



La gestione di eventi ESD (Minimum Ignition Energy, MIE)

I settori esposti al problema delle cariche elettrostatiche sono generalmente regolamentati da “normative di sistema” che definiscono in maniera completa gli elementi tecnici ed amministrativi di un programma di protezione ESD. Le normative di sistema maggiormente utilizzate e spesso adottate come riferimento, anche per settori industriali non coperti da normative in maniera sufficientemente chiara, sono:

- ⇒ ESD ANSI S.20.20 “Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrical Initiated Explosive Devices)”
- ⇒ IEC 61340-5-1 “Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General Requirements
- ⇒ EIA – JEDEC STD JESD625-A requirements for handling Electrostatic-Discharge-Sensitive (ESDS) Devices
- ⇒ CEI CLC/TR 50404 Elettrostatica - Guida e raccomandazioni per evitare i pericoli dovuti all'elettricità statica

Tali norme devono necessariamente prevedere, e quindi garantire, l'affidabilità di Aree e Zone protette da ESD le quali devono necessariamente divenire sempre più efficienti ed essere dotate di sistemi adeguati per poter ottemperare a requisiti di affidabilità e di sicurezza anche in situazioni estreme.

In relazione ai criteri adottati per la gestione di eventi ESD, e' possibile affermare che le relative normative citate sono allineate nello stabilire i veicoli da adottare all' interno di aree protette da ESD raggruppandoli attraverso due sistemi principali:

1. Protezione Passiva

2. Protezione Attiva

Per evitare rischi legati a eventi ESD è necessario assicurare che non siano presenti potenziali elettrici significativi su superfici e masse che potrebbero venire in contatto (intimo) , o che siano situate vicine tra di loro, allo scopo di evitare scariche o interferenze all' interno di processi esposti alle ESD.

In questa ottica diviene necessario operare in piena osservanza delle procedure precauzionali nei confronti dei fenomeni ESD attraverso il corretto impiego di **sistemi passivi** (rete di conduttori - equipotenziale – connessione a terra) e/o attraverso i **sistemi attivi** (apparati ionizzanti).

In relazione ai **processi produttivi nell'industria elettronica** , e' stato accertato che, ove non



venisse adottata alcuna precauzione nel gestire i problemi legati all'elettrostatica, un'alta percentuale dei guasti, sia guasti "a tempo zero" che guasti latenti, potrebbe essere attribuita a danni causati dalle "ESD". Questa percentuale può, in teoria, essere azzerata adottando le precauzioni descritte dalle normative ESD, quindi attivando un programma inerente la "qualità". Il fattore discriminante che consente di percepire la presenza e l'entità dei difetti ESD tipici di un processo e' l'implementazione sistematica della "failure analysis".

Questo strumento e' essenziale, tuttavia esso costituisce un'opportunità che non sempre viene utilizzata dalle aziende interessate, neppure implementando un approccio statistico, cioè introducendo indagini "a campione". La conseguenza e' che, oggi, molte aziende non siano consapevoli dell'entità del problema ESD e che in molti settori non abbiamo implementato adeguati piani di manutenzione, monitoraggio e verifica periodica.

E' possibile disporre di dati relativi alla incidenza di problemi di processo e di incidenti legati a una cattiva gestione della statica, sia in fase di design che in fase di realizzazione (ad esempio in attività industriali come quelle di raffinerie, di cartiere, della chimica, fine e non, et altera).

In relazione alla gestione di eventi ESD all'interno di processi esposti al problema, un denominatore comune in grado di allineare in modo omogeneo le attuali normative ESD e' quello della definizione del limite massimo di resistenza verso terra, limite che e' sostanzialmente in grado di garantire l'equipotenzialità all'interno di un 'area protetta da ESD (vedi Tabella 1) .

Raggiunto l'obiettivo di avere un valore massimo di resistenza verso terra pari a $1 \cdot 10^9$ ohm ($1 \cdot 10^8$ ohm qualora si consideri la norma CEI CLC/TR 50404) di tutte le parti/superfici conduttive e dissipative, e' possibile asserire che l'assenza di campi elettrostatici indesiderati e di potenziali ESD di parti presenti all'interno di aree protette e' pressoché garantita nel caso in cui non sussistano problemi di manutenzione e/o guasti non pianificati. Questo concetto rimane comunque valido per i materiali omogenei mentre per quelli compositi sono necessari maggiori approfondimenti.

| STANDARD | Resistance to ground limit (main ESD items) |
|---|--|
| ANSI S.20.20 | $\leq 1 \cdot 10^9$ ohm |
| IEC 61340-5-1 | $\leq 1 \cdot 10^9$ ohm |
| JESD625-A | $\leq 1 \cdot 10^9$ ohm |
| CEI CLC/TR 50404 <i>Para 11.2.2</i> | $\leq 1 \cdot 10^8$ ohm |



Tabella 1 – Limiti massimi ammessi di resistenza verso terra

(*) – Nota 1: La normativa CEI CLC/TR 50404 si occupa principalmente di sicurezza al fine di prevenire pericoli dovuti alla elettricità statica (scariche indesiderate, esplosioni etc.): in questo contesto i valori di resistenza verso terra sono inferiori a $1 \cdot 10^8$ ohm e inoltre dove possibile dovranno essere ridotte o gestite, eventuali superfici metalliche allo scopo di evitare che si instauri una scarica pericolosa. Fine Nota 1.

Resta inteso che in un processo ad alto rischio di incendio una scarica innescante avviene quando sono soddisfatte 2 condizioni:

- ⇒ L'intensità del campo elettrico dovuta al potenziale del conduttore supera la rigidità dielettrica dell'atmosfera (Nota 2), dando luogo ad una scarica ad arco o scintilla.
- ⇒ L'energia rilasciata dalla scintilla supera l'energia minima di innesco di qualunque miscela di comburente/materiale-infiammabile presente (Minimum Ignition Energy, MIE)

*Nota 2: La scarica (arco elettrico) produce la perforazione dell'aria ed il valore limite del campo elettrico, oltre il quale ha luogo tale fenomeno, viene denominato **rigidità dielettrica**. Nel caso dell'aria pulita e asciutta il valore della rigidità dielettrica è di circa 30 KV/cm; esso può diminuire notevolmente (anche a valori di 3-4 KV/cm), in presenza di umidità, di pulviscolo atmosferico o di altre impurità. Fine Nota 2*

Nella maggior parte delle applicazioni, la messa a terra è considerata il sistema più efficace per dissipare l'elettricità statica. Quindi le varie resistenze dei sistemi di messa a terra di corpi e oggetti, che sono costituiti da contatti e/o da connessioni elettriche via cavo, possono costituire un sistema di messa a terra.

Ponendo, quale obiettivo, un valore di 100 V massimi all'interno di un processo o comunque di un valore di 10^2 V (Human Body Voltage) quale limite massimo ammissibile, è possibile affermare che il limite di R massimo consentito in ogni circostanza sia legato alla equazione:

$$V = IR$$

Ne consegue che, nell'identificare la prescrizione per un valore massimo di messa a terra, dovrebbe essere considerato il singolo contesto e quindi il singolo valore della corrente di carica. Poiché le correnti di carica (velocità con cui il conduttore è in grado di ricevere cariche)



spaziano mediamente da 10^{-11} A a 10^{-4} A, i corrispondenti valori di R sono compresi fra 10^{13} Ω e 10^6 Ω .

A questo punto si evince che per un valore massimo di I , una resistenza verso terra pari a 10^6 Ω potrà garantire una dissipazione sicura in tutte le situazioni. Nel caso di capacità del conduttore di 100 pF (Human Body Model) potrebbe essere indicata una resistenza verso terra di 10^8 Ω in quanto, nella maggior parte delle applicazioni industriali, la corrente di carica I non eccede il valore di 10^{-6} A.

Resta inteso che è comunque importante che tutti i conduttori siano affidabili, di carattere permanente e non soggetti a usura. Su questo punto è basata la necessità (fondamentale) di un'adeguata attività di monitoraggio, di verifiche ispettive e, dove richiesto, quella la necessità di manutenzione, che dovrà essere eseguita con prodotti adeguati. Si citano a tal proposito i risultati ottenuti da *walking test* su pavimenti trattati con cera non idonea che hanno alterato pesantemente i valori di HBV (Human Body Voltage) passando da valori dell'ordine di 20 volt a valori dell'ordine di 600 V !

Indipendentemente dal tipo di processo, è necessario operare affinché sia eliminato l'accumulo di cariche su corpi presenti all'interno del processo stesso, altrimenti tale accumulo potrebbe causare scariche elettrostatiche. Tali scariche possono verificarsi in diversi contesti e situazioni. Nei processi industriali esposti al fenomeno i principali tipi di scarica sono rappresentati da:

1. Scintille (sparks)
2. Effetto Corona
3. Scariche a fiocco (Brush Discharge)
4. Scariche propagantesi a fiocco (Propagating brush discharge)
5. Scariche simili a fulmini
6. Scariche coniche

Scintille (sparks): Le scintille sono scariche che avvengono tra due conduttori (liquidi o solidi) ; esse sono determinate da un canale di scarica che trasporta una corrente ad alta intensità. All'interno del canale il gas è ionizzato e solitamente il processo è molto rapido.

Effetto Corona: L'effetto corona è un fenomeno che si sviluppa su bordi o punti affilati di conduttori e può essere visibile in condizioni di luminosità ambientale molto bassa. Le scariche si manifestano poiché il campo elettrico su una superficie appuntita può essere decisamente molto elevato (> 3 MV/m); normalmente la densità di energia nel volume interessato dalla scarica



e' molto inferiore rispetto quella che accompagna una scintilla e **normalmente l' effetto corona non produce l' innesco di un'esplosione.**



Esempio di scarica da uomo a conduttore

Brush Discharge (Scariche a fiocco) – Le scariche a fiocco avvengono quando conduttori di forma arrotondata e messi a terra vengono in contatto con **“non conduttori”** elettrizzati: per esempio liquidi carichi in superficie attraverso il potenziale di decantazione e strumenti metallici adibiti alla loro misurazione oppure persone connesse a terra e prodotti plastici altamente carichi (fogli in poliestere in processi di sagomatura). Queste scariche sono pericolose in quanto, in condizioni opportune, possono innescare un incendio in miscele di aria e gas infiammabili

Propagating brush discharge (Scariche propagantesi a fiocco) – Queste scariche sono molto pericolose ed avvengono tra fogli di materiali ad alta resistività e alta rigidità dielettrica; tali fogli si trovano ad avere le superfici opposte con alta densità di carica e con polarità opposta. La scarica viene attivata da un collegamento elettrico tra le due superfici (corto circuito) e appare molto luminosa (struttura ad albero) . Essa può essere prodotta dalla presenza di due conduttori in prossimità delle 2 superfici cariche. In questo caso la scarica incanala tutte le cariche presenti sulla superficie non conduttiva nella zona di cortocircuito. Pertanto la densità di carica nel volume interessato dalla scarica è elevatissima e può avere luogo un importante trasferimento di energia.

Scariche simili a fulmini: Queste scariche avvengono all' interno di nubi di polvere (p.es. eruzioni vulcaniche) e tra la terra e nubi di polvere. Sono possibili anche nei silos aventi diametro > di 3 metri.

Scariche coniche: Queste scariche avvengono all' interno di silos in presenza di polveri non conduttive altamente elettrizzate e in punti ben definiti; questo porta alla presenza di forti campi elettrici sulla sommità del “cilindro di grano”, il quale mostra ampie scariche in movimento sulla superficie stessa (radiali nel caso di contenitori cilindrici) . Le scariche coniche sono molto



pericolose sia in presenza di atmosfere di aria, gas e vapori infiammabili, sia quando vi siano miscele di aria e di polveri combustibili, in particolare in presenza di miscele aventi una energia di innesco (MIE) bassa.

Nota 3: Una scarica di bassa energia potrebbe non essere in grado di fare esplodere una miscela gas/aria. Infatti, affinché una scintilla possa far innescare l'esplosione di una determinata miscela di combustibile [gas, vapore o particelle solide (p.es. polvere di carta)] e di comburente (aria oppure ossigeno), e' indispensabile che l'energia della scintilla stessa sia superiore alla "Minimum Ignition Energy (MIE)" di quella miscela. I valori di MIE per ogni miscela vengono misurati attraverso una apposita procedura normalizzata. Fine Nota 3"

MESSA A TERRA DEL PERSONALE

La norma CEI CLC/TR 50404 afferma che quando si manipolano composizioni che presentano energie di innesco inferiori a 100 mJ, si dovrebbe tenere in considerazione l'installazione di dispositivi di controllo personale della resistenza nelle singole postazioni di lavoro.

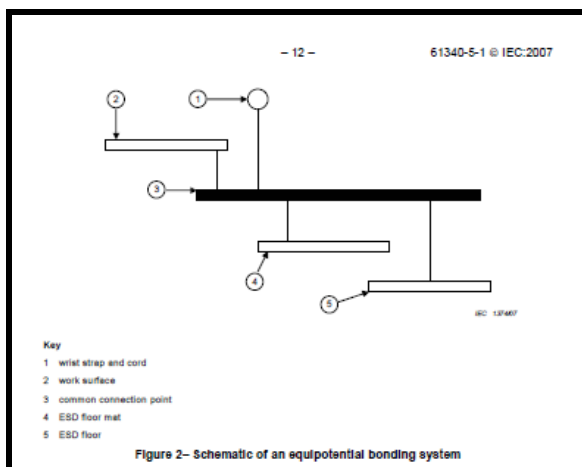


Fig. 2.0 Schema di collegamento equipotenziale

Nello specifico la messa a terra del personale può essere gestita attraverso calzature e bracciali; nello specifico il bracciale è indicato per personale che opera seduto mentre la calzatura è un elemento fondamentale in presenza di pavimentazioni ESD allo scopo di raggiungere il collegamento equipotenziale ESD - "equipotential bonding" - vedi fig. 2

Tra le varie tipologie di scariche, quelle a scintilla (vedi fig. 3.0) sono quelle tipicamente introdotte dal personale e anche quelle che possono evidenziare le energie massime.



Table 1 Types of Electrostatic Discharge

| Type of Discharge | Maximum Energy ¹ (mJ) | Examples |
|-------------------|----------------------------------|---|
| Corona | 0.1 | Wires, Type D Bulk Bags |
| Brush | 1 - 3 | Flexible boots and socks |
| Bulking Brush | 1 - 10 | Piles of powders with resistivities > 10 ⁹ Ω-m in hopper or silo |
| Propagating Brush | 1000 - 3000 | Boots, plastic pipe or duct |
| Spark | > 10,000 | Ungrounded conductor, e.g. baghouse cage, or person, e.g. packager |

1. Maximum energies are from Figure 5.3.1 of NFPA 77-2006.

Fig. 3.0 tabella con livelli Mie presenti su stds NFPA 77-2006

Un errore umano , ad esempio il mancato impiego di una calzatura potrebbero far manifestare sul corpo di un operatore anche potenziali di qualche migliaia di volt (vedi fig. 4)

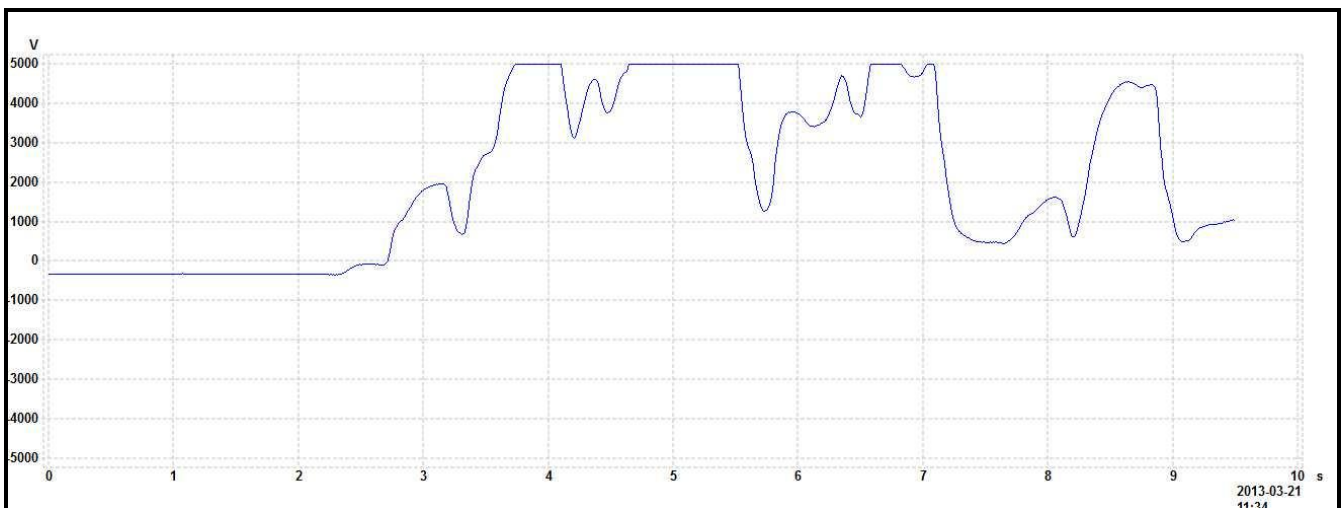


Fig. 4.0 – HBV su operatore privo di calzatura (da 2,5 secondi a 10 secondi)

In questo caso la energia di scarica ottenuta attraverso l'equazione $E = 1/2 CV^2$ assumendo un capacità di 200 pF (quella umana varia da 100 a 400 pF – vedi fig. 7.0) potrà essere di : **0.4 mJ**. (di fatto non può che essere leggermente inferiore in funzione della relativa curva di scarica ma sostanzialmente consideriamo che quasi tutto il picco massimo si manifesta in tempi brevissimi). In determinate condizioni (ie umidità relativa molto bassa – presenza oggetti metallici), essendo il Mie di comune acetone di circa 0,2 mJ sono avvenute esplosioni durante il suo utilizzo in abitazioni civili. Il fenomeno avvenne in condizioni estreme in quanto la regione di vapori esplosivi e quasi irrilevante (vedi di seguito area con regione esplosiva e tipologia scarica a scintilla) .

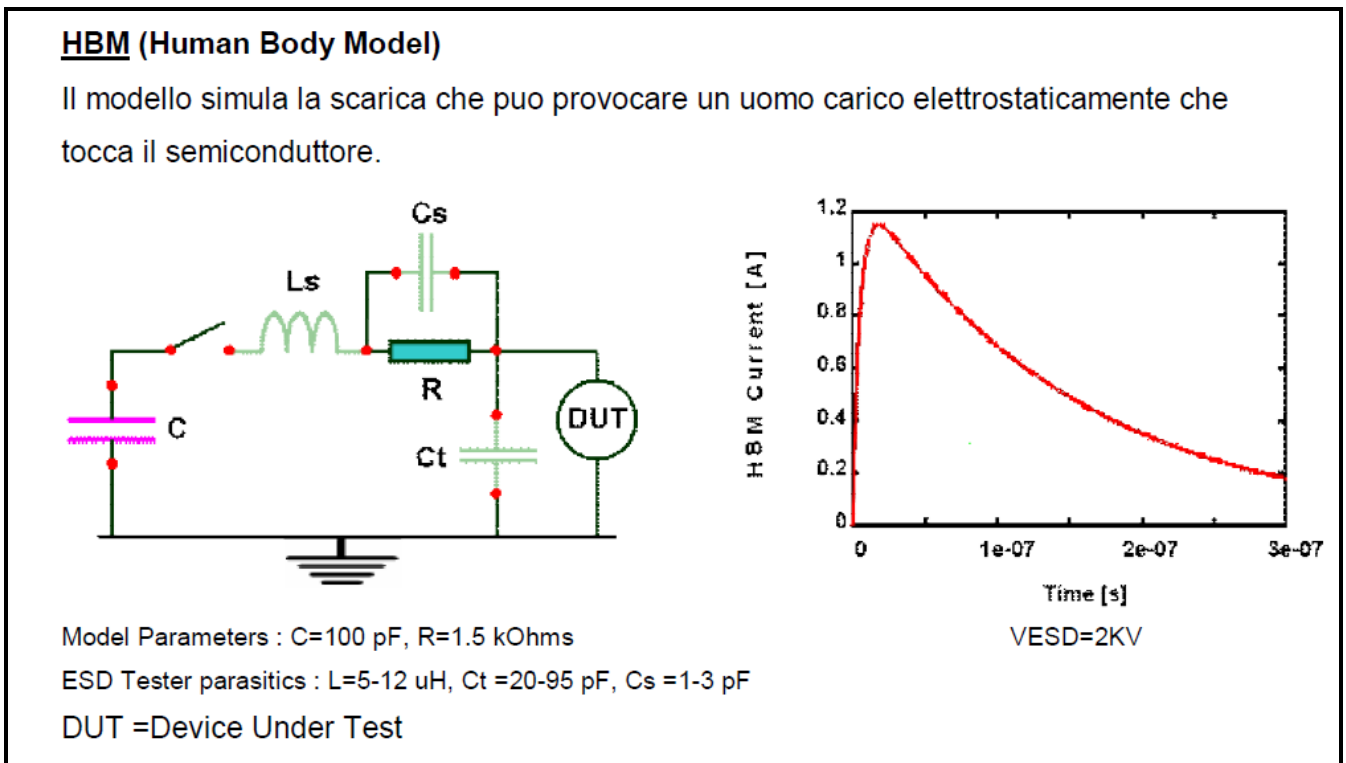
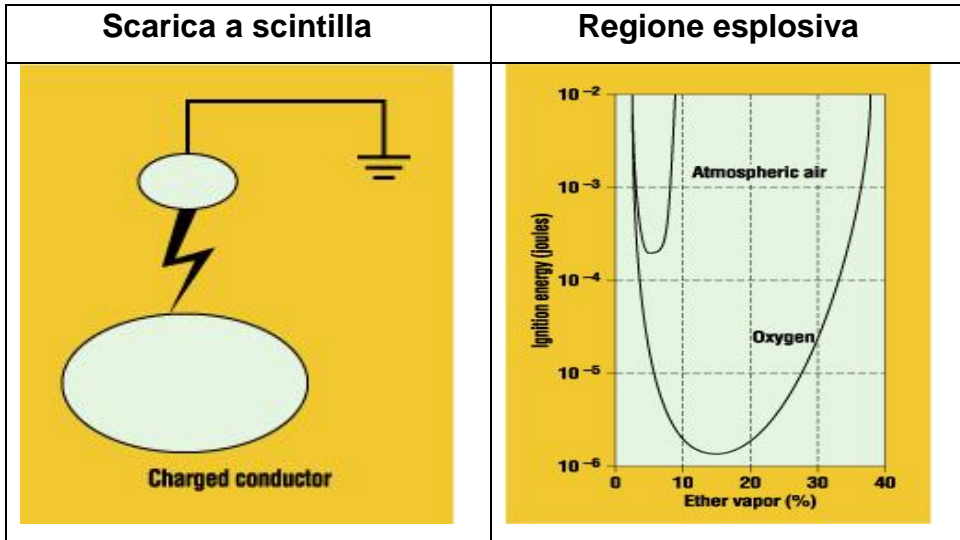
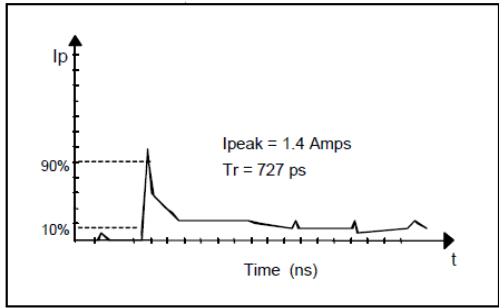
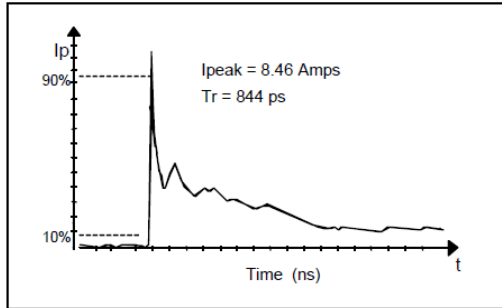


Fig. 7.0 – Simulazione scarica da umano a semiconduttore (HBM)



Un altro aspetto non banale è quello legato all'impiego di **attrezzi metallici** da personale non collegato a terra e di seguito si evidenzia il picco di corrente a parità di potenziale sul corpo umano (fig. 6.0 e 7.0) .

| Curva di scarica attraverso dito operatore | Curva di scarica attraverso punta metallica |
|---|---|
|  <p data-bbox="172 891 694 952">Figure 6: HBM discharge waveform, 2 kV charge finger tip</p> |  <p data-bbox="833 891 1364 952">Figure 5: HBM discharge waveform, 2 kV charge metallic rod</p> |

CONCLUSIONI

La possibilità di produrre problemi ESD quali innesco, stress elettrici (Electrical Over-Stresses, EOS) e attrazione di polveri e materiali e' molto variegata. La gestione di eventi ESD all' interno processi produttivi diviene quindi fondamentale e si deve tassativamente garantire un margine di sicurezza significativo rispetto a "mie" definiti e modelli impiegati. Per questo motivo si dovra' indirizzare particolare attenzione verso la progettazione (applicando, ove possibile, principi di "robust design"), verso la scelta delle soluzioni (sistemi di protezione), verso i piani di mantenimento e verso l'esecuzione (applicazione delle regole da adottare) delle procedure necessarie.

Solo quando siano stati considerati tutti gli aspetti sopra-citati, sara' possibile garantire un buon livello di protezione e di affidabilita'. Tale livello potra'/dovra' venire ulteriormente innalzato, tramite sistemi di back-up, per escludere la possibilita' di errori umani o di guasti improvvisi ai sistemi di protezione in uso.

**Bibliografia:**

1. **ANSI S.20.20** “Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrical Initiated Explosive Devices)” 16 Maggio 1999
2. **IEC 61340-5-1** “Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General Requirements” – 1998-12
3. **Protezione dalle scariche elettrostatiche nella produzione dei componenti elettronici - Esperienze della STMicroelectronics** - Santo Pugliese – Convegno ESD 2008
4. **CEI CLC/TR 50404** Sicurezza del Macchinario - Guida e raccomandazioni per evitare i pericoli dovuti all'elettricità statica
5. **An Investigation of Human Body Electrostatic Discharge**
M.A. Kelly, G.E. Servais and T.V. Pfaffenbach Delco Electronics Kokomo, Indiana
6. **La gestione di Eventi ESD all'interno di EPA-** *Eugenia Torello , Giuseppe Angelo Reina*
Universita' di Genova, Celestica Italia – VIII Convegno ESD , Bologna Maggio 2006.
7. **Explosions and ESD** - *Prof. Niels Jonassen – ESD Journal 1999*
8. **La gestione di eventi ESD** – G. Reina - Ayex Day Firenze 2012
9. **Dust Explosion Fundamentals: Ignition Criteria and Pressure Development**
Robert Zalosh Firexplo Wellesley, MA 02481