ISSN 2421-4329 - Anno 34
Rivista mensile - € 5,00

PCB Magazine

n.5
GIU 021

PROGETTI - TECNOLOGIE - PRODUZIONE ELETTRONICA

ACOUSTIC MICRO IMAGING SONOSCAN

Ispeziona il rumore dell'acqua

Nordson ELECTRONICS SOLUTIONS

SONOSCAN

Cabiotec

La protezione da cariche elettrostatiche

L'esperienza ha portato alla necessità di introdurre delle protezioni contro le cariche elettrostatiche. Il fenomeno è ancora spesso trascurato perché le conseguenze non sono sempre immediatamente evidenti

di Piero Bianchi

In seguito alla formazione di cariche elettrostatiche si possono generare due livelli di danno: catastrofico e latente. I dati statistici danno due distinte percentuali:10% di prodotti danneggiati contro 90% di prodotti degradati. La prima percentuale riguarda i guasti catastrofici dove il costo del danno si limita alla riparazione e alla sostituzione del componente, mentre nel secondo caso rientrano i guasti latenti dove il dispositivo continua a lavorare e passa anche i test, ma è indebolito ed il guasto ha buone probabilità di manifestarsi nel tempo, al verificarsi di stress termici o elettrici, o comunque quando è portato a lavorare alle sue condizioni limite rispetto a quelle standard di progetto. Per queste ragioni è importante non solo ottemperare alla normativa ESD in materia di protezione attiva e passiva, ma è doveroso effettuare anche i necessari controlli affinché le protezioni lavorino effettivamente ed efficacemente. Per queste ragioni sono allestite le aree EPA (Electrostatic Protected Area), destinate alla manipolazione di componenti e schede sensibili alla formazione di cariche elettrostatiche; l'area può essere circoscritta a una singola postazione di lavoro, comprendere un laboratorio o un intero reparto di pro-

duzione. La protezione ESD va applicata in ogni area che preveda la manipolazione di componenti o dispositivi elettronici in particolare: ricevimento e disimballo, incoming inspection e kitting, lungo l'intera linea di produzione (assemblaggio) e al test, per finire col packaging. Ovviamente maggiore è l'area coinvolta e più difficile diventa il controllo del personale che vi accede, in particolare il controllo che la dotazione ESD sia non solo quella prevista dalla normativa, ma che sia soprattutto correttamente funzionante. Negli standard si trova la normativa di riferimento:

- IEC 61340-5-1–protezione dei dispositivi elettronici da fenomeni ESD - requisiti generali
- IEC/TR 61340-5-2 – protezione dei dispositivi elettronici dai fenomeni ESD – guida all'attività
- IEC 61340-5-3 – protezione dei dispositivi elettronici dai fenomeni ESD – movimentazione di parti sensibili a ESD

Materiali conduttivi, isolanti e statico-dissipativi

Sono diverse le variabili che incidono sulla formazione delle cariche elettrostatiche, dall'umidità relativa alla temperatura ambientali, dalla composizione dei materiali alla velocità di separazione delle superfici degli oggetti, dall'ampiezza delle superfici alla pressione di contatto per terminare con la finitura e la resistenza superficiale dei materiali. In funzione della loro conducibilità i materiali si distinguono in conduttivi, statico-dissipativi e isolanti. I materiali con resistenza superficiale inferiore a 10^3 Ω sono altamente conduttivi e sono da evitare perché il tempo di dissipazione delle cariche è troppo rapido. I materiali più pericolosi sono gli isolanti che si caricano facilmente e non si scaricano, per questa ragione vanno banditi dalle aree EPA e dove per varie ragioni operative non fosse possibile, vanno neutralizzati in ogni modo possibile, adottando sia sistemi attivi che passivi.

È bene ricordare che la corrente che transita in un conduttore è data dalla formula $I = \Delta Q/\Delta t$ (dove Q è la quantità di carica in Coulomb che transita nell'intervallo di tempo espresso in secondi). Se il tempo tende a zero, la corrente è massima. Questa è la ragione per cui la connessione verso massa è realizzata con resistenze da un megaohm o più.

I materiali si differenziano in base ai loro valori ohmmici in conduttivi, statico-dissipativi e isolanti.

Nei materiali conduttivi, i valori resistivi vanno da10^4 a 10^5 Ω; sono caratterizzati da una dissipazione delle cariche molto veloce. Per questa ragione è sconsigliato il loro utilizzo a diretto contatto con i dispositivi sensibili ESD. I materiali statico dissipativi hanno valori resistivi che vanno da 10^6 a 10^{12} Ω, consentono la dissipazione delle cariche in tempi più lunghi rispetto ai precedenti e comunque in un intervallo inferiore ai 2 secondi.

Infine, i materiali isolanti hanno una resistenza superficiale maggiore di 10^{12} Ω, si caricano facilmente arrivando anche valori elevati e la carica rimane confinata sulla loro superficie.

Per dare un esempio un accumulo di cariche che porta al potenziale di 3000 Volt è percepibile al tatto dall'operatore, se il potenziale raggiunge i 5000 Volt la scarica è udibile e diventa visibile su valori di 10000 Volt.

1. Oltre ai camici è disponibile un'ampia offerta di abbigliamento ESD a copertura di tutte le stagioni (cortesia TechnoLASA)

Ben diversa è la soglia di sensibilità dei componenti elettronici, dove per esempio un MOSFET resiste fino a 100/200 Volt, un transistor bipolare nell'intervallo 400/7000 Volt e una EPROM a 100 Volt. Ogni soglia è ovviamente in funzione della tecnologia costruttiva del componente, ad esempio quelli costruiti in film sottile (tipica di vari sensori) è tra 300 e 3000 Volt.

2a

2b

2. I due simboli ESD sono riferiti ai dispositivi sensibili alle cariche ESD (2b) e agli imballi che li contengono (2a)

Attrezzature e abbigliamento di protezione passiva

La maggior parte degli elementi di protezione presenti nell'area EPA sono di tipo passivo, tra quelli canonici maggiormente usati. Il tappeto da banco deve possedere buona resistenza al calore del saldatore e all'abrasione da sfregamento meccanico, non emettere VOC, non essere riflettente ed essere lavabile in quanto l'accumulo di sporco porta ad un aumento della resistenza superficiale. Al tappeto o al banco (nei nodi ESD) è allacciato il braccialetto ESD che è consigliato sia ipoallergico e lavabile, non perdere l'effetto memoria del cavetto spiralato ed essere facilmente regolabile al polso. Il camice) è l'indumento più comunemente indossato; gli è richiesta una griglia in fibra di carbonio di 4x4 mm, la conduzione da manica a manica, leggerezza e traspirabilità, resistenza ad almeno 30 cicli di lavaggio senza perdere le sue caratteristiche ESD e soddisfare i requisiti di sicurezza antinfortunistica.

Le calzature devono essere confortevoli, traspiranti e lavabili, assecondare la normativa di sicurezza (ad esempio antiscivolo e dove richiesto avere la protezione del puntale). Anche le sedie devono essere confortevoli, in più essere ergonomiche e ignifughe, le ruote – dove presenti – devono essere conduttive e autofrenanti; se realizzate in tessuto conduttivo, la trama non deve includere fili metallici. Il pavimento è la componente più impegnativa di un'area EPA, gli è richiesta resilienza, conduttività per tutta la vita del prodotto, stabilità dimensionale, superfice omogenea e priva di porosità, deve essere riparabile e lavabile. Il pavimento resiliente è costituito da materiale che offre maggiore flessibilità rispetto ai pavimenti duri; sottoposto ad una pressione ha la proprietà di deformarsi in maniera elastica riassumendo la configurazione iniziale una volta eliminata la sollecitazione esterna.

Altri materiali ESD impiegati nell'allestimento delle aree di produzione sono le lastre in policarbonato statico dissipativo utilizzate per costruire divisori o parti delle macchine di produzione. Il film statico dissipativo, trasparente e autoadesivo, con spessore tipico di 0,1mm è utilizzato come rivestimento mentre i tappeti adesivi da pavimento (usa e getta) servono ad aumentare la pulizia delle calzature in ingresso alle aree controllate.

Per il trasporto di schede e semilavorati si utilizzano carrelli ESD con due o più ripiani.

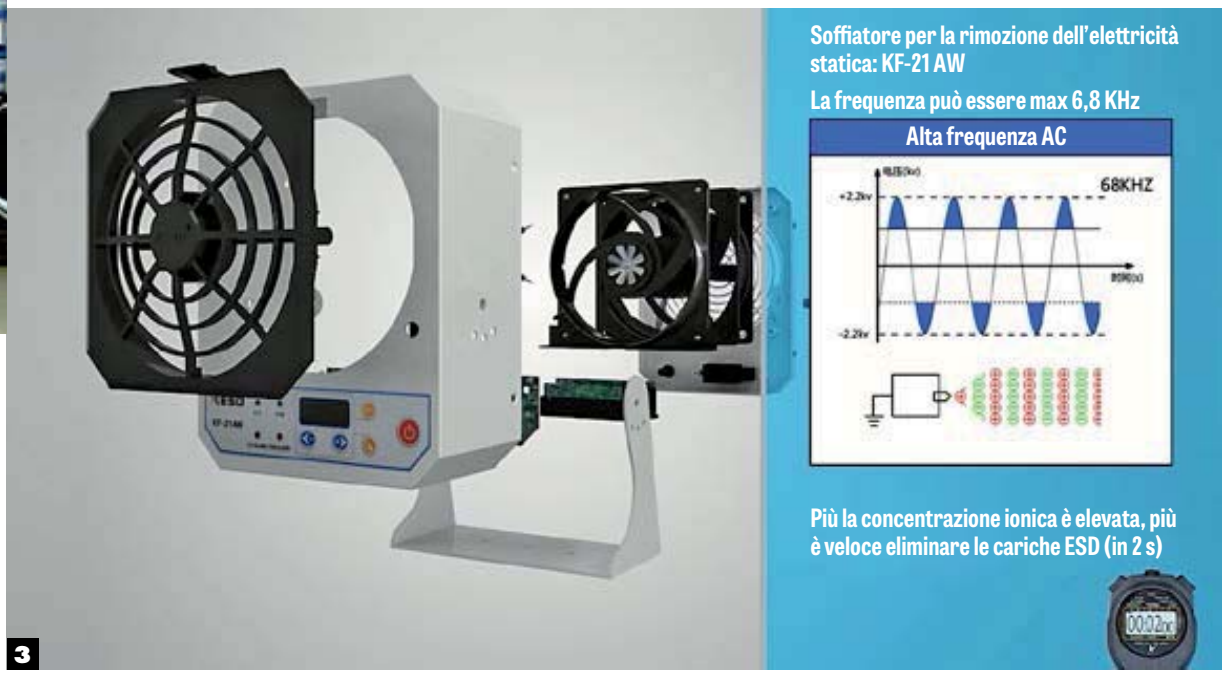
Test e controllo accessi

All'ingresso di un'area EPA è installata una stazione di test che consente di verificare l'idoneità ESD di chi accede; il controllo è effettuato su braccialetto e calzature. La misura di entrambe le calzature e del bracciale avviene attraverso differenti circuiti di prova; le misure di resistenza dei piedi destro e sinistro avvengono separatamente. L'unità è installata a parete (in alternativa posizionata su di un banco) o possiede un proprio piedistallo. È composta da una centralina di misura con attacco per il bracciale e un elettrodo per la mano, oltre ad una pedana (secondo elettrodo) da posizionare a terra per il test delle calzature.

La stazione consente l'impostazione di valori limite da non superare, i risultati del test sono sia acustici che luminosi. Di serie monta un relè attraverso i cui contatti è possibile comandare l'apertura di una porta o azionare un tornello (ma solo se il test è passato). Nel caso del tornello la misura delle calzature può avvenire anche senza azionare il pulsante di prova.

Sono disponibili anche versioni sofisticate, che includono monitor, stampanti e interfacce per la connessione in rete per trasmettere le misure e i risultati delle prove perché siano archiviati.

Possono essere collegate in rete diverse stazioni, eventualmente integrabili in una infrastruttura preesistente. La stazione è usualmente dotata di un sensore di temperatura e di un senso-



3. Nella foto l'esploso di uno ionizzatore da banco KESD e il suo principio di funzionamento

re di umidità relativa per la rilevazione dei valori ambientali nel momento del test. L'utilizzatore si deve identificare utilizzando un sistema RFID, il suo codice a barre, la sua smart card o semplicemente identificandosi mediante tastiera. I dati trasmessi al PC contengono data e ora, i valori di temperatura e umidità, il risultato del test e i singoli valori rilevati di resistenza delle calzature e del bracciale.

Per rendere i tempi di identificazione sempre più rapidi è possibile l'identificazione wireless mediante transponder applicato ad una scarpa o con transponder card personale.

I dispositivi attivi

In tutti quei casi in cui non sia possibile eliminare gli isolanti o persistano potenziali problemi di generazione delle cariche, a dispetto delle precauzioni già prese, si ricorre all'utilizzo di ionizzatori. Gli ionizzatori generano con continuità ioni positivi e ioni negativi che sospinti da una circolazione d'aria forzata si ricombinano con gli ioni di carica opposta presenti sugli oggetti investiti dal flusso. Questa tecnologia prevede l'uso di alte tensioni che applicate a degli elettrodi generano un intenso un campo elettrico. Questo campo accelera gli elettroni liberi dandogli una energia sufficientemente alta per consentirgli di ionizzare le molecole con cui si scontrano. Gli ionizzatori ad affetto corona, impiegati come protezione attiva, sono realizzati sia con tecnologia a tensione alternata che con tensione continua. Lo ionizzatore in corrente alternata è molto semplice. Utilizza un trasformatore con cui creare l'alta tensione utilizzata per la generazione di ioni. L'esperienza dimostra che la differenza di tensione misurata tra i picchi positivi e negativi è in genere inferiore a 10 V. Questo porta a considerare lo ionizzatore AC come autoregolante. Poiché produce in sequenza ioni positivi e ioni negativi dallo stesso punto emettitore, questi si alternano seguendo la frequenza di alimentazione e quindi sono piuttosto vicini tra loro. Per evitare una perdita dovuta alla ricombinazione di carica, gli ionizzatori AC utilizzano veloci flussi d'aria per convogliare gli ioni sull'area di lavoro. Gli ionizzatori che lavorano in corrente continua utilizzano elettrodi distinti per creare ioni positivi e ioni negativi. Al fine di generare un numero uguale di ioni positivi e negativi , questi dispositivi sono equipaggiati con un controllo che tiene conto anche di eventuali variazioni ambientali e dell'usura degli elettrodi. Grazie al fatto che gli emettitori positivi e negativi sono ben separati gli uni dagli altri, la ricombinazione di carica è minima e pertanto non richiedono sistemi di ventilazione particolarmente veloci.

Gli ionizzatori possono essere installati sui banchi di lavoro e sulle linee di produzione; sulle queste è possibile utilizzare anche i sistemi di protezione passiva come le spazzole conduttive. Per i materiali isolanti coinvolti nella fabbricazione, non sono richiesti accorgimenti particolari.

Qualità e prestazioni dell'abbigliamento ESD

Il fenomeno ESD è causato da una scarica elettrica generata dal trasferimento di elettricità statica da un corpo a un altro: può verificarsi quando un operatore prende in mano un PCBA, quando un oggetto è messo a contatto con un componente, quando due oggetti a contatto sono separati velocemente. Le casistiche che possono generare la scarica elettrica sono innumerevoli

di Alberto Sabiucciu (TechnoLASA)

1

La carica elettrica si può formare per sfregamento e separazione veloce tra due materiali differenti, come nel caso del calpestio su pavimenti sintetici, per sfregamento di un oggetto o del corpo umano su indumenti sintetici, maneggiando e spostando contenitori di plastica, srotolando un nastro adesivo.

In linea di massima vale sempre l'assunto che mettendo a contatto due oggetti a diverso potenziale (ma è vero anche se messi in prossimità), si può generare un flusso di cariche elettriche che tende ad azzerare la differenza di potenziale esistente tra i due.

Il danneggiamento di una scheda assemblata che ne può conseguire, può verificarsi non solo per scarica ESD diretta, ma anche a causa degli elevati campi elettrici che si possono creare, in casi estremi, con umidità relativa molto bassa, che rasenta o è inferiore al 20%HR; la carica può raggiungere i 40 KV. Per contrastare ed eliminare quanto più possibile l'insorgenza delle cariche elettrostatiche, occorre attivare una serie di contromisure che vanno dall'utilizzo di materiali conduttivi o dissipativi con basso impatto sulla generazione delle cariche, sino a procedure che mettono al riparo tutto ciò che può essere vulnerabile alle scariche ESD.

Abbigliamento professionale ESD

In ogni area EPA si devono utilizzare sistemi di messa a terra idonei ad assicurare che i PCBA, i componenti elettronici, gli operatori e qualsiasi altro oggetto e attrezzatura utilizzati nel processo, siano tutti allo stesso potenziale. Per una corretta e sicura operatività, la connessione di terra ai fini ESD del banco di lavoro e delle attrezzature deve essere collegata alla stessa messa a terra dell'edificio.

Essendo sempre in movimento, gli operatori sono tra le principali fonti

2

1. Il camice antistatico aumenta la sicurezza durante la manipolazione dei componenti e dei circuiti elettronici

2. Nei periodi estivi le polo e le tshirt ESD sono una valida alternativa al camice

di cariche elettrostatiche; per questa ragione è bene che indossino un abbigliamento e delle calzature adeguate allo scopo. Anche per queste situazioni si deve verificare l'efficacia delle protezioni tramite il "walking test" degli operatori.

L'obiettivo che si vuole raggiungere indossando un abbigliamento dissipativo è quello di sopprimere i campi elettrostatici generati dai vestiti e dal movimento dell'operatore. Le fibre conduttive di carbonio tessute nella stoffa formano una gabbia di Faraday che blocca i campi elettrostatici impedendo che questi si propaghino all'esterno, aiuta anche a scaricare gli elettroni eventualmente accumulatisi i quali, trasmettendosi sulle schede e sui componenti, potrebbero danneggiare quelli più sensibili.

Perché un capo ESD possa definirsi correttamente idoneo, ci deve essere conducibilità elettrica tra tutte le parti, ad esempio da manica a manica.

HB, azienda europea specializzata nella produzione di abbigliamento di sicurezza industriale e rappresentata da technoLASA, propone un intero catalogo di abbigliamento professionale. Una importante parte del catalogo prodotti HB, è riservata all'abbigliamento protettivo ESD e Clean Room nel rispetto della normativa UNI EN 61340-5-1.

Il catalogo è composto da un'ampia scelta di camici, pantaloni, polo, t-shirt e guanti che sono le parti di abbigliamento più utilizzate durante le fasi produttive delle schede elettroniche.

Tutti i capi hanno un elevato livello di rifinitura, anche dei più piccoli dettagli, conferendo ad ogni capo la caratteristica di un abbigliamento duraturo, senza che perda il suo aspetto e le peculiarità tecniche originali per anni.

Lo studio delle finiture e dei piccoli dettagli contribuisce a far si che il capo consenta all'operatore di muoversi in sicurezza ed in modo protetto all'interno delle aree EPA, e il capo possa resistere nel tempo. A questo riguardo va sottolineato che l'abbigliamento HB può resistere ad almeno 50 lavaggi industriali senza decadimento delle sue caratteristiche dissipative.

La scelta dei tessuti (cotone con parte in poliestere) consente di abbattere la dispersione in ambiente di microparticelle e microfibre di cotone del tessuto, fibre che potrebbero andare a contaminare i circuiti elettronici. Anche le varie cuciture interne delle giunture sono rivestite per evitare lo stesso inconveniente. Le clip metalliche di chiusura vengono protette nella piega del tessuto, di modo che non possano esserci corto circuiti dovuti al contatto accidentale con le schede.

Spesso le aziende richiedono la personalizzazione dell'abbigliamento apponendo il proprio logo aziendale, che technoLASA realizza, tramite aziende specializzate, nella realizzazione di curate personalizzazioni a stampa o a ricamo. La stampa su tessuto ha raggiunto un ottimo livello di definizione e durata, piccoli dettagli e vari colori sono ora riproducibili con un'ottima precisione. Tuttavia, il ricamo rimane sempre la soluzione migliore, sia dal punto di vista tecnico, pratico ed estetico. Consente una brillantezza superiore alla stampa ed una durata maggiore nel tempo. Infatti, il capo col logo stampato deve venire gestito in modo adeguato, con lavaggio a basse temperature e stiratura del capo rovesciato.

Il camice

Avere un camice di protezione antistatico consente di aumentare la sicurezza della lavorazione e della manipolazione dei componenti e dei circuiti elettronici, anche nelle aree protette.

Per assecondare le varie esigenze, i camici sono confezionati nei modelli a ¾ o stile casacca, con manica lunga o corta. La lunghezza del camice a ¾ è quella ottimale in quanto copre la maggior parte del corpo e rimane a contatto della sedia dando continuità al circuito di messa a terra, la stessa considerazione vale per la manica lunga. La chiusura mediante clip metalliche è preferibile come praticità rispetto a quella coi bottoni, a patto che

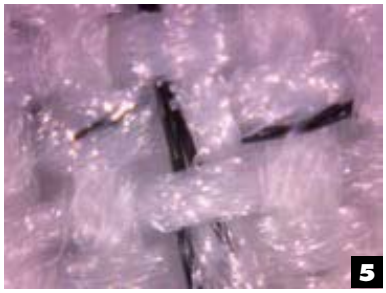
3. Il catalogo Abeba propone una vasta scelta tra scarpe aperte o chiuse, tradizionali o anti infortunistiche

4. L'abbigliamento per camere bianche include varie soluzioni come tute e camici, a cui si affiancano accessori come i copricapi e le visiere

5. L'ingrandimento del tessuto mostra il filo di carbonio che conferisce la caratteristica ESD all'abbigliamento

3

4



5

non risultino esposte verso l'esterno del camice, per evitare di fare dei corto circuiti accidentali sulle schede.

La scelta tra la versione unisex o il camice di genere è più estetica che funzionale, se non per il fatto che agevola la gestione di acquisto e delle eventuali scorte. I camici più indicati per l'ambito produttivo elettronico, sono quelli che presentano una composizione del tessuto mista (cotone e poliestere). Un tessuto di solo cotone, pur essendo più gradevole al contatto, con l'utilizzo, con il passare del tempo e con gli sfregamenti, tende a consumarsi, rilasciando minuscole parti di tessuto.

La mescolanza di cotone e poliestere rafforza il legame del tessuto, mantenendo la traspirabilità ed assorbendo in modo decisamente minore l'umidità sia corporea che ambientale.

Nella linea HB anche la fettuccia di stoffa (piccanello) che serve ad appendere il camice è realizzata in tessuto conduttivo, affinché, anche se appeso il camice possa scaricare eventuali potenziali. L'utilizzo nel tempo del camice comporta un decadimento delle sue caratteristiche dissipative. Aumentando il numero dei lavaggi, la fibra di carbonio inserita nelle trame diminuisce le sue prestazioni riducendo le caratteristiche iniziali del tessuto; per tale motivo ne raccomandiamo una misurazione periodica. Il parametro di riferimento è il lavaggio industriale che è normalmente più forte di quello domestico. Una misurazione periodica del capo, tramite gli appositi strumenti, consente di monitorarne le caratteristiche e deciderne l'eventuale sostituzione prima che le sue caratteristiche antistatiche svaniscano. In alternativa al camice, nei periodi estivi si possono scegliere polo o tshirt, nei modelli a manica corta o a manica lunga, da uomo o da donna.

Sono un classico capo di abbigliamento che viene utilizzato prevalentemente in estate e viene indossato normalmente a diretto contatto della pelle, la trama, in questo caso, è in cotone misto a filo di carbonio.

Anche per le polo e le T-shirt, valgono le considerazioni fatte per i camici, tranne che i lavaggi più frequenti, in quanto sono capi maggiormente soggetti a usura.

Calzature antistatiche ed antinfortunistiche

Le scarpe svolgono una funzione estremamente importante avvolgendo il piede che è l'organo di sostegno di tutto il corpo. Una scarpa adeguata e comoda, consente di camminare bene ed avere anche il piede protetto da eventuali urti o collisioni durante la giornata lavorativa.

Il catalogo Abeba propone una vasta scelta tra scarpe aperte e scarpe chiuse, sia tradizionali che antinfortunistiche, normali o in versione ESD nel pieno rispetto della normativa DIN EN61340-5-1. Quando si predispone un'area EPA, si devono rispettare tanti parametri, ma è soprattutto la valutazione del rischio legato alle cariche elettrostatiche che determina le scelte.

Una possibile scarica elettrostatica può provocare danni più o meno gravi a seconda della tensione generata:

- 3000 Volt, lasciano alla persona una sensazione spiacevole;

6

- 100 Volt, possono cancellare dati da un supporto magnetico;
- 50 Volt, generano una scintilla in grado di innescare l'esplosione di un gas;
- 30 Volt, danneggiano componenti elettrici.

In tanti casi si è verificato che si possono avere danni latenti che si manifesteranno a distanza di tempo al verificarsi di particolari circostanze; anche per questo motivo Abeba dedica una particolare attenzione e realizza scarpe occupazionali e anti-infortunistiche, in grado di proteggere operatori e materiali dalle cariche elettrostatiche.

Controllo agli accessi

Per far sì che l'area protetta sia tale, è sempre necessario controllare che gli operatori siano adeguatamente protetti prima del loro ingresso (camice, scarpe e bracciali). Per fare questo bisogna predisporre un adeguato strumento che controlli i parametri degli operatori al momento del loro accesso. Pertanto, diviene necessario testare braccialetti e scarpe, affinché non presentino cariche elettrostatiche residue. Per tale motivo Technolasa ha da ora disponibile uno strumento di Industria 4.0 che verifica i parametri elettrici in funzione di quelli assegnati all'operatore. Lo strumento raccoglie i dati di ingresso e delle misurazioni effettuate, con la possibilità di inviarli ad un server connesso alla rete. Il cliente sarà poi libero di ispezionare, monitorare e salvare i dati degli ingressi come più preferisce, grazie all'adozione di formati standard, quali il formato csv (per export tramite USB) ed il protocollo MQTT, per comunicazione dati in tempo reale.

6. Il controllo accessi permette di verificare che gli operatori siano sempre adeguatamente protetti (camice, scarpe e bracciali) prima del loro ingresso in area EPA

Abbigliamento per camere bianche

Le camere bianche (camere sterili o pulite) per definizione implicano che l'aria al loro interno sia quanto più possibile priva di contaminanti (pulviscolo e polveri) o in funzione della classe sia rispettata la quantità massima ammessa. L'abbigliamento per camera bianca proposto da HB soddisfa i requisiti della EN ISO 14644-1, offrendo una protezione affidabile secondo gli standard di pulizia codificati dalla norma, rappresentando anche un filtro selettivo per le particelle emesse dal corpo.

La gamma dei prodotti è composta da vari modelli come le tute, i camici e gli accessori come i copricapi e le visiere rispondenti alla EN ISO 14644-1 dalla classe 8 sino alla classe 5 per camera bianca. In questo caso i capi vengono realizzati con tessuti speciali composti da viscosa Habetex o poliestere per il Micronplus abbinato alla fibra di carbonio. Il capo di abbigliamento in poliestere è certamente quello più indicato per gli ambienti come le produzioni in camera bianca a partire dalla classe ISO-8. Anche per questi capi la cura nella lavorazione riveste un ruolo fondamentale per raggiungere il livello di assenza di rilascio dei contaminanti. Ad esempio, l'uso della rilegatura coprente i bordi interni del tessuto, lungo i tanti punti di giuntura delle parti che compongono la tuta, garantisce una corretta lavorazione e conseguente protezione, minimizzando il più possibile la permeabilità e la diffusione delle particelle.

Per garantire il livello e la continuità dei processi, l'indumento finito deve venire lavato da un servizio di lavanderia professionale, che abbia caratteristiche e capacità della linea di lavaggio superiori di almeno un livello a quella del capo di abbigliamento.

Sono molte le aree industriali in cui si utilizzano le camere bianche, dall'elettronica all'alimentare, dall'industria farmaceutica all'automobilistica, dai colorifici ai laboratori biologici.

Una camera bianca è un ambiente con atmosfera controllata ottenuta mediante filtrazione e mantenuta in sovrappressione, in cui la contaminazione è ridotta al minimo assoluto. La classe di pulizia di una camera bianca viene determinata misurando la concentrazione e la dimensione delle particelle presenti nell'aria.