



**Associazione
Italiana
Manutenzione**

**APPROCCIO SISTEMATICO AGLI
INTERVENTI DI ELIMINAZIONE PERDITE
CON IMPIANTO IN MARCIA**

**INNESCO DI ATMOSFERE
ESPLOSIVE PER SCARICHE
ELETTROSTATICHE**

ZERMAN DI MOGLIANO VENETO (TV)

24 MAGGIO 2007

RELATORE

Dott.Ing. Antonio Mazzotta

Introduzione

L'occasione di valutare l'importanza della presenza o della formazione di cariche elettrostatiche nei riguardi della sicurezza di alcune operazioni nelle quali sono impiegati liquidi organici viene stimolata data da un incidente che si è verificato nel territorio dell'Azieda Sanitaria di Firenze, il cui accadimento è spiegabile solo riferendosi a questo tipo di causa e che verrà descritto nel seguito del presente lavoro.

La necessità di occuparsi di questo fenomeno è scaturita dalla constatazione che nella pratica quotidiana il problema è sentito e valutato in industrie di una certa dimensione, nelle quali esiste una struttura che si occupa di sicurezza e che applica degli standard, codificati o meno, che comunque tengano in considerazione il problema.

La più parte delle industrie e delle attività di commercializzazione affida la buona riuscita delle operazioni di manipolazione di liquidi organici a prassi consolidate, che non hanno dato luogo nel passato ad inconvenienti, ma la cui affidabilità lascia a desiderare soprattutto perchè non vi è una valutazione del livello di confidenza rispetto al rischio, per cui la variazione casuale o intenzionale anche di un parametro insignificante può causare il verificarsi di un incidente, la cui portata non è valutabile a priori.

L'argomento è importante per le aziende di eliminazione di perdite nelle industrie a rischio di incidente rilevante in quanto si collega all'obbligo da parte del datore di lavoro (committente) di valutare i rischi e renderli noti all'impresa chiamata ad operare ai sensi dell'art. 7 D.Lgs. 626/94 per la presenza di prodotti, che, per le loro caratteristiche, possono causare il formarsi e l'accumulo di cariche elettrostatiche.

È noto che le prime indicazioni utili per la manipolazione e l'uso sono rilevabili dalle schede di sicurezza delle sostanze e che di queste il datore di lavoro deve essere a conoscenza per ragioni di igiene oltre che di sicurezza del lavoro. La consultazione di tali schede fornisce un indirizzo per la scelta delle dotazioni dei dispositivi di protezione individuale e, quando occorre, anche sulla scelta delle caratteristiche dell'abbigliamento.

Nel presente lavoro, oltre a descrivere un incidente passeremo ad esaminare il meccanismo di formazione delle scariche elettrostatiche, durante le fasi di

manipolazione di liquidi organici e di valutare le condizioni di pericolo e il rischio che possa verificarsi un incidente.

Descrizione dell'incidente accaduto

L'attività della ditta coinvolta nell'incidente è quella di commercializzazione di prodotti chimici.

L'incidente è avvenuto durante le operazioni di travaso da autocisterna per il riempimento di un serbatoio interrato, destinato a contenere toluene. Il fenomeno è stato descritto nel modo seguente:

- Erano in corso le operazioni di travaso di 26.660 kg di toluene;
- Il toluene veniva scaricato, a caduta, nella cisterna interrata per mezzo di un tubo flessibile, che da un lato era collegato all'autocisterna tramite raccordo a baionetta, dall'altro non era collegato direttamente al bocchettone di carico della cisterna, ma ad una sorta di riduzione inserita all'interno del tubo di carico della cisterna stessa;
- Il raccordo era costituito da una curva a 90° a raggio di curvatura stretto, ad un estremo era saldato un raccordo a baionetta dello stesso diametro del tubo utilizzato per il travaso, dall'altro era saldato un altro raccordo a baionetta dello stesso diametro, all'interno del quale partiva un tubo di materiale plastico, di diametro inferiore a quello del tubo di carico del serbatoio, della lunghezza di 1,5 m;
- La prassi comune era quella di utilizzare tale dispositivo per il riempimento delle cisterne interrate, avendo la funzione più o meno di un imbuto;
- L'incidente si è verificato dopo che erano stati travasati circa 5000 litri di prodotto;
- All'interno della zona di travaso non sono presenti installazioni elettriche per un raggio di alcune decine di metri;
- Le cisterne interrate sono tutte collegate a terra.

Dall'esame dei reperti avvenuto dopo l'incidente si evincono tre aspetti:

- Il sistema di raccordo vanificava l'adozione del sistema di riempimento a circuito chiuso, in quanto dalla dinamica dell'incidente il raccordo non risultava serrato sul tronchetto di carico del serbatoio;
- Non essendo stato serrato il raccordo al tubo di riempimento del serbatoio, vi poteva essere una discontinuità elettrica e quindi una

differenza di potenziale fra il serbatoio interrato (e quindi collegato a terra) e la parte metallica del raccordo collegato con l'autobotte;

- Il sistema di carico favoriva il formarsi di cariche elettrostatiche nel liquido e non consentiva il loro drenaggio a terra.

La formazione di carica elettrostatica nel carico di serbatoi

Quando un liquido avente bassa conducibilità viene messo in moto entro una tubazione, lo sfregamento fra materiali diversi provoca la formazione di cariche elettrostatiche; mentre le cariche di un certo segno tendono ad essere trattenute dalle pareti della tubazione, le cariche di segno opposto che si formano nel liquido vengono allontanate dal moto stesso del fluido. Il trasporto della carica entro la tubazione fa sì che si determini una corrente di carica elettrostatica. Le cariche presenti sulle pareti e di segno opposto rispetto a quelle della corrente di trascinamento, si muovono nello stesso senso, se le pareti sono conduttive, per effetto della reciproca attrazione di carica.

Le cariche introdotte nel serbatoio durante il travaso, formatesi nello scorrimento del fluido rispetto alla tubazione, inducono una carica uguale e di segno opposto sulla superficie interna del mantello del serbatoio, mentre le cariche di segno opposto sul mantello si dispongono sulla superficie esterna. La neutralizzazione delle cariche esterne avviene molto facilmente tramite un idoneo collegamento a terra del serbatoio, mentre quelle interne avviene solo dopo un tempo sufficientemente lungo. Se la velocità di accumolo delle cariche è maggiore della velocità di rilassamento delle stesse, la differenza di potenziale (d.d.p.) tra il fluido e il serbatoio cresce fino a superare la rigidità dielettrica del mezzo formando delle scariche distruttive che in presenza di atmosfere esplosive possono determinare l'insorgere di una esplosione.

Il sistema di protezione contro le scariche elettrostatiche più comune consiste nella dispersione della carica a terra, in modo da evitarne l'accumolo, collegando il corpo conduttore (tubazione) e il serbatoio a terra. Bisogna tener presente che il collegamento equipotenziale a terra non può impedire l'accumolo di carica elettrostatica all'interno del liquido, la cui ricombinazione dipende essenzialmente dalla conduttività del liquido e dalla superficie metallica di interfaccia, su cui può avvenire la ricombinazione della carica.

Il collegamento a terra, inoltre, consente di impedire la formazione di scintille tra le masse metalliche tra loro interconnesse. È ovvio che tale collegamento non può impedire la scarica tra le masse metalliche e il liquido.

La normativa vigente e le procedure di sicurezza nel riempimento di serbatoi

Nello scorrimento del fluido sulle pareti interne delle tubazioni, nasce la carica elettrostatica che genera una d.d.p. tra il liquido e le pareti del serbatoio in cui è inserita la manichetta. La formazione di carica elettrostatica dipende dal tipo di moto del fluido, ovvero in condizioni di moto turbolento la formazione di carica elettrostatica sarà maggiore rispetto a condizioni di moto laminare. La densità del fluido, la velocità, la viscosità e il diametro della tubazione determinano il tipo di moto del fluido all'interno della tubazione e si intuisce come la conoscenza di questi valori sia indispensabile per una esatta valutazione del rischio. Tubazioni che presentano curve a 90° a stretto raggio di curvatura o bruschi cambi di diametro aumentano la turbolenza incrementando la formazione di cariche elettrostatiche rendendo più probabile il verificarsi di scariche.

La normativa sulle scariche elettrostatiche risale al DM 31/07/34, Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego o la vendita di olii minerali, e per il trasporto degli olii stessi, dove all'art. 78 si dettavano disposizioni di esercizio relative alle operazioni di carico e scarico di serbatoi, prescrivendo in particolare il collegamento equipotenziale tra le autobotti, le pareti metalliche della tubazione di carico e di scarico. Si prescriveva inoltre di utilizzare tubazioni di carico con spirali metalliche collegate a terra e accorgimenti simili all'interno delle tubazioni stesse.

L'argomento è stato successivamente ripreso dal DPR 547/55 all'art. 335, in cui si riscriveva l'equipotenzializzazione a terra delle strutture metalliche dei serbatoi di liquidi infiammabili con le strutture metalliche dei mezzi di trasporto degli stessi liquidi, durante le operazioni di carico e di scarico.

Esaminiamo gli effetti dei collegamenti equipotenziali tra il serbatoio e l'autobotte, schematizzando per semplicità il serbatoio come un corpo metallico, che all'inizio dell'operazione abbia una certa carica, provocata dallo sfregamento dell'aria sull'autobotte durante il viaggio.

Supponiamo che inizialmente sia il serbatoio che l'autobotte siano isolati da terra. In questo caso, la tensione verso terra del serbatoio, prima del caricamento, è nulla, mentre la tensione verso terra dell'autobotte non lo sarà e assumerà un certo valore; tale tensione si stabilisce anche tra serbatoio e autobotte, per cui avvicinando la tubazione di carico al serbatoio si può determinare una scarica. Supponiamo ora di collegare equipotenzialmente il serbatoio e l'autobotte, mantenendoli isolati da terra, prima di iniziare l'operazione di carico. In questo caso la capacità verso terra del sistema è la somma delle capacità, mentre la carica totale si ripartisce tra i due corpi; in tali condizioni la tensione verso terra del sistema diminuisce mentre si annulla la tensione tra serbatoio e autobotte. In tal caso permane il pericolo di scarica tra il sistema e terra, prima dell'inizio del caricamento. Se allora colleghiamo a terra il serbatoio metallico, la capacità verso terra del sistema si annulla e la carica elettrostatica accumulata dall'autobotte viene drenata a terra. Ne consegue che il collegamento equipotenziale a terra tra il serbatoio e l'autobotte elimina il rischio della scarica elettrostatica tra essi e tra essi e terra.

Consideriamo ora un serbatoio interrato, che pertanto risulta naturalmente collegato a terra. Supponiamo che l'autobotte sia isolata da terra e che la tubazione di carico sia isolata dal serbatoio, p.es. per l'interposizione di un imbuto di materiale isolante. Quando il fluido comincia a scorrere, si verifica la formazione di carica elettrostatica nel fluido e nella struttura metallica dell'autobotte; il potenziale verso terra dell'autobotte aumenta con l'aumentare della carica, per cui si può verificare la scarica tra la tubazione (a potenziale uguale a quello dell'autobotte se di materiale conduttore o se munito di spirali metalliche) e le pareti del serbatoio (a potenziale di terra).

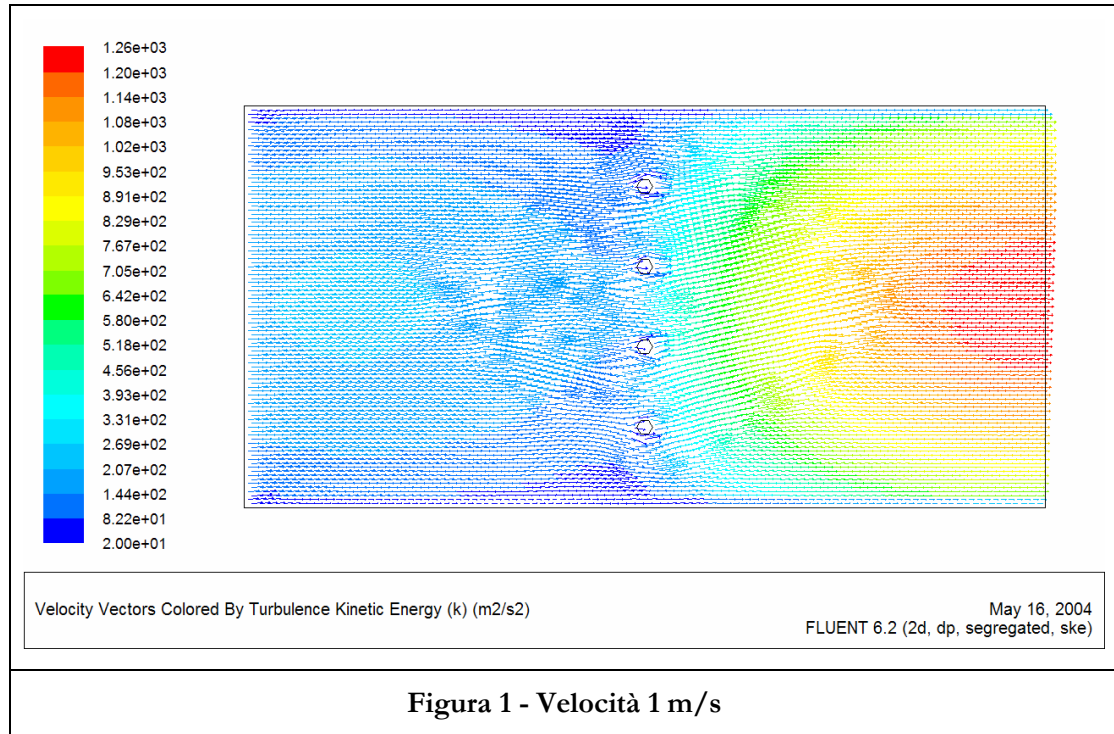
Altra possibilità di scarica si ha tra la tubazione e il liquido caricato nel serbatoio, che una differenza di potenziale rispetto alla tubazione maggiore di quella esistente tra la tubazione e la struttura metallica del serbatoio; per questo motivo, la scarica tra la tubazione e il liquido è più probabile. Se l'autobotte fosse stata collegata equipotenzialmente a terra con il serbatoio, la scarica tra tubazione e autobotte non potrebbe avvenire, mentre rimane la possibilità di scarica tra la tubazione metallica o la struttura metallica del serbatoio e il liquido; tuttavia, la probabilità di scarica diminuisce rispetto al caso di autobotte isolata, in quanto il potenziale dell'autobotte non può crescere ma rimane sempre uguale al potenziale di terra.

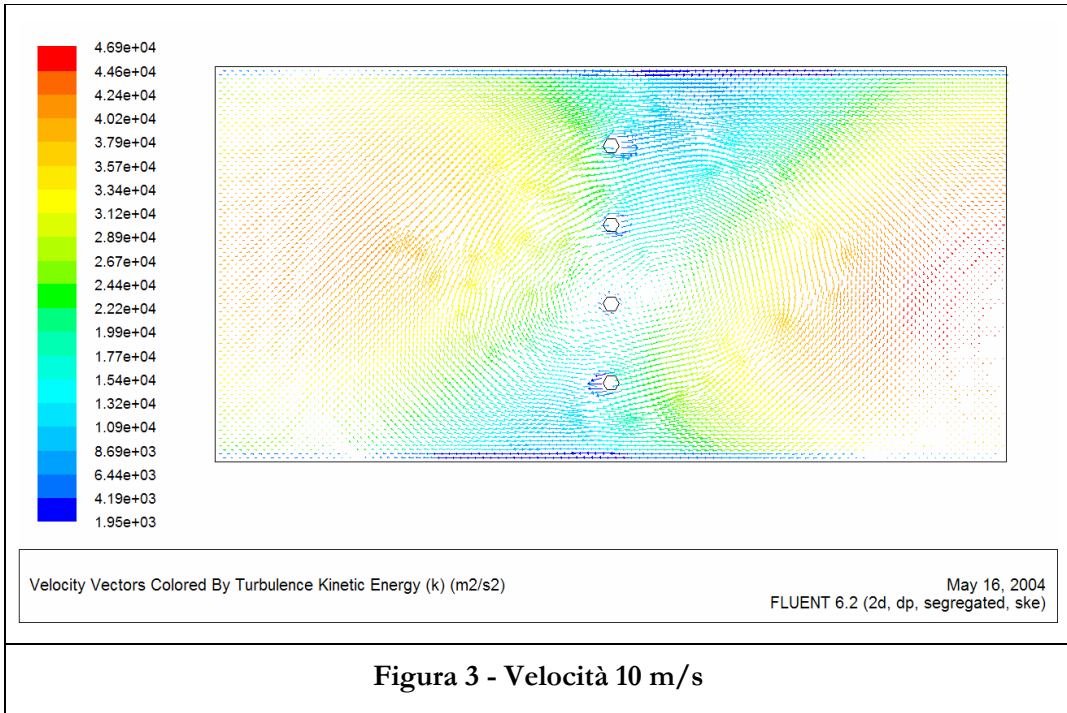
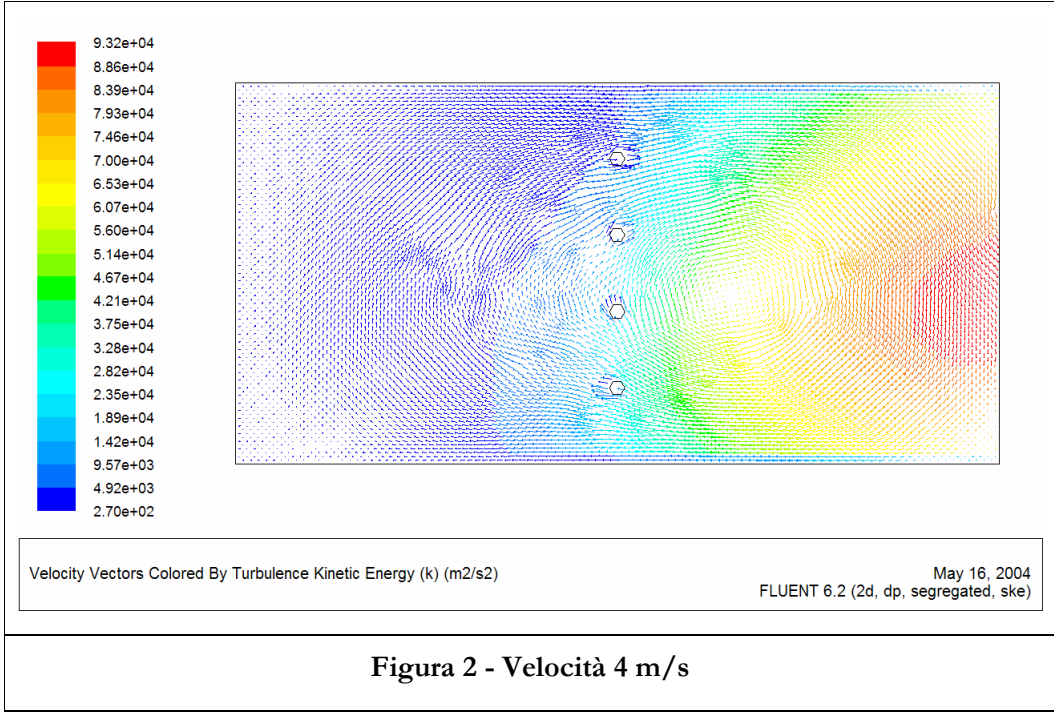
Dalle considerazioni sopra svolte, si evince comunque che l'equipotenzializzazione a terra dell'autobotte e del serbatoio e l'uso di tubazioni metalliche o con spirali metalliche, seppure molto efficace per ridurre la probabilità di scarica elettrostatica, tuttavia non è sufficiente ad annullare tale probabilità. Risultano necessarie altre precauzioni rivolte in particolare a ridurre la formazione di carica. Di seguito si riporta una lista delle principali precauzioni da assumere per le operazioni di caricamento di liquidi infiammabili ad elevata resistività in serbatoi interrati da autobotti.

- Collegare la lamiera della cisterna con il tubo di carico tramite un collegamento equipotenziale e collegare il tutto al serbatoio interrato; in generale equipotenzializzare tutte le masse metalliche e collegarle a terra. Occorre fare in modo che il tubo di carico interno al serbatoio tocchi il fondo della cisterna stessa, iniziando il caricamento a bassa velocità evitando spruzzi all'interno della cisterna. In alternativa si possono usare misure di inertizzazione dell'atmosfera all'interno del serbatoio. In ogni caso il tubo di riempimento interno al serbatoio deve essere sempre mantenuto parzialmente immerso nel liquido.
- Eliminare i tratti di tubazione in materiale isolante e se non è possibile utilizzare condutture metalliche collegate a terra, limitare la velocità di scorrimento.
- Assicurare il collegamento della condotta del ciclo chiuso.
- Gli operatori devono indossare scarpe con soles conduttive.
- Quando la resistività del liquido è troppo elevata può essere necessario aggiungere delle quantità anche minime di solventi altamente polari, al fine di ridurre la resistività.
- Introdurre il liquido a bassa velocità, in funzione delle caratteristiche del fluido e del diametro del tubo. Il maggior tempo necessario per l'operazione consente la ricombinazione di una quantità maggiore di carica e inoltre lo sfregamento tra le pareti viene ridotto per la minore turbolenza e quindi si forma meno carica elettrostatica.
- Inserire lungo il percorso del liquido, su diverse sezioni e in particolare in corrispondenza del tratto terminale delle reticelle metalliche collegate a terra; tale sistema però ha lo svantaggio che se la velocità del fluido è elevata, la presenza della reticella può aumentare la formazione di carica elettrostatica in quanto la sua presenza è causa di turbolenza. Nelle figure 1, 2 e 3 è possibile apprezzare l'andamento

della turbolenza all'interno del fluido, all'aumentare della velocità di efflusso, in corrispondenza della reticella metallica.

- Attendere qualche minuto prima di distaccare la manichetta di carico.





Conclusioni

Abbiamo mostrato, partendo da un incidente realmente verificatosi, le possibili cause di formazione della carica elettrostatica nell'operazione di travaso di liquidi infiammabili da autobotti a serbatoi, per dimostrare che la formazione di carica può effettivamente portare a livelli di tensione compatibili con l'ipotesi di innesco da scarica elettrostatica. È importante sottolineare che la tecnica comunemente adottata, ovvero di collegare equipotenzialmente a terra l'autobotte e il serbatoio, seppure importantissima ed efficiente, non è tuttavia del tutto efficace per eliminare il rischio di scariche elettrostatiche; di grande importanza è quindi l'adozione di una procedura codificata in azienda che stabilisca esattamente la sequenza delle operazioni da effettuare, nonché la formazione e l'addestramento del personale addetto all'operazione (come imposto dal D.Lgs 626/94).

PERICOLI DA ELETTRICITÀ STATICA

SCARICHE ELETTROSTATICHE

a cura di VdF Prevenzione Incendi

Le scariche elettrostatiche sono prodotte nei materiali isolanti dagli elevati campi elettrici. In aria la rottura del campo elettrico fra piastre parallele (come misurato con uno speciale voltmetro) è di 3.000 kV m^{-1} . In condizioni ambientali irregolari, la rottura del campo dielettrico può avvenire anche con meno voltaggio e campi superiori a 1.000 kV m^{-1} sono considerabili pericolosi.

Vi sono quattro differenti tipi di scariche elettrostatiche:

1) Scintille

Le scintille scoccano nelle brecce fra conduttori che hanno differenti potenziali. Durante la rottura a caldo, tra i due conduttori si forma un flusso che permette alla carica di fluire rapidamente tra le stesse e viene completamente eliminata. Molta dell'energia accumulata dai conduttori prima della rottura del potenziale si converte in calore lungo il percorso della scintilla. L'energia persa nella scintilla, E , è quindi data da:

$$E = 1/2 \times C \times V^2 \text{ in Joule (J)}$$

Dove:

- C = è la capacità in Farad (F)
- V = è la differenza di potenziale di rottura (V)

Normalmente i conduttori isolati possono raggiungere potenziali da 10 a 30 kV.

2) Scarica con effetto corona

L'effetto corona si verifica quando un conduttore tagliente (es. con diametro inferiore a 5 mm) è alimentato ad alto potenziale o quando lo stesso tipo di conduttore messo a terra è inserito in una regione ad alto potenziale (es. all'interno di un serbatoio durante le fasi di lavaggio). Le scariche a corona sono diffuse e non formano calore e canali di flusso. Solamente una piccola frazione della loro energia è disponibile per un effetto d'ignizione. L'effetto corona si verifica pure durante le fasi di riempimento di polveri ad alto isolamento.

3) Scariche ramificate

Le scariche ramificate si generano tra elettrodi conduttori smussati (>10 mm di diametro) a materiali isolanti che possono essere solidi, gas (incluse le sospensioni gassose) o liquidi a bassa conduttività. Le scariche ramificate avvengono quando entrambi gli elettrodi conduttori o i materiali isolanti si sono caricati ad elevato potenziale. Essi sono caratterizzati da un plasma bollente canale che termina in una fine rete di piccoli canali che passano attraverso il materiale isolante.

4) Diffusione delle scariche ramificate

La propagazione delle scariche ramificate può essere generata sulla superficie di lastre polarizzate, isolate, quando la densità di carica superficiale è molto alta. Quando un elettrodo a terra avvicina una lastra altamente polarizzata, il campo di elettricità esterna può essere sufficientemente aumentato da produrre una scarica ramificata verso l'area adiacente alla lastra. Ciò elimina la carica da una piccola parte della lastra producendo intensi campi radiali sopra la superficie. Questi campi conducono ad un'ulteriore rottura elettrica che elimina la carica dalle altre

aree e così la scarica si propaga. Il tutto potrà continuare fino a che l'intera carica superficiale sia stata eliminata. Particolari quantità di energia (possibilmente parecchi joule) possono trovare alloggio in una lastra caricata e ciò può essere cancellato in una sola scarica.

7. Accensione della scarica

L'accensione di un'atmosfera infiammabile è funzione alla sua minima energia di ignizione (MIE). Il MIE è la minima energia di scintillazione necessaria perché la scintilla accenda un'ottima concentrazione di materiale infiammabile, usando scintille capacitive, in condizioni ideali. Perciò servono due presupposti:

- ci vogliono materiali potenziali (ranks) quantitativamente sensibili all'accensione. I materiali che sono prontamente accesi (sensitivi) hanno un basso MIE e quelli che hanno difficoltà ad accendersi hanno un alto MIE;
- può essere paragonato con l'energia trovabile in ogni scarica che richiede per stabilire se ci sono possibilità di accensione.

Si può desumere che un'accensione è possibile quando l'energia presente per la scarica eccede il MIE. La reale energia richiesta per l'accensione può, tuttavia, essere oltre il MIE se la concentrazione del materiale infiammabile o le caratteristiche della scarica elettrica differiscono dall'ideale.

I valori del MIE dei liquidi possono essere reperiti nella letteratura tecnica. Per molte polveri è invece necessario avere minime energie di accensione determinate da laboratori specialistici poiché difficili da ottenersi (MIE è funzionale della sezione delle particelle, della miscelazione in aria, dell'umidità, della composizione chimica, ecc.).

Avendo stabilito la minima energia d'accensione di una atmosfera infiammabile, si potrà stabilire l'energia di scarica ritrovabile.

8. Misure statiche di controllo

Questo punto si occupa dei metodi specifici che possono essere usati per controllare le scariche elettrostatiche per prevenire la produzione di scariche che possano generare incendi o scintille.

Anche se la produzione di cariche ed il loro accumulo è sufficientemente grande da produrre una scarica ne consegue che:

- dove non ci sono atmosfere infiammabili, le scariche statiche sulla gente sono solamente di valore trascurabile;
- scariche elettrostatiche in un'atmosfera inerte non sono un pericolo (se l'atmosfera inerte è garantita tale);
- anche in atmosfere infiammabili, se viene stimato estremamente piccolo un rischio di incidente e lo stabilimento è appropriatamente realizzato per garantire sicurezza al personale (es. previsione di valvole di sfogo, ventilazione, ecc.), può essere presa la decisione di ignorare la formazione delle cariche elettrostatiche e così accettare il rischio di incidenti occasionali entro i limiti di probabilità canonici.

Rammentarsi, tuttavia, che le scariche elettrostatiche in atmosfera infiammabile possono dare luogo ad incidenti ed esplosioni in tutti i processi delle industrie petrolchimiche.

Bibliografia

-Fogli d'informazione ISPESL-2-3/2000;

-www.antincendioweb.it;