

PARTE PRIMA

STATO DELL'ARTE

2.STATO DELL'ARTE DELLA VERNICIATURA

2.1 Generalità sulla verniciatura

La verniciatura, ovvero, l'operazione mediante la quale un oggetto viene rivestito di vernice per motivi estetici e/o protettivi, prevede:

- un supporto idoneo a ricevere il prodotto verniciante;
- un prodotto verniciante idoneo per il supporto;
- un ciclo di applicazione idoneo a trasferire correttamente il prodotto al substrato.

La combinazione di queste tre condizioni consente di ottenere risultati validi in termini di:

- prestazioni decorative;
- prestazioni anticorrosionistiche.

Il prodotto verniciante deve essere tale da poter essere esteso sulla superficie sotto forma di uno strato liquido sottile e deve trasformarsi in breve tempo in un film solido.

E' opportuno porre una prima distinzione tra:

- **pitture**: sistemi eterogenei costituiti da insieme di pigmenti dispersi in un composto filmogeno portati alla viscosità di applicazione desiderata per aggiunta di un'adatta miscela di solventi e diluenti. Dopo applicazione alla superficie formano, dopo certo tempo, una pellicola solida aderente.
- **Vernici** : come sopra in assenza di pigmenti.

Le principali classi di prodotti vernicianti sono:

- ***al solvente***
- ***all'acqua***
- ***in polvere***

I principali criteri di classificazione, di vernici e pitture, sono esposti nella sottostante tabella:

Criterio di classificazione	Classificazione
Stato fisico	Al solvente, all'acqua, in polvere
Funzione della vernice	Primer, intermedio, top coat
Tipo di applicazione	A pennello, a spruzzo, per immersione, per elettroforesi (anodica e catodica)
Tipo di reticolazione	Termica, radiazione UV, radiazione IR
Uso	Edilizia Protezione anticorrosione Industria del legno Industria della plastica Industria del vetro

Tabella 2.1- Criteri di classificazione di vernici e pitture

Le caratteristiche che vengono richieste ad un rivestimento, sono essenzialmente:

- Ricoprimento
- Colore
- Lucentezza
- Levigatezza
- Adesione al substrato
- Proprietà fisiche e meccaniche (durezza, resistenza ad usura, resistenza ad impatto)
- Resistenza ad agenti chimici
- Resistenza a corrosione
- Durabilità

Il deterioramento che una vernice può subire è dovuto a cambiamenti di natura chimica del film con conseguenti variazioni di tipo fisico-meccanico dovuti a fattori ambientali.

Il punto debole è il legante polimerico che, per effetto della radiazione luminosa, può dereticolare.

E' difficile che un solo film di vernice possa garantire tutte le prestazioni richieste; pertanto si ricorre a un ciclo pluricomponente che si articola nel modo seguente:

Primer : sigilla il substrato e favorisce l'adesione tra substrato e undercoat, conferisce protezione da corrosione.

Undercoat : dà spessore.

Topcoat : conferisce le caratteristiche estetiche richieste.

E' opportuno tener presente che le vernici devono:

- essere applicabili in determinate condizioni ambientali
- bagnare adeguatamente la superficie
- conferire al film asciutto determinate caratteristiche di durezza, brillantezza...
- fornire le caratteristiche decorative richieste.

E che il rivestimento deve:

- essere continuo e adeso
- durare nel particolare ambiente di servizio
- proteggere da corrosione
- impedire effetti deleteri di inquinanti ambientali
- resistere alle sollecitazioni meccaniche.

2.2 Componenti di un prodotto verniciante

Nella tabella sottostante sono elencati i principali componenti di un prodotto verniciante e le relative funzione.

Componente	Funzione
LEGANTE	È il componente base del film con funzioni di adesione e protezione
SOLVENTE/DILUENTE	Consente l'applicazione della vernice- non sempre presente (polvere)
PIGMENTI	Forniscono colore e ricoprimento, hanno funzione protettiva (barriera, sacrificali)
CARICHE	Utilizzati come riempitivi, effetto coprente opacizzante
ADDITIVI	Presenti in piccola quantità con innumerevoli funzioni (catalisi, bagnamento, distensione)

Tabella 2.2- Componenti e funzioni di un prodotto verniciante

2.2.1 I leganti

Fra i componenti elencati, i **leganti** rivestono particolare interesse per la loro diversificazione. Essi costituiscono il 20-50% in peso della vernice, % maggiore nel secco; costituenti fondamentali impartiscono al rivestimento proprietà chimiche, meccaniche, fisiche. La composizione del legante varia in funzione dello scopo finale.

- resine alchiliche
- resine acriliche
- resine epossidiche
- resine poliuretaniche
- resine viniliche
- resine amminiche
- resine poliestere sature
- resine poliestere insature
- resine fenoliche
- resine siliconiche.

Legante	Reticolazione	Aspetto estetico	Resistenza agenti atmosferici	Resistenza chimica	Impieghi
Alchilico ad aria	Con ossigeno aria	Buono	Media	Media	Casa ed edilizia, macchine agricole

Alchilico a forno	A forno con resine amminiche	Buono	Buona	Buona	Auto, trattori, mobili metallici
Poliesteri saturi	A forno con resine amminiche	Ottimo	Ottima	Buona	Auto, frigoriferi, coil
Acriliche con gruppo ossidrilico	A forno con resine amminiche	Ottimo	Ottima	Buona	Auto, frigoriferi
Acriliche con gruppo ammidico	A forno	Buono	Buona	Buona	Lavatrici, lavastoviglie
Acriliche con gruppo carbossile	A forno con resine epossidiche	Buono	Media	Ottima	Lavatrici, lavastoviglie
Resine isocianiche	Con resine acriliche ossidriliche	Ottimo	Buona	Ottima	Carrozzeria, mobili in legno, plastiche
epossidiche	Con induritori amminici	Medio	Scarsa	Ottima	Protezione industriale, marina
clocaucciù	Essiccazione fisica	Buono	Buona	Media	Protezione industriale, marina
viniliche	Essiccazione fisica	Buono	Buona	Media	Protezione industriale, marina
nitrocellulosa	Essiccazione fisica	Buono	Media	Scarsa	Industria meccanica, mobili in legno
Poliestere insaturo	Con stirene	Medio	Buona	Buona	Stucchi per carrozzeria, mobili in legno
Resine in emulsione o dispersione	Coalescenza	Buono	Buona	Buona	Casa ed edilizia, industria meccanica
Resine all'acqua	A forno con resine amminiche	Buono	Buona	Buona	industria meccanica
Resine per elettroforesi				Ottima	Fondo per auto, elettrodomestico

Tabella 2.3- Leganti

Resine alchidiche: storicamente le prime usate nei rivestimenti (reazione di oli e catene di poliesteri); si ottengono per reazione tra anidride o acido dibasico, polialcol e acido grasso (corto olio <45%, medio 45-55%, lungo >55%)

- alta lucentezza
- mantenimento colore
- resistenza UV
- resistenza al calore
- durabilità inferiore a poliesteri, poliuretani, poliacrilici

Uso estesissimo per alto rapporto prestazione/costo

Corto e medio olio : utilizzate per smalti di rapida essiccazione

Lungo olio : edilizia e fai da te

Resine acriliche:

- ❖ Buona stabilità fotochimica
- ❖ Ottima stabilità idrolitica
- ❖ Eccezionale inerzia chimica
- ❖ Resistenza a variazioni di temperatura
- ❖ Stabilità di lucentezza e colorazione.
- ❖ Caratteristiche di adesione scarse. Applicate su primer.

Uso: elettrodomestico, automobile.

Resine epossidiche: gruppo epossidico elevata reattività con carbossili, fenoli, ammine

- Resina + indurente
- Presenza di gruppi polari: adesione
- Non porosità del film: resistenza a corrosione
- Svantaggio: degradazione fotochimica: (forte tendenza a sfarinare e ingiallire) non adatte per uso esterno

Uso primario come rivestimenti di base e intermedi

Uso: isolamento elettrico, anticorrosivo.

Resine poliuretaniche:

Derivano da reazione di isocianati e alcoli

- A) resistenza all'abrasione
 - scarsa resistenza all'umidità
 - costo
 - tossicità

- Contengono gruppo uretanico RNHCOOR, tra le catene si instaurano legami di idrogeno
- Legami sotto sollecitazione meccanica si rompono e si riformano: tipica resistenza all'abrasione.
- Presenza di legami di idrogeno: assorbimento di acqua
- Ampia varietà di resine poliuretatiche bicomponenti
- Isocianati aromatici costo inferiore
- Isocianati alifatici maggior durabilità e stabilità del colore

Uso: ruote per auto

Resine viniliche (termoplastiche): Catene lunghe con legami saturi

- ✓ resistenza ad agenti chimici
- ✓ resistenza ai fattori ambientali.

Uso: imbarcazioni, rivestimento strisce tapparelle veneziane.

Resine amminiche: Si ottengono per condensazione di formaldeide con urea o melammina.

Resine urea-formaldeide:

Migliori prestazioni per curing in forno per il legno.

Resine melammina formaldeide:

Hanno migliori caratteristiche come resistenza ad agenti chimici, mantenimento della colorazione anche in temperatura, ma sono più costose.

Resine poliestere: Conferiscono al rivestimento:

- buona adesione alle superfici metalliche
- resistenza all'impatto superiore alle acriliche
- minor resistenza ad idrolisi
- minor durabilità all'esterno.

Resine fenoliche: Possono essere usate in miscela con epossidiche o con viniliche

Uso: fabbricazione componenti plastici e adesivi

2.2.2 I Pigmenti

Di rilevante interesse sono anche i **pigmenti** : sostanze insolubili organiche o inorganiche, colorate o non colorate, incorporate in solventi o leganti.

La proporzione pigmento/legante **PVC** (pigment volume concentration) è:

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_r}$$

V_p volume pigmenti e cariche

V_r volume resina.

Esiste un valore di PVC detto CPVC in corrispondenza del quale si ha una brusca variazione delle proprietà quali brillantezza, resistenza a corrosione ecc....

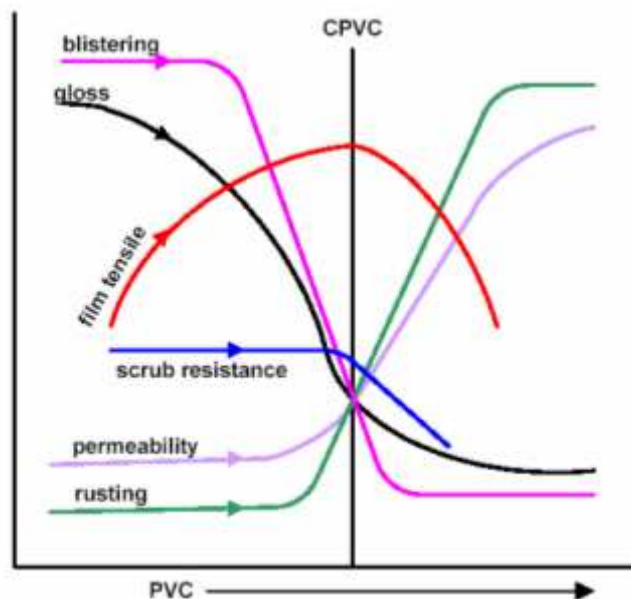


Figura 2.1- Variazioni delle proprietà al variare del PVC

I pigmenti:

- conferiscono colore e rendono opaco il film in modo da rendere non visibile il substrato.
- contribuiscono alla durezza
- contribuiscono alla resistenza ad abrasione
- aumentano resistenza a corrosione
- aumentano resistenza ai raggi UV

Poiché i pigmenti sono generalmente inerti alla radiazione UV, la loro presenza riduce il degrado del legante.

La funzione del pigmento è anche protettiva, nei confronti degli effetti corrosivi e fa da barriera rispetto agli agenti atmosferici e UV.

2.2.3 Solventi e diluenti

Altri componenti, come **solventi e diluenti**, non sono sempre presenti nei prodotti vernicianti (polveri). La funzione del solvente è quella di dissolvere il legante per l'applicazione (5-40%), cui segue l'evaporazione.

Per diluenti si intendono quei composti organici volatili, aggiunti prima dell'applicazione, al fine di migliorare l'applicazione o l'evaporazione.

Un parametro fondamentale per realizzare l'applicazione a solvente è appunto la *velocità di evaporazione*, in quanto se:

- Scarsa, ritarda l'essiccamento del film, favorisce la distensione ma aumenta il rischio di colature.
- Eccessiva, ostacola la distensione del prodotto verniciante.

2.2.4 Cariche

Altri componenti di un prodotto verniciante come le **cariche** sono materiali inerti usati come riempitivi: silicati di alluminio (caolino); silicati doppi di calcio e magnesio (talco); farine fossili (diatomee); solfato di bario (barite); carbonato di calcio (calcite); ossido di silicio (quarzo).

2.2.5 Additivi

Altri componenti come gli **additivi** poi sono:

- agenti di bagnamento
- essiccativi
- catalizzatori
- agenti antipelle
- regolatori di pH
- additivi reologici
- conservanti
- agenti antischiuma
- inibitori di flash rust
- antivegetativi.

2.3 Caratteristiche indispensabili per una buona pittura

Durata – vita utile di una pittura: dipende dalle caratteristiche chimico fisiche della pittura, dalla preparazione del supporto, dalle capacità dell'operatore – robot.

Bagnabilità buona adesione: preparazione del substrato, uso di additivi idonei.

Impermeabilità: all' O₂, all'acqua agli agenti atmosferici, scelta di pigmenti idonei.

Viscosità: attrito interno o resistenza che gli strati molecolari della pittura incontrano per scorrere l'uno sull'altro. Evitare aggiunte eccessive di diluente che favoriscono l'applicazione, ma riducono la resistenza a corrosione.

Elasticità: caratteristica integrante del film favorita da plastificanti che esaltano elasticità e flessibilità della pittura.

Potere anticorrosivo: caratteristica delle pitture di fondo, dette antiruggine favorita da pigmenti, sostanze solide finemente disperse nel veicolo.

Flessibilità e resistenza all'abrasione: fornita da extender o riempitivi (silicati complessi, ossidi metallici).

Resistenza alle condizioni ambientali di esercizio: umidità, piogge, fumi, gas, nebbie, spruzzi.

Temperature di applicazione: range richiesto dal produttore.

2.4 Tecniche di applicazione

La formazione di un film organico si ottiene mediante l'applicazione di tecniche diverse:

- per distensione (pennello)
- a spruzzo (la più usata)
- a flusso per immersione
- per elettrodeposizione

Grazie all'evaporazione dei solventi, si giunge poi alla formazione di un film secco (essiccazione) e quindi all'indurimento.

L'essiccazione può essere:

- fisica per evaporazione del solvente;
- chimica per reticolazione

Le norme stabiliscono il valore massimo di solventi relativi a prodotti vernicianti utilizzati nell'arco di un anno.

Le emissioni in atmosfera di *Composti Organici Volatili* (V.O.C.) sono regolati dalla 99/13/CEE direttiva europea 1999; dal D.M. 44/04 nazionale 2004 e da Decreti regionali. A tutto ciò consegue la necessità di inserire nell'impianto un *post-combustore* (abbattimento V.O.C.).

La riduzione dell'inquinamento, derivante dalla verniciatura, può essere perseguita non solo intervenendo dopo che l'inquinamento è stato prodotto (abbattimento dei solventi), ma anche a monte con innovazioni nei prodotti vernicianti, cambiando:

- la formulazione del prodotto e/o
- il sistema di applicazione della stessa.

Nuovi prodotti vernicianti sono:

- 1) Prodotti all'acqua: dispersioni di polimeri solidi in acqua
- 2) Rivestimenti high-solid
- 3) Sistemi con reticolazione UV
- 4) Prodotti in polvere

2.5 Prodotti all'acqua

La tradizionale verniciatura a solventi può essere convenientemente sostituita dalle vernici *idrosolubili*. I prodotti vernicianti all'acqua sfruttano le capacità solventi dell'acqua, in grado di sostituire quasi completamente il solvente organico, includendo nella formulazione solo un solvente organico idrosolubile, quale cosolvente, in concentrazione mai superiore al 10%.

In generale esistono tre tipi di vernici all'acqua:

- soluzioni vere e proprie
- soluzioni colloidali
- dispersioni

La natura della resina in questi prodotti può essere acrilica, poliuretanicca o alchilica.

La formazione del film solido per un prodotto all'acqua è diversa rispetto a quella di un prodotto al solvente e prevede:

- evaporazione dell'acqua e dei solventi solubili in acqua con formazione di uno strato impaccato di particelle.
- Fusione chimico-meccanica delle molecole di prodotto.

Con l'evaporazione, man mano che il solvente evapora, le micelle di polimero si avvicinano tra loro. Ad una distanza molto piccola si manifesta il fenomeno di coalescenza:

Forze capillari attrattive superano la tensione superficiale del materiale con conseguente compenetrazione fino a formare un film continuo.

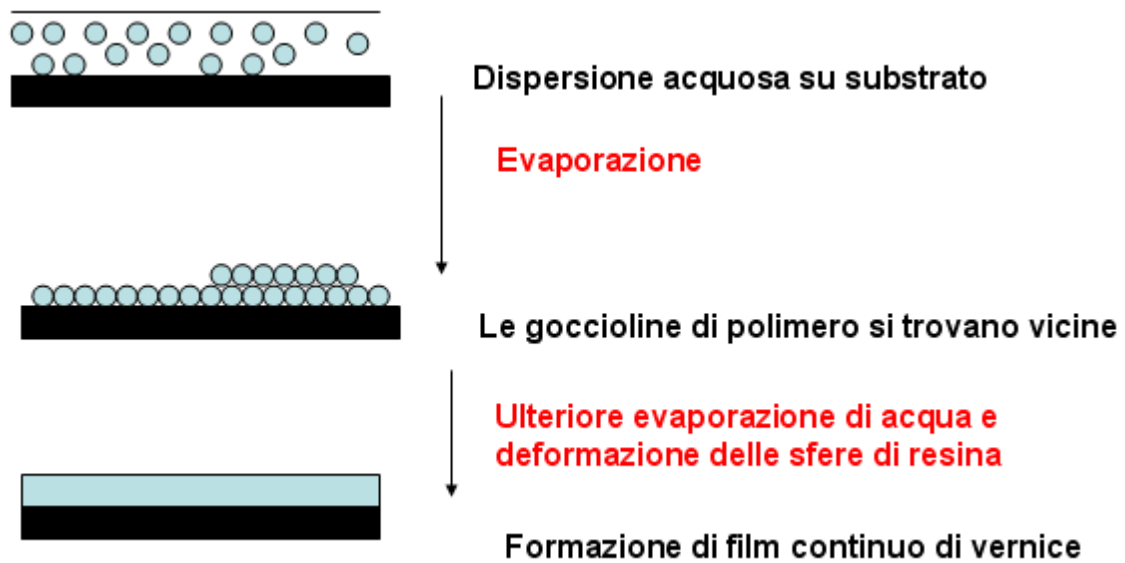


Figura 2.2- Coalescenza

2.5.1 Aspetti applicativi generali

L'utilizzo di acqua come solvente principale crea però alcuni inconvenienti comuni. La fase di essiccamento è generalmente più lunga e delicata per queste vernici a causa dell'elevato calore latente dell'acqua, per questo motivo sono spesso utilizzati sistemi di essiccamento ad aria forzata o forni e vengono utilizzati co-solventi per velocizzare il processo. Le vernici a base acquosa sono generalmente più sensibili al grado di pulizia del substrato da trattare. Di fatto il solvente presente nei prodotti convenzionali è in grado di dissolvere eventuali tracce di olii o grassi, mentre ciò non succede con i prodotti a base acquosa; il substrato dovrà essere completamente sgrassato e dovranno essere rimosse ogni traccia di ruggine e particolato, pena la formazione di crateri e bolle e una minore bagnabilità del substrato, caratteristica quest'ultima più difficile da ottenere a causa dell'elevata tensione superficiale dell'acqua.

La scelta di un co-solvente in una vernice ad acqua può essere quindi cruciale per evitare tali difetti. Sarà inoltre importante evitare che il pretrattamento lasci residui (Es. macchie, aloni, striature) che sono normalmente dissolti dalle vernici tradizionali ma che dopo la verniciatura con prodotti a base acquosa possono diventare visibili.

Una volta terminato il processo di pulizia, le superfici potranno essere seccate naturalmente, con l'ausilio di aria forzata o in forni, in relazione alla composizione del materiale e alle esigenze di spazio e produzione. Il sistema dovrà essere dotato di aspirazione, che convogli i vapori di solventi e acqua, e un sistema di ricircolo del calore per una migliore uniformità della temperatura.

Poiché infine si tratta di prodotti poco tossici, alcuni prodotti vernicianti all'acqua, se non stoccati correttamente, sono passibili dell'attacco di microrganismi (funghi e batteri).

La versatilità dei prodotti all'acqua ha permesso ai vari produttori di vernici di poter formulare fondi, finiture trasparenti e pigmentate, monocomponenti, bicomponenti e ad essiccazione UV, con caratteristiche del tutto simili ai tradizionali prodotti a solvente, sia come caratteristiche tecniche che applicative.

I prodotti all'acqua possono essere applicati in tutti i settori; la tecnologia è consolidata nella verniciatura di manufatti per esterno.

L'applicazione della vernice è finalizzata allo scopo di difendere il pezzo dalla degradazione ad opera di agenti atmosferici e biologici, oltre che conferirgli un migliore aspetto estetico. In particolare, l'applicazione di prodotti all'acqua consente di ottenere una serie di risultati:

- Alcune resine acriliche in dispersione acquosa hanno dimostrato di possedere una resistenza agli agenti atmosferici da due a tre volte superiore rispetto alle resine acriliche a solvente e alle poliuretaniche.
- I prodotti all'acqua hanno una durata superiore rispetto ai prodotti a solvente (in termini di marcamento, invecchiamento accelerato, attacco di funghi).
- La resistenza alla rigabilità è superiore rispetto ai prodotti tradizionali a solvente.
- L'applicazione di prodotti all'acqua richiede parametri diversi di lavorazione in termini di temperatura (non deve scendere sotto i 15°C) ed umidità (non deve mai essere superiore al 60%) in modo da garantire un corretto procedimento di essiccazione ed una buona qualità del prodotto (se il clima è secco e caldo i prodotti all'acqua asciugano anche più velocemente dei prodotti a solvente).

L'accatastamento dei pezzi verniciati deve essere necessariamente preceduto dal loro raffreddamento, per evitare un eventuale incollaggio; inoltre, durante i primi giorni seguenti all'applicazione del prodotto verniciante, i manufatti non devono venire a contatto con l'acqua onde evitare la formazione di vescichette biancastre.

Il trasporto e lo stoccaggio dei prodotti all'acqua devono essere effettuati ad una temperatura non inferiore 5°C, al fine di evitare il deterioramento.

Le vernici idrosolubili vanno utilizzate in tempi abbastanza rapidi in quanto, una volta che entrano in contatto con l'aria, possono imputridire a causa dell'attacco di batteri, lieviti e funghi.

I prodotti all'acqua possono essere applicati, nella maggioranza dei casi, con le normali attrezzature impiegate per le tradizionali tipologie di prodotto. Le applicazioni con macchine *velatrici* richiedono invece una sostituzione delle pompe ad ingranaggi che possono dare fenomeni di grippaggio a causa del maggiore attrito delle vernici all'acqua rispetto alle vernici a solvente; le pompe a membrana consentono di superare tale problema.

Nella figura sottostante è illustrata una cabina di verniciatura ad acqua.

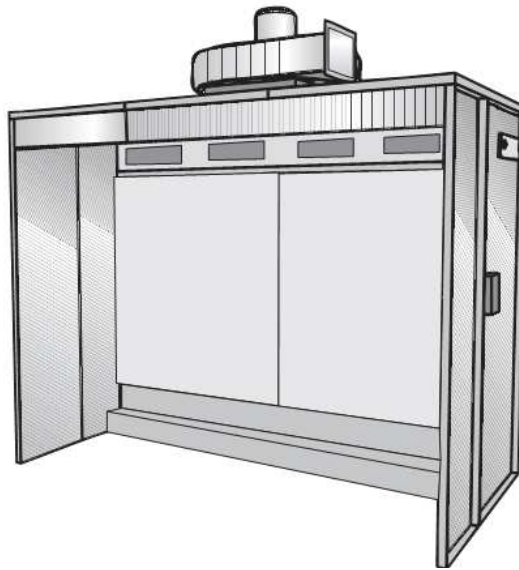


Figura 2.3- Cabina di verniciatura ad acqua

La cabina di verniciatura a velo d'acqua con vasca corta e pareti prolungate con plenum di recupero area di serie, è costituita essenzialmente da:

- Vasca in lamiera zincata di robusto spessore
- Struttura in pannelli a sandwich di spessore 30 mm con lamiera zincata e pre-verniciata a caldo sia all'interno che all'esterno e poliuretano espanso ad alta densità nella intercapedine. Sul tetto della parete frontale è montato un plenum completo di filtri a materassino per un eventuale recupero dell'aria esterna.
- Aspiratore montato sul tetto della cabina, con pale radiali, corredato di un motore elettrico trifase a 900 giri. Velocità dell'aria frontale 0,4 m/s come da normative vigenti.

L'aria aspirata prima dell'emissione in atmosfera attraversa 3 abbattimenti montati in serie:

- Sul velo frontale a scorrimento d'acqua
- Nell'intercapedine fra il velo d'acqua e la parete dietro con spruzzi d'acqua a pressione su un battente fisso
- Con cassette superiori al velo, estraibili dall'interno con materassino di resina PAINT STOP, funzionanti anche come separatori di gocce.

Nella vasca zincata è alloggiata una pompa sommersa con girante semi aperto che assicura il ricircolo dell'acqua. La pompa è raccordata agli abbattimenti ed è completa di saracinesche di regolazione.

E' possibile abbinare alla cabina un depuratore a carboni attivi per la depurazione dei solventi.

Per l'impiego dei prodotti all'acqua sono possibili due differenti cicli di verniciatura: il ciclo industriale e il ciclo artigianale.

Il Ciclo industriale:

Consiste in una prima fase di impregnazione ad immersione o a flow coating con un consumo medio di circa 50-80 g/mq di prodotto verniciante. L'impregnante essicca in circa 2 o 3 ore in ambienti con buona circolazione d'aria consentendo all'acqua di evaporare.

Le quantità di vernice applicata variano dai 200 ai 250 g/mq.

L'ultima operazione riguarda l'essiccazione della finitura in tunnel a 35-40°C con ottima circolazione d'aria per un tempo di circa tre ore in modo da ottenere pezzi che possono essere accatastati a libro.

Il Ciclo artigianale:

Si compone sempre di una prima fase di impregnazione ad immersione o flow-coating seguita, dopo l'essiccazione, da una mano di fondo trasparente che permette di avere un film dallo spessore consistente e quindi poter carteggiare con maggiore tranquillità senza correre il rischio che si verifichino spellature e garantendo un elevato grado di finitura.

L'evoluzione delle nuove tecnologie volte a migliorare la qualità del prodotto e, nello stesso tempo, contenere i costi di lavorazione, è notevole nella costruzione di una vasta gamma di macchine: dalle cabine di verniciatura, ai flow-acting per l'impregnazione in automatico, agli impianti di verniciatura manuali ed automatici con sistema di recupero vernici, reciprocatori e sistema di verniciatura elettrostatico.

Oggi possiamo lavorare con risultati eccezionali su fondi sintetici, poliuretanic, poliesteri, UV a spruzzo, ecc. Arrivando ad avere il nostro manufatto come fosse lavorato dalla mano dell'uomo, con una differenza essenziale e cioè che questo risultato è stato fornito da una macchina. I produttori di prodotti vernicianti, dal canto loro, hanno e stanno immettendo nel mercato prodotti sempre più specifici atti alla lavorazione tramite queste macchine.

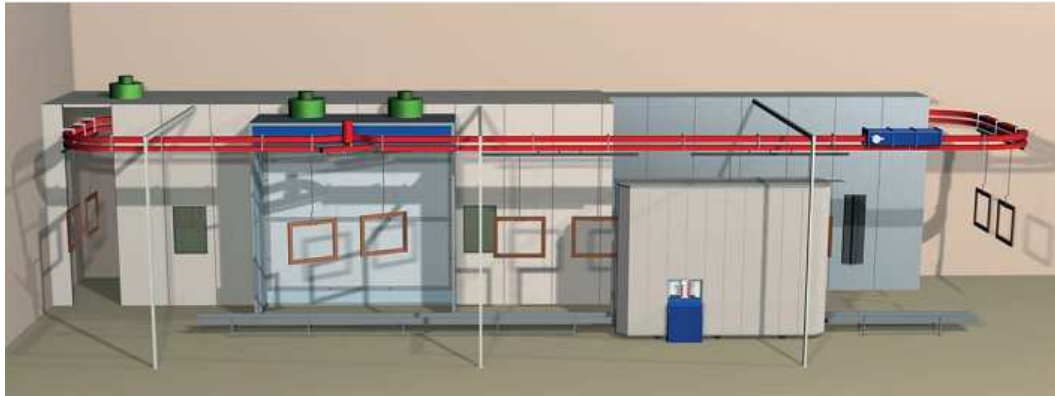


Figura 2.4- Impianti automatici

Il ciclo di lavorazione ha inizio con l'uscita del pezzo dal magazzino, o da un altro punto chiamato punto di carico, per entrare nel flow-coating dove verrà applicato a doccia dell'impregnate o del colore. Completamente impregnato il serramento esce dal flow-coating e si posiziona all'interno del magazzino di passivazione. Durante questo percorso si incontrano appositi gocciolatoi che convogliano l'eccesso di prodotto nella vasca di recupero.

Per riparare dalla polvere gli pezzi verniciati e per permettere una più rapida essiccazione, le barre si posizionano all'interno di un magazzino di accumulo, normalmente realizzato con pannelli sandwich. All'interno di questo tunnel viene immessa dell'aria calda che consente al prodotto impregnato o verniciato una più rapida essiccazione, permettendo la

realizzazione di impianti di dimensioni più ridotte pur mantenendo costante il numero dei pezzi da lavorare.



Figura 2.5- Tunnel di impregnazione

La movimentazione della catena avviene con l'ausilio di un gruppo di traino che la aggancia contemporaneamente in due punti diminuendo in modo considerevole lo sforzo di traino.

Esistono due tipi principali di impianti: a carrello singolo e a carrello doppio. Nel primo caso il carrello comprende una struttura a corona che, in presenza di stazioni di rotazione, permette alla barra di posizionarsi parallelamente o perpendicolarmente all'asse del birotella, secondo l'esigenza della manovra da effettuare. Nel secondo caso i carrelli presenti nella barra portapezzi sono due. Questo accorgimento consente di facilitare l'operazione di carico e di ottenere un avanzamento più omogeneo. Uno speciale sistema di rotazione, posto davanti alla cabina di verniciatura, permette alla barra portapezzi di ruotare di 180° e consente quindi all'operatore di verniciare comodamente il pezzo in entrambi i lati.

L'operazione di rotazione della barra è facilmente eseguibile dall'addetto, agendo su un'apposita pulsantiera posta al lato della cabina.

Negli impianti più sofisticati è possibile sostituire la cabina di verniciatura con una parete di recupero per vernici idrosolubili con sistema di spostamento pneumatico lasciando inalterato il sistema di funzionamento dell'impianto.

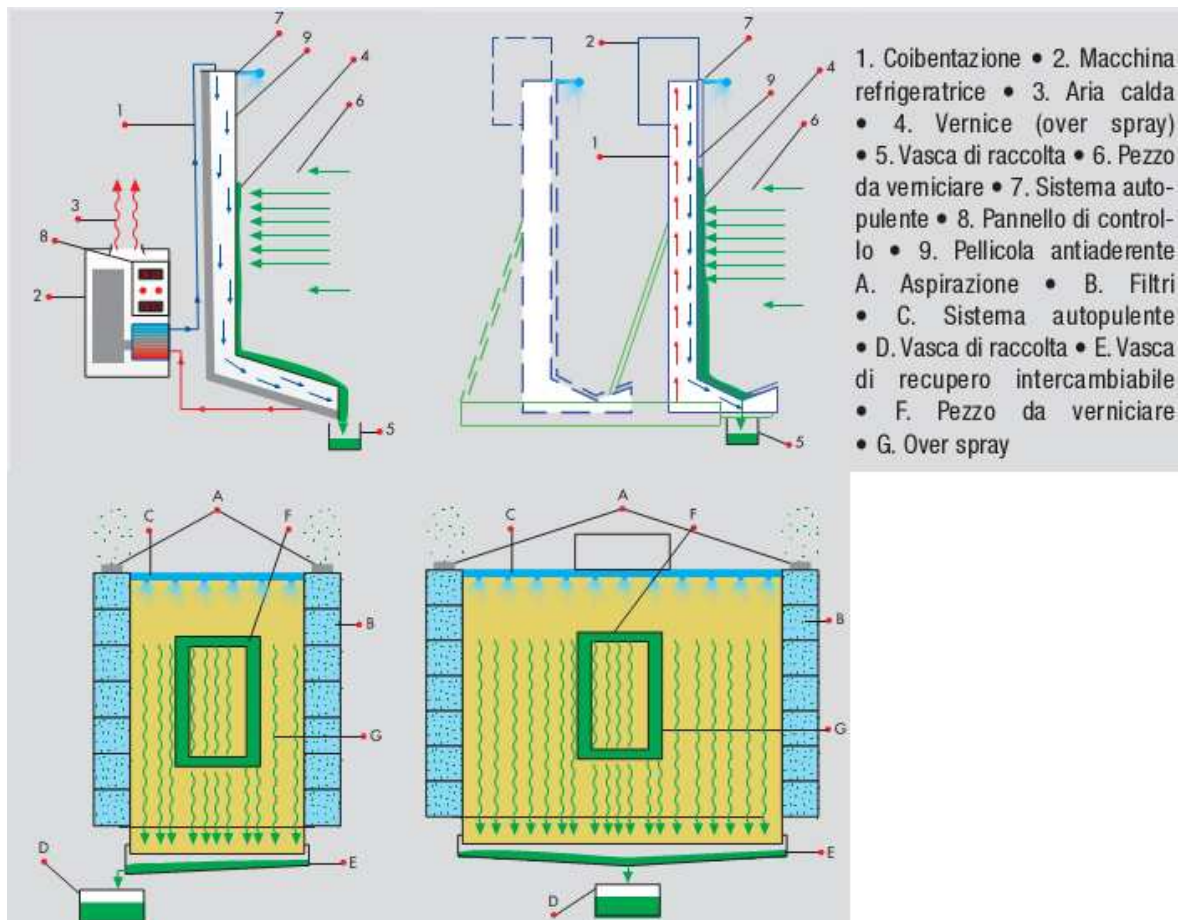


Figura 2.6- Esempi di pareti di recupero vernici idrosolubili

Dove invece la velocità di lavorazione deve esprimersi al massimo, la cabina viene sostituita da due pareti di recupero fisse e contrapposte abbinata a due *reciprocatori*, a due assi per la verniciatura in automatico ed eventualmente un sistema elettrostatico per garantire un maggiore grado di finitura nell'applicazione della vernice.

Questo sistema evita la perdita di tempo della rotazione a 180° e l'utilizzo dell'uomo è limitato al solo carico e scarico dei pezzi e ad un controllo generale durante il funzionamento dell'impianto.

Le pareti di recupero per vernici a base idrosolubile, in alcuni casi sono progettate e costruite con un sistema innovativo che permette di recuperare quasi totalmente l'over-spray di verniciatura che con una semplice cabina di verniciatura, a secco o a velo d'acqua andrebbe perso del tutto. E' chiaro che questo sistema porta vantaggi notevoli sia ai piccoli utilizzatori, sia alle grosse industrie. Oltre a questo enorme vantaggio, le emissioni di particolato in atmosfera saranno quasi nulle e l'ambiente resterà pulito riducendo sensibilmente anche l'onere dello smaltimento dei prodotti vernicianti. I costi di

gestione di queste apparecchiature, inoltre, sono praticamente inesistenti, come la loro manutenzione, permettendone un uso prolungato nel tempo con un ammortamento molto rapido.

L'applicazione di queste macchine è ideale sia per sistemi di verniciatura automatici (robot o reciprocatori), sia per la verniciatura manuale creando un apposito sistema basculante che arretra la parete per permettere la rotazione del pezzo da verniciare.

La vernice recuperata può essere riutilizzata immediatamente senza perdere le sue proprietà originarie.

I reciprocatori vengono normalmente collocati in sistemi di verniciatura automatica per poter applicare i prodotti vernicianti senza l'ausilio dell'uomo. In parole semplici, se nel nostro reciprocatore abbiamo una o più pistole che devono verniciare, per esempio una finestra, il ponte di lettura invierà le dimensioni del pezzo al computer il quale farà spruzzare le pistole nel punto in cui la massa è stata letta; nel gergo della verniciatura si dice che viene letto e quindi verniciato solo il " " pieno ". I reciprocatori hanno una gestione elettronica per determinare la corsa, l'accelerazione e la decelerazione delle rampe, gli eventuali spostamenti e le velocità di traslazione; tutti questi dati possono essere gestiti indipendentemente uno dall'altro dall'utilizzatore finale.

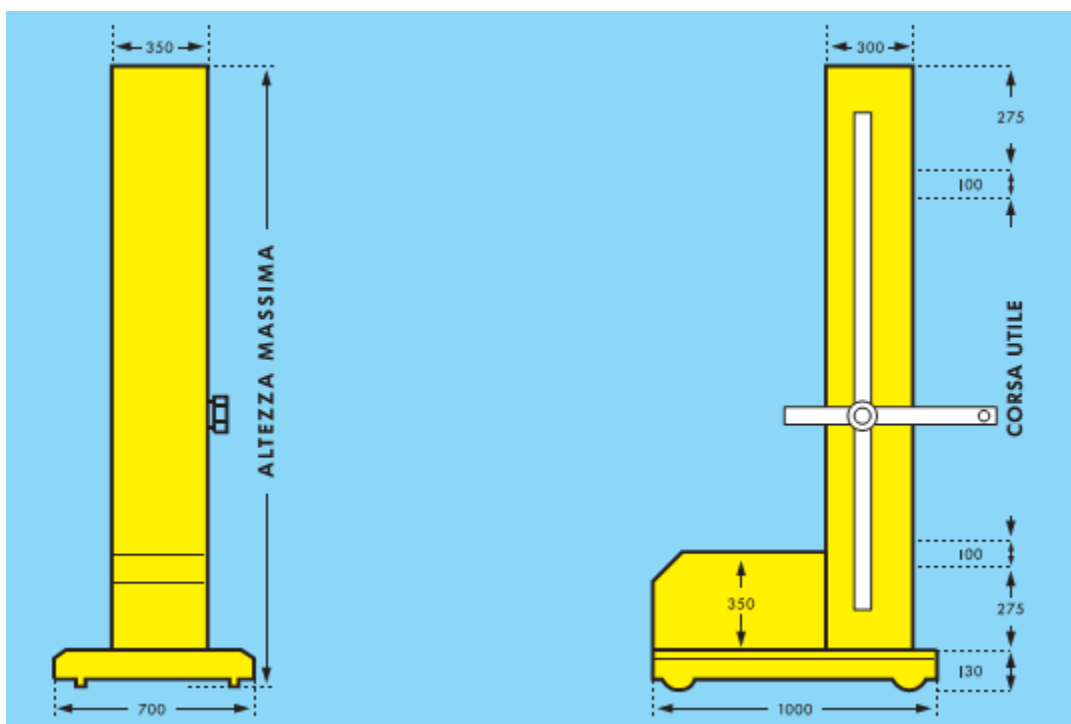


Figura 2.7- Esempio di reciprocatore verticale

I vantaggi che queste macchine possono offrire sono:

- possibilità di verniciare in verticale anche pezzi di grandi dimensioni
- aumento considerevole della produttività
- tempi di fermo inesistenti
- apprensione di più manufatti alla stessa barra
- con 2 reciprocatori contrapposti si ha l'eliminazione della rotazione, con tempi di applicazione molto più veloci.

Il **Robot** di verniciatura è una macchina controllo elettronico concepita per eseguire in modo automatico operazioni verniciatura e spruzzatura in genere, particolarmente adatta per l'utilizzo di sistemi elettrostatici nella verniciatura di particolari in legno, plastica o metallo. programmazione dei cicli di lavoro si utilizza il sistema ad autoapprendimento diretto, l'operatore eseguirà il ciclo di verniciatura desiderato, il computer di controllo provvederà alla memorizzazione delle traiettorie eseguite, per poi ripeterle fedelmente a velocità uguale o diversa (maggiore o minore) a quella di programmazione.



a
di
Per la

Figura 2.8- Robot

L'irraggiamento è una forma particolare di trasmissione dell'energia mediante, “onde elettromagnetiche” (**raggi infrarossi**) che si trasforma in calore a contatto con qualsiasi tipo di corpo assorbente. Viaggia alla velocità della luce, non scalda l'aria ma solo i corpi che la assorbono.

I “raggi infrarossi” di tipo noto sono denominati ad onde “medie”, “corte” e “cortissime”, poiché, generati mediante dispositivi irraggianti ad elevate temperature, producono onde elettromagnetiche a frequenze elevate, molto vicino allo spettro della luce visibile. Tali sorgenti di energia elettromagnetica trovano applicazione in molti settori dell'industria, riassumibili in tutti i trattamenti termici di tipo superficiale.

Uno svantaggio però di tali onde “medie”, “corte” e “cortissime” risiede nella loro scarsa capacità di penetrare sufficientemente nello spessore di prodotto da trattare, non consentendo così di ottenere benefici in tutti quei trattamenti così detti “superficiali” che richiedono o necessitano invece di penetrazioni maggiori, per esempio per molti micrometri, o millimetri o addirittura centimetri.

Un altro svantaggio delle onde “medie”, “corte” e “cortissime” risiede nell’elevata “potenza specifica” (“intensità”) irradiata che sovente non consente di essere impiegata in tutti quei processi che richiedono invece trattamenti più delicati, ovvero con potenze specifiche medio basse.



Figura 2.9- Tunnel di essiccazione a infrarossi

2.5.2 Aspetti ambientali e di sicurezza

Attraverso l’uso di prodotti vernicianti all’acqua si ottiene la riduzione delle emissioni di COV ad un valore inferiore al 10% rispetto ai risultati ottenuti con le vernici a solvente.

In questi prodotti gran parte della frazione solvente è costituita dall’acqua ciò riduce significativamente la concentrazione di composti organici che raggiunge anche valori del 4-5%. Grazie a questa caratteristica possono essere contenuti i costi di acquisto e gestione dei sistemi di abbattimento (es. carboni attivi, post-combustore).

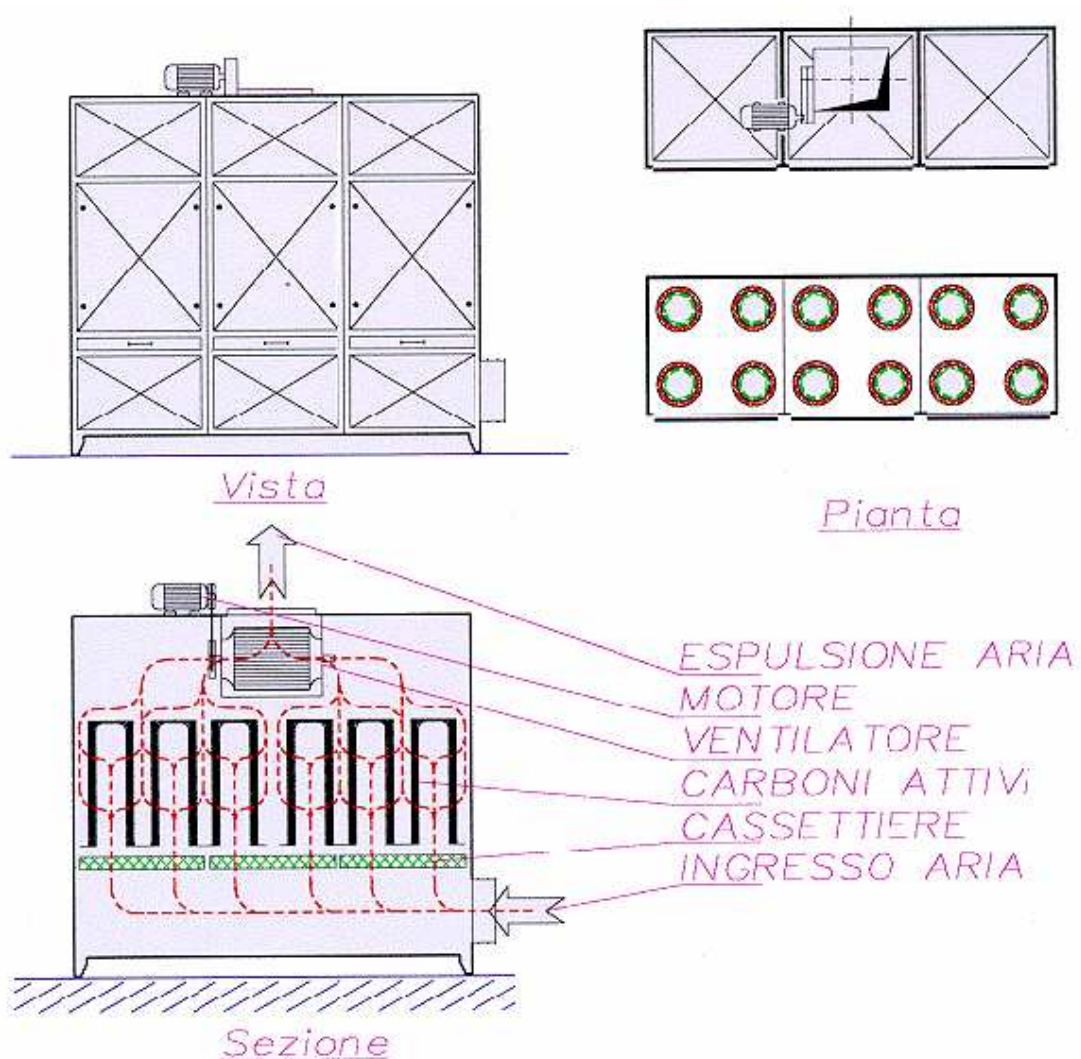


Figura 2.10- Filtri a carboni attivi

A questo si aggiunge che questi prodotti sono meno tossici e con caratteristiche di bassa o nulla infiammabilità. La maggior parte delle vernici a base acquosa sono inoltre inodori.

Per quanto riguarda la sicurezza è consigliato per il loro stoccaggio, in conseguenza dell'elevata conducibilità, la scelta di un luogo isolato elettricamente o nel quale sia installato un sistema di bloccaggio della corrente. Infine è da notare che, benché contengano una limitata concentrazione di COV, le vernici a base acquosa mostrano generalmente contenuti maggiori di altri inquinanti atmosferici.

La riduzione dell'inquinamento atmosferico è evidente se si tiene conto che:

- 1 Kg di vernice a solvente inquina l'aria con circa 600/700g di solvente rilasciati sotto forma di vapori (parte volatile del prodotto);

- 1 Kg di vernice all'acqua inquina l'aria con circa 60/70g di solvente sotto la medesima forma.

2.5.3 Aspetti economici

La valutazione economica derivante dall'utilizzo di vernici ad acqua deve considerare che:

- questa tipologia di vernici ha un prezzo che oscilla tra il 20-50% in più degli altri prodotti vernicianti, ma il costo superiore viene completamente compensato da un residuo secco più alto, che significa minor consumo per metro quadrato, impiego di acqua (invece del solvente di lavaggio) per le operazioni di pulizia, eliminazione delle spese di abbattimento delle emissioni;
- i principali costi di investimento sono legati alla necessità di controllare le condizioni climatiche durante l'applicazione e essiccazione della vernice;
- non essendo vernici infiammabili, il loro utilizzo permette di ridurre notevolmente i costi assicurativi, garantendo una maggior sicurezza dell'ambiente di lavoro;
- se le condizioni climatiche sono conformi alle esigenze della vernice all'acqua il tempo richiesto per l'essiccazione è inferiore rispetto ai prodotti a solvente.

2.5.4 Verniciatura elettroforetica

E' una verniciatura all'acqua , a immersione, in cui per effetto di polarizzazione catodica o anodica un film di vernice si deposita sul pezzo.

Utilizzata come mano di fondo di grandissima importanza pratica per le eccellenti prestazioni anticorrosionistiche.

Per l'elevato potere penetrante "throwing power" consente la verniciatura di scatolati come le strutture portanti delle carrozzerie.

2.6 Vernici ad alto solido

Le vernici ad alto solido sono prodotti mono o bicomponenti caratterizzati da un contenuto di sostanza organica volatile minore rispetto ai prodotti tradizionali. Le concentrazioni di volatili si attestano comunemente intorno al 40-50% (valori minori si trovano in vernici ad alto solido a base acquosa) e dipendono comunque dal sistema legante. Questi prodotti si contraddistinguono, pur contenendo un alto residuo secco, per la bassa viscosità che è

possibile ridurre ulteriormente in modo significativo con piccoli incrementi di temperatura, evitando quindi diluizioni con solventi in fase di utilizzo. Le prestazioni meccaniche e di resistenza dei film prodotti da vernici ad alto solido sono comparabili con quelle dei prodotti convenzionali.

Le vernici poliuretaniche ad alto solido sono il risultato della riduzione dei solventi contenuti nei tradizionali prodotti vernicianti.

La presenza ridotta di solventi nella formulazione del prodotto, se da una parte apporta un'evidente beneficio ambientale, dall'altra è in grado di complicare il modo di "filmare" dello strato verniciante, allungando il tempo di applicazione, essiccazione e di maneggiabilità dei pezzi trattati.

I problemi più comuni che è possibile riscontrare con queste vernici sono la bassa adesività e la corrosione del substrato, spesso causate dalla presenza di ossido di alluminio, ruggine, sporco residuo o da risciacqui insufficienti. Il pretrattamento con fosfato di zinco permette di migliorare notevolmente il grado di adesività, la resistenza all'acqua e alla corrosione da ossigeno. Per il pretrattamento può essere utilizzato anche il fosfato di ferro che però dona una minore resistenza alla corrosione e richiede quindi spesso un maggiore spessore.

Da un punto di vista economico è da notare che tali prodotti mostrano anche una maggior resa di verniciatura. Sono comunemente utilizzati per applicazioni su metalli.

2.7 Vernici ad essiccazione UV

Accanto ai prodotti vernicianti di più largo impiego nell'industria, trovano spazio le vernici polimerizzanti all'UV, che rappresentano ormai una realtà consolidata, raggiungendo in Italia il 15% del mercato. La tecnologia UV si basa sul seguente principio di reazione di reticolazione:

- dapprima ad opera di una sorgente UV e di fotoiniziatori, viene promossa la rottura dei doppi legami tra atomi di carbonio presenti nelle catene polimeriche dei prodotti vernicianti;
- in seguito i legami rotti si riformano spontaneamente tra catene diverse provocando la reticolazione, e quindi l'indurimento del prodotto.

Rispetto alla gamma complessiva di vernici all'UV si trovano, sia prodotti a base di solventi sia vernici che ne sono totalmente prive.

La tecnologia UV offre una significativa serie di vantaggi, sia di tipo ambientale che di tipo produttivo:

- La velocità di essiccazione / accatastamento consente un'elevata produttività.
- Il film di vernice polimerizzata all'UV presenta caratteristiche di ottima resistenza chimico-fisica e fornisce così un profilo di qualità elevato al manufatto.
- I forni di essiccazione sono di dimensioni ridotte, occupano un decimo di spazio rispetto ai sistemi tradizionali.
- Gli impianti per la tecnologia UV sono molto versatili e flessibili e rendono possibile l'impiego di una vasta gamma di prodotti.
- Vantaggi economici, dovuti agli odierni aumenti, spropositati, del petrolio, e quindi del gas metano.

2.7.1 Aspetti tecnico-tecnologici

Il sistema di verniciatura ed essiccazione a raggi ultravioletti richiede specifiche tecniche di applicazione in relazione agli effetti finali che si devono ottenere. Esse sono:

- a) macchina a rullo
- b) stuccatrice
- c) macchina reverse
- d) velatrice
- e) macchina a trafilatura a vuoto
- f) macchina a nastro
- g) spruzzo

Per l'essiccazione dei vari prodotti UV possono essere distinte tre diverse fasi:

- flash-off
- gel-time

- curing: essiccazione completa del film mediante lampade ad alta pressione a vapori di mercurio o appropriatamente dotate da 80 a 300Watt/cm.

La combinazione di queste tre azioni consente la completa polimerizzazione, e quindi la buona qualità del prodotto trattato, di qualsiasi vernice UV.

L'applicazione di questo tipo di vernice implica l'adozione di una adeguata impiantistica:

- cabina di spruzzatura condizionata a 21°C e 60% di umidità relativa;
- zona di flash-off ad aria condizionata alla minima umidità possibile con immissione uniforme "" a percussione "" a temperatura massima 35/40°C;
- zona di fotopolimerizzazione con lampade UV ad alta potenza opportunamente orientate (80-120Watt).

2.7.2 Aspetti ambientali e di sicurezza/salute

La tecnologia UV permette di conseguire benefici ambientali tramite una riduzione dell'inquinamento sia interno che esterno, grazie all'impiego di prodotti vernicianti ad alto residuo secco (fino al 100x100 per i fondi e 85-100x100 per le finiture).

Questa loro caratteristica consente di ridurre notevolmente le emissioni in atmosfera di sostanze organiche volatili: adottando una misura prudenziale, si può affermare che le emissioni di solventi non superano il 10%.

Oltre all'aspetto legato alla diminuzione delle emissioni di solvente (che si traduce anche in un aspetto di tipo economico, poiché l'elevato residuo secco della vernice applicata corrisponde ad una massimizzazione della resa del prodotto) le vernici polimerizzabili all'UV comportano altri benefici ambientali, quali:

- una riduzione dei consumi energetici in fase di essiccazione permessa da una minore richiesta energetica dei sistemi a UV rispetto ai sistemi termici;
- una drastica riduzione dei rifiuti composti da scarti di vernice .

Gli operatori addetti alla verniciatura devono essere protetti dalle radiazioni ultraviolette generate dalle lampade con cui si trattano i pezzi verniciati: gli impianti UV sul mercato sono strutturati adeguatamente mediante segregazione delle lampade e garantiscono la sicurezza degli addetti.

2.7.3 Aspetti economici

La tecnologia UV offre una serie di vantaggi dal punto di vista economico:

- il volume di vernice utilizzato può essere ridotto grazie alla resa elevata garantita dall'alta percentuale di residuo secco;
- il personale richiesto per questo tipo di ciclo può essere ridotto fino a 1/3 rispetto al più semplice ciclo tradizionale;
- i costi di lavorazione possono essere ridotti grazie ad una più razionale gestione e programmazione dei componenti da verniciare;
- i tempi di essiccazione sono rapidissimi e ciò consente livelli di produttività molto elevati;
- le vernici non catalizzate, se non ancora adoperate, possono essere consumate in seguito, eliminando gli sprechi;
- la resa delle vernici UV per mq risulta essere circa il triplo rispetto a tutti gli altri tipi di vernici;
- il costo della vernice deve essere valutato in rapporto al residuo secco; i prodotti ad altissimo secco permettono di raggiungere un'elevata efficienza di trasferimento eliminando gli sprechi di prodotto.

2.8 Vernici in polvere

Le vernici in polvere sono prodotti organici sotto forma di polvere; diversamente dalle vernici liquide, nella singola particella è compresa l'intera formulazione che comprende resine, pigmenti e altri additivi. In queste vernici non sono presenti solventi. Esistono vernici in polvere che, impastate con acqua, formano una vernice liquida che può essere spruzzata. Questo è il sistema più economico e facile per la sostituzione di sistemi a base acquosa che inoltre mantiene tutti i vantaggi ambientali delle vernici a polvere secche.

Le vernici in polvere, diversamente da quelle liquide vengono normalmente applicate in solo strato che provvede ad una migliore protezione dei bordi e gode di proprietà fisiche superiori quali prima di tutte un'estrema durezza e resistenza.

Generalmente è difficoltoso applicare film molto sottili se non con speciali formulazioni. L'apparenza globale del film può essere piuttosto scadente se lo spessore è minore di 0,635mm, in questo caso infatti può sopravvenire la buccia d'arancia. La resistenza ad

ammaccamenti e scalfitture delle vernici non colorate è, in questo caso, minore se comparata a quella ottenibile con i migliori sistemi con vernici a base solvente.

Film di vernici in polvere troppo sottili possono causare:

- riduzione della resistenza alla corrosione;
- riduzione della resistenza chimica;
- riduzione dell'isolamento elettrico;
- apparenza globale, tessitura, colore e lucentezza inconsistenti o scorretti;
- buccia d'arancia;
- riduzione della copertura dei bordi;
- formazione di alveoli;
- formazione di granuli.
-

Film di spessore eccessivo possono presentare d'altro canto, i seguenti problemi:

- riduzione della resistenza all'impatto;
- riduzione di flessibilità;
- riduzione della resistenza alla scheggiatura;
- apparenza globale, tessitura e lucentezza inconsistenti o scorretti;
- buccia d'arancia.

I difetti che si incontrano più frequentemente con le vernici in polvere sono la formazione di alveoli, crateri, granuli e protuberanze. E' invece molto raro imbattersi in difetti quali colate, insaccature e gocciolamenti. La contaminazione dell'aria, con le vernici in polvere, è un problema facilmente risolvibile, è infatti possibile, poiché non vi sono solventi, ricircolare e filtrare l'aria nella cabina di applicazione. E' importante che la polvere non sia contaminata da altri colori che, una volta seccati sulla superficie rimarrebbero visibili.

Le vernici in polvere, tra i pregi che le contraddistinguono, hanno una buona resistenza al calore: esse possono infatti essere applicate a oggetti che, nel corso del loro utilizzo, possono essere sottoposti ad intensi riscaldamenti (fino a 200°C); particolari tipi di vernici in polvere resistono a temperature anche più alte (le polveri al silicone resistono fino a 370-480°C, mentre sono in fase di sviluppo vernici che resistono a 500°C).

Lo strato di vernice in polvere aderisce bene al substrato non dando problemi di sfaldamento, scheggiatura o spellatura, come succede per le vernici liquide. Grazie a

queste proprietà le parti, dopo essere state verniciate con questi prodotti, possono essere lavorate a macchina.

Riassumendo, i prodotti vernicianti in polvere offrono vantaggi:

- utilizzo 95-98%
- minori costi di smaltimento
- minori costi energetici per assenza di solvente
- facilità di applicazione (unica mano 100-150 micrometri)
- minori spese di manutenzione
- riduzione di scarti per difetti di lavorazione
- forte riduzione delle emissioni di sostanze volatili come vapori a seguito di cottura in forno
- maggior sicurezza nell'ambiente di lavoro
- riduzione rischio incendio

e svantaggi:

- Tempo cambio colore elevato, quindi riduzione di produttività
- Rischio esplosioni contenuto
- Limiti di aspetto: buon aspetto superficiale, ma non tutte le prestazioni dei prodotti a solvente sono ottenibili.

Quasi tutte le resine utilizzate per le vernici liquide possono essere utilizzate anche per quelle in polvere. In genere, comunque, le più utilizzate sono quelle:

- epossidiche: le vernici in polvere epossidiche offrono ottima resistenza meccanica, chimica e alla corrosione. Queste caratteristiche prestazionali si possono ottenere anche a basse temperature d'indurimento per p.es. 15 minuti a 130°C (temperatura del metallo). L'inconveniente principale è che le resine epossidiche hanno scarsissima resistenza all'esposizione ai raggi UV.
- Ibridi (epossi-poliesteri): spesso gli ibridi rappresentano un'alternativa economica alle polveri epossidiche. La resistenza alla corrosione non è così buona come quella di una polvere epossidica ma le altre caratteristiche prestazionali sono simili. Gli ibridi sono in grado di produrre film con ottima distensione e vengono spesso

utilizzati come primer. Dato che gli ibridi hanno scarsa resistenza ai raggi UV occorre assicurarsi che le mani di finitura siano completamente opache ai raggi UV.

- **Poliesteri:** le vernici in polvere poliestere sono i prodotti d'elezione per l'applicazione su elementi di finitura esterni perché hanno una buona resistenza ai raggi UV. Per tradizione, un'altissima resistenza agli agenti atmosferici esterni era la peculiarità degli acrilici, ma i recenti sviluppi della tecnologia dei poliesteri permettono a questa classe di prodotti di offrire una resistenza pari ad almeno 5 anni di esposizione in Florida. I poliesteri offrono una buona resistenza alla corrosione su un adeguato strato di pretrattamento, ma non allo stesso livello delle epossidiche. Per tradizione i poliesteri sono fatti indurire tra i 160° e i 200°C.
- **Acriliche:** i sistemi acrilici offrono ottima resistenza ai raggi UV e resistenza chimica, ottima distensione ma la resistenza meccanica, benché adeguata, è inferiore a quella dei sistemi poliesteri. I sistemi acrilici hanno perso terreno nel comparto delle applicazioni su elementi di finitura esterni rispetto ai sistemi poliesteri a curabilità prolungata a causa del minor costo dei poliesteri.
- **Poliuretatiche:** buone caratteristiche chimiche e meccaniche.

Tali polveri si suddividono in **termoplastiche** (fluidificano quando è applicato il calore e non modificano la loro composizione chimica quando tornano solide per raffreddamento) e **termoindurenti** (polimerizzano quando è applicato sufficiente calore).

Le resine più comuni delle **polveri termoplastiche** sono:

- polietilene;
- polipropilene;
- nylon;
- polivinilcloruro;
- polivinilidenecloruro;
- poliammidi;
- poliesteri termoplastici

Sono utilizzate quando necessitano film spessi e dalle eccezionali performance di resistenza.

Le **polveri termoindurenti** sono invece costituite perlopiù da:

- resine epossidiche;
- resine poliesteri;
- resine acriliche.

Le vernici in polvere che polimerizzano a temperature contenute (minori di 149°C) contengono resine epossidiche, epossidiche-poliesteri, poliuretaniche e TGIC ed hanno le seguenti caratteristiche:

- epossidiche: induriscono a temperature comprese tra 116 e 119°C, sono disponibili in un'ampia gamma di livelli di lucentezza (anche opache) e sono applicabili a molti substrati metallici e non. Possono avere problemi di durata, per cui può essere necessario uno stoccaggio in ambienti refrigerati;
- epossidiche-poliesteri: polimerizzano a temperature comprese tra 138 e 149°C e sono disponibili in tutta la gamma di livelli di lucentezza (anche opaco) e tessitura. Possono essere applicate a molti substrati metallici e non, e dimostrano una buona resistenza alla corrosione;
- poliuretaniche: sono caratterizzate da bassa lucentezza ed elevata levigatezza e polimerizzano a 149°C. Danno un'eccellente resistenza alla corrosione e durevolezza all'esterno. Ultimamente sono state sviluppate vernici poliuretaniche di elevata levigatezza, lucentezza e tessitura;
- TGIC (triglycidyl isocyanurate): le vernici TGIC e poliesteri possono polimerizzare a temperature di 135-138°C. Sono applicate ad un'ampia gamma di substrati metallici e non, a cui donano un'eccellente protezione dalla corrosione e durevolezza all'esterno. Sono state sviluppate vernici di questo genere che polimerizzano a temperature di 93°C o meno.

2.8.1 Campo di applicazione

Poiché necessitano di calore per formare il film, le vernici in polvere in generale non sono adatte per il trattamento di substrati sensibili alle alte temperature.

Sono utilizzate perlopiù per il trattamento di metalli, oltre al mercato dell'automobile; sono diffuse anche nel settore della produzione attrezzature industriali.

Ultimamente le formulazioni che polimerizzano a bassa temperatura sono state migliorate e ciò consente una loro diffusione di impiego anche per la verniciatura di substrati sensibili (come possono essere oggetti metallici compositi formati anche da parti in materiale plastico).

2.8.2 Produzione delle polveri

La produzione delle polveri può essere suddivisa in tre stadi principali:

- a) premiscelazione
- b) estrusione
- c) macinazione

Premiscelazione:

Dopo un'attenta pesatura, tutte le materie prime in polvere standardizzate vengono unite tra loro in grande miscelatore sino a creare una miscela, la omogenea possibile. E' un procedimento simile miscelazione di vernici liquide, con la grossa differenza che la tonalità e le altre caratteristiche polvere finita vengono determinate in questa fase, la miscela deve essere assolutamente esatta.

Per questo motivo, si fa passare un piccolo campione dal miscelatore attraverso una linea di produzione da laboratorio, e tutti i parametri della polvere finita vengono attentamente controllati.

Se occorre, il lotto principale viene corretto e

ricontrollato sino a quando presenta le caratteristiche volute. Questa è un'operazione che impiega lungo tempo, per cui si utilizzano sofisticati elaboratori per la messa a punto del colore e per una buona formulazione, in modo da garantire che la polvere premiscelata sia "giusta al primo tentativo".

Estrusione:

La premiscela approvata viene poi passata attraverso un estrusore che consiste in un tubo riscaldato entro il quale, di solito, ruotano contemporaneamente due coclee. Il calore e la frizione generati dalle forze di taglio delle coclee fondono la resina e miscelano intimamente tutti gli altri ingredienti (soprattutto pigmenti e cariche), disperdendoli nella resina fusa.



un
più
alla

della
per cui

Se

Figura 2.11- Miscelatore

Il tempo di permanenza degli ingredienti nella zona di estrusione è di soli 15 secondi circa, per cui, per produrre una vernice a polvere omogenea, è essenziale avere una miscela preparata omogeneamente.

La miscela emerge dall'estrusore sotto forma di liquido caldo (circa 130°C) ad elevata viscosità. Poiché la resina è termoindurente, è assolutamente essenziale raffreddare la miscela il più rapidamente possibile, per evitare qualsiasi reazione di reticolazione. La massa estrusa viene fatta immediatamente passare attraverso rulli raffreddati ad acqua, che l'appiattiscono sino a ridurla in un nastro sottile (di 2mm circa di spessore e 1000mm di larghezza) dotato di una grossa area superficiale. A questo punto il nastro è ancora (circa 70-80°C), e lo si porta a temperatura ambiente facendolo passare su un trasportatore metallico raffreddato ad acqua.

Al termine del trasportatore, il nastro è a temperatura ambiente ed è fragile, per cui viene in granuli e sistemato in cassonetti di stoccaggio.



caldo

ridotto

Figura 2.12- Trasportatore

Macinazione:

I granuli così approvati vengono poi fatti passare attraverso un mulino macinatore, che di un rotore munito di perni, che ruota a 6000 giri/minuto all'interno di una camera pareti scanalate a denti di sega. I granuli violentemente contro i perni, le pareti e l'un sino a ridursi in una polvere fine.

Perché l'operazione abbia successo, è importante che la distribuzione granulometrica della polvere sia controllata accuratamente. Questo si ottiene

introducendo aria nel mulino di macinazione, che trasporta le particelle di polvere in alto verso una ruota che gira ad alta velocità - il "classificatore", da cui possono sfuggire solo le particelle al di sotto di una certa granulometria. Per variare la distribuzione



passare
consiste
circa
con
urtano
l'altro,

Figura 2.13- Mulino macinatore

granulometrica, si possono regolare il flusso dell'aria e la velocità della ruota. Talvolta, per allontanare i "fini", si usa un classificatore secondario.

Il controllo della distribuzione granulometrica è essenziale per avere una buona spruzzatura:

- una polvere troppo grossolana creerà uno strato troppo spesso e non penetrerà sufficientemente nelle cavità.
- Una polvere troppo fine ostruirà le tubazioni d'alimentazione, creerà una carica elettrica troppo elevata che a sua volta produrrà una "ionizzazione di ritorno" ed un brutto effetto a "buccia d'arancia".

E' pertanto essenziale effettuare un attento controllo della distribuzione granulometrica; a questo fine, durante il ciclo di produzione vengono regolarmente presi dei campioni che sono analizzati quasi istantaneamente mediante misurazioni al laser.

Prima che la polvere sia confezionata, vengono eseguiti dei test finali sulla tonalità e su tutti i parametri di prestazione. Normalmente le polveri sono spedite in cartoni, ma anche in fustini.

2.8.3 Aspetti tecnico-tecnologici

2.8.3.1 Pretrattamento

Le vernici in polvere sono comunemente altamente coesive e idrofobiche. L'adesività del film verniciante dipende comunque dal grado di pulizia del substrato (non aderiscono bene su vernici vecchie, fondi e ruggine). Oltre che pulito, il substrato dovrà inoltre essere assolutamente secco per garantire il miglior risultato. Sono pertanto necessari opportuni step di pretrattamento finalizzati ad aumentare l'adesività delle vernici e la resistenza alla corrosione del pezzo verniciato.

Il pretrattamento è di norma simile a quello per le vernici liquide, anche se grazie al maggior spessore del film della vernice in polvere, può essere meno intenso.

Tra i diversi tipi di pretrattamento possibili ricordiamo lo stripping chimico e/o l'utilizzo di mezzi abrasivi (la sabbia non è consigliata). Altri metodi possono essere l'immersione e i

sistemi spray multipli, (alcuni metalli come il magnesio devono essere digrassati prima dell'applicazione per evitare difetti del film).

La pulizia spray o con il vapore è spesso utilizzata per pezzi di elevate dimensioni.

La pulizia con vapore è inoltre tra le soluzioni più economiche di pretrattamento utilizzati per queste vernici.

Prima dell'applicazione è necessario raffreddare il pezzo se il pretrattamento ne ha causato il riscaldamento; la temperatura ideale è tra i 52-54°C.

2.8.3.2 Applicazione

In generale le vernici in polvere richiedono meno abilità nell'applicazione rispetto alle vernici liquide. Possono essere applicate con letti fluidizzati, semplici o elettrostatici, spray a fiamma, stampaggio e spray elettrostatico (sia con pistola a corona che triboelettrica).

Nei primi tempi dell'utilizzo delle vernici in polvere, l'applicazione avveniva soprattutto per mezzo di un "letto fluido", un grosso contenitore della polvere attraverso cui si facevano passare correnti d'aria, e in cui si abbassavano i pezzi riscaldati che venivano poi allontanati quando erano ricoperti di polvere semifusa.

Questa tecnica è utilizzata per stendere film vernicianti di spessore tra 0,25 e 0,76mm, l'efficienza di trasferimento è intorno al 100%. Tra gli svantaggi di questa tecnica ricordiamo la difficoltà a far corrispondere esattamente i colori di partite diverse e l'impossibilità da parte dell'utilizzatore finale di eseguire sfumature o messe in tinta. Questo processo viene ancora oggi utilizzato per polveri termoplastiche come polietilene e nylon. Tuttavia, le polveri termoindurenti vengono applicate in modo molto più efficiente per mezzo di correnti elettrostatiche.

Con l' "elettrostatica a spruzzo", la polvere è erogata da pistole. La polvere caricata negativamente viene depositata sul supporto collegato a terra; le forze di campo sono così elevate che la polvere si deposita anche nella parte posteriore del pannello. Le particelle che non aderiscono al substrato vengono recuperate e riciclate nel nuovo ciclo di produzione. I pezzi con la polvere adesa alla superficie vengono trasportati in forno dove la polvere fonde e si trasforma in film dando un rivestimento liscio ed omogeneo.

Esistono due tipi principali di pistola elettrostatica:

- A effetto corona

- Verniciatura triboelettrica.

A effetto corona:

La pistola a effetto corona crea una tensione elevatissima (50-100KV, corrente ionica di 10 microamp circa) punta della pistola. Man mano che la polvere viene soffiata attraverso la punta della pistola, le particelle di polvere si caricano negativamente nel campo elettrostatico. A questo punto si respingono l'una con l'altra, formando una nuvola, prima di trovare un oggetto collegato a terra, vale a dire l'articolo da verniciare. Le particelle caricate negativamente si depositano sul pezzo che si carica di segno opposto, così che la polvere resta attaccata al pezzo.

Le linee di campo elettrico si addensano su spigoli e punte, meno dense in angoli e superfici interne (gabbia di Faraday) con difficoltà a penetrare nelle cavità profonde.



sulla

Figura 2.14- Pistola ad effetto corona

Verniciatura triboelettrica:

Le pistole triboelettriche utilizzano, per caricare le particelle, la frizione che si tra la polvere in movimento e la canna pistola, per cui il materiale di cui è costruita quest'ultima (teflon), deve essere scelto con cura per creare la massima differenza di tensione tra la canna e la polvere. Si generano cariche, positive sulle particelle di polvere, negative sul tubo di teflon.



crea
della

Figura 2.15- Pistola triboelettrica

Le particelle positive, una volta lasciata la pistola, sono attratte dal pezzo da verniciare collegato elettricamente a massa. Buona è la capacità di penetrazione nelle cavità e negli angoli e grande scarto per le particelle più piccole che non si caricano.

Riassumendo, i componenti di un impianto di verniciatura a polvere sono:

- tunnel di pretrattamento: grassaggio e conversione chimica.

- Forno di asciugamento: T fino a 120°C
- Cabina a polvere: l'efficienza di trasferimento è data dal rapporto tra quantità di polvere che si deposita e polvere erogata dalle pistole (40-75%). L'applicazione della polvere è protetta da correnti d'aria, l'aspirazione di aria impedisce alle polveri di uscire dalla cabina.
- Forno di reticolazione: la temperatura è costantemente controllata (+/- 5°C), così pure le dispersioni di calore.

Altri componenti:

- sistema trasporto pezzi: convogliatore monorotaia
convogliatore birotaia
 - apprensione pezzi: bilancelle per la presentazione dei pezzi nella posizione più favorevole al trattamento.
 - Reciprocatori: movimento delle pistole alternativamente davanti al pezzo da rivestire, in funzione della forma e dimensione del pezzo e della velocità del sistema di trasporto pezzi.
 - Sistemi di separazione polvere: filtri a cartucce
filtri a piastre
cicloni separatori
 - Robot: guida manuale del robot che memorizza la traiettoria mediante linguaggio di programmazione e poi la sa ripetere.

2.8.3.3 Polimerizzazione

La polimerizzazione delle vernici in polvere può essere effettuata in forni a infrarosso, a raggi UV e a convezione (spesso sono utilizzate in serie più tipologie di forno). Il pezzo ricoperto di polvere di vernice è riscaldato comunemente a una temperatura di 120-260°C per un tempo variabile da 30 secondi a 5 minuti.

Maggiore è la temperatura minore è il tempo di trattamento necessario; una volta raffreddati i pezzi sono pronti per le manipolazioni successive.

Sarà importante che il processo di polimerizzazione sia effettuato alla corretta temperatura e per un tempo adeguato; la resistenza alla corrosione è infatti una qualità che si forma alla fine del processo e un prematuro raffreddamento potrebbe inficiare la qualità del film. Insieme allo spessore del film, il grado di polimerizzazione è il parametro più importante per le vernici a polvere, dato che da esso dipende la resistenza del pezzo agli attacchi esterni. Un forte solvente, come il metil-etil chetone, può essere utilizzato per misurare facilmente e velocemente la resistenza chimica del film e, indirettamente, il grado di polimerizzazione della vernice.

Alcune vernici in polvere polimerizzate da raggi UV sono sottoposte a riscaldamenti moderati (fino a 110°C) e possono essere pertanto utilizzate per la verniciatura di supporti sensibili (quali oggetti metallici con componenti eterogenei in alluminio e plastiche). Sebbene la polimerizzazione sia innescata dai raggi UV la polvere necessita di calore per fondere, tipicamente quindi si applica prima l'infrarosso che permette di raggiungere la temperatura ottimale, poi i raggi UV che innescano la reazione. Il riscaldamento delle particelle di polvere con radiazione IR permette la fusione della polvere senza surriscaldare il substrato. Per ottenere un film liscio, la polvere deve essere scaldata alla massima temperatura cui il substrato può resistere. La durata della fase di fusione può essere regolata per ottimizzare il flusso. Dopo la fusione e la coalescenza delle particelle di polvere, si forma un film continuo che viene curato con radiazioni UV.

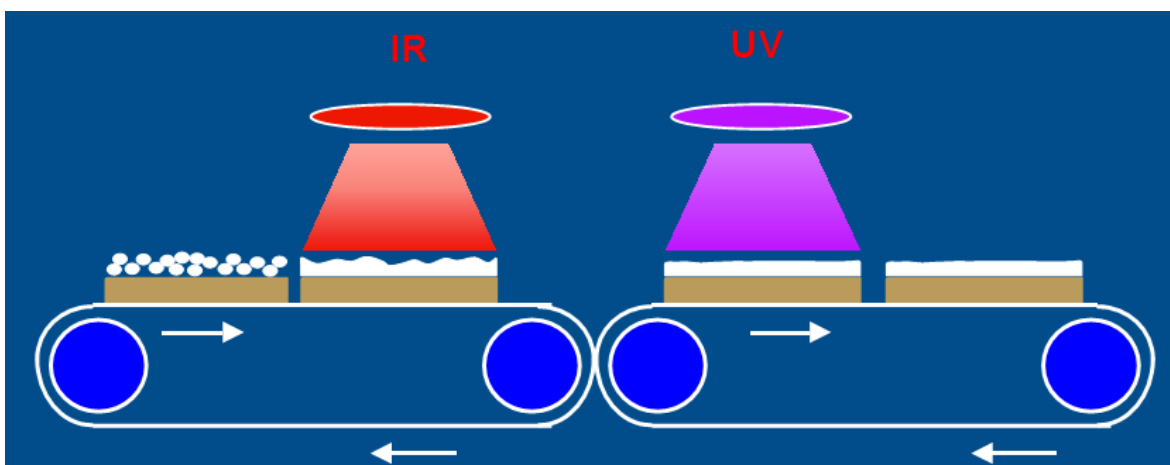


Figura 2.16- Linea combinata della cura IR-UV

Questa separazione di fusione e cura permette il trattamento del rivestimento in polvere in apparecchiature standard, lo stoccaggio della polvere a temperatura ambiente e, allo stesso tempo, assicura un'efficiente cura a temperatura relativamente bassa.

In generale i vantaggi della polimerizzazione a bassa temperatura sono diversi quali: maggiore versatilità di impiego su una più larga varietà di substrati, riduzione del consumo di energia, minori necessità di equipaggiamento, accresciute capacità di produzione.

2.8.4 Aspetti ambientali e di sicurezza

Le vernici a polvere possono essere considerate in assoluto le meno inquinanti: non solo, infatti, sono caratterizzate da concentrazioni di COV pressoché nulle (0,5-5% in massa) ma anche l'overspray è del tutto riutilizzabile e ciò porta l'efficienza di utilizzazione a valori prossimi al 100% e riduce nel contempo la produzione di rifiuti. L'emissioni non controllate di COV sono ridotte del 98% rispetto ai sistemi che utilizzano vernici liquide.

Il consumo energetico può essere invece rilevante in quanto le vernici a polvere devono essere riscaldate in forno; a tutt'oggi comunque è resa possibile, in alcuni casi, la polimerizzazione a bassa temperatura (80-110°C) che permette di risparmiare energia.

La mancanza di solventi riduce in modo quasi totale il rischio di incendi; le polveri sospese in aria sono però esplosive ed è quindi necessario prendere tutte le dovute precauzioni in particolare in presenza di pistole automatiche. La maggior causa di innesco sono infatti gli archi elettrici causati da una messa a terra non funzionante.

In relazione agli aspetti che riguardano la salute degli addetti si sottolinea che, a causa della presenza di alcune sostanze irritanti o nocive, nel caso in cui avvenga il contatto tra le polveri e la pelle dell'operatore sarà opportuno lavare la zona interessata prontamente.

2.8.5 Coil coating

Rotolo metallico (acciaio, alluminio) svolto, pretrattato, verniciato e riavvolto.

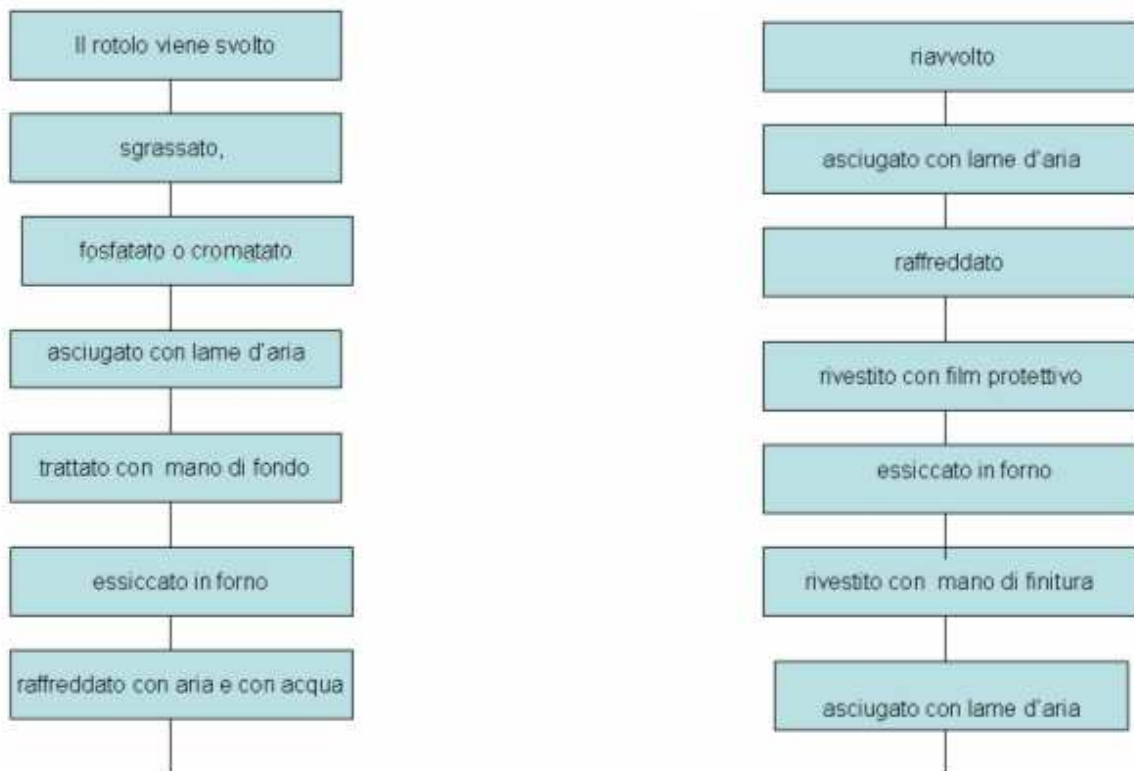


Figura 2.17- Coil coating

Il nastro così verniciato possiede buone doti di durezza e resistenza antiraffio.

Inoltre, a seconda della destinazione d'uso deve resistere all'esterno, ai solventi, ai detersivi, alla corrosione, agli sbalzi termici, deve essere compatibile con gli alimenti, deve essere esteticamente accettabile.

I tecnologi Becker Powder Coatings hanno lavorato assiduamente per produrre polveri per coil coating, collaborando da vicino con gli esperti che mettevano a punto la tecnologia applicativa delle polveri.

Anche se le applicazioni nel coil coating sono ai primi passi, sono state messe a punto o si stanno sviluppando tre possibilità applicative principali:

- pistole multiple per verniciatura a spruzzo
- Powder Cloud TM

- Laser

Pistole multiple per verniciature a spruzzo: queste creano una specie di “velo” di polvere, attraverso cui viaggia il nastro continuo. La velocità della linea è bassa (15m/min, 1500mm di larghezza), e il numero di pistole crea un problema, in quanto l'ostruzione di una qualsiasi delle pistole rovina l'operazione di verniciatura.

Powder Colud ™ : la statunitense MSC ha messo a punto la camera Powder Cloud ™. Questo speciale dispositivo applica la polvere a un nastro che scorre orizzontalmente in una camera contenente una nuvola di polvere a temperatura ambiente. Il sistema applica la polvere alla parte superiore e/o inferiore del nastro in film di spessore minimo di 18 (\pm) μ , ed a velocità sino a 60 m/min.

Laser: La stampante o la fotocopiatrice laser ad alta velocità rappresentano il modello per un altro sistema in via di sviluppo. Una versione di laboratorio è in grado di applicare film nel campo di spessori che va da 5 a 40 (\pm 10%) μ a 130 m/min, ma c'è chi sostiene che si possano ottenere velocità di 300 m/min.

2.8.6 Verniciatura a polveri di MDF e substrati termosensibili

La verniciatura industriale di supporti a base di MDF, o di altri materiali sensibili termicamente, quali legno, materie plastiche, materiali accoppiati ecc, procede generalmente attraverso cicli di verniciatura a solvente o all'acqua, spesso comprendenti numerosi strati o “mani”.

Oggi numerosi fattori di tipo tecnico, economico ed ecologico, rendono tuttavia sempre più interessante e praticabile un'alternativa a tali cicli “storici” di verniciatura: la verniciatura a polveri.

Sappiamo che la tecnologia di applicazione delle polveri *termoindurenti*, pur essendo una delle branche industriali a maggior tasso di crescita nell'ambito dei prodotti vernicianti, non ha potuto diffondersi in alcuni settori dell'industria a causa di specifiche limitazioni applicative, una delle quali, fra le più importanti, era la necessità di raggiungere temperature di reticolazione molto elevate (nell'ordine dei 200°C).

Oggi questa limitazione può essere superata formulando e producendo polveri che abbiano, alternativamente, reticolazione a basse temperature (120°-140°C), oppure reticolazione per mezzo di raggi UV. Nel primo caso si parla ancora propriamente di

prodotti termoindurenti, mentre nel secondo caso si parla di prodotti vernicianti a polvere UV-indurenti (o UV-curing).

Questo progresso tecnologico permette il superamento e l'eliminazione di molte barriere applicative, aprendo nuovi e interessanti campi di impiego alle polveri.

Non va inoltre dimenticata l'efficienza applicativa, che porta ad ottimizzare le rese di impianto su valori molto vicini al 100% (95% - 97%), consentendo un recupero massivo della polvere non deposta o overspray.

Ultimo, ma non meno importante, è l'aspetto ecologico, il cui vantaggio è insito nell'utilizzo di prodotti totalmente privi di solventi, di sostanze volatili in genere (VOC), nonché di metalli pesanti.

A questo punto, vanno brevemente citate le caratteristiche tecniche e applicative (con le relative limitazioni) che possono influenzare ed orientare la scelta verso uno specifico tipo di vernice in polvere.

Bisogna in primo luogo prendere in considerazione l'applicabilità della polvere: essa è, per natura, elettrostatica e destinata a supporti conduttivi. Nel caso di MDF (o legno o plastiche), il supporto non permette un'applicazione di tale genere.

Per ovviare a questo problema, si possono valutare differenti soluzioni:

- 1) rendere conduttivo il materiale, preparandolo con idoneo primer, oppure introducendo nella sua composizione additivi atti a renderlo conduttivo in massa.
- 2) Pre-riscaldare il supporto, in modo da ottenere una deposizione per fusione del prodotto verniciante nel momento del contatto.

Questa seconda soluzione può anche, in parte, ovviare ad un altro problema costituzionale di materiali quali MDF e compositi di legno: il degasaggio.

In questo caso, la scelta di un sistema verniciante a polvere a reticolazione UV, preceduto da una fase di fusione a mezzo di radiazione infrarossa (IR), comporta due evidenti vantaggi:

- il primo è quello di dividere nettamente le fasi di fusione (mediante IR) e di polimerizzazione (mediante irraggiamento UV), evitando così di scaldare eccessivamente il pezzo e prevenendo il degasaggio. Infatti, la radiazione IR

colpisce prevalentemente lo strato di polvere ma non riscalda la massa dell'oggetto da rivestire.

- Anche i fenomeni di distorsione del manufatto, legati alla struttura dello stesso, nonché al materiale costituente, vengono in tal modo minimizzati, il che costituisce il secondo significativo vantaggio.

La reticolazione a mezzo UV permette, inoltre, di ottenere un film con eccellenti proprietà di durezza superficiale e di resistenze chimiche, ed è applicabile oggi senza particolari limitazioni a tutti i tipi di finiture, sia trasparenti che pigmentate.

L'applicazione industriale di quanto sopra esposto, al momento attuale più significativa negli Stati Uniti, sta tuttavia iniziando a diffondersi anche in Europa: numerose linee produttive di Aziende operanti in proprio, o quali verniciatori per conto terzi, stanno cominciando a lavorare su queste nuove tecnologie.

2.8.6.1 Procedura in tre fasi

Di recente è stata sviluppata una procedura che consiste di tre fasi:

- preriscaldamento del substrato;
- applicazione, della polvere che si fonde e fluidifica;
- cura con gli UV della copertura in polvere.

Il profilo di temperatura voluto della superficie del substrato, durante la procedura è mostrato in figura.

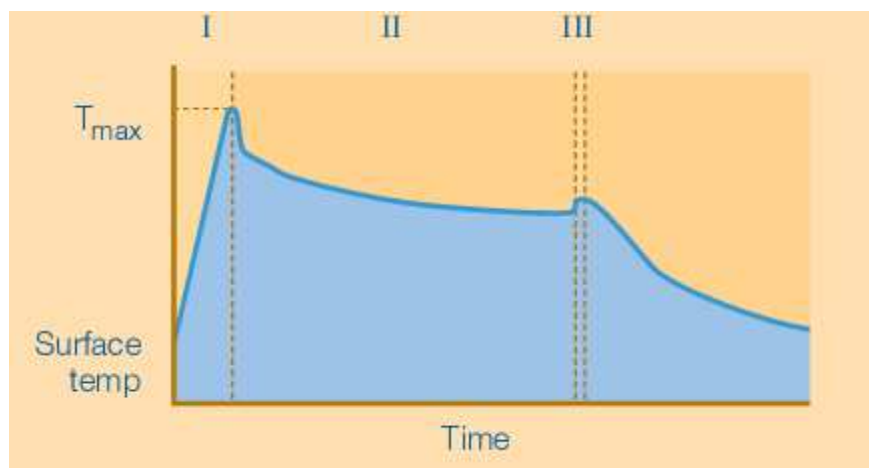


Figura 2.18- Profilo di temperatura voluto della superficie del substrato per la copertura di substrati porosi con polveri UV

Fase 1: Preriscaldamento della superficie del substrato (sezione I in figura)

Il substrato della superficie è prima riscaldato nella maniera più veloce possibile per raggiungere la temperatura massima desiderata (T_{max}). Il tempo richiesto per raggiungere T_{max} principalmente dipende dalla capacità di scaldarsi del substrato. T_{max} dipende fortemente dalla composizione della polvere e del substrato. Con substrati di maggiore sensibilità al calore T_{max} dovrà essere più bassa che per i substrati meno sensibili al calore. Per assicurare la fusione e la fluidificazione delle particelle di polvere nella fase 2, T_{max} deve essere almeno 20°C più alta della temperatura di fusione (T_m) per un sistema (semi-) cristallino, o 20°C più alta della temperatura di transizione vetrosa (T_g) per un sistema amorfo. La tecnica di preriscaldamento preferita è quella con radiazione infrarossa (IR) o radiazione vicino infrarosso (NIR), sebbene potrebbe essere usato il forno termico (convezione). La radiazione IR o NIR scalda la superficie del substrato in maniera veloce, ben controllata ed efficiente, mentre la temperatura della massa del substrato rimane bassa. La potenza della radiazione IR viene controllata attraverso un pirometro, che misura la temperatura della superficie posta a T_{max} . Questo evita il surriscaldamento che potrebbe condurre a decolorazioni e deformazioni.

Fase 2: Applicazione, fusione e fluidificazione (sezione II in figura)

Dopo il preriscaldamento del substrato, le polveri sono elettrostaticamente applicate usando una pistola triboelettrica. Le particelle di polvere fondono e fluiscono insieme per formare un continuo, liscio film. La temperatura del substrato gioca un ruolo cruciale durante l'applicazione, la fusione e la fluidificazione.

La temperatura del substrato assume un valore critico tale che non può aumentare durante questo processo. Se questo accade, il degassaggio dell'aria potrebbe causare difetti nella copertura finale. Perciò la temperatura del substrato potrebbe anche rimanere costante o diminuire, ma non deve abbassarsi al di sotto del limite per l'ottimizzazione della cura UV. La temperatura che si raggiunge con l'ottimizzazione della cura UV dipende dalla viscosità della polvere e varia tra i 90°C e i 120°C. Il raffreddamento è dovuto all'applicazione di polvere fredda e al flusso d'aria della pistola a polvere è compensato dal lieve riscaldamento della polvere durante l'applicazione. Come risultato si ha che la

temperatura del solo strato superiore decresce lentamente e non si abbassa al di sotto della temperatura limite per l'ottimizzazione della cura.

Fase 3: Cura UV (sezione III in figura)

Dopo aver lasciato fluidificare la copertura in polvere per un tempo sufficiente, il film fuso è curato con radiazione UV in pochi secondi. Dopo questo, il substrato si lascia raffreddare. Quindi essendo solo la superficie del substrato scaldata, il tempo richiesto per raffreddare è breve comparato agli altri processi di applicazione.

2.8.7 Verniciatura di vetro e ceramica

Il ciclo di applicazione delle polveri prevede la preparazione del supporto per mezzo della deposizione sulla superficie di uno spessore micrometrico di umidità.

Tale film di acqua attira elettrostaticamente le polveri erogate dalle pistole.

La reticolazione delle polveri è effettuata a 180°C per 30 minuti.

Il ciclo di applicazione delle polveri su oggetti in terracotta, prevede il preriscaldamento a 250°C dei pezzi in uscita dal forno cottura per ceramica, applicazione con mano unica di vernice in polvere speciale per terracotta, fusione della stessa durante l'applicazione e passaggio in forno per la cottura a 180°C per 30 minuti.

2.8.8 Verniciatura delle materie plastiche (PP,ABS,PS,PC,PVC)

La verniciatura della plastica prevede il pretrattamento con una fiamma ossidante debole per un tempo inferiore a un secondo. Tale processo induce reazione chimica di ossidazione della superficie e favorisce l'adesione dello strato di vernice.

In caso di verniciatura a polvere, poiché le materie plastiche sono non conduttive, il pezzo da verniciare va reso tale con un fondo che consenta l'attrazione elettrostatica della polvere.

PARTE PRIMA

STATO DELL'ARTE

3.FENOMENI ELETTROSTATICI NEL RIVESTIMENTO IN POLVERE

Premessa

Nell'ultimo decennio, la popolarità della tecnologia di rivestimento (verniciatura) a polvere, ha avuto un'enorme espansione. Uno dei motivi di questo incredibile successo è stato il continuo miglioramento conseguito nelle apparecchiature per l'applicazione, usate nei processi di rivestimento a polvere.

Gli utilizzatori e i produttori di apparecchiature hanno dovuto fronteggiare svariate esigenze come la massimizzazione dell'efficienza di trasferimento della 1° passata; l'effettiva copertura di zone particolari (cosidette gabbie di Faraday); la migliore qualità e uniformità di copertura; la ricopertura di zone trascurate. I recenti sviluppi tecnologici

hanno permesso ai produttori di offrire agli utilizzatori nuove apparecchiature che vengono incontro sempre più a tali esigenze.

La comprensione dei fenomeni elettrostatici che riguardano il processo di rivestimento a polvere, è ugualmente importante per produttori e utilizzatori.

Qui di seguito si concentrerà l'attenzione sui sistemi di applicazione con "**caricamento a corona**", con una panoramica sui processi elettrostatici utilizzati nella tecnologia dell'applicazione della polvere, alla luce delle nuove apparecchiature ora disponibili.

3.1 Sistema a corona

Nel sistema a caricamento-corona, viene creato un campo elettrico non uniforme tra una pistola e un pezzo, applicando un potenziale ad alto voltaggio all'elettrodo della punta (in genere negativo). Se si applica un potenziale ad alto voltaggio al singolo punto dell'elettrodo, e si pone un oggetto di grande dimensione, collegato a terra, davanti all'elettrodo, si creerà un campo elettrico, la potenza del quale è maggiore all'apice dell'elettrodo (della pistola).

Nell'aria sono sempre presenti elettroni liberi o ioni. Se un elettrone attraversa un forte campo elettrico, comincerà a muoversi lungo le linee del campo subendo l'accelerazione delle forze del campo, sino a penetrare in una molecola d'aria .

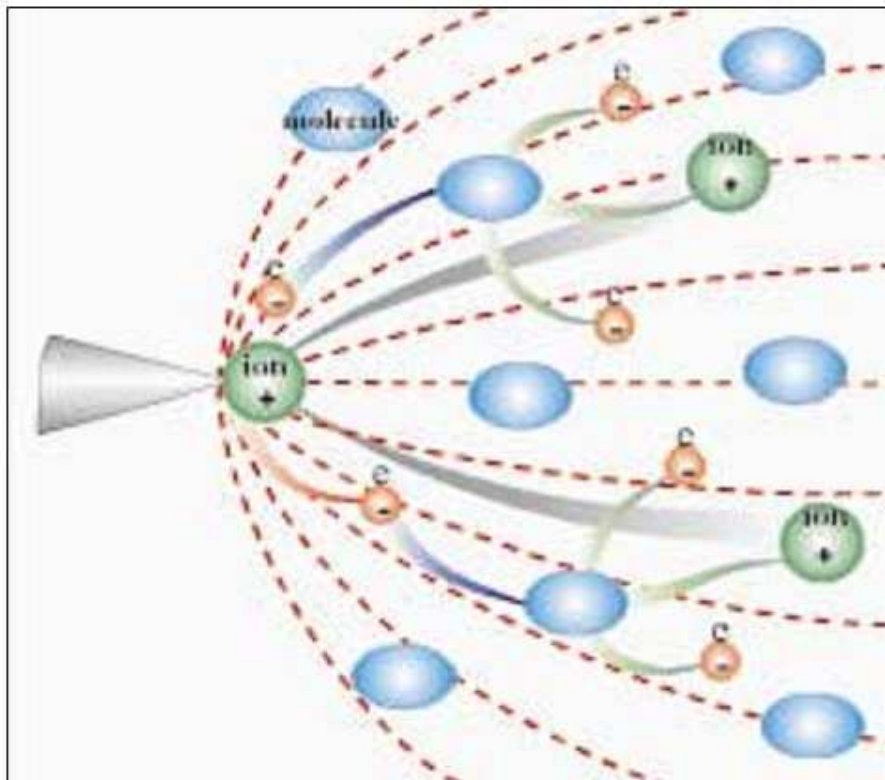


Figura 3.1- Elettrone che penetra in una molecola d'aria

Se la potenza del campo è adeguata e l'elettrone nel suo viaggio lungo le linee ha raccolto abbastanza energia cinetica, l'impatto con la molecola sarà tale da scinderla formando due elettroni secondari e uno ione positivo (il residuo della molecola).

I nuovi elettroni accelerando lungo le linee del campo, scinderanno altre molecole formando ancora ioni ed elettroni.

Poiché cariche opposte si attraggono, gli ioni residui dalle scissioni delle molecole, saranno accelerate dalle forze lungo le linee del campo, ma il loro moto sarà diretto in senso opposto, verso l'elettrodo negativo della punta della pistola.

In tale percorso anche gli ioni positivi possono scindere altre molecole, oppure, se raggiungono l'elettrodo, l'impatto è così forte da scindere nuovi ioni dalla superficie di metallo dell'elettrodo.

Questo processo (scaricamento dell'effetto corona) è indipendente dalle forze del campo, che sono pari o più grandi rispetto alla fase iniziale.

Il processo comincia subito dopo la **ionizzazione**, lo spazio tra la pistola a spruzzo e la parte messa a terra comincia a riempirsi di milioni di ioni e di elettroni liberi. (free electrony = free ions)

3.2 Caricamento particelle di polvere

La figura seguente illustra una particella di polvere in un campo elettrico.

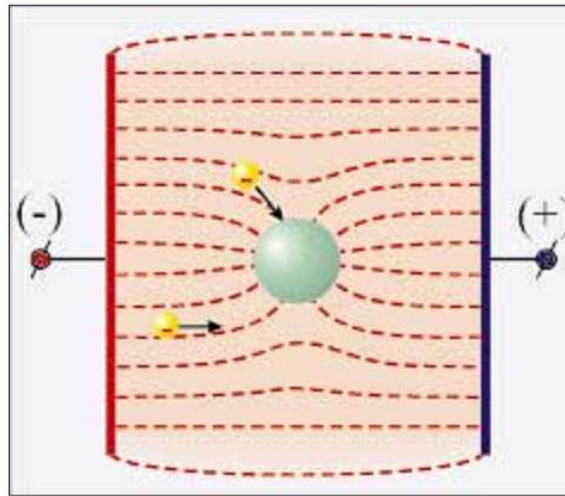


Figura 3.2- Particella di polvere in un campo elettrico

La particella dielettrica scarica altererà il campo elettrico esterno, tanto che alcune linee del campo tenderanno verso la superficie della particella, entrando con un angolo di 90° e ne usciranno con un angolo a 90° .

Gli "ioni liberi" presenti nel campo seguiranno le linee del campo esterno verso la particella scarica, per essere infine catturati dal campo di polarizzazione della particella, accrescendo così la carica propria della particella.

Questo processo continua fino a che la carica accumulata nella particella è sufficiente a creare un campo elettrico proprio della particella. Tale campo produrrà un cambiamento sull'allineamento delle linee del campo elettrico esterno che a questo punto saranno respinte dalla particella, quando cioè la particella ha raggiunto il massimo della carica.

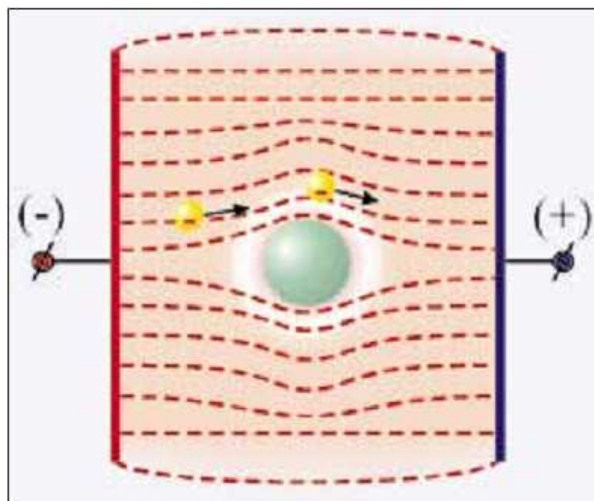


Figura 3.3- Linee del campo respinte dalla particella carica

Nella verniciatura a polvere elettrostatica, la polvere viene spruzzata attraverso un'area di un forte campo elettrico e ad alta concentrazione di ioni liberi, in tale passaggio avviene il caricamento delle particelle come già detto. Il processo di caricamento delle particelle di polvere nel campo elettrico generato dallo scaricamento dell'effetto corona è governato dall'**equazione di Pauthenier**.

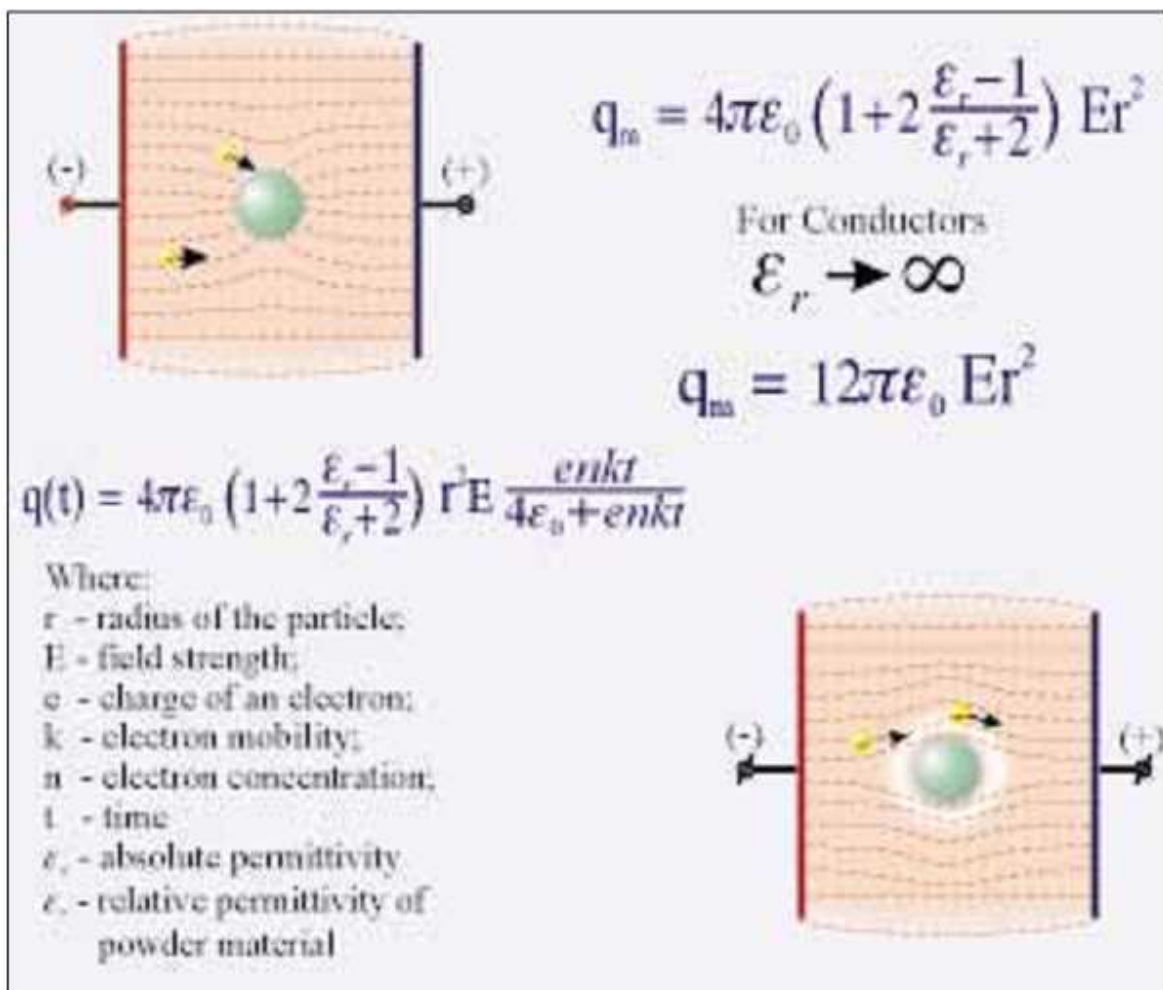


Figura 3.4- Processo governato dall'equazione di Pauthenier

Il processo è influenzato molto dalla potenza del campo, dalle dimensioni e forma della particella e dal tempo che la particella impiega nel caricamento.

3.3 Deposizione della polvere e formazione dello strato

La figura seguente illustra le forze che influenzano una particella di polvere carica mentre viaggia dalla pistola a spruzzo alla parte messa a terra.

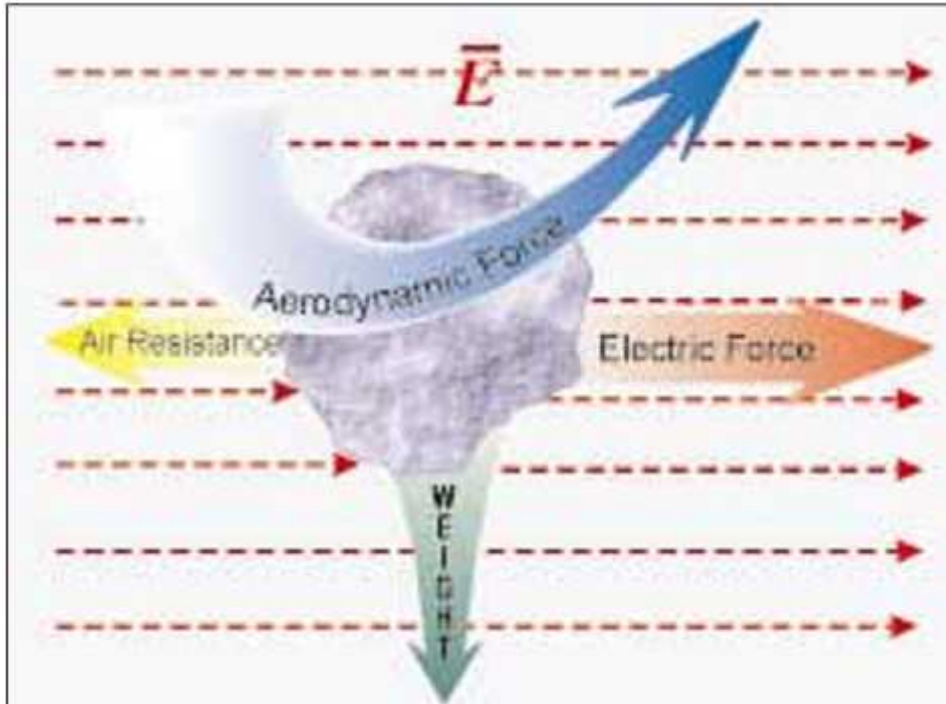


Figura 3.5- Forze che influenzano una particella di polvere carica

E' interessante osservare che la sola forza che spinge la particella verso il sostrato collegato a terra è la "forza elettrica" pari alla carica della particella moltiplicata per la potenza del campo elettrico.

Quando il flusso d'aria libera una particella in direzione della parte collegata a terra, se la particella non è carica o le forze del campo non sono sufficienti, la particella rimbalza fuori dal sostrato metallico e sarà portata via dal flusso d'aria o cadrà giù sotto l'effetto della forza di gravità.

Le forze elettriche aiutano la particella a vincere le forze aerodinamiche o di gravità e a rimanere sulla superficie del pezzo per permettere anche ad un'altra forza di insediarsi. Questa nuova forza è la forza di attrazione tra la particella caricata e la superficie di metallo messa a terra.

La maggior parte dei materiali usati per rivestimenti in polvere, non permettono che la carica si "diffonda" velocemente ma trattengono la loro carica per parecchie ore, anche se si tratta di piccole particelle.

Quando una particella di polvere carica si posiziona vicino alla superficie di metallo, essa induce una carica di eguale valore ma di opposta polarità all'interno del metallo, questo perché la conduzione di elettroni dentro il metallo libera l'area vicino al punto di contatto tra la particella di polvere e la superficie di metallo.

Come gli elettroni traslocano, ciò che rimane è un'area con un eccesso di carica positivo uguale in valore alla carica negativa della particella di polvere.

Questa carica positiva è comunemente chiamata **"Mirror charge"**.

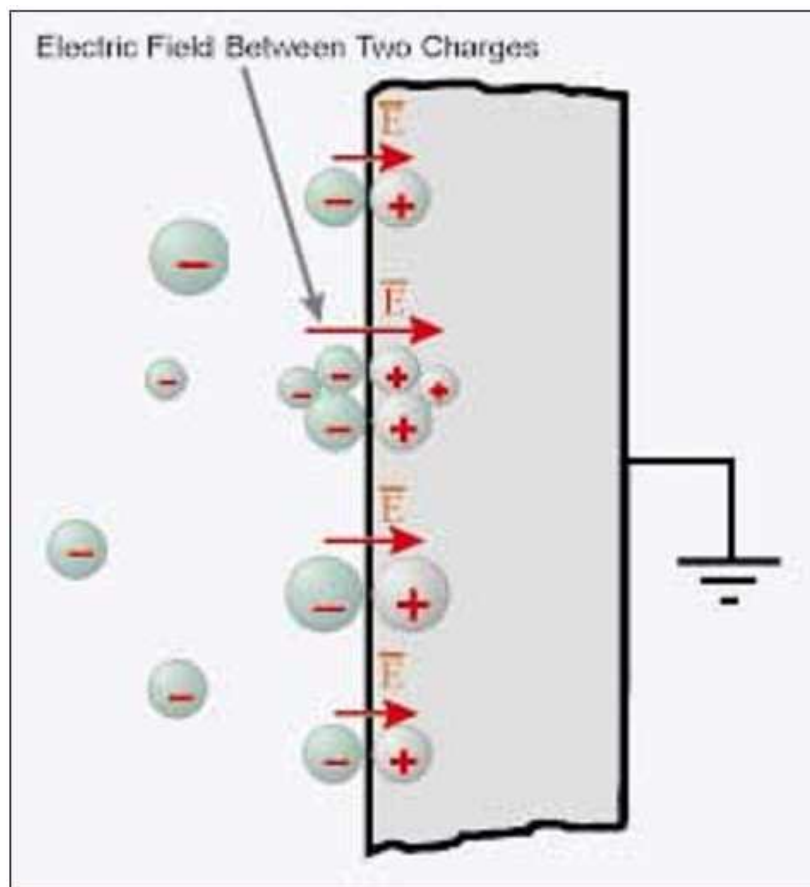


Figura 3.6- Mirror charge

Appena l'effetto Mirror charge è indotto nel metallo, due cariche di uguale valore ma polarità opposta si trovano vicine le une alle altre, separate dalla superficie di metallo. Queste due cariche non solo saranno attratte l'un l'altra e tratterranno la particella di polvere sulla superficie di metallo ma creeranno un altro campo elettrico fra loro.

Più grande è la particella di polvere sulla superficie di metallo, più alta sarà la sua carica, più forte sarà il campo elettrico tra la particella e la "mirror image". Di conseguenza è più forte l'attrazione elettrostatica tra di loro. Il fatto che particelle più grandi incontrino maggior attrazioni verso il metallo messo a terra, offre una spiegazione circa il perché è più

probabile osservare l'effetto "a buccia d'arancia" (orange peel) sugli strati più densi di verniciatura a polvere.

Dopo che l'iniziale strato di vernice a polvere viene depositato sulla superficie di metallo, le particelle del 2° strato devono indurre cariche del tipo "mirror image", per depositarsi sopra lo strato già esistente di materiale dielettrico.

La presenza dello strato già esistente attenua il processo d'induzione, perché non c'è diretto contatto delle particelle di polvere con la superficie di metallo. Le cariche più basse, delle particelle più piccole, potrebbero non essere sufficienti a creare una forza di attrazione abbastanza forte da trattenere le particelle sopra lo strato di vernice in polvere già depositata.

Particelle di polvere più grandi accumulano, in genere, cariche più forti, quindi l'attrazione tra loro e la loro "mirror image" indotta è anche più forte.

Come conseguenza, è più opportuno che particelle più grandi debbano essere depositate sopra uno strato già esistente di vernice non curata. Se uno dovesse guardare in prospettiva una sezione trasversale di uno strato di vernice in polvere non curata, la porzione di fondo (più vicina al metallo) avrebbe in media particelle di più piccola dimensione che la porzione superiore.

Se un materiale per vernice in polvere, non fluisce bene durante il processo di cura, le particelle più grandi comprese nello strato superiore di vernice, possono non defluire completamente. Conseguenza di ciò sarà una minore brillantezza, irregolare finitura e buccia d'arancia, dovuti a insufficienti proprietà fluenti del materiale della vernice.

3.4 "Back ionization"

Se noi continuiamo ad applicare polvere carica, le forze del campo elettrico all'interno dello strato di vernice in polvere, aumentano e diventano sufficienti a ionizzare l'aria intrappolata all'interno delle particelle di polvere, dando così origine a un processo simile a quello, già trattato, che si sviluppa attorno all'elettrodo della pistola, quando gli viene applicato un alto voltaggio. Poiché le cariche opposte si attraggono, gli elettroni negativi corrono verso il campo positivo messo a terra e gli ioni positivi cercano di scappare dallo strato dipinto verso l'elettrodo negativo della pistola.

In conseguenza di questo intenso flusso di elettroni, si sviluppano strisce di luce come scintille, che attraversano lo strato di vernice in polvere.

All'interno di ogni scintilla viaggiano elettroni negativi e ioni positivi in opposte direzioni.

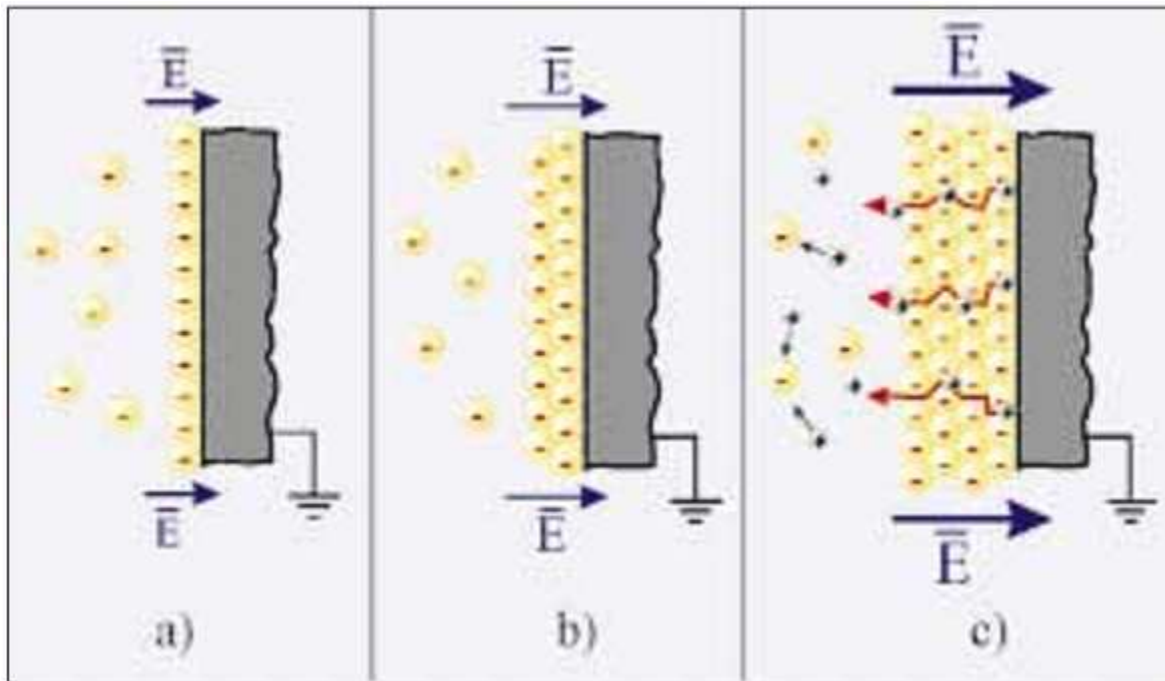


Figura 3.7- Back ionization

Il processo di sviluppo di tali strisce luminose è identico a quello dell'effetto "corona".

Back ionization è un'altra comune causa dell'effetto a buccia d'arancia, che riduce molto l'efficienza di trasferimento.

Un altro importante effetto di back ionization è illustrato in fig. 3.7 c. Quando gli ioni positivi fuoriescono dallo strato di vernice in polvere, vengono attratti dalle particelle di polvere caricate negativamente che arrivano continuamente sulla superficie della parte messa a terra: la collisione tra di loro determina nelle particelle di polvere la perdita della loro carica, e quindi della capacità di deposizione, che è sensibilmente diminuita dalla presenza degli ioni positivi davanti alla parte collegata a terra.

3.5 Effetto della Gabbia di Faraday

Osservando ciò che accade nello spazio tra la pistola e la parte messa a terra, durante il processo di verniciatura a polvere elettrostatica, il potenziale ad alto voltaggio applicato all'elettrodo, sulla punta della pistola, crea (come mostrano le linee rosse) un campo elettrico tra la pistola e il pezzo. Questo porta allo sviluppo dello scaricamento dell'effetto corona.

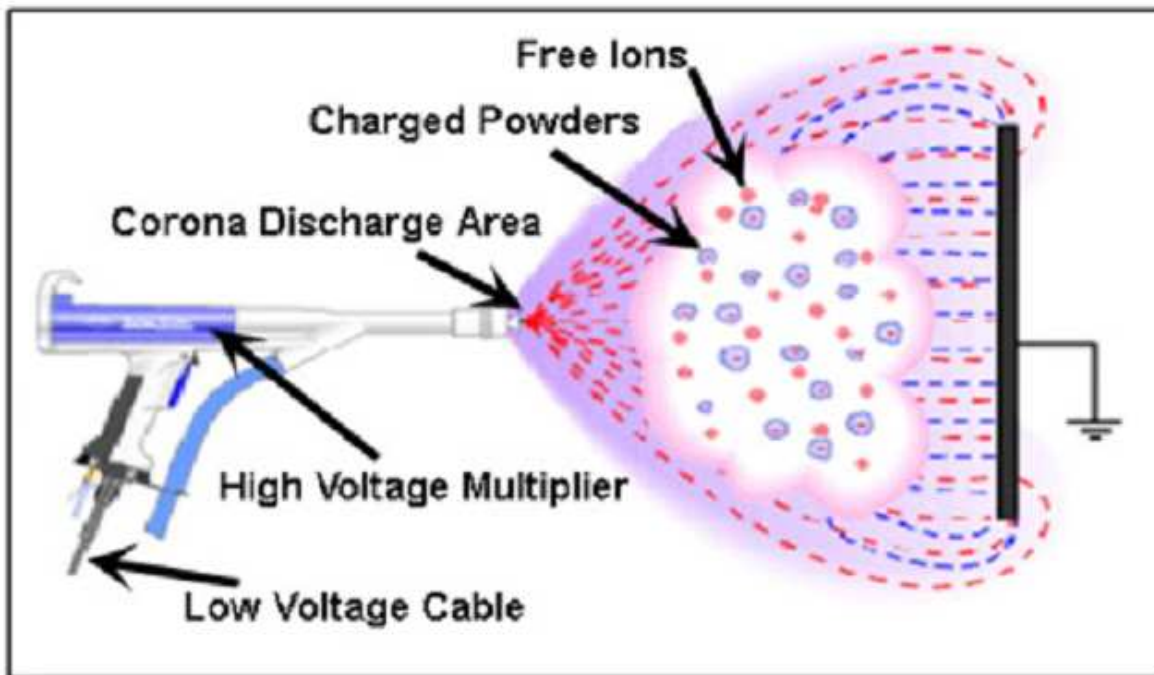


Figura 3.8- Campo elettrico tra la pistola e il pezzo

Un gran numero di ioni liberi, generati dallo scaricamento corona, riempie lo spazio tra pistola e parte. Alcuni di questi sono catturati dalle particelle di polvere, determinando il caricamento delle particelle, molti comunque rimangono liberi e si dirigono lungo le linee di campo verso la parte metallica messa a terra, mescolandosi con le particelle di polvere spinte dai flussi d'aria.

Una nuvola di particelle caricate e ioni liberi, prodotti nello spazio tra pistola e pezzo, hanno un certo potenziale cumulativo chiamato "spazio carica".

Un altro campo elettrico si crea tra la nuvola stessa di particelle di polvere caricate e la parte messa a terra. La combinazione di questi due campi facilita la deposizione della polvere sul substrato messo a terra, ottenendo una più alta efficienza di trasferimento.

Gli effetti positivi dei forti campi elettrici, creati dai convenzionali sistemi a caricamento corona, sono molto più pronunciati quando si dipingono parti con ampie e uniformi superfici.

Sfortunatamente, più forti campi elettrici dei sistemi a corona, possono avere effetti negativi in alcune applicazioni. Per esempio nel dipingere parti con profondi recessi e canali, ci si può imbattere nell'effetto della Gabbia di Farady.

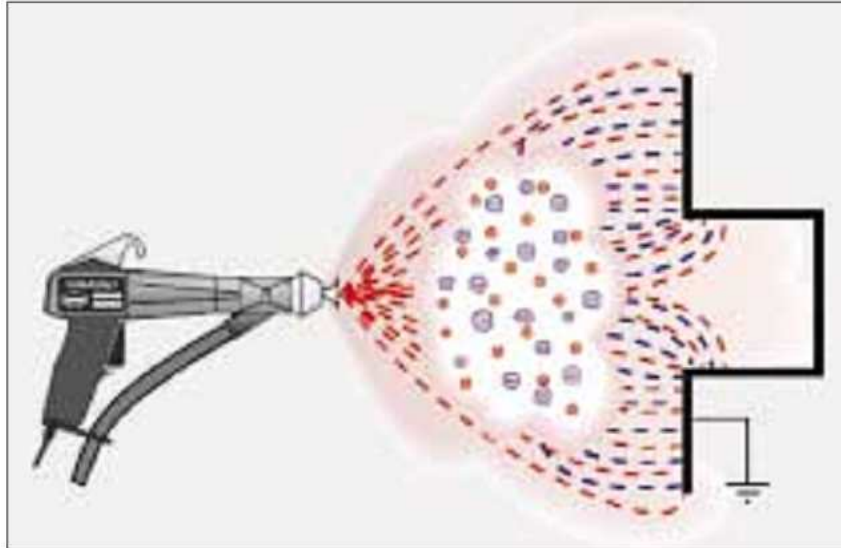


Figura 3.9- Effetto della Gabbia di Faraday

Quando la parte ha nicchie o canali sulla sua superficie, il campo elettrico seguirà la traiettoria di più bassa resistività verso la messa a terra (per esempio i bordi di tali recessi). Quindi con la massima concentrazione del campo elettrico sui bordi di un canale, la deposizione della polvere sarà molto accresciuta in queste zone e lo strato di vernice in polvere aumenterà molto rapidamente.

Sfortunatamente due effetti negativi accompagnano tale processo:

- meno particelle hanno la possibilità di entrare nei recessi perché le particelle di polvere sono spinte fortemente dal campo elettrico verso i bordi della gabbia di Faraday.
- gli ioni liberi, generati dal sistema corona, seguiranno le linee di campo verso i bordi, satureranno rapidamente lo strato esistente con cariche aggiuntive, e porteranno a un rapido sviluppo di Back ionization.

Pertanto è chiaro che né il campo creato dall'elettrodo della pistola, né il campo dello "spazio carica", tra la pistola e la parte, si diffondono nella gabbia di Faraday. Quindi l'unica fonte di aiuto per ricoprire tali zone nascoste, è il campo creato dallo "spazio carica" delle particelle di polvere distribuite dal flusso d'aria dentro le cavità.

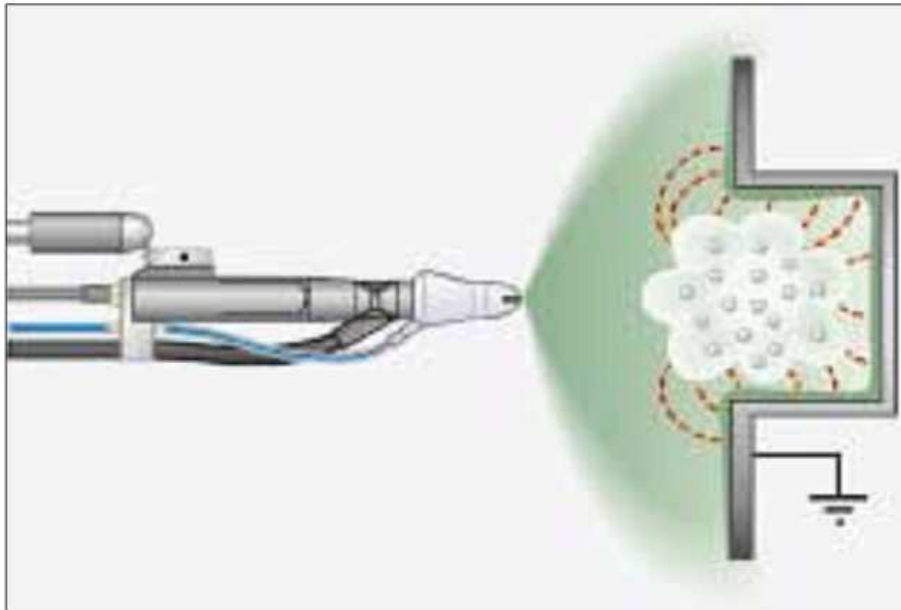


Figura 3.10- Copertura Gabbia di Faraday

Se il canale o la cavità è ristretta, non sarà possibile, a causa della Back-ionization, la deposizione della vernice all'interno della cavità. Se ciò capita anche se noi continuiamo a spruzzare la polvere verso il canale, non sarà sufficiente a creare una forza elettrica abbastanza forte per vincere la turbolenza dell'aria e depositare la polvere.

3.6 “Back-ionization” e “Recoating of Parts”

Recoating of Parts (la riverniciatura delle parti) è un altro problema nell'applicazione della polvere, in cui gli ioni liberi hanno un impatto negativo. In questo caso si tenta di applicare un secondo strato di vernice su quello già curato. La difficoltà deriva dal fatto che ioni liberi generati dal processo di scaricamento dell'effetto corona, viaggiano tra la pistola e il pezzo con velocità molto più elevata di quella delle particelle di polvere. Gli ioni liberi fanno il loro viaggio verso il pezzo molto rapidamente e aumentano la carica della copertura curata esistente. Poiché una verniciatura curata è molto più dielettrica che una non curata, la carica liberata dagli ioni liberi, verso la superficie di una parte già dipinta, non ha modo di espandersi.

Nel tempo le particelle di polvere arrivano sulla superficie della parte che si sta riverniciando, la copertura già esistente ha già molte cariche su di sé.

Arrivando rapidamente le particelle di polvere e gli ioni liberi supplementari, si giunge ad ottenere una carica cumulativa sullo strato di copertura quasi istantaneamente, dando luogo alla Back-ionization. Infatti, la Back-ionization potrebbe già esistere sulla superficie

della pezzo, prima che siano giunte sul pezzo le prime particelle di polvere. Come è stato già dimostrato, una volta che si sviluppa la Back-ionization, l'efficienza di trasferimento declina abbastanza drasticamente. Questo è il motivo per il quale si incontrano difficoltà quando si tenta di riverniciare un pezzo.

Un tradizionale metodo per facilitare le operazioni di riverniciatura e per migliorare la penetrazione nelle cavità di Faraday, è quello di ridurre il voltaggio della pistola.

La riduzione del voltaggio della pistola riduce: 1) la forza del campo elettrico nelle vicinanze della superficie della parte; e 2) la corrente della pistola.

La riduzione della forza del campo elettrico nelle vicinanze della superficie del pezzo, determina una più agevole penetrazione nella gabbia di Faraday, perché la forza elettrica che spinge le particelle di polvere verso i bordi delle zone interne comincia a indebolirsi.

Una più bassa corrente alla pistola, si traduce in un minore numero di ioni liberi nello spazio tra la pistola e il pezzo. Questo ritarda lo sviluppo della Back-ionization e rende più facili le operazioni di riverniciatura e penetrazione nella gabbia di Faraday; un più denso film poi, forma e completa meglio la qualità.

Sfortunatamente, ridurre manualmente il voltaggio della pistola non è sempre una soluzione accettabile. Per esempio potrebbe non essere un compito facile nelle applicazioni automatiche. E inoltre, quanto basso dovrebbe essere il voltaggio della pistola per portare a termine il nostro scopo di verniciatura, e ancora, per ottimizzare l'efficienza del processo ?

Le difficoltà legate al manuale adattamento della corrente della pistola, ha portato allo sviluppo di più avanzate tecniche per combattere la Back-ionization e raggiungere maggior uniformità e qualità di finitura. Queste tecniche sono:

- controllo automatico della corrente della pistola;
- Meccanismi di raccolta di liberi ioni.

Entrambe le tecniche permettono agli esecutori di migliorare le operazioni di finitura, eliminando o riducendo dispersione di corrente di ionizzazione dalla pistola verso la parte.

3.7 Automatic Current Control (ACC)

Si basa sull'automatico adattamento del voltaggio della pistola per mantenere la corrente della pistola e la forza del campo, tra la pistola e la parte ad un certo livello ottimale.

Per capire perché l'ACC porta miglioramenti nel processo di verniciatura a polvere è importante capire la legge di Ohm ($U = I \times R$) ed il concetto di "linea di carico" (load line) dell'apparecchiatura per applicazione della polvere.

Una linea di carico di una convenzionale pistola a corona, è mostrata in figura.

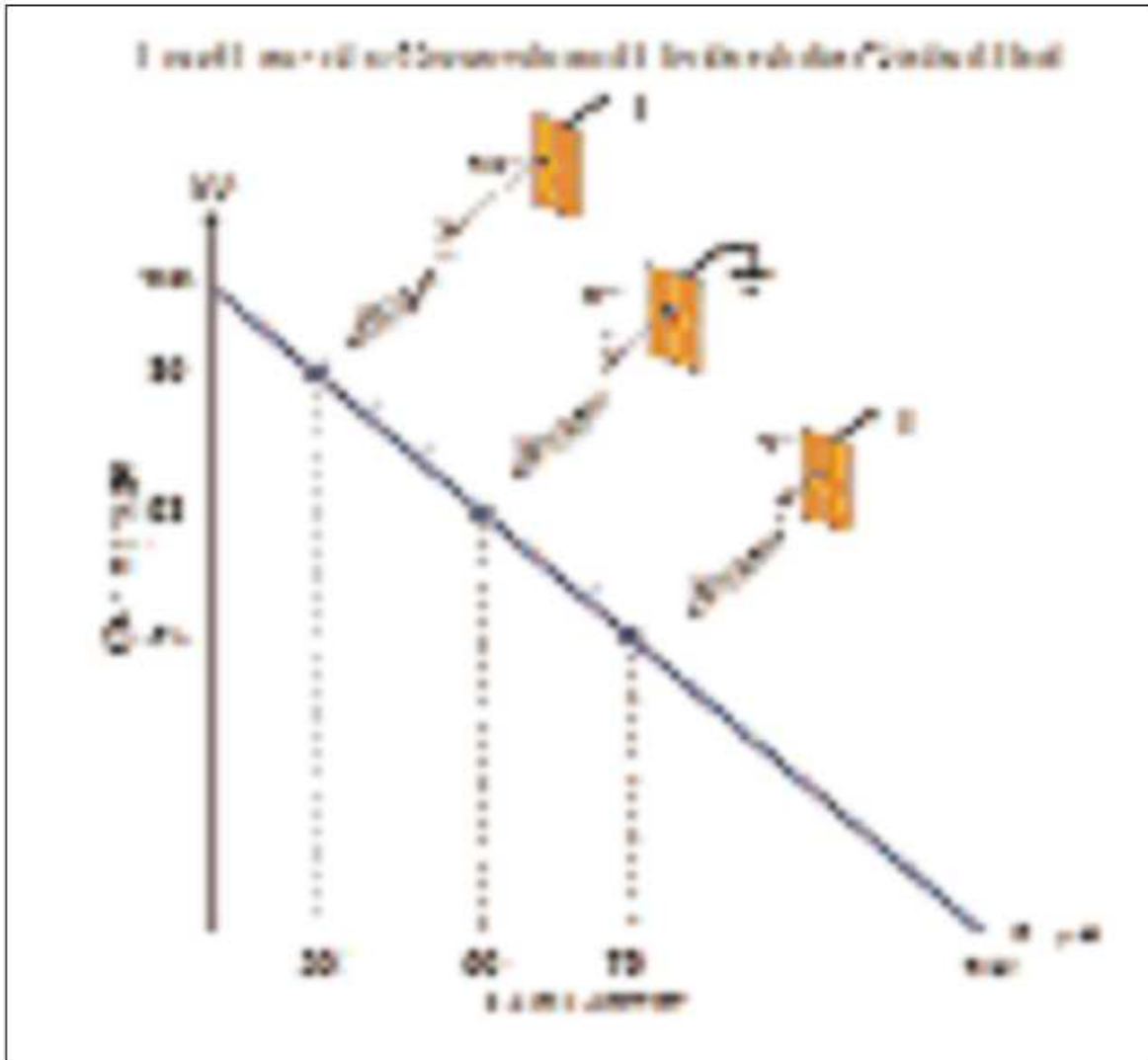


Figura 3.11- Linee di carico delle pistole a corona

Più ristretta è la distanza tra la pistola e il pezzo, più alta è la corrente che fluisce dalla pistola al pezzo. E' importante sottolineare che se noi spostiamo la pistola più vicino al pezzo, la resistività dello spazio tra pistola e pezzo diventa più bassa e la corrente della pistola più alta, (poiché il numero degli ioni liberi generato dal processo corona, che fluiscono verso il pezzo, sarà più grande se la pistola è ad una distanza di 3 pollici piuttosto che a una distanza di 10 pollici).

La figura seguente mostra una famiglia di curve che rappresenta la relazione tra l'efficienza di trasferimento, del processo di verniciatura a polvere, e la corrente della pistola, per una determinata percentuale di flusso e velocità di trasporto, con la pistola posta a distanza di 3,6,12 pollici.

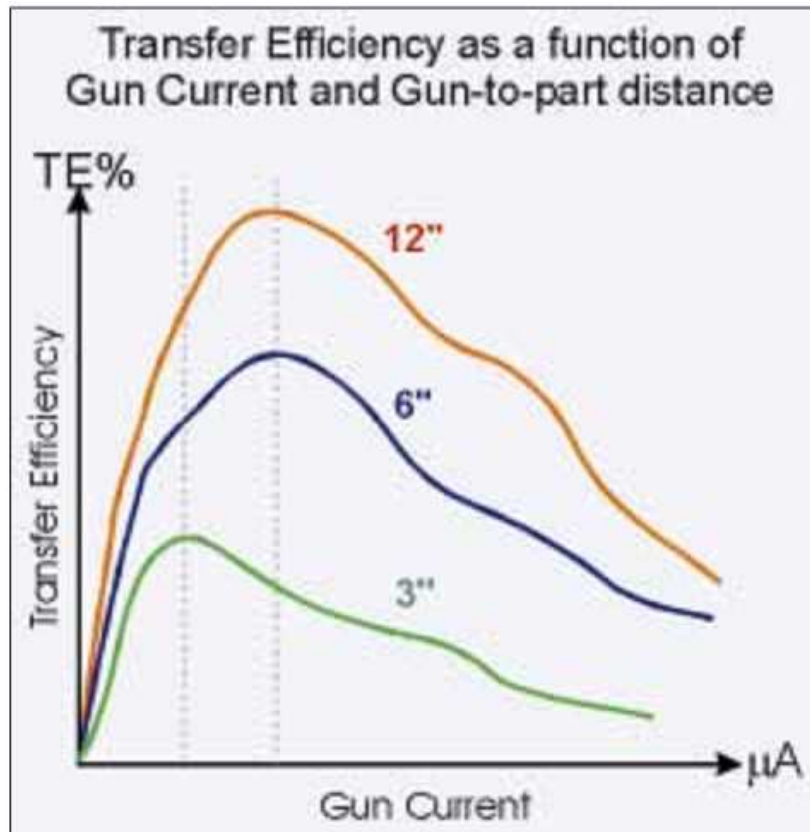


Figura 3.12- Relazione tra l'efficienza di trasferimento e la corrente della pistola

Dal grafico si evidenzia che quando la pistola è a 6,12 pollici, la massima efficienza di trasferimento si ottiene ad un certo livello di corrente; se la pistola è a 3 pollici, la massima efficienza si ottiene ad una minor corrente.

Quindi se noi avessimo uno strumento che ci permettesse di mantenere automaticamente la corrente della pistola a un certo livello ottimale (che offre la massima efficienza di trasferimento) potremmo ottimizzare complessivamente l'efficienza del processo di verniciatura a polvere e tale strumento è appunto l'ACC.

Con l'ACC non appena la distanza della pistola cambia (o per la complessità della forma dell'oggetto o per la diversa profondità delle sue parti) l'unità di controllo della pistola adatta automaticamente il voltaggio in su o in giù, per mantenere la corrente della pistola ad un determinato livello che è ottimo per una data operazione.

Per esempio, quando un operatore manualmente deve ritoccare un pezzo che presenta difficili cavità, quasi inevitabilmente sposterà la pistola più vicino al pezzo, nel tentativo di spingere la polvere nelle cavità, questo porterebbe ad accrescere la corrente della pistola, ad una più alta densità di flusso di ioni liberi per unità di superficie e a un più rapido sviluppo di back-ionization.

L'ACC, invece, ridurrà automaticamente il voltaggio, appena la pistola si avvicinerà alla parte.

Per concludere l'ACC:

- 1) mantiene la corrente ad un ottimo livello per prevenire la generazione di un eccessivo numero di ioni liberi;
- 2) controlla le forze di campo nelle vicinanze della superficie della parte e facilita la penetrazione nelle zone a gabbia di Faraday, riducendo il voltaggio alla punta della pistola in proporzione alla riduzione della distanza della pistola.

Inoltre il controllo automatico della corrente della pistola ritarda lo sviluppo della back-ionization e:

- ottimizza il processo di verniciatura a polvere controllando il numero dei liberi ioni, prodotti alla punta della pistola, e le forze di campo presso la superficie del pezzo;
- porta alla massima efficienza di trasferimento ottenibile su una vasta gamma di distanze;
- facilita la penetrazione nelle cavità interne;
- migliora la qualità e l'uniformità di finitura;
- aumenta le operazioni di riverniciatura.

3.8 Free-Ion Collecting Device (meccanismi di raccolta di ioni liberi)

Il meccanismo di "ion-collecting" (IC) ha lo scopo di estrarre ioni liberi dallo spazio tra pistola e pezzo, e di trascinarli verso un elettrodo raccoglitore collegato a terra, posizionato dietro la punta della pistola.

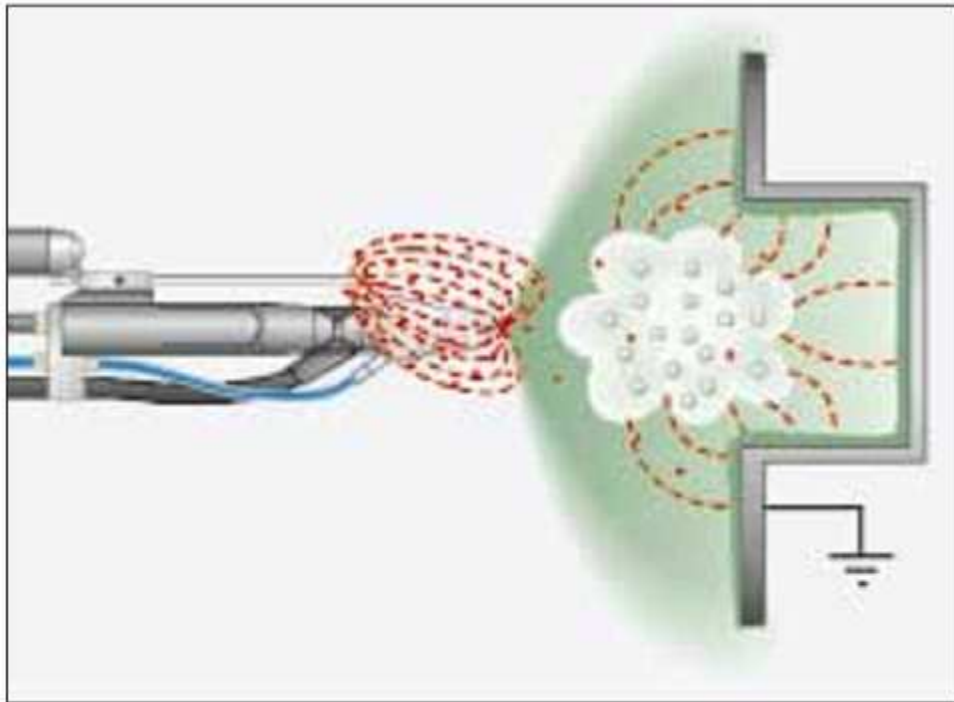


Figura 3.13- IC

Quando una convenzionale pistola a corona è attrezzata con un ion collector (IC), un elettrodo messo a terra è posizionato dietro la fine della pistola ad una distanza più breve di quella esistente tra la pistola e il pezzo. Il fatto che un meccanismo IC messo a terra, sia più vicino alla punta della pistola che alla superficie del pezzo, implica che il campo elettrico, seguendo la traiettoria più breve verso la "terra", si svilupperà tra l'elettrodo della pistola e il raccoglitore di ioni (IC) non tra pistola e pezzo. Di conseguenza il campo elettrico vicino alla superficie del pezzo verrà creato solo dallo spazio-carica della nuvola di particelle di polvere cariche. Questo campo sarà più debole di quello ottenuto con una convenzionale pistola corona, perché si elimina l'alto voltaggio alla punta della pistola. Quindi, dal momento che il campo elettrico creato dalla pistola si dirige verso l'IC e non verso il pezzo, gli ioni liberi prodotti dal processo corona si dirigeranno verso l'IC e non verso lo spazio tra pistola e pezzo.

E' molto importante adattare la distanza tra la punta della pistola e il meccanismo IC. La più facile regola da seguire, nel posizionare tale meccanismo, è di collocarlo dietro la punta della pistola ad una distanza non maggiore della metà di quella esistente tra pistola e il pezzo, questo ci assicura che gli ioni liberi generati si dirigeranno verso l'IC.

Se il meccanismo IC è propriamente collocato, darà risultati eccezionali nel miglioramento della penetrazione delle cavità di Faraday, nella qualità e uniformità di superficie con miglioramenti notevoli anche nelle operazioni di riverniciatura.

L'uso di tale meccanismo con risultati della massima efficacia è però limitato dal tipo di distanza. Pertanto se la distanza pistola pezzo sarà di 8 pollici, l'IC, per ottenere le massime prestazioni, sarà collocato a 4 pollici dietro l'elettrodo della pistola.

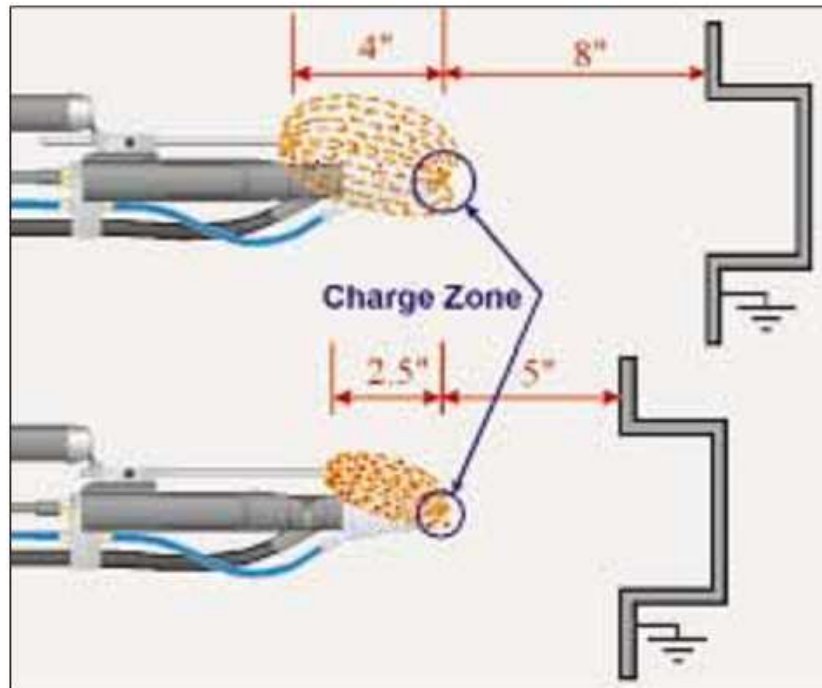


Figura 3.14- Distanza IC per la massimizzazione delle prestazioni

Se però la distanza pistola-pezzo è di solo 4 pollici, l'IC dovrebbe essere posto a 2 pollici dietro la fine della pistola, ma con distanze così ravvicinate non si potranno ottenere prestazioni ottime.

In generale, l'uso del meccanismo IC darà risultati efficaci, quando la distanza pistola-pezzo non sarà inferiore a 5 pollici.

L'uso dell'IC su pistole manuali è anche limitato dal fattore umano, l'operatore infatti, nel tentativo di ricoprire le zone più nascoste, può avvicinare troppo la pistola, annullando così gli effetti positivi dell'IC.

3.9 Conclusioni

Abbiamo stabilito che l'eccessivo numero di ioni liberi generati dall'attrezzatura convenzionale a caricamento corona è la ragione di molti problemi di verniciatura a polvere, come la penetrazione nella gabbia di Faraday, la ritocatura di difetti, il miglioramento di uniformità e qualità di finitura.

I fornitori di vernice a polvere proseguono la ricerca di nuove tecnologie per offrire al mercato apparecchiature con nuove caratteristiche. Sfortunatamente un'unica soluzione a tutti i problemi, per ogni tipo di applicazione, non è ancora stata trovata.

La conoscenza delle basi della tecnologia elettrostatica aiuterà gli utilizzatori a prendere la corretta decisione circa le caratteristiche dell'attrezzatura da utilizzare.