondo la sua efficienza, una modifica più o meno preponderante della probabilità di formazione di zone pericolose e, quindi, una “declassificazione” delle stesse.

Va posta l’attenzione al fatto che un sistema di aspirazione, per essere efficiente, deve essere ben dimensionato e le bocche di aspirazione devono essere poste nelle immediate vicinanze delle sorgenti di emissione delle polveri. Infatti, un impianto di aspirazione che non venga posizionato in prossimità delle sorgenti di emissione non produce nessun effetto di bonifica, ma può addirittura portare ad un peggioramento delle condizioni ambientali provocando delle turbolenze, che possono dar luogo, in presenza di strati, all’effetto domino precedentemente illustrato.

Per valutare l’effetto di un sistema di aspirazione, bisogna stabilire due parametri fondamentali:

- Il grado di efficacia;
- La disponibilità del sistema di aspirazione.

Il *grado di efficacia* di un sistema di aspirazione si può considerare:

- **Alto**: se è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell’aria in modo praticamente istantaneo al di sotto del limite inferiore di esplosibilità (LEL) nell’immediato intorno della SE e all’interno del sistema di aspirazione stesso;
- **Medio**: se non è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell’aria al di sotto del LEL nelle immediate vicinanze della SE e all’interno del sistema di aspirazione stesso, ma è in grado di catturare tutta la polvere emessa dalla SE;
- **Basso**: se non è in grado di ridurre la concentrazione di polvere nell’aria al di sotto del LEL nelle immediate vicinanze della SE e all’interno del sistema di aspirazione stesso e non è capace di catturare tutta la polvere emessa dalla SE. Tale grado di efficacia equivale all’assenza di un impianto di aspirazione.

Per quanto riguarda la *disponibilità del sistema di aspirazione* si considera:

- **Buona**: se l’aspirazione è presente con continuità;
- **Adeguata**: se l’aspirazione è presente durante il funzionamento normale, con la sola possibilità di interruzioni brevi e poco frequenti;

- **Scarsa:** se l'aspirazione non risponde ai requisiti di buona ed adeguata, anche se non sono previste interruzioni per lunghi periodi.

Ai fini della valutazione della disponibilità di un sistema di aspirazione devono essere considerate anche l'affidabilità, la presenza di apparecchiature di riserva e i periodi di interruzione. Un sistema di aspirazione di disponibilità buona, in genere richiede la presenza di apparecchiature di riserva, mentre se un sistema di aspirazione presenta lunghi periodi di interruzione, non può essere considerato come un sistema di bonifica.

Le zone pericolose

Per l'individuazione delle zone pericolose per presenza di polveri combustibili si deve far riferimento sia alle norme tecniche precedentemente citate, sia al D.Lgs. 233/03, i quali operano la seguente distinzione:

- **Zona 20:** se l'atmosfera esplosiva è presente in modo continuo, per lunghi periodi o di frequente;
- **Zona 21:** se l'atmosfera esplosiva è presente sporadicamente durante il funzionamento ordinario;
- **Zona 22:** se l'atmosfera esplosiva non è possibile durante il funzionamento ordinario o è possibile poco frequentemente e per un breve periodo.

È naturale che la probabilità di formazione di zone pericolose dipende dalle caratteristiche del sistema di aspirazione delle polveri e dal grado di emissione delle SE; infatti, in assenza di un impianto di aspirazione ci sono forti probabilità di formazione di atmosfere esplosive.

Nella *tabella 2* è riportato un sistema di determinazione delle zone pericolose in funzione delle caratteristiche del sistema di aspirazione e del grado di emissione delle SE.

Tabella 2 – Determinazione delle zone pericolose in funzione delle caratteristiche del sistema di aspirazione

		GRADO DI EFFICACIA DEL SISTEMA DI ASPIRAZIONE				
GRADO DELLA SORGENTE DI EMISSIONE (SE)	Sistema di aspirazione assente o grado di efficacia BASSO		Grado di efficacia MEDIO		Grado di efficacia ALTO	
	<i>Ambiente aperto</i>	<i>Ambiente chiuso</i>	<i>Disponibilità buona</i>	<i>Disponibilità adeguata</i>	<i>Disponibilità buona</i>	<i>Disponibilità adeguata</i>
Continuo	Zona 20	Zona 20 + zona 22	Zona 20	Zona 20 + zona 22	Zona non pericolosa	Zona 22
Primo	Zona 21	Zona 21 + zona 22	Zona 21	Zona 21 + zona 22	Zona non pericolosa	Zona 22
Secondo	Zona 22	Zona 22	Zona 22	Zona 22	Zona non pericolosa	Zona non pericolosa

N.B. Il simbolo “+” significa “*circondata da*”

Le zone pericolose all'interno dei sistemi di contenimento delle polveri combustibili sono, generalmente, zone 20 e si estendono a tutto il volume interno dello stesso, comprendendo tubazioni, recipienti, filtri, ecc.

La determinazione dell'estensione delle zone pericolose all'esterno dei sistemi di contenimento delle polveri combustibili dipende da coefficienti direttamente correlati alle caratteristiche della polvere combustibile in questione, dal sistema di contenimento e dall'ambiente.

Negli ambienti chiusi, solitamente, si hanno più tipi di zone pericolose nell'intorno della SE e in presenza di strati queste possono interessare tutto il volume dell'ambiente con zone 22.

Per la determinazione dell'estensione delle zone pericolose si deve fare riferimento all'appendice GD della guida CEI 31-56, che definisce:

$$d_z = (d_0 + d_h) \cdot k_d \cdot k_u \cdot k_{ta} \cdot k_w$$

con

d_z = distanza pericolosa dalla SE nella direzione di emissione e di più probabile dispersione della nube esplosiva [m]

d_0 = distanza di riferimento [m]

d_h = distanza addizionale dipendente dall'altezza della SE [m]

k_d = coefficiente dipendente dal rapporto tra la portata di emissione Q_d della SE e LEL

k_u = coefficiente relativo al contenuto di umidità della polvere

k_{ta} = coefficiente relativo al tipo di ambiente

k_w = coefficiente che dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e della velocità di sedimentazione della polvere u_t

Nella stessa guida viene definita come *effettiva* estensione della zona pericolosa la cosiddetta "quota a " che è:

$$a = k \cdot d_z$$

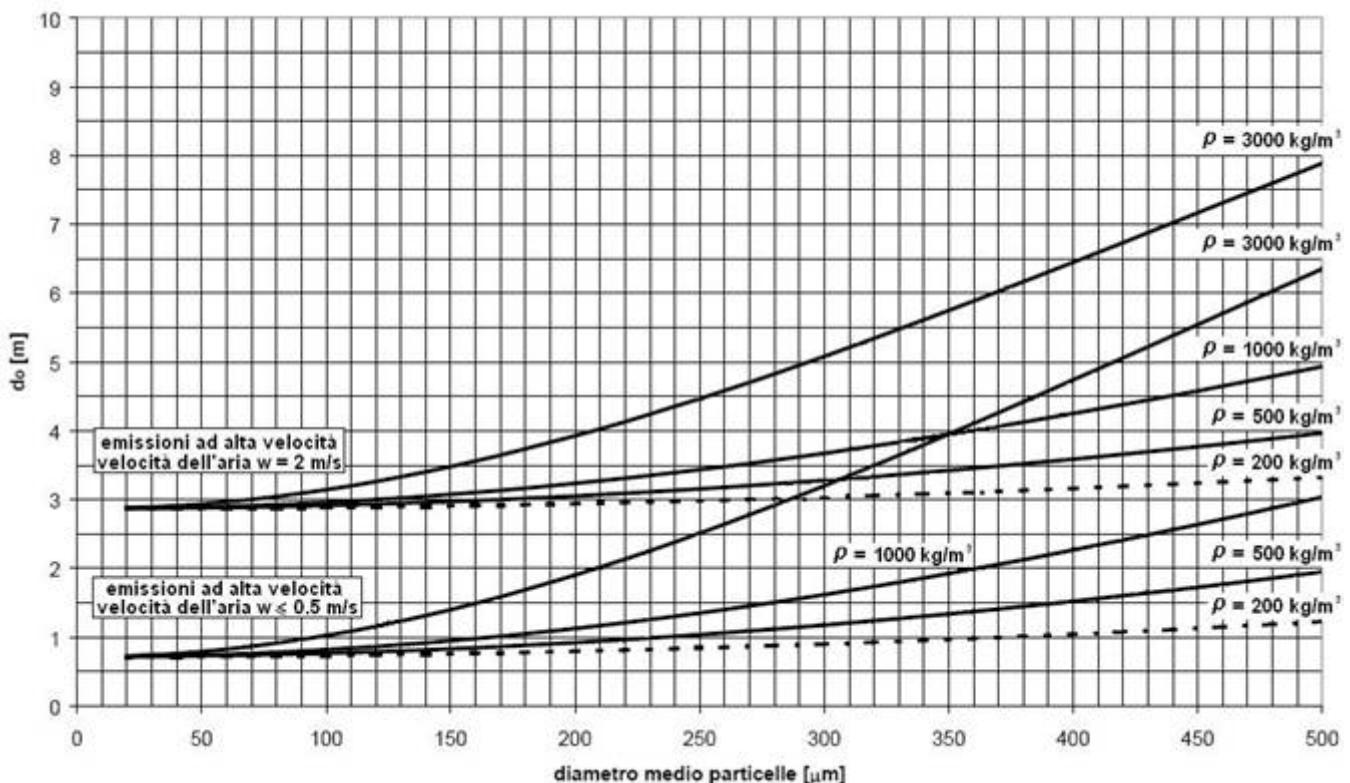
dove k è un coefficiente variabile di cui il progettista può tener conto sulla base dell'esperienza in seguito a studi sperimentali di settore relativi al caso in esame.

In generale la quota a viene assunta uguale a d_z , solo nel caso in cui d_z risulti minore di 1 m viene assunto $a = 1$ m.

Nel dettaglio, analizzando i vari parametri che compongono la d_z :

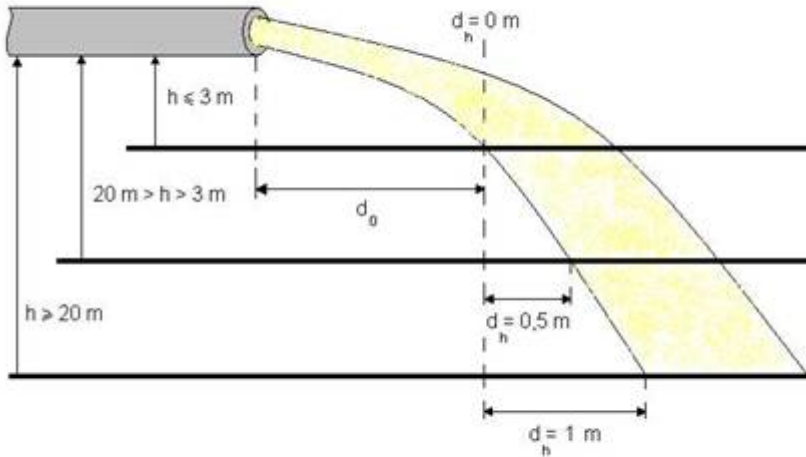
- Distanza di riferimento d_0 [m]: dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione intorno alla SE w (m/s), dalla velocità con la quale la SE emette la polvere e dalle caratteristiche densità ρ (kg/m³) e diametro medio delle particelle (μ m) della polvere stessa. Per sistemi di contenimento che lavorano a pressione atmosferica, essendo la velocità di emissione bassa, si prende come valore di riferimento $d_0 = 1$ m, mentre per sistemi che lavorano in pressione, essendo la velocità di emissione non trascurabile, la d_0 può essere ricavata dal *grafico 1*.

Grafico 1 – Calcolo della distanza di riferimento per i sistemi che lavorano in pressione



- Distanza addizionale d_h [m]: dipende dall'altezza della SE rispetto alla superficie di deposito della polvere (es. suolo) con la modalità schematizzata nel *grafico 2*.

Grafico 2 – Calcolo della distanza addizionale



- Coefficiente k_d : dipende dal rapporto tra la portata di emissione Q_d della SE e il LEL assumendo le caratteristiche riportate nella tabella 3.

Tabella 3 – Valori del coefficiente k_d

Condizione	k_d	Condizione semplificativa
se $\frac{LEL \cdot 10^{-3} \cdot u_i \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} > 10$	0,5	se $Q_d \leq 5\% P_p$
se $\frac{LEL \cdot 10^{-3} \cdot u_i \cdot d_0^2}{2 \cdot Q_d} \leq 10$	1	se $Q_d \geq 30\% P_p$
Pp = portata totale di processo in corrispondenza della SE		

- Coefficiente k_u : dipende dal contenuto di umidità della polvere e secondo la tab. GD.3.3-B della guida CEI 31-56 varia con le modalità riportate nella *tabella 4*.

Tabella 4 – Valori del coefficiente k_u

Contenuto di umidità della polvere (%)	Campo di variazione del coefficiente	K_u consigliato
Dal 40% al 50%	da 0,3 a 0,5	0,3
Dal 12% al 40%	da 0,5 a 1	0,8
Inferiore al 12%	da 1 a 1,2	1

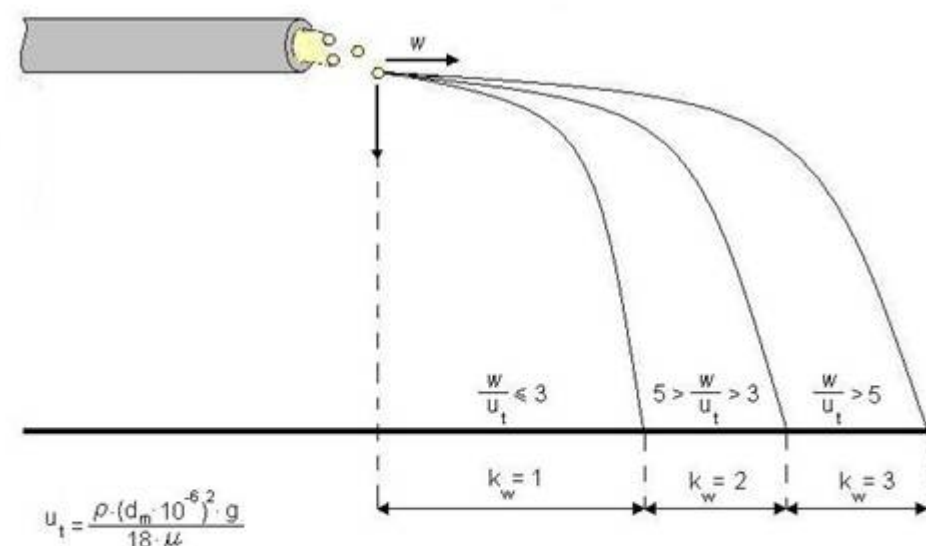
· Coefficiente k_{ta} : dipende dal tipo di ambiente nel quale viene a disperdersi la polvere, naturalmente in un ambiente aperto la polvere si disperde con maggiore facilità che in un ambiente chiuso. Tale coefficiente assume i valori riportati nella tab. GD.3.4-A della guida CEI 31-56, che si riportano nella *tabella 5*.

Tabella 5 – Valori del coefficiente k_{ta}

Tipo di ambiente	Campo di variazione del coefficiente	K_{ta} consigliato
Aperto	da 0,5 a 0,7	0,5
Aperto con ostacoli	da 0,7 a 1	0,8
Chiuso	da 1 a 1,2	1

· Coefficiente k_w : dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e dalla velocità di sedimentazione u_t delle particelle di polvere, questo rapporto viene descritto nel *grafico 3*.

Grafico 3 – Valori del coefficiente k_w in funzione della velocità dell'aria di ventilazione e della velocità di sedimentazione



dove:

ρ densità assoluta della polvere [kg/m³]

d_m grandezza media delle particelle [μm]

g accelerazione di gravità [9,81 m/s²]

μ coefficiente di viscosità dinamica dell'aria [$1,8 \cdot 10^{-4}$ Ns/m²]

Scelta degli impianti e componenti elettrici

Dal 1 luglio 2007 la norma CEI 31-67 sostituirà la norma CEI 31-36. Le indicazioni che seguono faranno riferimento, perciò, alla nuova normativa che ha apportato consistenti innovazioni rispetto alla precedente.

Una polvere combustibile può essere innescata dalle seguenti cause:

- Temperatura superficiale dei componenti elettrici superiore a quella minima di accensione della polvere interessata;
- Energia irradiata;
- Archi o scintille originati da parti elettriche, come commutatori, interruttori, contatti o simili;
- Scarica di cariche elettrostatiche accumulate;
- Scintille originate da fenomeni meccanici o di frizione associati alla costruzione.

Per evitare inneschi pericolosi, perciò, è necessario che:

- La temperatura delle superfici su cui la polvere può depositarsi o che potrebbe venire a contatto con una nube di polvere venga mantenuta al di sotto dei limiti di temperatura accettabili;
- Tutte le parti che originano scintille o che hanno temperatura superiore ai limiti accettabili siano contenute in una custodia che previene in modo adeguato la penetrazione della polvere o sia limitata l'energia dei circuiti elettrici così da evitare archi, scintille o temperature in grado di innescare la polvere;
- Venga evitata qualsiasi sorgente di accensione.

Un metodo di limitazione degli inneschi è la scelta delle costruzioni elettriche protette contro l'esplosione. Queste si dividono in:

- Custodie antipolvere a prova di esplosione (*Ex tD*) in grado di impedire la penetrazione di tutte le particelle di polvere visibili o di consentire la penetrazione di particelle di polvere in quantità non sufficiente da interferire con il funzionamento sicuro dell'apparecchiatura evitandone il deposito all'interno di quantità tali da provocare il rischio di innesco;
- Costruzioni protette da incapsulamento (*Ex mD*) nelle quali le parti in grado di innescare un'atmosfera mediante scintille o calore sono racchiuse in un composto in modo tale da evitare l'innesco di uno strato o una nube di polvere;
- Costruzioni a sicurezza intrinseca (*Ex iD*) che si basa sulla limitazione dell'energia elettrica nei circuiti esposti all'atmosfera potenzialmente esplosiva fino ad un livello inferiore a quello che potrebbe provocare l'accensione dovuta agli effetti di scintille e calore;
- Custodie a sovrappressione interna (*Ex pD*) nelle quali l'applicazione di un gas protettivo all'interno della custodia impedisce la formazione di atmosfere di polvere esplosive, mantenendo una sovrappressione in rapporto all'atmosfera circostante.

La scelta di queste costruzioni ai fini di evitare inneschi dovuti ad eccessive temperature superficiali deve essere effettuata in funzione dei limiti di temperatura di accensione per la presenza di nubi e di strati di polvere. Infatti, la temperatura massima superficiale che una costruzione elettrica non deve superare è:

$$T_{\max} = 2/3 \cdot T_{CL}$$

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

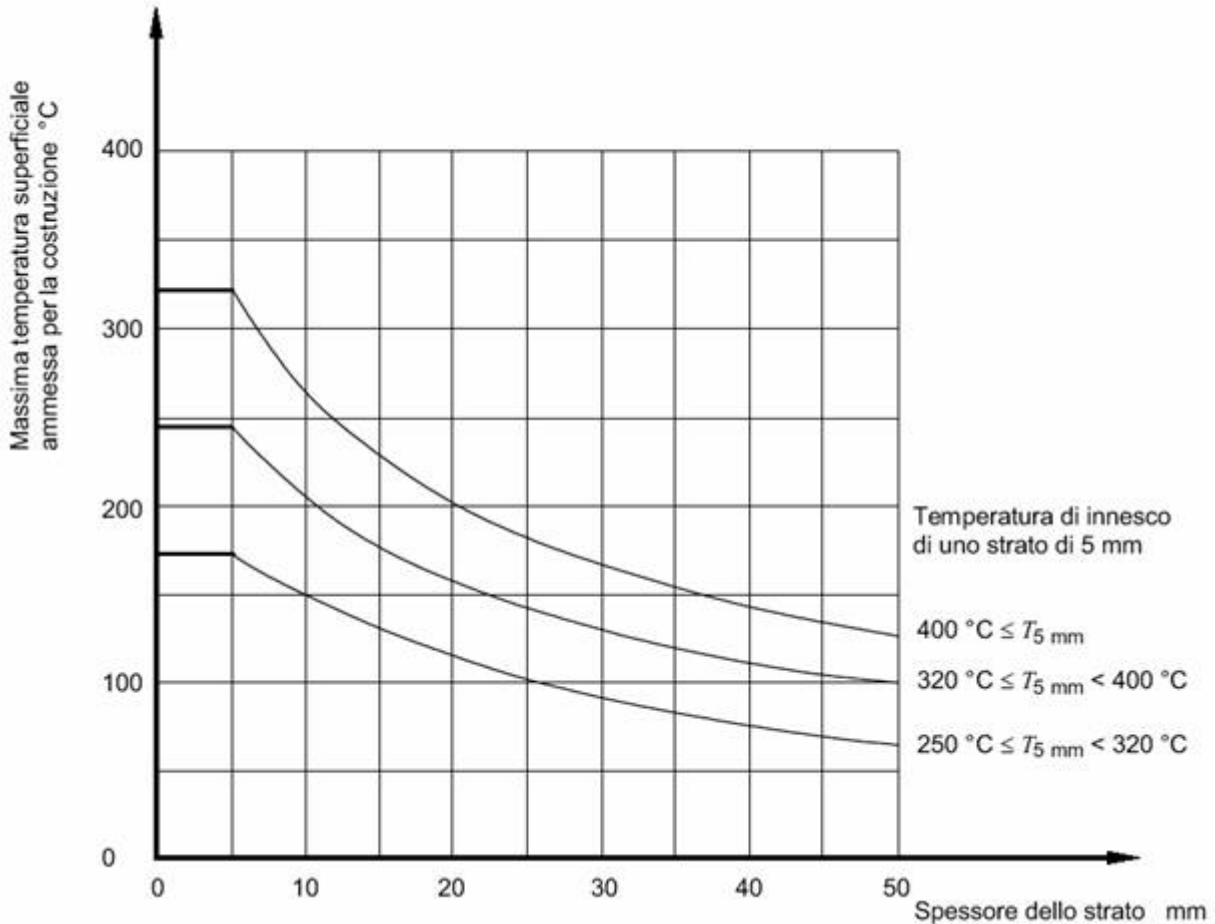
Mentre, in relazione alla presenza di strati:

$$T_{\max} = T_{5 \text{ mm}} - 75 \text{ °C}$$

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

Per la valutazione della temperatura massima superficiale che una costruzione non deve superare in funzione della presenza di uno strato con spessore che varia dai 5 ai 50 mm si può far riferimento al *grafico 4* ripreso dalla norma CEI 31-67:

Grafico 4 – Valutazione della temperatura massima superficiale



Nel caso di costruzioni *Ex tD B* la relazione precedente può essere sostituita dalla seguente, senza pregiudicare i requisiti di sicurezza:

$$T_{\text{max}} = T_{12,5\text{ mm}} - 25\text{ °C}$$

dove $T_{12,5\text{ mm}}$ è la temperatura di accensione dello strato di polvere da 12,5 mm.

Il *grafico 4* non prende in esame le polveri con temperatura di innesco inferiore ai 250 °C e gli strati di polvere di spessore maggiore di 50 mm, infatti, per una corretta valutazione in tali situazioni è necessario far ricorso a delle prove di laboratorio.

Per quanto riguarda la limitazione degli inneschi dovuti ad apparecchiature irradianti si deve porre l'attenzione sulle:

- Sorgenti luminose che agiscono nel campo dello spettro ottico installato nell'area pericolosa;
- Sorgenti di ultrasuoni.

Per rimanere nei limiti di sicurezza, queste dovranno rispettare le condizioni riportate nella *tabella 6*.

Tabella 6 – Valori limite delle sorgenti di ultrasuoni e luminose per la limitazione degli inneschi

	Sorgenti	Continue	A impulsi
Zona 20 e 21	<i>Luce solare, luci di forte intensità, laser</i> (*)	Radiazione $\leq 5 \text{ mW/mm}^2$ o 35 mW	Radiazione $\leq 0,1 \text{ mJ/mm}^2$
	<i>Ultrasuoni</i>	Densità di potenza acustica $\leq 0,1 \text{ W/cm}^2$ ad una $f \leq 10 \text{ MHz}$ nel campo del sonoro	Densità di potenza acustica $\leq 2 \text{ mJ/cm}^2$ nel campo del sonoro
Zona 22	<i>Luce solare, luci di forte intensità, laser</i> (**)	Radiazione $\leq 10 \text{ mW/mm}^2$ o 35 mW	Radiazione $\leq 0,5 \text{ mJ/mm}^2$
	<i>Ultrasuoni</i>	Densità di potenza acustica $\leq 0,1 \text{ W/cm}^2$ ad una $f \leq 10 \text{ MHz}$ nel campo del sonoro	

(*) I valori devono essere garantiti anche in caso di rari disturbi

(**) Le sorgenti con impulso $< 5 \text{ s}$ sono considerate continue

Per la protezione contro le scintille pericolose, il possibile contatto accidentale con parti nude in tensione, diverse dalle parti a sicurezza intrinseca, deve essere impedito. Inoltre, il principio fondamentale da cui dipende la sicurezza è la limitazione delle correnti di guasto verso terra in telai o custodie e la prevenzione di potenziali elevati su conduttori di collegamento equipotenziale.

Per realizzare ciò secondo il tipo di sistema di alimentazione che si utilizza ci sono da rispettare le seguenti condizioni:

- Se si utilizza un sistema TN nei luoghi pericolosi, questo deve essere di tipo TN-S e in presenza di punti di transizione da TN-C a TN-S, il conduttore di protezione deve essere collegato al sistema di collegamento equipotenziale nell'area non pericolosa;
- Se si utilizza un sistema TT nella zona 20 e 21, questo deve essere protetto mediante un dispositivo a corrente residua;
- Se si utilizza un sistema IT, si deve fornire un dispositivo di controllo dell'isolamento per indicare il primo guasto a terra;
- Se si utilizza un sistema SELV, le parti in tensione non devono essere collegate alla terra, o in parti in tensione, o a conduttori di protezione che fanno parte di circuiti appartenenti ad altri sistemi;
- Se si utilizza un sistema PELV e i circuiti hanno la messa a terra, la terra del circuito e tutte le parti conduttrici esposte devono essere collegate ad un comune sistema di equalizzazione dei potenziali. Mentre se i circuiti non sono messi a terra, tutte le parti esposte possono indifferentemente essere o non essere messe a terra.
- Per i sistemi TN, TT e IT, tutte le parti conduttrici esposte ed esterne devono essere collegate al sistema di collegamento equipotenziale. Tale collegamento può essere non effettuato per le custodie a sicurezza intrinseca e per gli impianti a protezione catodica a meno che non sia specificatamente richiesto.

Ulteriori accorgimenti da prendere nei circuiti diversi da quelli a sicurezza intrinseca per limitare gli inneschi dovuti a superfici calde, archi e scintille, possono essere riassunti nei seguenti punti:

- I cablaggi devono essere protetti contro gli effetti dannosi dovuti a sovraccarichi, cortocircuiti e guasti a terra;
- Le apparecchiature di protezione e controllo devono essere collocate al di fuori dell'area pericolosa a meno che non vengano protette con un adeguato sistema di protezione contro l'esplosione;
- I dispositivi di protezione non devono essere a richiusura automatica;
- Le macchine rotanti e i trasformatori devono essere protette contro il sovraccarico a meno che non siano in grado di resistere alle condizioni di guasto senza surriscaldarsi in modo inaccettabile;

- Si devono prendere delle precauzioni per impedire il funzionamento delle costruzioni elettriche in mancanza di una delle fasi di alimentazione per evitare pericolosi surriscaldamenti delle loro superfici.

Un'altra precauzione generale che deve essere considerata in ogni caso, è la presenza di uno o più dispositivi di interruzione dell'alimentazione elettrica dell'area pericolosa, posti al di fuori di questa, e che non interrompano l'alimentazione a quelle apparecchiature che in assenza di alimentazione presentino dei pericoli maggiori.

Per quanto riguarda l'innesco da scariche elettrostatiche accumulate e da superfici calde la norma CEI 31-67 pone l'attenzione sulla posa delle condutture. Infatti, i percorsi dei cavi e la loro modalità di posa devono essere predisposti in modo tale da non esporli a effetto di attrito e ad accumulo di cariche elettrostatiche dovuti al passaggio di polvere, che oltretutto, depositandosi, potrebbe portare al raggiungimento di temperature superficiali pericolose.

Infine, per quanto riguarda il rischio di innesco dovuto a scintille causate da fenomeni meccanici, la norma pone la sua attenzione a quelle apparecchiature con custodie in metallo o leghe leggere e ai cavi con armatura o guaina in alluminio, indicando delle limitazioni relative al loro utilizzo; in particolare:

- Per gli apparecchi fissi con custodia metallica o in lega leggera e per i cavi con armatura o guaina in alluminio è fatto divieto d'uso nelle zone 20, mentre nelle zone 21 e 22 possono essere impiegati in quanto il rischio è considerato trascurabile;
- Per gli apparecchi portatili o trasportabili con custodia metallica o in lega leggera devono essere prese precauzioni speciali per un loro utilizzo nei luoghi pericolosi come, per esempio, il rivestimento con materiali resistenti alle abrasioni;
- Per i ventilatori aventi cuffie di protezione metallica è permesso l'utilizzo nelle zone 21 e 22. Nel caso in cui la cuffia sia in materiale plastico questo deve avere caratteristiche anti-statiche.

Conclusioni

Per i luoghi con pericolo di esplosione dovuto alla presenza di polveri combustibili, è di fondamentale importanza la classificazione dei luoghi e la scelta delle installazioni, per far sì che gli impianti elettrici abbiano quelle caratteristiche particolari adatte a renderli sicuri e funzionali in simili atmosfere. Tutto questo si può ottenere seguendo le procedure precedentemente descritte e ponendo l'attenzione anche al fatto che, per mantenere gli *standard* di sicurezza raggiunti, è fondamentale effettuare delle regolari verifiche periodiche, a partire da quella iniziale, e una continua supervisione da parte di personale specializzato.