

VALUTAZIONE DEI RISCHI DERIVATI DALL'ELETTRICITÀ STATICA: INDIVIDUAZIONE E VALUTAZIONE DELLE MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

C. Esposito, A. Mazzei*, N. Mazzei***

* INAIL - Direzione Regionale Lombardia - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione

** Stazione Sperimentale per i Combustibili San Donato Milanese

RIASSUNTO

Le scintille originate da elettricità statica nei processi industriali sono una delle fonti d'innescio d'incendi e di esplosioni che vengono tutt'oggi classificate d'origine misteriosa. Questo tipo di accadimento causa un incidente alla settimana nel Regno Unito ed uno al giorno in Europa, provocando gravi danni a persone e cose.

Nel lavoro è stato analizzato un incidente causato da scariche elettrostatiche soffermandosi, in particolare, sulle azioni e misure che potevano essere poste in atto per evitare o almeno ridurre tale fenomeno. Sono stati individuati, in maniera certamente non esaustiva, i criteri generali di prevenzione e protezione.

SUMMARY

The static electricity sparks in the industrial processes can become the ignition source of fires and explosions considered still mysterious. These events produce an accident per week in United Kingdom and an accident per day in Europe, causing several victims (deaths and injuries) and serious material damages.

In this paper a case history due to static electricity explosions has been presented. In particular the actions and the prevention systems to avoid the disasters or to reduce the electrostatic risk have been identified. Safety general criterions for the prevention of accidents due to the electrostatic charges have been examined.

1. ELETTRICITÀ STATICA

Tutti possono raccontare di aver avuto esperienza di scossa elettrica ad es. toccando una porta, uno schedario, un ascensore, un citofono, o altri oggetti di metallo.

L'elettricità statica è prodotta generalmente per strofinamento di materiali isolanti, ad esempio abiti in tessuto sintetico, soprattutto in ambiente secco, e può raggiungere valori di tensione molto alti, anche decine di migliaia di volt.

Questo fenomeno è stato osservato e descritto fin dall'antichità; i Greci effettuarono esperimenti in tal senso con l'ambra gialla, dal cui nome greco 'elektron' prende il nome la nostra elettricità. Se si fa riferimento al modello tipico dell'atomo di Bohr (nucleo con elettroni che ruotano intorno, tipo sistema solare), si può ipotizzare che la superficie di un materiale sia costituita dalle orbite esterne degli elettroni che appartengono agli atomi superficiali; lo sfregamento meccanico di due superfici asporta, o aggiunge, elettroni a questo strato, alterandone la carica elettrica. Questo accumulo o carenza avviene sui materiali isolanti dove la circolazione degli elettroni è fortemente limitata, mentre nei materiali conduttori il fenomeno non è presente per il rapido

riassetto degli elettroni. Siccome si tratta di accumulo di cariche elettriche superficiali, l'energia è, di solito, piuttosto bassa e si estingue rapidamente.

Un esempio di elettricità statica è quella sulle auto, tipica di giornate secche e ventose, e che si scarica a terra nel momento in cui scendiamo e tocchiamo il suolo con i piedi, rifilandoci la classica e odiosa 'scossetta'; oppure il crepitio e le scintille che si provocano sfilandosi maglioni di lana, ma soprattutto di sintetico; oppure la sensazione di stiramento della pelle (in realtà dei peli) avvicinando la mano allo schermo del televisore. Ma cariche statiche si formano ovunque, anche solo per il fatto che ci muoviamo, camminiamo, c'è vento, ecc..

2. PROPRIETÀ DEI MATERIALI

L'elettricità statica si genera ogni qual volta due corpi entrano in contatto tra loro. Quando due corpi sono posti a contatto fra loro avviene un trasferimento di elettroni: un corpo tende ad acquisire un eccesso di carica negativa e l'altro di carica positiva a seconda della relativa affinità elettronica. Durante la separazione dei due corpi, la carica in eccesso tende a fluire attraverso l'ultimo punto di contatto dei due corpi. La velocità con cui avviene questa scarica dipende dalla resistenza incontrata dalle cariche durante la migrazione, infatti, quanto maggiore è la resistenza più lenta sarà la scarica. Si può affermare che ad alte velocità di separazione delle cariche e quindi basse resistenze superficiali la neutralizzazione della carica per conduzione è limitata e la carica originaria resta localizzata sulle superfici.

Se i materiali sono capaci di condurre elettricità, le cariche saranno dissipate ed eventualmente scaricate a terra e gli effetti dell'elettricità statica possono essere molto piccoli da essere osservati. Se le cariche, invece, sono separate più velocemente di quanto il materiale stesso possa dissiparle, nel corpo una certa quantità di carica elettrostatica si accumula (vedi Figura 1 e Figura 2). Si possono così misurare alte tensioni elettriche e gli effetti dell'elettricità statica possono generare eventi disastrosi.

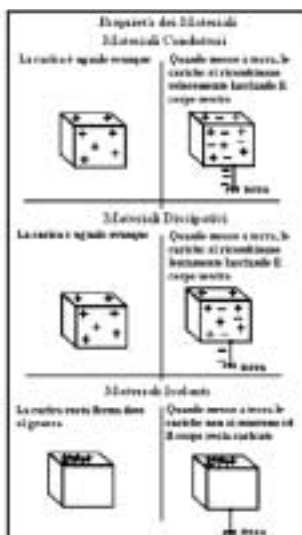


Figura 1: Proprietà dei materiali ad accumulare cariche elettrostatiche.

SUPERFICIE RESISTENTE (ohm)		
Esponente	Numero di zeri	
1×10^2	100	Conduttivo
1×10^3	1000	
1×10^4	10000	
1×10^5	100000	
1×10^6	1000000	Dissipativo
1×10^7	10000000	
1×10^8	100000000	
1×10^9	1000000000	
1×10^{10}	10000000000	
1×10^{11}	100000000000	Isolante
1×10^{12}	1000000000000	

Figura 2: Valori di Resistenza Elettrica per la definizione di materiale Conduttivo, Dissipativo ed Isolante.

Mentre camminiamo, ad esempio, indossando scarpe con le suole in gomma o in plastica si possono generare cariche statiche dal semplice contatto suola-pavimento, specialmente se il pavimento è anch'esso fatto di materiale isolante, come ad esempio un tappeto di nylon. La carica generata sulla suola delle scarpe induce elettricità statica in tutto il corpo e la carica può raggiungere alti valori di tensione. Sotto particolari condizioni si possono registrare valori superiori a 15000 Volt. Comunemente si raggiungono tensioni di 5000 Volt. C'è da dire che molte persone non avvertono la scossa da elettricità statica per tensioni inferiori a 4000 Volt. La carica statica cresce in condizioni di aria secca, come può accadere all'esterno in condizioni di tempo freddo e secco oppure all'interno quando è in funzione il riscaldamento centralizzato oppure l'aria condizionata che riducono di molto l'umidità ambientale.

3. LA RESISTIVITÀ

La resistività è la proprietà chimico-fisica dei materiali che misura la resistenza offerta dal materiale al passaggio di corrente ed è funzione dell'umidità del materiale. Tale proprietà fornisce indicazioni sulla capacità di una sostanza ad accumulare cariche elettrostatiche.

Le polveri di uso industriale sono generalmente cattivi conduttori di elettricità e tendono ad accumulare elettricità statica durante i vari processi: macinazione, micronizzazione, miscelazione, setacciatura, filtrazione, essiccamento a letto fluido, trasporto pneumatico e trasferimento meccanico.

Per prevedere il comportamento delle polveri dal punto di vista elettrostatico è utile la conoscenza del tempo di rilassamento τ , per definizione è il tempo necessario affinché un materiale carico elettrostaticamente perda circa il 37% della carica iniziale. Il tempo di rilassamento dipende linearmente dalla resistività di volume r e dalla costante dielettrica ϵ del materiale secondo la seguente relazione

$$\tau = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \rho \quad [1]$$

dove

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$\epsilon \equiv$ Costante dielettrica

$\rho \equiv$ Resistività del materiale

Il valore della costante dielettrica per la generalità dei materiali è compreso tra 1 e 10 ed al massimo varia di un ordine di grandezza, pertanto il tempo di rilassamento come dalla relazione [1] dipende in pratica dalla resistività che può variare in un ampio intervallo, da $10^{-8} \Omega \cdot m$ del rame a $10^{18} \Omega \cdot m$ del teflon. La conoscenza della resistività fornisce un indice della pericolosità della polvere processata dato che un valore alto significa un tempo di decadimento della carica relativamente alto, in pratica si considerano pericolose le polveri che mostrano un tempo di rilassamento superiore a circa 1 s o che hanno resistività superiore a $10^{10} \Omega \cdot m$. A titolo indicativo si riportano in Tabella 1 i dati di resistività e di tempo di rilassamento di alcune polveri. Se la resistività della polvere è nota, si può calcolare un tempo di riposo conservativo per rimuovere gran parte della carica della polvere ($t \geq 5 \tau$). La tecnica del periodo di riposo può essere utilizzata per accertarsi che la polvere da prelevare in un'atmosfera infiammabile sia elettricamente neutra. Il tempo di rilassamento della carica in alcune polveri può essere molto lungo (ore e giorni), la polvere può rimanere carica se i materiali dei contenitori o delle loro incamiciature sono isolanti.

Tabella 1: Tempo di rilassamento di polveri di diversa resistività

POLVERE	RESISTIVITÀ $\Omega \cdot m$	TEMPO RILASSAMENTO s
Ferro	10^4	10^{-7}
Alluminio	10^7	10^{-4}
Polvere di grano	$10^7 \div 10^9$	$10^{-4} \div 10^{-2}$
Zucchero	10^{11}	1
Latte in polvere	$10^{11} \div 10^{13}$	$1 \div 100$
Nylon	10^{13}	$2 \div 100$
Polietilene	$>10^{15}$	$>10^4$

La conoscenza della resistività ad esempio di una polvere consente la valutazione dei rischi connessi alla generazione e all'accumulo di cariche elettrostatiche nonché la costruzione delle custodie degli impianti elettrici alle norme CEI. Ad esempio le polveri aventi una bassa resistività penetrando all'interno delle apparecchiature elettriche potrebbero causare corto circuito o altro.

4. ANALISI DI UN INCIDENTE CAUSATO DA CARICHE ELETTROSTATICHE

L'aggiunta manuale di polveri da fusti di cartongfibra rivestiti in polietilene è molto comune nelle industrie farmaceutiche e rappresenta un classico esempio di rischio dovuto all'accumulo di cariche elettrostatiche. Si riporta la descrizione di un incidente occorso durante il caricamento di un reattore.

Due operatori caricavano un reattore da 4500 litri, rivestito in vetro, con 1000 kg di un intermedio farmaceutico in polvere. Il reattore era stato lavato con acetone in precedenza e lasciato asciugare per 24 ore. La polvere era contenuta in fusti di cartongfibra rivestiti in polietilene. Durante il caricamento del sesto fusto accadde un'esplosione che provocò gravi ustioni ad entrambi gli operatori.

L'indagine sull'incidente comportò la valutazione delle proprietà della polvere, del solvente e dell'apparecchiatura e la constatazione che i due operatori che insieme versavano il contenuto del fusto prestando attenzione a non far cadere nel reattore il rivestimento di polietilene, come da procedura, utilizzavano calzature non antistatiche. Per completare l'indagine fu eseguita la misura della capacità del fusto e una simulazione di scarico di quella polvere al fine di determinare la tensione massima di carica dello stesso fusto.

4.1 Proprietà della polvere e del solvente

Dalle prove eseguite sulla polvere si ottennero i seguenti risultati:

Limite inferiore di infiammabilità della polvere	30 mg/l
Resistività di volume della polvere	$10^{15} \Omega \cdot m$
Tempo di decadimento della carica della polvere	3 ore
Energia minima di accensione della polvere	1÷5 mJ
Energia minima di accensione dell'acetone	1,15 mJ

I dati indicano che la polvere è altamente resistiva; la polvere una volta caricata ed in collegamento elettrico con la terra impiegherebbe circa tre ore a perdere per conduzione il 37% circa del valore iniziale della sua carica. La polvere, inoltre, si può infiammare con una scintilla di energia inferiore a 5mJ e i vapori di acetone con un valore di 1,15 mJ.

4.2 Proprietà dell'apparecchiatura

Resistenza del fusto rispetto alla terra (non variata dagli operatori per effetto delle calzature e dei guanti isolanti)	$10^{12} \div 10^{13} \Omega$
Resistenza del pavimento rispetto alla terra	$10^6 \Omega$
Resistività di volume della incamiciatura del fusto (polietilene)	$10^{15} \Omega \cdot m$
Resistività superficiale del fusto in cartongomma	$10^6 \Omega$

4.3 Prova di simulazione dello scarico dal fusto

Sperimentalmente si determinò la capacità elettrica e la tensione massima acquisibile dal fusto alle condizioni ambientali del momento dell'incidente, da tali valori si è calcolata la corrispondente energia.

Capacità elettrica del fusto	250 pF
Tensione massima di carica del fusto	12000 V
Energia massima accumulabile dal fusto elettricamente carico	18 mJ

4.4 Dinamica dell'incidente

L'incidente può essere spiegato considerando una scarica dal fusto, caricato elettrostaticamente per effetto della caduta della polvere, al reattore collegato a terra. Tale scarica poten-

do avere un'energia pari a 18 mJ o superiore, se si tiene conto anche della capacità elettrica dei due operatori oltre quella del fusto, risulta in ogni caso superiore a quella necessaria per accendere i vapori di acetone o la dispersione della polvere caricata nel reattore. La scarica tra fusto e reattore avrebbe innescato l'atmosfera infiammabile probabilmente costituita da una miscela di vapore di acetone, derivato dall'ultimo lavaggio, e di polvere che si sarebbe dispersa durante il caricamento del reattore.

4.5 Azioni e misure suggerite dall'analisi dell'incidente

Per migliorare la sicurezza dell'operazione di caricamento del reattore è possibile:

1. Evitare di caricare la polvere in reattori che contengono solventi infiammabili.
2. Flussare il reattore con azoto prima del caricamento della polvere.
3. Movimentare la polvere con un'idonea apparecchiatura al fine di limitare la formazione di nubi di polvere.
4. Assicurare una buona messa a terra delle persone (utilizzare calzature e guanti conduttori); anche il pavimento dovrebbe essere tale da garantire una resistenza dell'operatore rispetto alla terra inferiore a $10^8 \Omega$.
5. Utilizzare incamicature conduttive.
6. Caricare il reattore mediante un sistema di doppia tramoggia in modo che il reattore flussato con azoto rimanga inertizzato per tutta la durata dell'operazione di carico.
7. Richiedere in caso di dubbio il contributo di un esperto.

5. CRITERI GENERALI PER L'ANALISI DEL RISCHIO ELETTROSTATICO

I criteri generali per accertare la possibilità di rischio elettrostatico in un generico processo industriale sono (MAZZEI A., 2000):

- *Presenza di un'atmosfera infiammabile*

Le atmosfere infiammabili si formano quando dei materiali infiammabili si miscelano con l'ossigeno o l'aria. I materiali infiammabili possono essere gas, vapori, nebbie o polveri in sospensione e possono dar luogo ad esplosioni se entrano in contatto con un innesco di sufficiente energia. I materiali infiammabili devono essere presenti in concentrazione compresa tra il limite inferiore e superiore di infiammabilità. Quando la concentrazione di ossigeno nell'atmosfera è sufficientemente bassa e comunque inferiore alla concentrazione limitante di ossigeno, la combustione è impossibile ed in tal caso l'atmosfera è detta inerte. L'atmosfera inerte può essere un'utile precauzione contro le accensioni elettrostatiche.

- *Processo che genera la carica*

Qualsiasi processo che comporti il movimento di materiale è in grado di generare cariche. Il caricamento elettrostatico si verifica quando i solidi o i liquidi si muovono rispetto ai materiali con cui sono in contatto dato che le cariche elettriche sono sempre presenti all'interfaccia dei materiali. Le cariche elettriche, localizzate su entrambi i lati di un interfaccia, sono uguali ed opposte in modo tale che l'interfaccia risulti neutra. Il trasferimento delle cariche dall'interfaccia per effetto del movimento si verifica quando uno o entrambi i materiali dell'interfaccia sono isolanti elettrici ossia hanno un valore alto della resistività.

Quando il movimento è continuo (es. trasporto di polveri in tubature) un flusso di cariche è trasportato con il materiale generando una corrente elettrica continua.

- *Accumulo della carica*

La generazione della carica non può produrre da sé delle scariche, perché questo si verifichi sono necessari dei campi elettrostatici e dei potenziali elettrici elevati che possono verificarsi solo se si accumula la carica generata. L'accumulo della carica è possibile con conduttori isolati, solidi isolanti, liquidi a bassa conducibilità, gas.

- *L'accumulo della carica deve essere sufficiente per produrre una scarica in quell'atmosfera*

Le scariche elettrostatiche sono prodotte nei mezzi isolanti tramite campi elettrici elevati. Nell'aria, il campo elettrico della scarica che si manifesta con una scintilla tra piastre parallele è di $3000 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$, comunque i campi elettrici che superano i $1000 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ devono considerarsi pericolosi.

- *Le scariche generate devono avere energia necessaria per innescare l'atmosfera infiammabile*

Le scariche elettrostatiche si producono nei mezzi isolanti tramite campi elettrici elevati. L'incendiabilità di un'atmosfera infiammabile dipende dall'energia minima di accensione (MIE). La (MIE) rappresenta l'energia minima necessaria per innescare un materiale infiammabile. La determinazione di tale parametro ha una duplice funzione:

1. Classifica quantitativamente i materiali in base alla sensibilità all'innescio.
2. Può essere confrontata con l'energia disponibile in qualsiasi scarica per stabilire se esiste possibilità di accensione.

6. CONCLUSIONI

Sono stati individuati i criteri generali per la valutazione del rischio elettrostatico in un generico processo industriale, così riassunti:

1. Presenza di un'atmosfera infiammabile;
2. Processo che genera la carica;
3. Accumulo della carica;
4. L'accumulo della carica deve essere sufficiente per produrre una scarica in quell'atmosfera;
5. Le scariche generate devono avere energia necessaria per innescare l'atmosfera infiammabile.

Questi criteri costituiscono lo schema diagnostico del rischio elettrostatico. Si deve sottolineare che nel condurre la revisione o verifica dell'impianto è necessario considerare sia le condizioni operative normali che quelle anomale. Si deve, in particolare, partire dalle seguenti condizioni (CARRESCIA, 2003):

- le normali condizioni di funzionamento, compresi i lavori di manutenzione;
- la messa in servizio e fuori servizio;
- le avarie e gli stati difettosi prevedibili;
- l'uso difettoso ragionevolmente prevedibile.
- considerare tutte quelle aree che sono collegate, o potrebbero esserlo, ad aree a rischio di esplosione mediante aperture.

Dalla legislazione vigente emerge l'obbligo da parte del datore di lavoro di una classificazione

dei luoghi pericolosi (CARRESCIA & OSTANO, 2001), pertanto è auspicabile il ricorso ad una figura esperta quale classificatore delle zone a rischio di esplosione

BIBLIOGRAFIA

ACROSS: Electrostatics: Principles, Problems and Applications, Adam Hilger, Bristol.

V. Carrescia, P. Ostano: Luoghi con pericolo di esplosione, TUTTONORMEL, 2001, 9: 3-8.

V. Carrescia: Nuovi obblighi per il datore di lavoro, TUTTONORMEL, 2003, 10: 3-7.

R.K. Eckhoff: Dust Explosions in the Process Industries, Butterworth Heinemann, 2000.

M. Glor: Electrostatic Hazards in powder handling, RSP, England.

G. Lüttgens, N. Wilson: Electrostatic Hazards, Butterworth Heinemann, 1997.

F.P. Lees: Loss Prevention in the Process Industries, Butterworth Heinemann, 1999.

A. Mazzei: Resistività elettrica delle polveri: misura e significato per la sicurezza, Giornata studio su esplosioni da polveri in ambiente farmaceutico: Valutazione, Prevenzione e Protezione, 2000: 37-45.

SCC TECHNICAL BULLETIN: Basics of Static Electricity: Sources, Damage, Prevention, Static Control Components Inc.,1996.