

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Materiali

Influenza dei parametri di processo di verniciatura sulla resistenza
alla corrosione di varie tipologie di metalli

Relatore : Manuele Dabalà

Jacopo Michieli 1242266

Anno Accademico 2021/2022

ABSTRACT

Il settore della verniciatura a polvere ha subito sempre forti incrementi fin dagli anni sessanta fino alla fine del XX secolo grazie ai numerosi vantaggi rispetto alla più classica verniciatura liquida. Uno fra questi è stato anche la facile automatizzazione del processo oltre che la possibilità di annullare nella quasi totalità gli sprechi grazie al semplice recupero dell'over-spray (meno efficiente e molto complesso in quella liquida). L'evoluzione raggiunta dai sistemi automatici per verniciatura permette anche una maggior elasticità del processo a favore di piccoli lotti di produzione e numerosi cambi colore. L'attenta distribuzione della polvere ha consentito una sensibile riduzione dell'over-spray rendendo possibile l'eliminazione dei sistemi di recupero, causa di cospicuo spreco di tempo ad ogni cambio colore.

Il seguente lavoro, è frutto di un'esperienza durata quattro mesi presso l'azienda VP Verniciatura S.R.L di Ponzano Veneto, da oltre 30 anni specializzata in servizi di verniciatura a polvere, trattamenti anticorrosivi e sabbiatura. L'esperienza mi ha consentito di strutturare un processo di controllo qualità della verniciatura, caratterizzato da efficacia ma soprattutto efficienza. Il lavoro è incentrato sull'analisi del processo di lavorazione e sull'influenza dei parametri di processo necessario a garantire un'ottima qualità e resistenza a corrosione del prodotto finito.

Prendendo in esame il processo di lavorazione verrà presentata una analisi sull'influenza dei diversi pretrattamenti chimici necessari per garantire l'adesione e resistenza alla corrosione del coating a seconda della classe di corrosività richiesta, natura del materiale da trattare e dal tipo di rivestimento che si intende depositare.

Indice

<i>Ringraziamenti</i>	7
<i>Introduzione</i>	8
<i>1 Vernici in polvere</i>	9
1.1 Aspetti economici.....	9
1.2 Applicazioni.....	10
1.3 Caratterizzazione delle vernici	11
1.3.1 Polveri termoplastiche.....	11
1.3.2 Polveri termoindurenti	12
<i>2 Sistemi di applicazione delle vernici</i>	13
2.1 Verniciatura a letto fluido	13
2.2 Verniciatura a fiamma-spruzzo	14
2.3 Verniciatura elettrostatica a spruzzo	15
2.4 Cabina di verniciatura.....	18
2.4.1 Recupero dell'over-spray	21
2.4.2 Cambio del colore.....	22
<i>3 Pretrattamenti e preparazione del substrato</i>	24
3.1 Processo di verniciatura	24
3.2 Preparazione delle superfici	26
3.2 Preparazione meccanica.....	28
3.2.1 Sabbiatura	28
3.3 Preparazione chimica.....	34
3.3.1 Sgrassaggio.....	34
3.3.2 Fosfatazione	35
3.3.3 Decapaggio	37
3.3.3 Passivazione.....	39
3.3.4 Decapaggio e Passivazione: norme di riferimento	41

<i>4 Controlli superficiali sui film di vernice</i>	43
4.1 Controllo dei residui superficiali	45
4.2 Controllo dello spessore del film secco	47
4.3 Test resistenza all'impatto.....	51
4.4 Determinazione spessore film polimerizzato.....	53
4.5 Determinazione della brillantezza (gloss)	56
<i>5 Materiali e Metodi</i>	58
5.1 Layout dell'impianto	58
5.2 Materiali	60
5.3 Prodotti	61
5.4 Parametri operativi	61
5.4.1 Controllo del bagno Sgrassaggio alcalino	62
5.4.2 Controllo del bagno Fosfosgrassaggio	62
5.4.3 Controllo del bagno Fosfodecapaggio	63
5.4.4 Controllo del bagno Passivazione	64
5.5 Metodi.....	64
5.5.1 Test quadrettatura	64
5.5.2 Test corrosione nebbia salina neutra	68
<i>6 Risultati sperimentali</i>	70
6.1 prove di corrosione in nebbia salina neutra	70
6.2 Prove di test adesione quadrettatura	78
<i>7 Conclusioni</i>	81

Ringraziamenti

Un sentito grazie a tutte le persone che mi hanno permesso di arrivare fin qui e di portare a termine questo lavoro di tesi.

Grazie al mio relatore [Manuele Dabalà], sempre presente e disponibile. Grazie al percorso intrapreso ho sviluppato maggiormente la mia capacità di analisi e di problem solving.

Non posso non menzionare i miei genitori che da sempre mi sostengono nella realizzazione dei miei progetti. Grazie a mio fratello, sempre pronto a sopportarmi, ascoltarmi e a dare consigli. Non finirò mai di ringraziarvi per avermi permesso di arrivare fin qui.

Grazie ai miei amici per essere stati sempre presenti anche durante questa ultima fase del mio percorso di studi. Grazie per aver ascoltato i miei sfoghi, lamentele e grazie per tutti i momenti di spensieratezza.

Un grazie a Lucrezia che è stata capace di capirmi e di sostenermi nei momenti più difficili. Grazie per avermi trasmesso la tua immensa forza e coraggio. Grazie per tutto il tempo che mi hai dedicato perché ci sei sempre stata.

Introduzione



La crescente competitività del mercato internazionale richiede lo sviluppo di soluzioni sempre più innovative, in grado di soddisfare elevati standard qualitativi, garantire la costanza dei risultati e contribuire alla realizzazione di prodotti all'avanguardia. In tale contesto si inserisce questo lavoro di tesi, frutto della collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Padova e l'azienda VP Verniciatura S.R.L. di Ponzano Veneto che si propone come scopo quello di indagare l'efficacia di diversi trattamenti superficiali nel migliorare le proprietà anticorrosione.

VP Verniciatura è la seconda azienda italiana ad aver ottenuto la certificazione QualiSteelCoat, il marchio di qualità internazionale per l'acciaio verniciato. Pionieri in Europa nel proteggere dalla corrosione, siamo i soci fondatori dell'Associazione QualiSteelCoat Italia.

1 Vernici in polvere

Scegliere un metodo di verniciatura non è così facile come può sembrare.

I progettisti degli impianti di finitura, pressati dalla necessità di ridurre i costi e portati all'aumento produttivo con rivestimenti di qualità migliore, quando devono progettare una nuova linea di verniciatura cercano di trovare una soluzione atta a soddisfare esigenze contrastanti quali: il risparmio energetico, la riduzione dei costi di lavoro, l'alta efficienza delle diverse operazioni ed il rispetto delle norme sull'inquinamento e sulla sicurezza dell'ambiente di lavoro unita a quella dei lavoratori medesimi.

Per tutte queste motivazioni si mettono in grande evidenza le nuove tecnologie delle vernici in polvere. Lo strato di polvere depositato sui prodotti da rivestire, esposto all'azione del calore del forno, fonde e reticola dando luogo ad un film uniforme, continuo ed omogeneo.

Il processo di applicazione della polvere può avvenire in due differenti maniere:

- con il metodo a "letto fluido" la polvere viene immessa in un adatto contenitore e fluidizzata tramite una corrente d'aria che passa attraverso un setto poroso sottostante
- con il metodo "a spruzzo elettrostatico" la polvere viene erogata da pistole speciali in cabine munite di un sistema di recupero della polvere spruzzata in eccesso.

1.1 Aspetti economici

Nella verniciatura a polvere i vantaggi economici si sommano con l'elevata qualità della finitura ed il rispetto dell'ambiente secondo le vigenti norme dell'inquinamento. Da porre in rilievo sono la facilità di applicazione con risparmio di lavoro, l'utilizzazione pressoché totale di prodotto (95-98%), l'aumento della

capacità produttiva, l'eliminazione di sprechi, la diminuzione dei materiali di rifiuto e di spazio nei magazzini.

La versatilità delle polveri porta a produzioni più elevate nell'unità di tempo; inoltre, dalla cabina di applicazione i supporti verniciati entrano direttamente nel forno di cottura, eliminando il pre-forno che è invece indispensabile nelle vernici al solvente. Ciò porta ad una riduzione di spazio e di attrezzatura.

La polvere spruzzata in eccesso viene raccolta e quindi riutilizzata, le perdite di prodotto sono dunque minime.

1.2 Applicazioni

Le vernici in polvere si prestano per le più diverse applicazioni, di seguito vengono riportati i settori di impiego più interessanti:

- *polveri altamente protettive* vengono applicate all'esterno di tubazioni nell'industria petrolifera
- *primers* in polvere per applicazioni nell'industria automobilistica e macchine industriali
- *smalti ceramici* in diversi casi sono sostituiti con speciali polveri dure e resistenti alle scalfiture
- elettrodomestici, mobili per cucine e simili sono oggi abitualmente finiti con polveri
- estrusi in alluminio dell'edilizia prefabbricata, macchine agricole, mobili da giardino e camping

praticamente innumerevoli manufatti, dai forni per il pane sino alle sedie negli stadi sono oggi rivestiti con polveri.

1.3 Caratterizzazione delle vernici

La rapida espansione della ricerca ha consentito la realizzazione di polveri per gli usi più diversi che raggiungono, e spesso superano, le proprietà ottenute con altri sistemi vernicianti.

Essenzialmente le polveri si dividono in due grandi categorie *polveri termoplastiche* e *polveri termoindurenti*.

1.3.1 Polveri termoplastiche

Le polveri termoplastiche sono state le prime ad essere impiegate sotto la forma di rivestimenti in polvere; fondono e dilatano sotto l'azione del calore, ma non modificano la loro composizione chimica quando solidificano per raffreddamento. Le resine sono di alto peso molecolare e le proprietà delle polveri sono determinate dalle resine di base.

All'atto della fusione mostrano una elevata viscosità, ed essendo dure e tenaci, si macinano con difficoltà, con metodi spesso costosi onde ottenere granulometrie adatte per l'applicazione di film sottili.

Per questi motivi sono più frequentemente usate come vernici funzionali ad elevato spessore (da 200 a 500 micron), per cui il metodo principale di applicazione rimane quello della sinterizzazione a "letto fluido".

I più tipici rappresentanti delle polveri termoplastiche sono a base di:

- polietilene
- polipropilene
- viniliche (PVC)
- poliammidiche
- cellulosiche (CAB)

1.3.2 Polveri termoindurenti

Le polveri termoindurenti differiscono dalle polveri termoplastiche in quanto sono a base di resine solide a più basso peso molecolare. Sottoposte all'azione fondono, dilatano, e quindi reticolano chimicamente in unione ad altri componenti reattivi per dare luogo a composti di peso molecolare più elevato con struttura irreversibile. Il rivestimento ottenuto possiede dunque una composizione chimica da quella della resina di partenza: se viene quindi sottoposto nuovamente all'azione del calore non rammollisce e non modifica la sua struttura.

Le polveri termoindurenti sono in genere a base di:

- Resine epossidiche: si suddividono a loro volta in polveri funzionali applicate ad alti spessori dove il loro maggior impiego si riscontra nell'isolamento elettrico e come rivestimento anticorrosivo; polveri decorative applicate a bassi spessori, esse offrono una vasta gamma di finiture, con vari gradi di brillantezza (da lucido a opaco), ad effetto bucciato, goffrato e martellato.
- Resine poliesteri: hanno il vantaggio di non rilasciare solventi volatili durante la reticolazione in forno, oltre all'ottima resistenza all'esterno, si caratterizzano per le buone proprietà meccaniche anche a spessori piuttosto elevati (80-90 micron), buona copertura degli spigoli, dilatazione, durezza e brillantezza.
- Resine acriliche: in genere mostrano una buona resistenza agli alcali ed ai detersivi, quelle a modificazione uretanica o con acidi bicarbossilici alifatici resistono agli agenti atmosferici; non essendo compatibili con altri tipi di polvere, danno numerosi problemi di incompatibilità come per esempio la formazione di crateri.

2 Sistemi di applicazione delle vernici

L'applicazione delle vernici in polvere negli ultimi trent'anni ha visto svilupparsi sostanzialmente tre tecniche:

- verniciatura a letto fluido;
- verniciatura a fiamma- spruzzo;
- verniciatura elettrostatica a spruzzo per mezzo di pistole;

oltre il presentarsi di nuovi sistemi limitati al settore dei coil quali quello a spazzola elettromagnetica

2.1 Verniciatura a letto fluido

Storicamente è il primo metodo di applicazione delle polveri utilizzato industrialmente. I pezzi da verniciare vengono preriscaldati e poi immersi in un letto fluido di polvere il quale, a contatto con le superfici metalliche preriscaldate, fonde e aderisce al supporto. La temperatura ed il tempo di immersione sono i parametri fondamentali per controllare lo spessore accumulato.

Il contenitore del letto fluido è costituito da due compartimenti sovrapposti. La parte superiore è aperta per permettere di immettere dei pezzi da rivestire ed è destinata a contenere la polvere, la parte inferiore è separata da un setto poroso attraverso il quale passa aria compressa che giunge a contatto con la polvere sovrastante e la disperde aumentandone il volume come fosse in ebollizione. È proprio in questa sospensione che i pezzi preriscaldati vengono immersi.

Il processo viene tutt'oggi utilizzato per polveri termoplastiche come polietilene e nylon, raramente per le termoindurenti, viene limitato ai casi in cui l'inevitabile ed elevato spessore risulta essere una caratteristica necessaria o comunque favorevole.

Una evoluzione del sistema a letto fluido è quella del caricamento elettrostatico della polvere. In questo sistema il pezzo non viene preriscaldato ma solo tenuto a

potenziale elettrico nullo. L'aria necessaria a mantenere fluida la polvere è inferiore e la carica viene trasferita attraverso degli elettrodi sulla superficie interna del contenitore mantenuti ad alta differenza di potenziale. Gli ioni polvere che si vengono a creare sono in questo modo attratti elettrostaticamente dal pezzo e la distribuzione risulta più uniforme.

2.2 Verniciatura a fiamma-spruzzo

Questa tecnica è stata introdotta con l'introduzione delle vernici termoplastiche. Il processo è molto semplice e prevede i seguenti step: la polvere, trasportata e fluidificata dall'aria compressa, va ad alimentare la pistola fiamma.

Da qui viene iniettata ad altissima velocità attraverso una fiamma di propano che completa la fusione delle particelle, le quali in forma di gocce viscosi si depositano sul substrato. La fase di maggior importanza è proprio quella del riscaldamento delle particelle dato che potrebbero pirolizzare se mantenute troppo tempo ad alta temperatura; la distribuzione delle particelle deve inoltre essere stretta per evitare che le particelle più grandi fondano e quelle piccole invece si degradino.

Questo metodo permette l'applicazione della vernice a polveri per tutti i tipi di substrato, dal metallo al legno e alla gomma perché non necessita di un ulteriore riscaldamento che garantisca la formazione del film.

2.3 Verniciatura elettrostatica a spruzzo

Consiste nel processo applicativo più comune, sia per la sua flessibilità che per la sua versatilità, prevede l'utilizzo di pistole a spruzzo che possono essere azionate manualmente o in automatico.

La polvere giunge alla pistola attraverso un tubo flessibile collegato al serbatoio, da qui, una volta caricata elettrostaticamente, viene spruzzata per mezzo di aria compressa.

Dato che le particelle sono costituite da materiale isolante, mantengono la loro carica e aderiscono alla superficie da ricoprire, rimanendo attaccate grazie al campo elettrico applicato; esse vanno ad aderire alle parti scoperte fornendo in genere un rivestimento molto regolare.

È importante fare distinzione fra le due tecnologie in commercio adottate per caricare le particelle di polvere: ad effetto tribo e ad effetto corona.

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

Le particelle positive, una volta lasciata la pistola, sono attratte dal pezzo da verniciare collegato elettricamente a massa. Questo processo causa un veloce deterioramento della canna della pistola, che va necessariamente cambiata periodicamente. Un altro aspetto fondamentale da considerare è che differenti tipi di polvere evidenziano un comportamento estremamente diverso: le resine epossidiche, infatti, si caricano maggiormente che in un sistema corona mentre le resine poliesteri e le ibride epossidiche-poliestere non garantiscono un corretto

caricamento. La quantità di polvere erogabile è inoltre è solitamente inferiore a quella che permette il sistema corona, obbligando all'utilizzo di quasi il 50% in più di pistole.

Solitamente la carica elettrostatica, utile a trattenere attaccata al pezzo la polvere prima della messa in forno, non è spesso sufficiente a direzionare la nube di polvere su manufatti con superfici ampie.

Proprio per questo motivo le pistole triboelettriche sono fornite di lunghi ugelli che aiutano una miglior distribuzione della polvere. Il loro funzionamento si basa sulla produzione di cariche elettriche per strofinio in modo da eliminare le limitazioni delle pistole a effetto corona: la carica elettrostatica viene convogliata direttamente alla particella di polvere che nel percorso all'interno della canna della pistola stessa, sfrega a una certa velocità scaricando una parte degli elettroni che trasporta divenendo ricettiva elettrostaticamente con segno positivo. Questo fa in modo che la polvere venga depositata con spessori più ridotti e una penetrazione migliore.

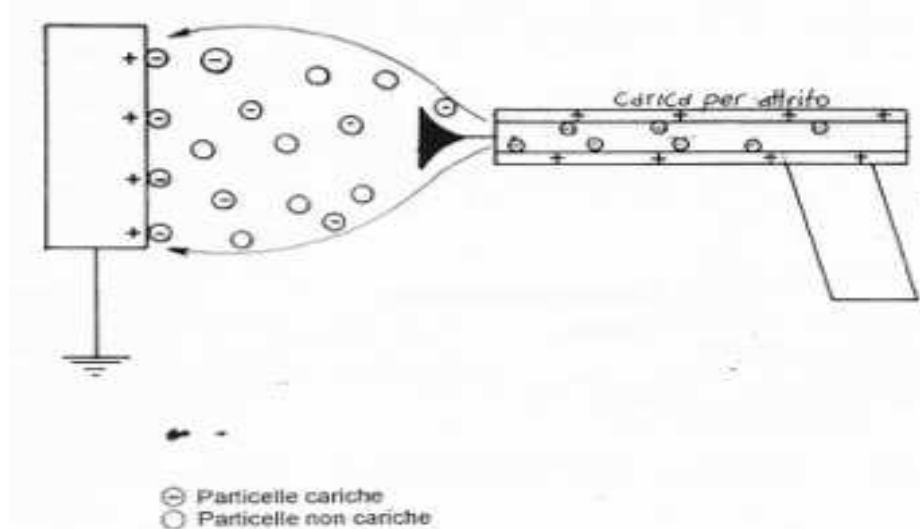


Fig 1: Schema di una pistola ad effetto triboelettrico

Una carica uguale e contraria a quella delle particelle si depositerà sulla parete interna della canna della pistola; con un uso prolungato ciò avrà effetti

pregiudizievoli sulle caratteristiche di caricamento a lungo termine delle pistole tribo. Il campo di deposizione sarà principalmente quello dovuto alla nuvola di polvere caricata, e le traiettorie delle particelle saranno influenzate più dal flusso dell'aria che dagli effetti elettrici.

Le pistole ad effetto corona invece, rappresentano la tecnologia ormai più diffusa soprattutto per diversi vantaggi rispetto al sistema triboelettrico. Le forze elettrostatiche generate sono nettamente più forti, garantendo una facile distribuzione della vernice ad eccezione degli spigoli, mantenendo invariato il comportamento anche con differenti tipi di polvere, nonché la capacità di coprire le parti schema di una pistola corona nascoste non direttamente sotto il getto aerodinamico della pistola.

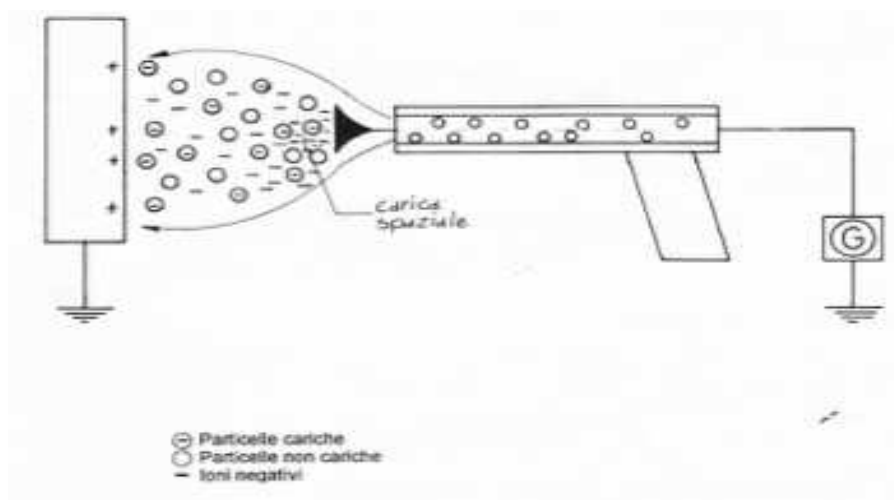


Fig 2: Schema di una pistola carica ad effetto corona

La carica elettrostatica impressa alla polvere è sempre di segno negativo, mentre il pezzo che viene verniciato funge da polo positivo.

La diversità delle cariche fa sì che la polvere verniciante sia attratta dal pezzo sul quale andrà ad aderire. Nei sistemi a corona la carica elettrostatica è fornita alla polvere tramite un generatore di corrente a voltaggio regolabile che, tramite un cavo appropriato, porta tensione all'elettrodo posto in punta alla pistola.

La quantità di carica che si accumula è direttamente proporzionale:

- al voltaggio scelto a livello di generatore per sistemi a corona,
- alla tipologia della polvere,
- alle caratteristiche della polvere,
- all'umidità della polvere,
- al contatto elettrico fra gancio di appensione e pezzo,
- al contatto elettrico fra gancio e sistema di trasporto.

Un aspetto da considerare è rappresentato da come si appendono i pezzi da verniciare, è necessario infatti assicurarsi che vi sia il contatto elettrico fra pezzo e catena: una buona prassi è quindi quella di controllare accuratamente che i ganci di appensione non siano sporchi di vernice già polimerizzata.

2.4 Cabina di verniciatura

Una volta seguito il percorso della polvere, dopo essere stata fluidificata, questa viene portata alla cabina di verniciatura dove avviene l'applicazione vera e propria. Le cabine di verniciatura hanno assunto negli anni forme e strutture le più varie possibili. Le prime presentavano forma di parallelepipedo e sul fondo un tappeto mobile, la cui funzione era quella di recuperare l'over-spray.

La forma e le dimensioni sono sempre state dettate dalla necessità di ridurre i tempi del cambio colore, che ha sempre spinto i costruttori nella ricerca di novità.

La frammentazione del mercato e l'introduzione di colori sempre nuovi, che consentissero agli addetti ai lavori di essere più competitivi, ha accentuato sempre di più negli anni la necessità di ridurre i tempi.

Negli impianti ad alta produttività, si è ricorso all'installazione della doppia cabina, che consente la pulizia della prima cabina, nel mentre la seconda lavora e viceversa. Negli ultimi anni, sono state messe a punto cabine che consentono un rapido

cambio colore, stimato mediamente in circa 10 minuti. Questi risultati sono stati raggiunti aumentando le dimensioni delle cabine, facendo in modo che il lancio della polvere in uscita dalle pistole non raggiungesse la parete opposta, ma che l'aspirazione convogliasse l'over-spray direttamente sul fondo.



Fig 3: Schema impianto verniciatura a polvere

Un aspetto fondamentale dove si è posta maggior è stata destinata la progettazione del fondo della cabina dove si accumula la maggiore quantità di over-spray.

Col passare degli anni le cabine hanno assunto forma circolare con il fondo tronco conico, in cui viene inserita l'aspirazione, oppure hanno conservato il fondo rettangolare.

Per lo più sono dotate di getti di aria compressa temporizzati che indirizzano la polvere depositata verso le zone di aspirazione.

Negli ultimi tempi sono stati adottati sistemi che in automatico consentono la pulizia delle pistole sia sulle parti esterne sia sulle parti interne, e allo stesso tempo la pulizia in automatico dei tubi polvere.

Tutte queste soluzioni hanno consentito una notevole riduzione dei tempi di pulizia della cabina, motivo per il quale, in parecchie installazioni, non si è sentita la necessità di ricorrere all'installazione della seconda cabina.

I reciprocatori costituiscono parte integrante della cabina di verniciatura, consistono in dispositivi automatici che muovono le pistole affinché si riesca a raggiungere tutta la superficie del manufatto. Sono costituiti da una struttura verticale compresi di guide sulle quali scorre il carrello a cui sono fissate le pistole. Il movimento è in senso verticale come viene mostrato nella figura sottostante.



Fig 4: Cabina di verniciatura in funzione

Un aspetto di primaria importanza è l'aspirazione, non deve essere né eccessiva, per conservare l'efficienza di applicazione, né scarsa, per evacuare efficientemente la polvere in eccesso.

Insieme alla cabina vengono installati dei sistemi di recupero dell'over-spray con sistemi diversi ma, qualunque sia il sistema, una parte dell'aria utilizzata va espulsa.

2.4.1 Recupero dell'over-spray

Per "overspray" si intende quella parte di vernice spruzzata che non si deposita sulla superficie da verniciare. Per sua natura, l'overspray non porta alcun beneficio al processo di rivestimento. Al contrario, risulta essere un onere in quanto incrementa la quantità di materiale che deve essere smaltito, incrementa il carico dei filtri, imbratta la cabina ed aumenta i livelli di emissione in atmosfera: la sua riduzione, quindi, non può che essere un risparmio. Inoltre, l'overspray che si deposita sulle parti già verniciate, influenza negativamente la qualità del processo di rivestimento, riducendo la brillantezza della superficie e contribuendo all'effetto "buccia d'arancia".

Il ciclone è il principale componente del sistema di recupero dell'over-spray. La sua funzione è quella di separare le particelle di polvere in sospensione nell'aria che giungono dalla cabina di verniciatura.

Il ciclone assume una forma cilindrica nella parte superiore, nella parte inferiore forma tronco-conica. All'interno, nella parte superiore, è presente un altro cilindro concentrico di diametro inferiore collegato direttamente all'aspirazione. Questa geometria fa sì che si venga a creare l'effetto centrifugo che separa le particelle di polvere dall'aria.

Nell'intercapedine presente tra i due cilindri, si genera quindi un moto a spirale dall'alto verso il basso causato dal flusso tangenziale al fianco del cilindro esterno. L'aria viene aspirata dal cilindro interno mentre l'inerzia delle particelle di polvere garantisce la discesa delle stesse lungo la superficie interna del ciclone.

Nella parte bassa presente una pompa che convoglia nel serbatoio della cabina polveri la polvere accumulata, pronta per essere riutilizzata.

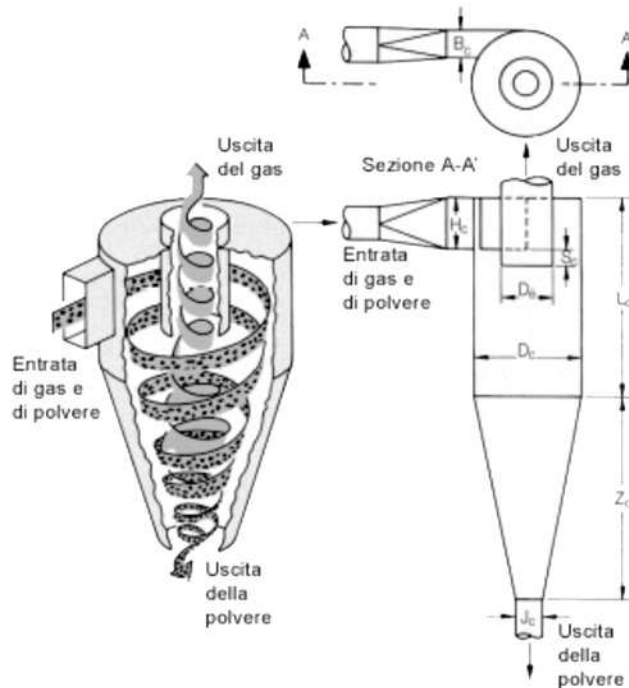


Fig 5: Principio funzionamento di un ciclone

Attualmente il rendimento medio di un ciclone si aggira attorno al 93-98%, e inoltre la nuova generazione di cicloni costruita ne consente l'autopulitura, che facilita enormemente i cambi di tinta.

Il diametro del ciclone ed il suo valore di aspirazione determinano quali particelle di polvere cadono sul fondo e quali vengono aspirate insieme all'aria della sospensione. L'efficienza di separazione è funzione di fattori quali portata d'aria, diametro cilindro esterno ed interno.

2.4.2 Cambio del colore

La scelta della cabina dipende dal fatto che si debba cambiare tinta oppure no. Se si deve impiegare un numero limitato di colori, si tende a mettere in linea due cabine in sequenza, meglio se sfilabili dalla linea, in modo da poter effettuare la pulizia di una cabina già utilizzata senza interrompere la produzione.

Uno schema standard di un ciclo completo di movimentazione delle polveri prevede:

- cabina automatica di applicazione
- aspirazione sulla base della cabina
- ciclone che invia l'aria in espulsione previa filtrazione
- contemporaneo recupero della polvere, tramite valvole, nel contenitore fluidificato per un nuovo invio al reciprocatore su cui sono montati gli erogatori elettrostatici.

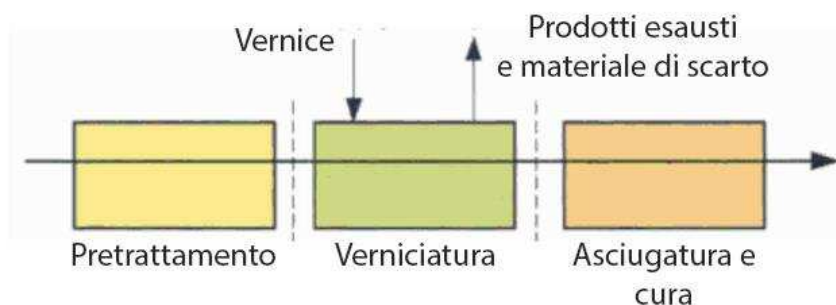
3 Pretrattamenti e preparazione del substrato

3.1 Processo di verniciatura

Per processo di verniciatura si intende l'insieme di tutte le operazioni successive, che vanno dalla preparazione del supporto fino al processo di reticolazione o cura, eseguite per generare un rivestimento continuo ed omogeneo, con scopi protettivi e/o decorativi, su un materiale di natura uguale o differente chiamato substrato. Osservando gli oggetti della vita quotidiana ci rende conto che la maggior parte dei manufatti che ci circondano sono stati sottoposti ad un processo di verniciatura. Questo perché attraverso la verniciatura è possibile conferire agli oggetti particolari peculiarità. In generale i rivestimenti sono utilizzati per incrementare o modificare le proprietà di resistenza meccaniche e/o chimiche del materiale sul quale essi sono depositati, come la resistenza agli agenti atmosferici a, alla luce, oppure semplicemente per migliorarne l'aspetto estetico.

I processi di verniciatura sono costituiti da tre step operativi:

- una fase di pretrattamento del substrato (meccanico e/o chimico), necessaria per garantire l'adesione del coating con lo strato sottostante;
- una operazione di verniciatura, attraverso la quale si ha la formazione del film liquido;
- una fase di reticolazione o cura del materiale del rivestimento.



Le variabili di processo di ognuno degli step sopra descritti influenzano le caratteristiche estetiche e funzionali del rivestimento risultante. Per tale ragione, per ogni singola applicazione, è necessario scegliere accuratamente tutte le variabili del processo di pretrattamento, di deposizione e cura.

Precedenti studi di processo hanno dimostrato che i trattamenti superficiali giocano un ruolo chiave nelle prestazioni esibite dai rivestimenti. In particolare il pretrattamento di sabbiatura delle superfici migliora significativamente il grado di adesione interfacciale tra substrato e rivestimento, in virtù delle microcorrugazioni che esso apporta sulla superficie del substrato. La migliore adesione interfacciale permette così al rivestimento di scaricare gli stress interni sul substrato, migliorando di conseguenza la sollecitazione massima che il rivestimento è in grado di sopportare. Altri trattamenti superficiali sono basati sul principio dell'adesione chimica.

Essi agiscono promuovendo l'adesione interfacciale tra coating e substrato in virtù dei gruppi funzionali che è possibile generare sulla superficie del manufatto e che possono facilmente reagire con i gruppi attivi del rivestimento. Allo stesso modo il processo di deposizione risulta di fondamentale importanza. Ad esso è collegata la riuscita di un film continuo ed omogeneo, nonché le sue caratteristiche intrinseche. Per comprendere l'importanza del processo di deposizione sulle caratteristiche del manufatto finale basti pensare allo spessore del coating, che è strettamente connesso ai parametri del processo di deposizione.

Non bisogna però dimenticare che le caratteristiche di un rivestimento sono connesse ad un altro importante fattore: l'ottimizzazione della formulazione. Per ottimizzazione della formulazione si intende la scelta accurata dei costituenti del rivestimento, a tal merito l'ottimizzazione delle formulazioni si può agire su numerosi parametri, quali la sequenza delle varie fasi del processo di formulazione o la concentrazione dei costituenti del pretrattamento.

3.2 Preparazione delle superfici

La progettazione di un rivestimento che soddisfi i requisiti di qualità desiderati non può non tener conto delle proprietà del substrato quali la natura chimica e la morfologia. Per assicurare la resistenza a lungo termine del film di rivestimento è necessario sottoporre il materiale da verniciare ad un trattamento meccanico e/o chimico prima del processo di verniciatura. La preparazione del supporto rappresenta una fase essenziale del ciclo di verniciatura, in caso di mancanza oppure di un'esecuzione non corretta genera il prematuro collasso del film e la perdita delle sue caratteristiche estetiche e funzionali.

I trattamenti hanno lo scopo di:

- rimuovere dalla superficie eventuali tracce di contaminati o ossidi (operazioni di sgrassaggio);
- agire sulla morfologia superficiale aumentandone la rugosità, per favorire l'adesione meccanica del rivestimento (sabbatura, lappatura, attacco chimico);
- migliorare la resistenza alla degradazione: per i metalli processo di fosfatazione
- favorire la formazione di legami chimici tra il supporto da verniciare e il rivestimento

I pretrattamenti del substrato possono essere eseguiti per asportazione meccanica, oppure attraverso agenti chimici. La scelta del particolare tipo di trattamento dipende principalmente dalla natura del materiale da trattare e dal tipo di rivestimento richiesto. In alcuni casi la fase di pretrattamento può essere eseguita con il solo scopo di assicurare la pulizia del pezzo verniciare; in altri casi il trattamento può svolgere contemporaneamente molteplici funzioni.

Nel caso dei trattamenti meccanici, per esempio, molto spesso oltre alla rimozione dei contaminati superficiali sono finalizzati a influenzare la morfologia del substrato,

trattamenti meccanici permettono infatti una sorta di rimodellamento della superficie da verniciare modificando la rugosità superficiale tale da consentire un vero e proprio collegamento meccanico con il rivestimento. Anche i trattamenti di tipo chimico possono essere effettuati con un duplice scopo. Nel caso di componenti molto difficili da verniciare, o che richiedono particolari cicli di pretrattamento è possibile seguire molteplici operazioni in serie.

Nella tabella sottostante sono riportati i trattamenti superficiali che si possono effettuare per substrati metallici a seconda di diversi contaminanti

Substrato	Contaminante	Pulizia della superficie	Pretrattamento
Metallo	Olio, grasso, polvere, calamina, ossidi, vernice residua, silicone	<u>Trattamenti meccanici:</u> rattivatura, lucidatura, spazzolatura, sabbatura	Decappaggio, Fosfatazione, Passivazione, Cromatura, Attivazione,
		<u>Trattamenti chimici:</u> lavaggio con solventi o agenti detergenti	

Tabella 1: Principali trattamenti per diversi contaminanti

3.2 Preparazione meccanica

Prevede tutti i trattamenti che implicano la pulizia delle superfici mediante operazioni meccaniche quali l'abrasione per spazzolatura, sabbiatura e granigliatura.

Sono particolarmente indicati per rimuovere i cosiddetti "contaminanti pesanti" (soprattutto ruggine e calamina") ed hanno la prerogativa di "irruvidire" la superficie metallica migliorando così l'adesione dei rivestimenti. Nei confronti della pulizia mediante detergenti chimici, la sabbiatura offre i seguenti vantaggi quali:

- superiore adesione del film
- nessun problema di inquinamento
- eliminazione della ruggine a costi bassi
- consumi energetici ridotti

3.2.1 Sabbiatura

La sabbiatura un procedimento meccanico con il quale si erode la parte più superficiale di un materiale tramite l'abrasione dovuta a un getto di sabbia e aria.

In campo meccanico la sabbiatura è un procedimento intermedio al ciclo di lavorazione del prodotto, solo raramente viene effettuato come operazione finale. Lo strato asportato può essere ossido, vernice, calcificazioni, un rivestimento galvanico o plastico, ecc. Al termine dell'operazione il materiale sottostante allo strato rimosso risulta completamente scoperto e con rugosità dipendente dalla grandezza della graniglia utilizzata e dalla pressione del getto, ma comunque molto accentuata in confronto ai valori tipici delle lavorazioni meccaniche. La sabbiatura risulta quindi uno dei procedimenti preferiti per preparare il pezzo alla successiva

verniciatura. La sabbiatura viene effettuata tipicamente su acciaio, ghisa, leghe metalliche in genere, legname, ceramiche, pietre e marmi; sia per impiego industriale meccanico che edilizio.

La superficie metallica deve possedere caratteristiche tali da garantire un'ideale base di ancoraggio per i rivestimenti protettivi. Per tale motivo occorre ripulirla da tutto ciò che è estraneo alla sua natura metallica chimicamente intesa. Infatti sulla superficie dei manufatti in acciaio utilizzati in edilizia possono essere presenti diversi ossidi e sali, la ruggine, la calamina, oltre a tracce di vecchie pitturazioni e altre sostanze estranee che pregiudicano l'efficacia del sistema protettivo poiché creano strati intermedi tra il metallo vero e proprio e il film antiruggine, di scarsissima stabilità e aderenza.

I metodi di sabbiatura principale sono:

- sabbiatura per via umida
- sabbiatura a secco

Il metodo per via umida si differenzia da quello a secco per il fatto che nella *corrente abrasiva* viene introdotta dell'acqua o una soluzione di acqua e di inibitore della corrosione. L'acqua può essere mescolata alle sostanze abrasive sia nel serbatoio a pressione sia nella corrente in corrispondenza dell'ugello soffiatore. Il metodo per via umida presenta il vantaggio di ridurre al minimo la produzione di polvere che si forma durante le operazioni di sabbiatura, pertanto è consigliato quando non è possibile eseguire l'intervento in luogo aperto o in una cabina di sabbiatura. Il metodo per via umida ha comunque lo svantaggio di non essere adatto a tutte le casistiche. Infatti per esempio nelle strutture metalliche che presentano un gran numero di recessi formati dalle travi orizzontali e dai profilati con cavità rivolte verso l'alto, le operazioni di pulizia risultano piuttosto difficili se eseguite per via umida in quanto è molto laborioso togliere la sabbia bagnata e gli altri residui del processo che restano intrappolati in detti anfratti. In tal caso, per la loro rimozione,

è necessario procedere al lavaggio, spazzolatura o soffio con aria compressa. Inoltre la presenza di acqua tende a far formare la ruggine anche se viene mescolata con composti antiruggine.

Altro difetto del procedimento umido è la sua maggiore lentezza rispetto a quello a secco poiché la presenza di acqua riduce il potere abrasivo del materiale utilizzato; aumentando il tempo di esecuzione aumentano anche i costi di realizzazione. Di norma il procedimento più usato è quello a secco.

I metodi di sabbiatura per via secca che possono essere impiegati presso il luogo di montaggio della struttura metallica e si possono suddividere in convenzionale (a ciclo aperto) o ad aspirazione (a ciclo chiuso).

Nel processo convenzionale non si prevede alcun accorgimento per diminuire i pericoli comportanti la produzione di polvere né per il recupero del materiale abrasivo.

Nel processo di sabbiatura ad aspirazione si prevede sia l'abbattimento della polvere sia il recupero del materiale abrasivo esaurito. L'attrezzatura utilizzata è costituita essenzialmente da:

- macchina di sabbiatura automatica a doppia camera adatta al lavoro dal carattere continuativo
- collettore di polvere
- pompa di aspirazione
- speciali ugelli o lance di sabbiatura

Il compressore d'aria per il processo di sabbiatura può essere fornito separatamente. Può essere impiegato qualunque tipo di abrasivo, comunque, di solito si impiegano granuli di ghisa macinati data la loro più alta resistenza a rottura. Il processo di sabbiatura consiste fondamentalmente nel muovere i granuli per mezzo di aria compressa che vengono espulsi dalla macchina per mezzo di un ugello, nel recuperare per mezzo di aspirazione i granuli dopo che hanno lavorato, e la polvere che si è prodotta attraverso un cono cavo che circonda l'ugello, e infine

nell'inviare questo materiale al recuperatore e nel rimuovere la polvere mediante l'apposito collettore. Tutte le operazioni di recupero e di separazione della polvere avvengono automaticamente. I granuli vengono utilizzati fino a quando non perdono le loro funzioni abrasive.

3.2.1.1 Materiali abrasivi

Gli abrasivi più comunemente impiegati nelle operazioni di sabbiatura sono:

- **sabbia silicea** (esclusa quella di mare): la sabbia utilizzata come abrasivo deve essere esente da argilla e dalla polvere ed essere costituita principalmente da granuli duri. Le sabbie possono essere naturali o artificiali (ottenute dalla frantumazione di particelle più grossolane). Quelle artificiali, ottenute per macinazione di particelle più grosse, risultano più efficienti poiché la loro superficie è più rugosa e gli spigoli risultano più numerosi e più acuti;
- **pallini e i granuli macinati di acciaio o di ghisa**: i pallini metallici sono meno efficienti dei granuli macinati perché, data la loro rotondità, tendono a scivolare sulla superficie metallica con un evidente minor effetto abrasivo.

L'impiego degli abrasivi metallici è limitato soltanto alla sabbiatura eseguita presso gli stabilimenti di produzione dei manufatti metallici, o nel caso di sabbiature ad aspirazione, in quanto detti abrasivi sono troppo costosi per i processi di sabbiatura che vengono eseguiti sul luogo del montaggio della struttura di acciaio dove non si possono evitare enormi perdite di materiale abrasivo. L'abrasivo metallico è da preferirsi anche quando si devono asportare dalla superficie metallica vecchie pitturazioni a durezza molto elevata e quando si è in presenza di manufatti nuovi, ancora totalmente o quasi ricoperti di scaglie di laminazione fortemente aderenti al

metallo. La sabbia silicea è generalmente preferita per le operazioni di sabbiatura in cantiere, per il suo minor costo rispetto all'abrasivo metallico e pertanto non risulta necessario provvedere al suo recupero dopo l'uso. La sabbia viene usata anche quando si ritiene di non dover eccedere nella profondità della sabbiatura. indipendentemente dalla natura, forma e dimensione delle particelle, queste devono risultare dure in misura sufficiente a compiere un'efficace azione di pulizia e abbastanza tenaci da resistere alle sollecitazioni a cui sono soggette.

3.2.1.2 Controllo dei parametri del profilo superficiale

Il controllo qualità dei parametri del profilo superficiale viene effettuato utilizzando solitamente un rugosimetro portatile, il quale in assenza di alcun supporto viene collocato sulla superficie granigliata ed effettuata la misurazione. In merito al seguente controllo qualitativo, si utilizza solitamente come riferimento la normativa ISO 8501-1-1998. Questa normativa tuttavia non prescrive dei valori accettabili dei parametri del profilo superficiale, ma prevede di identificare la superficie tra quattro diverse classi di sabbiatura/granigliatura, meglio conosciute come gradazione di granigliatura svedese. La determinazione della classe di appartenenza deve essere effettuata sulla base del controllo visivo, in assenza di strumenti che permettano un ingrandimento visivo, quindi ad occhio nudo. Le quattro classi previste dalla normativa sono:

- **SA 3 – sabbiatura a metallo bianco:** prevede la completa asportazione di tutti i prodotti della corrosione, di tutte le scaglie di laminazione, di tutte le tracce di vecchie pitture e in generale di tutte le impurità della superficie metallica. La superficie ottenibile dal processo manifesta un color grigio bianco metallico di aspetto uniforme e risulta essere caratterizzata da una rugosità superficiale tale da consentire un perfetto ancoraggio del prodotto verniciante.

- **SA 2 1/2 – sabbiatura a metallo quasi bianco:** prevede la quasi totale asportazione di tutte le impurità della superficie metallica, ad esclusione di leggerissime ombreggiature, venature molto leggere o leggeri scoloramenti causati da sporadiche macchie di ruggine oppure da leggeri residui aderenti di prodotti vernicianti.
- **SA 2 – sabbiatura commerciale:** prevede una sabbiatura buona ma non perfetta la quale impone l'asportazione di tutta la ruggine e delle altre materie estranee sulla superficie del metallo. La superficie ottenuta a valle del processo non deve essere necessariamente uniforme sia per quanto concerne il grado di pulizia sia per quanto riguarda l'aspetto. Le superficie comunque presentano una ruvidità molto adatta a conferire una salda adesione durante la successiva applicazione dei prodotti vernicianti.
- **SA 1 – sabbiatura grossolana (o spazzolatura):** prevede una rimozione delle scaglie libere di ruggine, di laminazione e di verniciatura, mentre vengono lasciate sulla superficie quelle ben aderenti e tali che la superficie sabbiata possa offrire una buona aderenza e giunzione durante la successiva applicazione del prodotto verniciante.



Fig 6: Rugotest: comparatore di rugosità ISO 8503

Comparatore ottico di rugosità superficiale di sabbiatura sferica e angolare. Una serie di provini standard sabbiati permettono la comparazione e l'identificazione dei valori di rugosità.

3.3 Preparazione chimica

Comprende tutti i trattamenti che coinvolgono la pulizia delle superfici mediante l'impiego di sostanze chimiche che hanno la funzione di eliminare i contaminanti di superficie. Con questo termine si definiscono tutte quelle sostanze estranee a volte presenti sulle lamiere metalliche come risultano nei processi produttivi o per voluta applicazione a scopo di protezione temporanea o di identificazione.

A questa categoria appartengono i seguenti processi:

- decapaggio per la rimozione di ossidi di metallo con acidi minerali forti
- fosfatazione
- disossidazione organica che ha la funzione di trasformare l'ossido di ferro in un composto metallorganico insolubile
- lavaggio con detergenti con la funzione di rimuovere i contaminanti organici
- lavaggio con solventi per la rimozione dei contaminanti grassi

3.3.1 Sgrassaggio

La sgrassatura è un procedimento di pulitura chimica dove vengono finalizzate la disgregazione, la scompattatura e la modificazione delle molecole oleose e grasse presenti sulla superficie del materiale. Tale processo chimico-fisico si distingue dal normale lavaggio dato che si prefigge di cambiare totalmente lo stato degli oli leggeri o pesanti, sintetici o naturali, raffinati o grezzi tal quali.

Nella pratica industriale l'operazione di sgrassatura può essere eseguita utilizzando solventi organici, soluzioni alcaline oppure semplicemente vapore. Un'ulteriore distinzione delle metodologie di lavaggio riguarda la temperatura di processo, in tal

senso la soluzione sgrassante può essere opportunamente riscaldata per favorire la rimozione del contaminante.

Nota l'importanza di una fase di pretrattamento del componente, è facile capire perché in ambito industriale, negli impianti in linea, si fa ricorso a lavaggi con stazione specializzate. Questi trattamenti possono essere eseguiti ad immersione oppure a spruzzo a seconda della geometria del componente da trattare, della natura del materiale e del grado di accuratezza richiesto al processo. Le operazioni di lavaggio richiedono l'utilizzo di una soluzione sgrassante, che a contatto con il pezzo da trattare deve assicurare la completa rimozione dei contaminanti superficiali.

Il trattamento a immersione è oggi poco utilizzato in quanto limita la produzione e richiede maggiore manualità operativa; per tale ragione la spruzzatura dei prodotti detergenti in linea avviene principalmente tramite pompe che pescano i prodotti detergenti da vasche precaricate e alimentano con una certa pressione un sistema di ugelli configurato in modo da circondare il pezzo. In figura sottostante si riporta una tipica cabina di lavaggio industriale.

3.3.2 Fosfatazione

La fosfatazione è un'operazione di grande importanza pratica all'interno dei processi di pretrattamento delle superfici metalliche. Si tratta di un processo di conversione chimica applicabile su diversi substrati metallici e caratterizzato dalla reazione tra acido fosforico e la superficie metallica in questione. La fosfatazione è finalizzata a formare uno strato metallico, (in genere ferro) di fosfati misti, fortemente aderente al substrato. Lo strato metallico agisce come protettivo qualora lo strato inorganico o di materiale verniciante vada a lesionarsi, garantendo la presenza del fosfato (inibitore) e inibendo la formazione di focolai corrosivi. Inoltre, il layer protettivo rappresenta un ideale substrato per l'adesione di pitture e vernici. Il processo viene

eseguito immergendo il pezzo metallico da fosfatare in un bagno, caratterizzato da acido fosforico libero, fosfati acidi alcalini e piccole quantità di additivi.

Il processo di fosfatazione permette di depositare sulla superficie del materiale ferroso un sottile strato di ferro bivalente di spessore compreso tra 0,1 e 0,6 μm . Il processo di fosfatazione può essere integrato con una fase di sgrassaggio mediante l'utilizzo di additivi tensioattivi aggiunti direttamente alla soluzione fosfatante, permettendo così di poter pulire e fosfatare in un unico trattamento la superficie.

Il processo è versatile, in quanto il contatto tra soluzione fosfosgrassante e superficie metallica può avvenire sia mediante un impianto di deposizione a spruzzo che tramite l'utilizzo di vasche ad immersione, permettendo così l'utilizzo dell'impianto per le più svariate forme geometriche da trattare e la deposizione della soluzione fosfosgrassante anche in sezioni del componente difficili da raggiungere. La tecnologia, che verrà impiegata nella preparazione dei supporti metallici oggetti di studio della seguente trattazione prevede il confronto di un prodotto fosfosgrassante alcalino e fosfosgrassante acido.

Un ciclo comune di fosfatazione amorfa è costituito principalmente dai seguenti step:

- fase di sgrassaggio e fosfatazione a 50-50°C per 1-4 minuti;
- risciacquo a freddo;
- un'ulteriore fase di passivazione;
- eventuale fase di essiccazione in forno.

Il rivestimento che si forma sull'acciaio a seguito del trattamento di fosfatazione al è costituito da uno strato limite di diversi fosfati di ferro, sia bivalente che trivalente, e, in misura minore da ossido da idrossidi di ferro. La formazione dello strato protettivo ha origine dall'attacco acido della superficie con la dissoluzione del

ferro e lo sviluppo di H_2 a spese degli H^+ , e con la conseguente formazione dello strato di fosfato di ferro. Nel caso di superfici non ferrose, come zinco e alluminio, la superficie protettiva che si forma è costituita da fosfati relativi. L'abilità dello strato fosfatato di resistere agli attacchi chimici è strettamente legata al suo spessore e al tipo di soluzione utilizzata nel trattamento di fosfatazione.

3.3.3 Decapaggio

Per decapaggio si intende un'operazione chimica atta a rimuovere e disciogliere ossidi superficiali presenti sui pezzi come per esempio ossidi di saldatura, ossidi di ricottura, ruggine, scorie inquinanti e la calamina nota anche come scaglia di laminazione: essa consiste in strato di ossido che si forma sulla superficie dei prodotti siderurgici durante le operazioni di laminazione a caldo.

Questa operazione chimica di dissoluzione avviene grazie all'utilizzo di acidi o basi e agisce mediante la rimozione volontaria e controllata di alcuni elementi superficiali allo scopo di pulire superficialmente un oggetto.

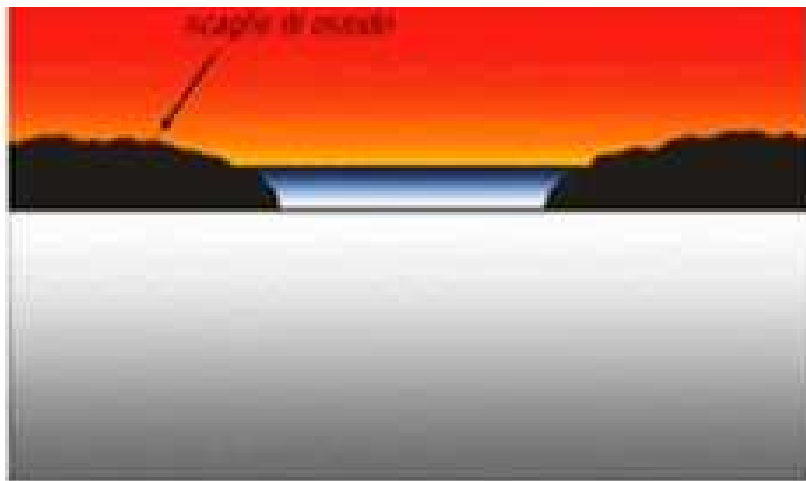


Fig 7: Immagine schematica dello strato di ossido da decapare

Normalmente nelle soluzioni di decapaggio si introducono anche inibitori di corrosione per controllare l'attacco dell'acido sulle zone di metallo ormai nudo poiché private dello strato di ossido più rapidamente delle altre.

Può essere realizzato sia per via meccanica che per via chimica, ma nella maggior parte dei casi si preferisce la solubilizzazione degli ossidi in acido, metodo sicuramente più semplice ed economico anche se comporta problematiche di tipo ambientale (necessità di smaltire i fluidi esausti). Tipicamente vengono usati acidi inorganici come l'acido solforico, cloridrico e fosforico applicati per immersione dei pezzi o per spruzzatura; le variabili di processo sono diverse, ma le più importanti sono temperatura, concentrazione e presenza di inibitori.

In ambito verniciatura il decapaggio preferibilmente utilizzato è quello tramite acido fosforico (H_3PO_4). L'acido fosforico tende infatti a lasciare sulla superficie del ferro uno strato molto sottile di fosfato ferroso che rappresenta una discreta protezione temporanea contro il *flash rusting* e costituisce una buona base per la verniciatura successiva: da questo punto di vista il processo si avvicina alla fosfatazione amorfa ai fosfati di ferro.

Questo processo è indicato quando si debbono verniciare manufatti parzialmente e/o debolmente ossidati, o con limitata presenza di ossidi termici. Per esigenze impiantistiche legate alla successiva verniciatura, il fosfodecapaggio viene condotto a spruzzo e non ad immersione. Per semplificare e accorciare il trattamento è consuetudine additivare la soluzione con opportuni tensioattivi che consentano lo sgrassaggio contemporaneamente al decapaggio; è anche consuetudine aggiungere alla soluzione acceleranti protettivi per aumentare il peso del rivestimento e migliorare la protezione temporanea contro il flash rusting. Questo processo può quindi essere considerato come un compromesso tra la fosfatazione e un vero decapaggio. L'analogia della resa è ancora più stretta dal fatto che l'acidità della soluzione, cioè la concentrazione di acido fosforico libero, viene mantenuta la più bassa possibile per facilitare la formazione del rivestimento.

Il tempo di permanenza richiesto alla soluzione decapante per rimuovere l'ossido superficiale è funzione del tipo di scaglia da asportare, dello spessore e della sua aderenza al metallo sottostante. Dopo il decapaggio, il componente trattato deve essere rapidamente raffreddato e lavato in acqua; questo ultimo passaggio consente il distacco delle ultime tracce di scaglia dalla superficie. Il lavaggio deve essere particolarmente accurato per pulire tutta la superficie da ogni possibile traccia della soluzione corrosiva utilizzata (per lo stesso motivo è bene evitare tempi di decapaggio troppo lunghi).

3.3.3 Passivazione

Per passivazione si intende quel fenomeno di natura chimica capace di rendere le superfici metalliche meno suscettibili (appunto, passive) ai fattori ambientali quali aria o acqua ed in particolare al loro effetto corrosivo. Consiste nella formazione di un sottilissimo strato esterno (nell'ordine di qualche nanometro) protettivo alla corrosione, che può essere ottenuto applicando un micro rivestimento oppure spontaneamente. In questo modo le superfici metalliche evitano i danni strutturali dovuti all'ossidazione profonda e preservano l'aspetto esterno.

La passivazione può essere di natura spontanea poiché, all'aria, quasi tutti i metalli formano naturalmente una superficie di ossido dura e inerte; oppure indotta. Il trattamento di *passivazione* indotta consiste nell'esporre le superfici metalliche a particolari agenti chimico/fisici per indurre o accelerare la produzione di un sottilissimo guscio di ossido protettivo. In altre parole, consiste nel deporre sulla superficie metallica un componente che inibisca l'azione dell'ossigeno dell'aria. Questo strato protettivo può essere persistente oppure temporaneo e dilavabile. Per quest'ultimo caso però è più opportuno parlare di *protezione* della superficie non di passivazione.

La passivazione, come regola generale, segue sempre il processo di decapaggio. La passivazione è molto utile, ad esempio, nei casi in cui la superficie di acciaio inossidabile risulti contaminata da ferro.

Le particelle di metalli poco nobili possono creare le premesse per attacchi corrosivi superficiali, anche in ambienti non molto aggressivi: in questi casi si osservano fenomeni di macchiatura della superficie (di colore ruggine nel caso di contaminazione ferrosa, biancastra nel caso di contaminazione da alluminio o zinco) conseguenza della rapida ossidazione del contaminante (acciaio, alluminio o zinco) e non, come erroneamente si crede, dell'acciaio inossidabile.

Nei casi più estremi, il deposito di ossido può essere causa di danni anche per l'acciaio inossidabile, in quanto può ostacolare il fenomeno di passivazione, oltre che costituire una zona preferenziale di innesco per la corrosione.

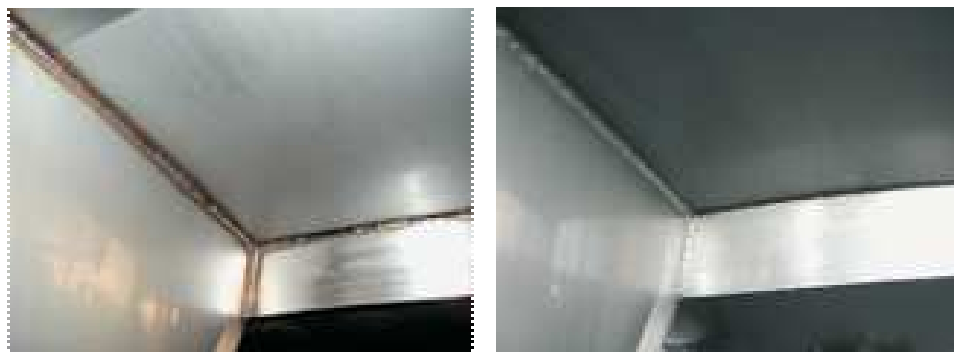


Fig 8: Effetto dell'impiego di paste decapanti su cordoni di saldatura in una scatola metallica

Il processo di passivazione è normalmente condotto con bagni passivanti, utilizzando soluzioni meno aggressive rispetto a quelle del decapaggio: in genere si tratta di soluzioni diluite di acido nitrico, HNO_3 . Scopo di questo trattamento, come già accennato, è quello di "sciogliere" gli eventuali contaminanti presenti in superficie e ripristinare lo strato di protezione (film passivo), accelerando il processo di passivazione naturale dell'acciaio inossidabile.

Anche per gli impianti ove si esegue la passivazione è necessario avere adeguati sistemi di smaltimento e di sicurezza opportuni. Come nel caso del decapaggio

possono essere utilizzate paste passivanti per il trattamento localizzato di zone limitate dei componenti.

3.3.4 Decapaggio e Passivazione: norme di riferimento

Le operazioni di decapaggio e di passivazione per via chimica richiedono particolare cura.

Svariati sono i parametri che hanno incidenza su questi processi di preparazione della superficie degli acciai inossidabili: la differente tipologia delle sostanze impiegate, le diverse formulazioni, le tempistiche di applicazione e le pratiche operative da rispettare in relazione al tipo di acciaio inossidabile trattato e delle condizioni in cui esso si trova. Per inquadrare il problema è opportuno segnalare che:

- quanto più l'acciaio inossidabile è legato (ovvero quanto più è resistente alla corrosione), tanto più le sostanze impiegate dovranno avere un elevato potere decapante (elevata concentrazione delle sostanze acide ed elevata temperatura di lavoro);
- quanto più consistente e resistente è la scaglia di ossido, tanto più i tempi di azione della soluzione decapante saranno lunghi, a parità di materiale trattato.

Al fine di fornire alcune valide indicazioni sui processi di decapaggio e passivazione, si segnalano le due norme americane che costituiscono un valido riferimento per affrontare le tematiche descritte:

- **ASTM A-380** *“Standard practice for cleaning, descaling and passivation of stainless steel parts, equipment and systems”*;
- **ASTM A-967** *“Standard specification for chemical passivation treatments of stainless steel parts”*.

In tali norme sono riportate le formulazioni, le temperature, le tempistiche e le pratiche operative per il decapaggio e la passivazione delle varie tipologie di acciaio inossidabile; a titolo esemplificativo si riporta un estratto delle tabelle relative al decapaggio ed alla passivazione contenute nella norma ASTM-A 380.

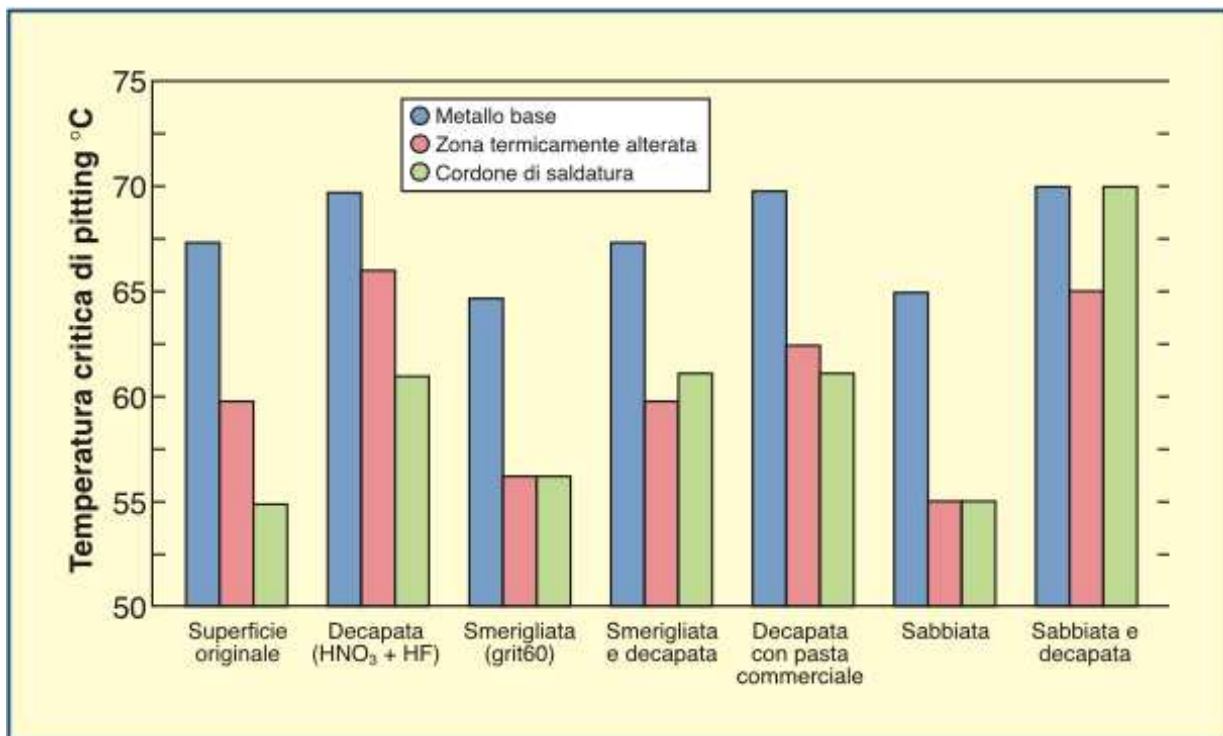


Fig 9: Effetto della diversa metodologia di decapaggio sulla temperatura critica di pitting nelle diverse zone di un giunto saldato in acciaio inossidabile.

4 Controlli superficiali sui film di vernice

Controllare le varie fasi di verniciatura di un manufatto significa dover raccogliere dati certi ed incontestabili, che non lasciano spazio alla soggettività.

L'esecuzione dei controlli sistematici in produzione assicura molti vantaggi, il primo dei quali è il risparmio dei tempi di ricerca in caso di difetti finali; se poi si estendono i controlli alle varie fasi di verniciatura, si raggiunge la quasi certezza di prevenire errori e le contestazioni prima e non dopo che essi si siano verificati.

Il controllo superficiale si identifica con il controllo di qualità in quanto permette una messa a punto del ciclo intero della verniciatura. Allo scopo di garantire un buon livello di qualità, un gruppo di imprese industriali specializzate nella verniciatura dell'alluminio ha costituito in Italia un'associazione nazionale denominata VECTAL che ha formato assieme alle associazioni nazionali di altri 7 paesi, l'associazione europea verniciatori alluminio denominata EUROCOAT la quale ha realizzato il marchio di qualità QUALICOAT.

Lo scopo delle direttive tecniche de marchio QUALICOAT è quello di fissare dei criteri minimi che devono essere imposti alle installazioni, ai prodotti finiti ed alle materie prime.

La normativa UNI EN ISO 12944 adottata dal marchio QUALICOAT definisce uno standard che tiene conto di due fattori di quando si protegge un metallo dalla corrosione:

- **Corrosività ambientale:** classifica gli ambienti in diverse categorie che vengono poi valutate in base alla loro capacità di corrodere il metallo non protetto riassunti nella figura sottostante.



Fig 10: Definizioni di classi di corrosività secondo la normativa ISO 12944

- **Durata del rivestimento:** fornisce indicazioni sulla durata prevista di un rivestimento fino alla sua prima manutenzione significativa importante ed è definita in 4 espressioni nella tabella sottostante:

Durabilità	Anni prima di una importante manutenzione
Bassa	Fino a 7 anni
Media	Da 7 a 15 anni
Alta	Da 15 a 25 anni
Molto alta	Oltre 25 anni

Queste determinano anche le procedure imposte al verniciatore impegnato con il marchio Qualicoat; di seguito descriveremo alcune delle direttive e prove tecniche necessarie ai fini di ottenere la licenza Qualicoat.

Un'importante premessa. I controlli finali sul prodotto (film), che danno un valore quantitativo e qualificano il manufatto, sono da eseguire (a seconda del tipo di vernice) non prima di 24-48 ore dopo l'uscita del pezzo dal forno di cottura, ma comunque a reticolazione avvenuta.

4.1 Controllo dei residui superficiali

Il test utilizzato per il controllo dei residui superficiali, viene effettuato a monte del processo di verniciatura e permette di valutare la quantità e la dimensione dei residui presenti su quest'ultima. La normativa di riferimento in questo caso è la ISO 8502-3-2000, la quale prevede di eseguire il test come segue:

- Posizionamento sulla superficie del componente di una striscia di nastro adesivo trasparente di lunghezza circa pari a 150 mm, avente una larghezza pari a 25mm e una forza adesiva massima pari a 190 N per metro.
- Rimozione del nastro applicato con una velocità costante, in un tempo circa pari a 5/6 secondi.
- Posizionamento del nastro appena rimosso sull'apposita tabella di confronto.
- Stima delle dimensioni e della quantità di residui polverosi sulla superficie mediante l'apposito strumento fornito di lente graduata.
- Identificazione delle classe di appartenenza attraverso la comparazione visiva.

La normativa identifica 5 diverse classi di "polverosità", riportate nella pagina seguente:

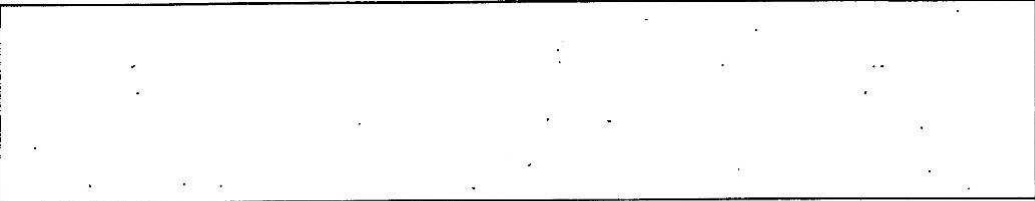
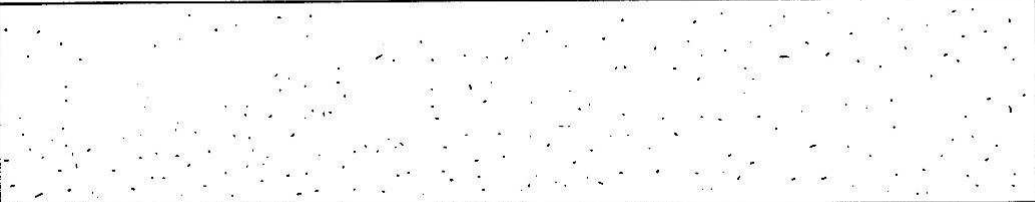
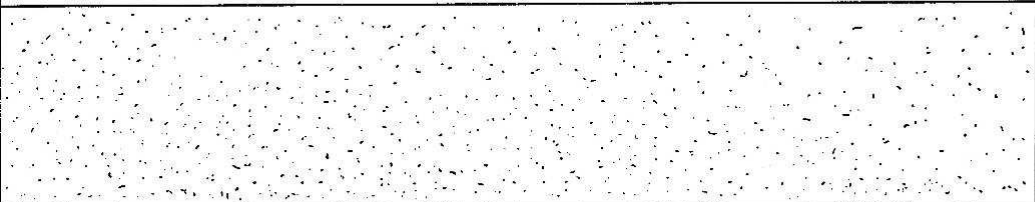
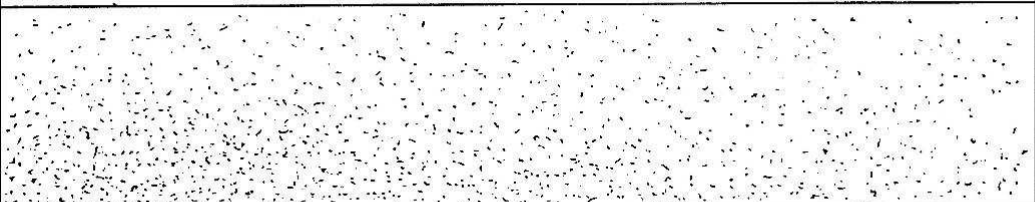
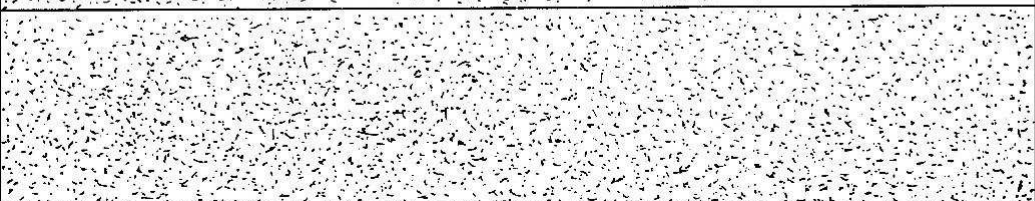
	1
	2
	3
	4
	5

Fig 11: Gradi di polverosità superficiale secondo ISO 8502

L'attività di controllo qualità in oggetto, può essere utilizzato come test passa/non passa sulla base delle dimensioni e della numerosità delle particelle di polvere, utilizzando come standard di riferimento le specifiche interne dell'azienda. In alternativa, il test può essere eseguito al fine di monitorare in maniera continua la qualità della pulizia superficiale a monte del processo di verniciatura, in modo tale da identificare al più presto eventuali malfunzionamenti dei processi di preparazione della superficie.

4.2 Controllo dello spessore del film secco

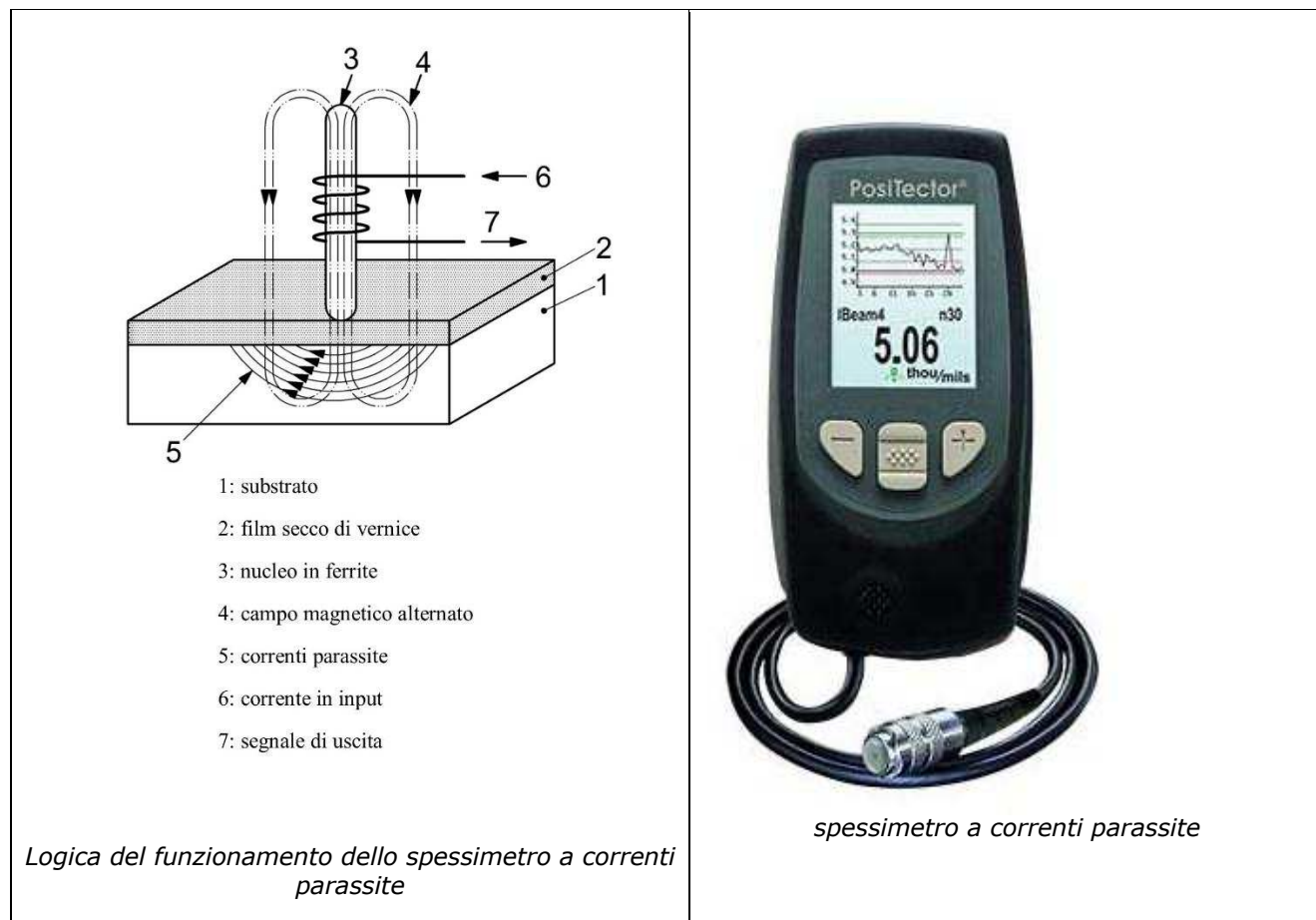
Una delle cause che concorrono maggiormente alla generazione dei difetti di verniciatura è la non conformità dello spessore dello strato a secco di prodotto verniciante presente sul manufatto. Ogni tipologia di prodotto verniciante, in base alla sua composizione chimica, alla numerosità di strati che ricoprono il substrato e in base alla modalità di verniciatura del componente, presenta range di conformità degli spessori diversi. La determinazione degli spessori del film secco, può avvenire sfruttando principi fisici diversi, a seconda della volontà di effettuare un controllo distruttivo o non e della volontà di implementare un processo di misura caratterizzato da errori sistematici e riproducibilità più o meno alti. La normativa di riferimento, è la ISO 2808-2007 e classifica nel seguente modo:

Principle	Method	Substrate ^a	Field of application ^b			Standard ^c	Accuracy/precision ^d
			nd/d ^e	c	l		
Mechanical (5.2)	4A Difference in thickness (micrometer/dial gauge) (5.2.4)	X	nd/d ^e	c	l	ASTM D 1005 DIN 50933	Mechanical: lower limit 5 µm Electronic: lower limit 3 µm
	4B Depth gauging (micrometer/dial gauge) (5.2.5)	X	d	c	l		Mechanical: lower limit 3 µm Electronic: lower limit 2 µm
	4C Surface profile scanning (5.2.6)	X	d	nc	l	ISO 4518	Lower limit: 2 µm
Gravimetric (5.3)	5 By difference in mass (5.3.4)	X	d	c	l/p/f		No data available.
Optical (5.4)	6A Cross-sectioning (5.4.4)	X	d	c	l	ISO 1463	Systematic error ± 2 µm Reproducibility ± 5 %
	6B Wedge cut (5.4.5)	X	d	c	l/p/f	DIN 50986	With the upper limit 2 µm Reproducibility ± 10 %
Magnetic (5.5)	7A Magnetic pull-off gauge (5.5.5)	Fe	nd	c	l/p/f	ISO 2178	Systematic error ± 5 µm Reproducibility ± 6 %
	7B Magnetic-flux gauge (5.5.6)	Fe	nd	c	l/p/f		Systematic error ± 3 µm Reproducibility ± 5 %
	7C Magnetic-induction gauge (5.5.7)	Fe	nd	c	l/p/f	ISO 2178	Systematic error ± 2 µm Reproducibility ± 3 %
	7D Eddy-current gauge (5.5.8)	NFe	nd	c	l/p/f	ISO 2360	Systematic error ± 2 µm Reproducibility ± 3 %
Radiological (5.6)	8 Beta backscattering (5.6.4)	X	nd	nc	l/p	ISO 3543	Systematic error ± 2 % or ± 0,5 µm, whichever is higher
Photothermal (5.7)	9 Thermal properties (5.7.4)	X	nd	nc	l/p	EN 15042-2	No data available
Acoustic (5.8)	10 Ultrasonic thickness gauge (5.8.4)	X	nd	c	l/p/f		Systematic error ± 2 µm Reproducibility ± 5 %
<p>^a X/Fe/NFe = any/ferromagnetic metal/non-ferromagnetic metal</p> <p>^b d = destructive nd = non-destructive c = contact nc = non-contact l/p/f = applicable to laboratory/production/field work</p> <p>^c Representative (inter)national standards in which the methods are described.</p> <p>^d Accuracy data for these methods are made available by the instrument manufacturers and can be verified with traceable calibration standards. The figures given are based on empirical values given by the instrument manufacturers and by users. Variations are possible.</p> <p>^e Depends on the procedure.</p>							

Fig 12: Classificazione degli strumenti ISO 2808.2007

Sebbene siano tutti metodi importanti, descriveremo esclusivamente il processo di misurazione degli spessori del film mediante il cosiddetto spessimetro a corrente parassita, che rappresenta una degli strumenti maggiormente utilizzati nel mondo industriale.

Lo spessimetro a correnti parassite è uno strumento per la misurazione dello spessore del film a secco di vernice funzionante grazie ad un elettromagnete che mediante le correnti parassite genera una variazione del campo magnetico nel substrato.



Dal punto di vista dei parametri che possono deviare la misurazione, la metodologia di misura a correnti parassite presenta un'incertezza che risulta essere influenzata dalla presenza di:

- **Curvatura della superficie:** influenza che varia considerevolmente in base al valore di curvatura e in base alla tipologia di tastatore utilizzato.
- **Rugosità superficiale:** la topografia della superficie influenza notevolmente la misurazione, in quanto la presenza di picchi e valli generano errori sia sistematici che casuali. Al fine di rendere la misurazione quanto più accurata possibile, la calibrazione dello strumento deve essere

effettuata su una superficie avente una rugosità simile a quella dei manufatti soggetti alle successive misurazioni.

- **Pressione esercitata sul tastatore:** la pressione esercitata sul tastatore deve essere quanto più possibile costante. Per questo motivo, la misurazione deve essere effettuata dal medesimo operatore che effettuerà la successiva misurazione.
- **Temperatura:** influenza le caratteristiche del tastatore e per questo motivo, la misurazione deve essere effettuata ad una temperatura quanto più possibile simile a quella in cui si è effettuata la calibrazione dello strumento.

Essendo la deposizione del prodotto verniciante una procedura spesso svolta manualmente, ed essendo lo strumento in oggetto particolarmente influenzabile dalla morfologia della superficie e dalle condizioni in cui viene effettuata la misurazione, una singola misurazione puntuale non risulta essere sufficiente a definire la conformità o meno del manufatto. Per questo motivo, la normativa ISO 2360-2003, individua un numero di aree di test da eseguire dipendente dalla dimensione dell'area verniciata e dalla geometria della stessa, ovvero:

- Per le superfici piane, due aree di test per ogni metro quadrato.
- Per le superfici complesse, quattro aree di test per ogni metro quadrato
- Due aree di test o più per ogni metro di lunghezza delle tubazioni.

Per ogni area di test, la normativa prevede che debbano essere indicate la lista di tutti i valori rilevati, la deviazione standard di queste e il valore massimo e minimo delle letture.

4.3 Test resistenza all'impatto.

Il test di resistenza all'impatto consente di valutare gli esiti degli urti sulle superfici verniciate, evidenziando così la flessibilità della vernice e le potenziali crepe che andranno a formarsi.

Questo test si rivela estremamente utile in fase di verniciatura perché misura la resistenza del rivestimento alla deformazione, quando un determinato carico viene applicato rapidamente.

La prova consiste nella caduta di una massa di peso noto ad un'altezza controllata su un campione posto alla base del tester di impatto. A seguito dell'impatto si valutano gli effetti osservando le fenditure e/o i distacchi che si vengono a produrre dopo l'urto. Nel caso di una superficie verniciata, il cedimento apparirà come una crepa/deformazione nel film che può essere utilizzata per misurare la resistenza all'impatto e la flessibilità di una vernice. Per i materiali plastici la forza di impatto applicata è maggiore e la valutazione del campione viene effettuata in base al cedimento strutturale. I test di impatto possono essere condotti provocando una deformazione concava (intrusione) facendo impattare il peso sulla parte rivestita del campione da esaminare, oppure provocando una deformazione convessa (estrusione) facendo impattare il peso sul lato opposto a quello del rivestimento. Questi metodi di prova condotti con i tester di impatto sono di tipo "passa/non passa" in quanto a seguito della caduta si verifica se il campione è conforme o meno allo standard di riferimento, e di classificazione poiché si valutano gli effetti aumentando gradualmente l'altezza e/o le caratteristiche del peso al fine di verificare i parametri massimi di tenuta del campione.



Fig 13: Esecuzione e apparato impact tester

Il risultato è influenzato da una serie di caratteristiche, come lo spessore della vernice, dalle proprietà meccaniche e dalla superficie del substrato.

La norma che regola la prova è la ISO 6272, che indica il metodo standard per la valutazione della resistenza alla rottura o distacco dal substrato delle vernici quando sottoposti ad una deformazione causata da una massa cadente avente un punzone sferico di 20 mm di diametro.

4.4 Determinazione spessore film polimerizzato

Uno dei primi controlli di qualità da effettuare è la valutazione dello spessore del film della vernice perché uno spessore depositato a regola d'arte sul pezzo è uno dei più importanti requisiti qualitativi nella finitura delle superfici.

La misura dello spessore dei rivestimenti è un metodo non distruttivo per misurare lo spessore di un rivestimento applicato sulla superficie di un pezzo.

Oltre a mantenere l'integrità della superficie verificata, un aspetto interessante di questo metodo è la possibilità di essere applicato sia su rivestimenti asciutti che umidi. La differenza principale tra la misura dello spessore dei rivestimenti a secco e quella a umido consiste nella tipologia di strumento utilizzato.

La misurazione a secco è generalmente applicata per misurare qualsiasi strato isolante applicato su substrato metallico, come vernice e strati di plastica, e viene effettuata mediante spessimetri per rivestimenti, in grado di indicare con precisione lo spessore di ogni tipologia di rivestimento o di vernice presente su supporti metallici ferrosi (magnetici) e non ferrosi (non magnetici).

Gli spessimetri per rivestimenti utilizzano il principio di misura dell'induzione magnetica per i rivestimenti su base ferrosa. Tecnicamente la sonda dello strumento integra una bobina eccitata da una corrente alternata che genera un campo magnetico a bassa frequenza avente un'intensità corrispondente alla distanza tra la sonda e il materiale di base. Il campo magnetico generato viene misurato da una bobina ed il segnale ottenuto viene convertito in valori di spessore di vernice (o rivestimento).

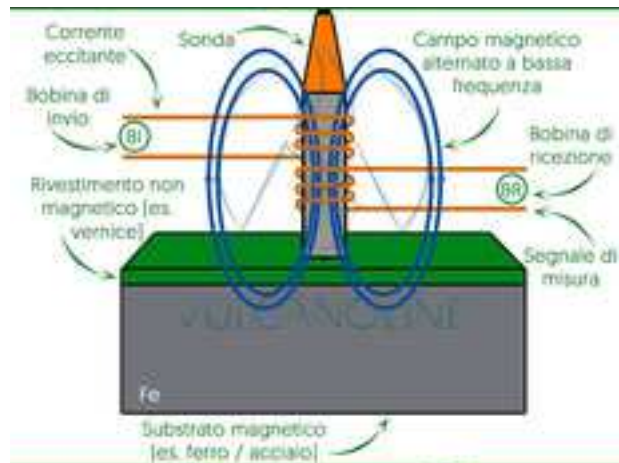


Fig 14: Schema metodo induzione magnetica su sonda spessimetro per vernice. Il funzionamento di questo metodo è subordinato alle caratteristiche del substrato e del rivestimento

Si utilizza invece il principio e della corrente parassita per i rivestimenti su base non ferrosa. Il principio delle correnti parassite è simile, tranne che la bobina è eccitata da una corrente alternata ad alta frequenza. Quando la sonda dello spessimetro per vernici viene posta a contatto con un metallo non ferroso verniciato o rivestito, vengono generate correnti parassite indotte nel materiale di base che a loro volta indeboliscono induttivamente il campo della bobina. La variazione del campo è direttamente proporzionale alla distanza tra la sonda e il metallo.

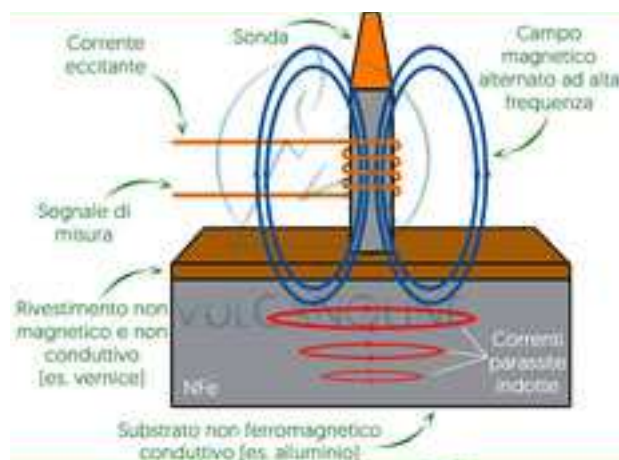


Fig 15: Schema metodo correnti parassite su sonda spessimetro per vernice. Il funzionamento è subordinato al substrato non ferromagnetico conduttivo ed al rivestimento non conduttivo non ferromagnetico

Oltre alla verifica degli spessori delle vernici, questi strumenti possono misurare diverse tipologie di rivestimenti applicati a substrati o derivanti da bagni galvanici come anodizzazione, cromatura, zincatura, ecc.

D'altro canto, la misurazione a umido viene solitamente applicata durante i processi di verniciatura o di rivestimento, poiché non richiede che lo strato di vernice sia completamente asciutto. Questo è particolarmente utile per i fornitori di servizi di rivestimento, in quanto consente loro di regolare immediatamente lo strato del rivestimento, se necessario, senza la necessità di modifiche successive.

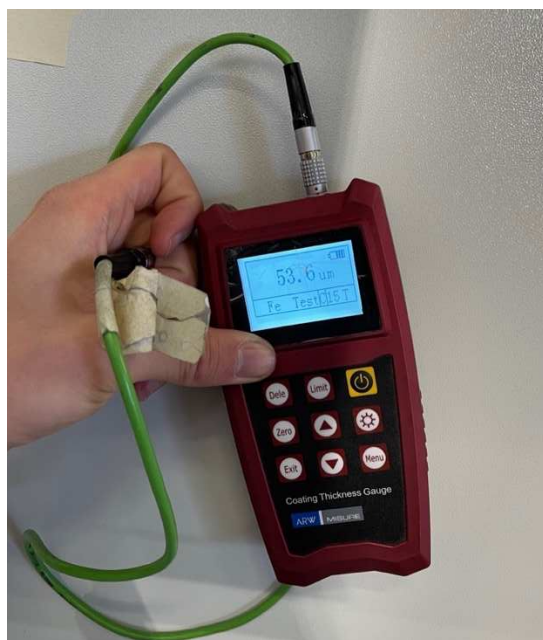


Fig 16: Misurazione spessore lamiera tramite spessimetro

4.5 Determinazione della brillantezza (gloss)

La brillantezza o lucentezza di una superficie viene espressa in "Gloss" ed è una proprietà ottica, basata sull'interazione della luce con le caratteristiche fisiche della superficie stessa, ossia la sua capacità di riflettere la luce in modo speculare.

La misura del Gloss si basa sul fenomeno di riflessione speculare di una superficie illuminata da un fascio luminoso con angolo d'incidenza prefissato che può variare in funzione al grado di brillantezza più o meno elevato partendo dai 60° standard. Il campo di misura viene espresso in unità GU (Gloss Unit) ed è compreso tra 0 GU (superficie molto opaca) e 100 GU (superficie molto lucida), estendendosi fino a 1999 GU per superfici metalliche a specchio. L'apparecchiatura utilizzata per la misurazione di questa proprietà ottica è il "Glossmetro", si tratta di uno strumento portatile che, attraverso una finestra posta sulla base di appoggio, proietta un fascio di luce bianca non polarizzata sulla superficie del campione da testare ad un angolo di incidenza scelto tra i 20°, 60° e 85° nella condizione standard è 45°/75° per alcune applicazioni specifiche come per esempio nel settore della Carta. La scelta dell'angolo di lettura di un glossmetro (Geometria di misura) si effettua tenendo in considerazione i seguenti valori:

- 20° Migliore accuratezza e risoluzione su campioni ad alto valore di gloss e/o per superfici metalliche lucidate a specchio (Valore >70GU misurati a 60°)
- 60° Angolo universale per tutti i livelli di gloss,
- 85° Migliore risoluzione su materiali opachi (Valore <10GU misurati a 60°)

Generalmente, le angolazioni che si valutano per stabilire il grado di riflessione speculare sono quelle a 60° ed 85° e – per come indicato nella **normativa EN ISO 2813** – si considera anche l'asse verticale.

Pertanto si determinano le seguenti risultanti:

Classificazione	Angolo di misura	Gradi di brillantezza
Molto brillante	60°	>80 GU
Brillante	60°	Da < 80 a 60 GU
Semilucido	60°	Da < 60 a 30 GU
Semiopaco	85°	Da < 30 a 10 GU
Opaco	85°	Da < 10 a 5 GU
Molto opaco	85°	<5 GU

Tabella 2: classificazione dei gloss in base all'angolo di misura del glossmetro



Fig 17: Misurazione brillantezza tramite glossmetro

5 Materiali e Metodi

In questo capitolo è discussa la parte sperimentale del lavoro di tesi. Successivamente viene invece descritto il layout, l'attività di controllo dei parametri di processo, i prodotti utilizzati, i trattamenti realizzati e le ragioni che hanno portato a tali scelte. Il capitolo è concluso dalla trattazione sulle prove sperimentali in cui sono descritte le apparecchiature usate e i parametri operativi.

5.1 Layout dell'impianto

In questo paragrafo verrà descritto il processo, il layout dell'impianto di verniciatura in questione, la metodologia di controllo e di monitoraggio dei parametri operativi dei bagni per il trattamento pre-verniciatura di ogni materiale.

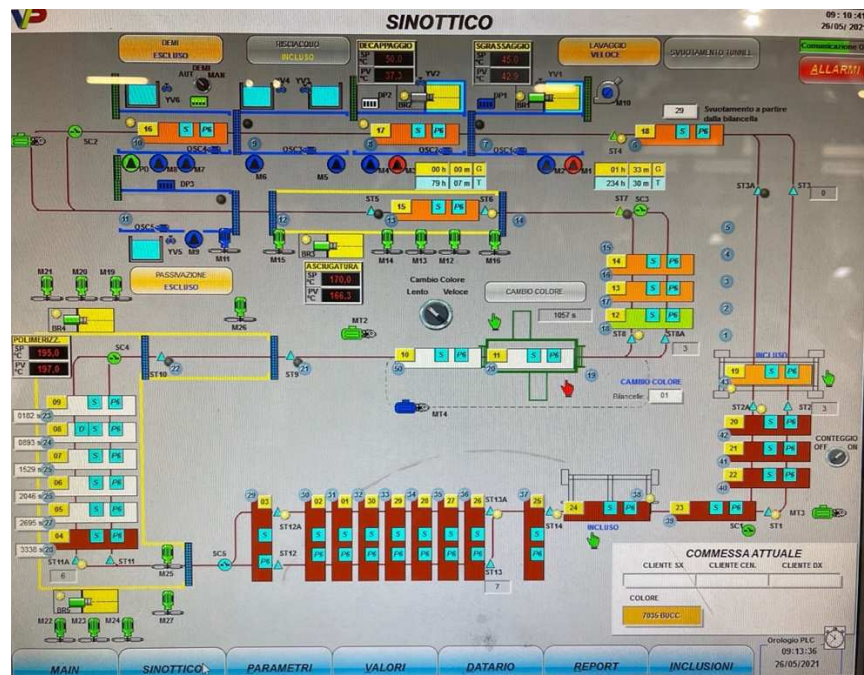
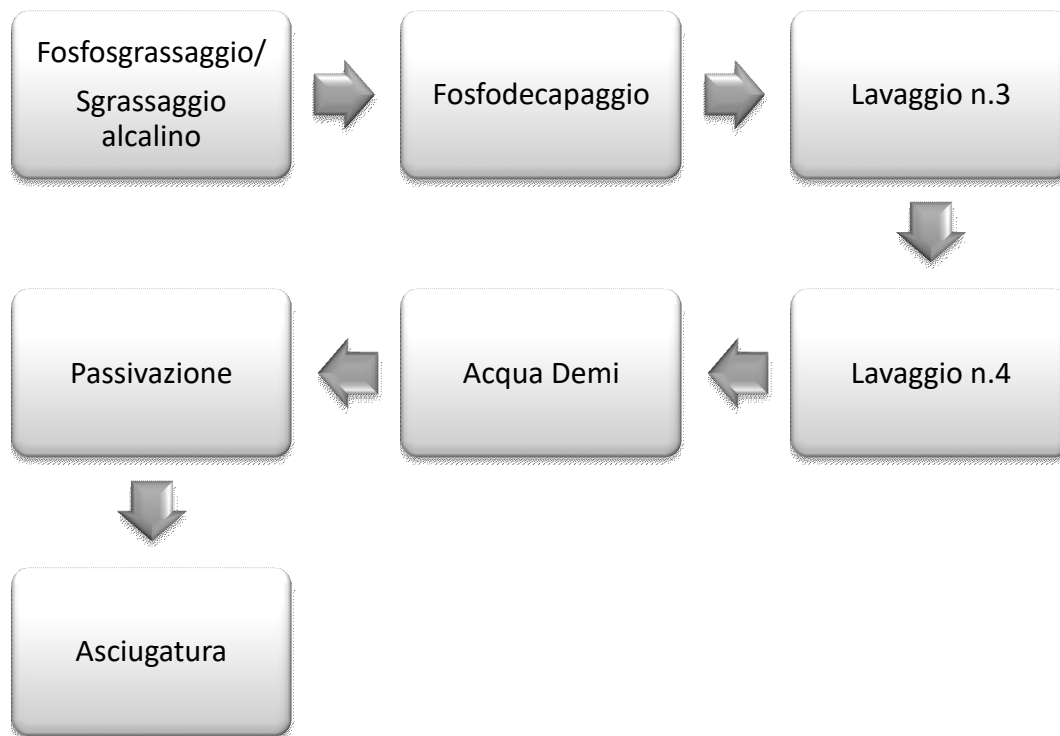


Fig 18: Quadro sinottico del layout dell'impianto di VP Verniciatura

Il processo e i pretrattamenti che si possono effettuare prima della verniciatura come vengono riportati dal quadro sinottico possono essere riassunti nello schema sottostante.



Per ogni pretrattamento vengono riportati nella tabella in seguito il volume relativo di ogni vasca, il tempo di contatto e la temperatura alla quale viene eseguita la lavorazione.

Processo	Parametri di processo	
Fosfosgrassaggio (FS)/ Sgrassaggio alcalino (SA)	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	7000 L Da 1 a 5 min 45°C
Fosfo Decapaggio (FD)	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	7000 L Da 1 a 5 min >45°C (ambiente)

Lavaggio n.3	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	4000 L 2 min <40°C (ambiente)
Lavaggio n.4	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	4000 L 3 min 38°C (ambiente)
Passivazione (P)	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	4000 L Da 1 a 2 min <35°C (ambiente)
Acqua Demi	Volume vasca: Tempo: Temperatura:	1000 L 2 min (ambiente)

5.2 Materiali

La scelta dei materiali e del substrato oggetto di studio per la resistenza alla corrosione ai vari parametri di processo è ricaduta principalmente su due versioni di acciaio. Il primo tipo di lamierino preso in esame costituito da acciaio nero non galvanizzato caratterizzato dalla presenza di un rivestimento di ossido di ferro sulla superficie dell'acciaio, noto comunemente come "Ferro nero".

Il secondo tipo di lamierino oggetto di studio è costituito da acciaio al carbonio dove è stato eseguito un trattamento superficiale di zincatura a freddo: prevede che l'acciaio venga immerso in una soluzione con sali di zinco, l'elettricità, attraverso un processo di elettrolisi, permette allo zinco di creare uno strato sottile di zinco sulla lamiera, identificheremo questo tipo di materiale come "Zincato".

Entrambe le forme sono le più comuni e le più utilizzate per la produzione di tubazioni e componenti strutturali per macchine industriali.

5.3 Prodotti

Per la fornitura di prodotti utilizzati nei cicli di pretrattamento di verniciatura e per il monitoraggio dei test in nebbia salina neutra la società VP Verniciatura ha sviluppato una collaborazione e si è appoggiata alla società Kemmex S.P.A.

Nella tabella sottostante vengono riportati i prodotti utilizzati per ogni processo di pretrattamento:

Denominazione	Prodotto Kemmex
Sgrassaggio alcalino (SA)	DeNCLEAN 411 AS
Fosfo-sgrassaggio (FS)	DF NX 1417
Fosfo-decapaggio (FD)	DEC/AISI F 60
Passivante silanico (P)	DOLLCOAT SA 111

Tabella 3: denominazioni dei vari prodotti utilizzati

5.4 Parametri operativi

In questo paragrafo vengono illustrate le metodologie utilizzate per il monitoraggio e il controllo dei parametri operativi di processo nella fase di pretrattamento del materiale da verniciare.

Nella fase di sgrassaggio sono stati utilizzati due prodotti differenti: sgrassaggio alcalino o fosfosgrassaggio.

Il primo prodotto è stato utilizzato in precedenza per un periodo limitato per ragioni di costi di produzione inferiori e per specifiche richieste del cliente; in seguito si è dimostrato che per la configurazione dell'impianto in esame e per una resistenza alla corrosione più efficace il fosfosgrassaggio è risultata la scelta più ottimale.

5.4.1 Controllo del bagno Sgrassaggio alcalino

Il controllo del bagno viene svolto mediante la determinazione dell'alcalinità totale nel modo seguente:

- Prelevare 20 ml di bagno mediante pipetta tarata e porli in una beuta
- Diluire con acqua distillata e aggiungere qualche goccia alcoolica di indicatore fenolfatolina
- Titolare con una soluzione di acido cloridrico HCl 1N fino al viraggio dal rosa-violetto a incolore: il numero dei ml di HCl 1N impiegati corrisponde all'acidità totale del bagno.

I ml di HCl 1N consumati per il viraggio danno il punteggio del bagno, che, per un bagno preparato a 10g/l di prodotto (corrispondente ad una concentrazione dell'1%) deve essere pari a 1,1 ml. Ciò sta a significare che un bagno preparato a 10g/l consuma circa 0,9 ml di HCl 1N.

Il bagno inoltre deve essere controllato periodicamente e mantenuto nei limiti di punteggio fissati mediante alimentazione del prodotto sgrassante in ragione 1,5 kg per ogni punto mancante di alcalinità e per ogni 1000 litri di bagno.

5.4.2 Controllo del bagno Fosfosgrassaggio

Il controllo del bagno viene svolto mediante la determinazione dell'acidità totale nel modo seguente:

- Prelevare 20 ml di bagno mediante pipetta tarata e porli in una beuta
- Diluire con acqua distillata e aggiungere qualche goccia alcoolica di indicatore fenolfatolina

- Titolare con una soluzione di sodio idrato NaOH 0,1N fino al viraggio dall'incolore al rosa persistente: il numero dei ml di NaOH 0,1N impiegati corrisponde all'acidità totale del bagno.

I ml di NaOH 0,1N consumati per il viraggio danno il punteggio del bagno, che, per un bagno preparato a 10g/l di prodotto (corrispondente ad una concentrazione dell'1%) deve essere pari a 6,8 ml.

Il bagno inoltre deve essere controllato periodicamente e mantenuto nei limiti di punteggio fissati mediante alimentazione del prodotto sgrassante in ragione 5kg per ogni punto mancante di acidità e per ogni 1000 litri di bagno.

5.4.3 Controllo del bagno Fosfodecapaggio

Il controllo del bagno viene svolto mediante la determinazione periodiche dell'acidità libera totale nel modo seguente:

- Prelevare 10 ml di bagno mediante pipetta tarata e porli in una beuta
- Diluire con acqua distillata e aggiungere qualche goccia alcoolica di indicatore metilarancio
- Titolare con una soluzione di sodio idrato NaOH 0,1N fino al viraggio dall'incolore al rosso giallo: il numero dei ml di NaOH 0,1N impiegati corrisponde all'acidità totale del bagno.

I ml di NaOH 0,1N consumati per il viraggio danno il punteggio del bagno, che, per un bagno preparato a 20g/l di prodotto (corrispondente ad una concentrazione dell'2%) deve essere pari a 10 ml.

Il bagno inoltre deve essere controllato periodicamente e mantenuto nei limiti di punteggio fissati mediante alimentazione del prodotto decapante in ragione 2kg per ogni punto mancante di acidità e per ogni 1000 litri di bagno.

5.4.4 Controllo del bagno Passivazione

Il controllo del bagno viene svolto mediante la determinazione periodiche dell'alcalinità libera totale nel modo seguente:

- Prelevare 25 ml di bagno mediante pipetta tarata e porli in una beuta
- Diluire con acqua distillata e aggiungere qualche goccia alcoolica di indicatore fenolfateina, la soluzione assumerà un colore violetto.
- Titolare con una soluzione di acido cloridrico HCl 0,1N fino al viraggio dal colore rosa-violetto a incolore: il numero dei ml di HCl 0,1N impiegati corrisponde all'acidità totale del bagno.

Il bagno inoltre deve essere controllato periodicamente e mantenuto alla concentrazione fissata mediante alimentazione del prodotto del prodotto sgrassante in ragione 2kg per ogni punto mancante di alcalinità e per ogni 1000 litri di bagno.

5.5 Metodi

In questo paragrafo sono descritti i macchinari utilizzati per le prove e le caratteristiche delle procedure sperimentali utilizzate.

5.5.1 Test quadrettatura

Il test della quadrettatura è un sistema rapido e semplice per valutare l'adesione dei sistemi vernicianti, ed è molto utile al fine di evitare di iniziare a verniciare una superficie che presenta scarsa adesione.

È una prova distruttiva perché si deve incidere il film di vernice sino ad arrivare al supporto, dopo la reticolazione completa.

Lo strumento con cui si effettua la prova di aderenza mediante quadrettatura è il *cross-cutter tester*. In funzione della normativa rispettata, il test prevede l'incisione del film con 6 lame (DIN-ISO) oppure 11 lame (ASTM), con le quali si incide a fondo il film con due tagli incrociati in modo da formare dei quadretti.

Inoltre, la distanza tra le lame varia a seconda dello spessore del film da controllare come precisato nella tabella sottostante.

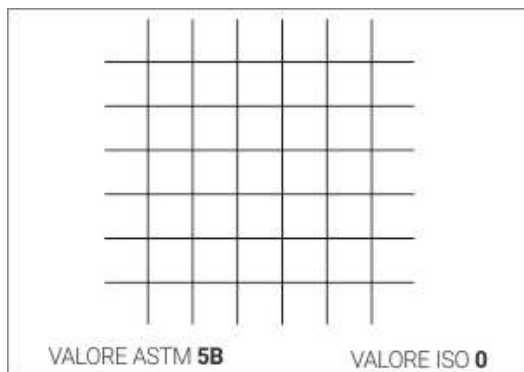
Spessore (micron)	Distanza lame (mm)	Norma
0-60	1	DIN-ISO
60-120	2	DIN-ISO
> 120	3	DIN-ISO
0-100	1,5	ASTM



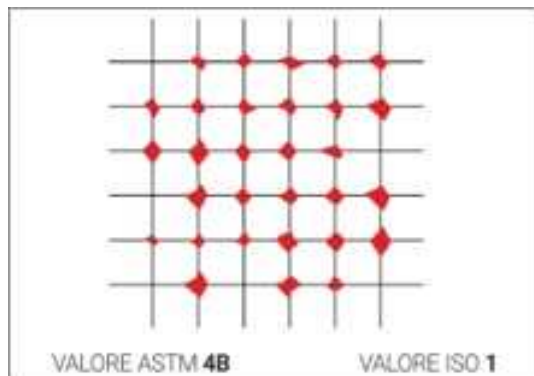
Fig 19: Kit strumentazione cross cutting test

Dopo aver effettuato l'incisione si pulisce la quadrettatura con la spazzola in dotazione per rimuovere eventuali "riccioli" e vi si applica in modo aderente il nastro a strappo secondo le indicazioni della normativa.

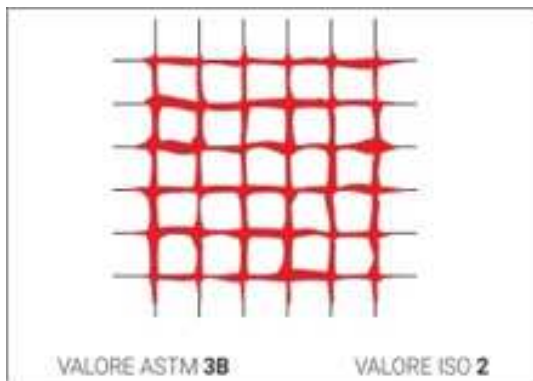
Lo strappo dell'adesivo, dopo circa 100 secondi, determina quanto resistono i quadretti, in modo particolare negli angoli, senza staccarsi dal supporto. Il sistema di incisione più utilizzato sono le lame da 2mm, in osservanza alla norma DIN-ISO (60-120 micron). Il grado di adesione viene classificato in diversi valori parametrici eseguendo un confronto con le immagini di seguito riportate.



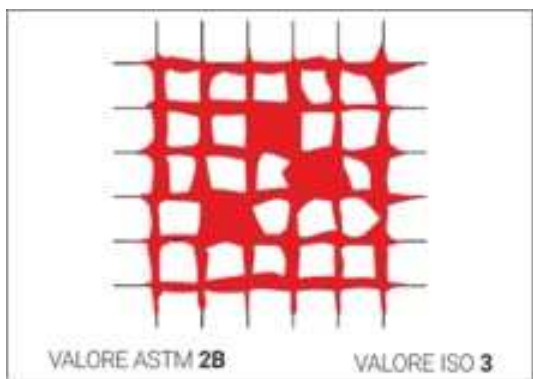
I bordi dei tagli sono completamente piatti; non si è distaccato nessuno dei quadretti del reticolo. Idoneo, previa adeguata preparazione del supporto, a ricevere una nuova pitturazione.



Distacco di piccole lamelle di vernice alla intersezione dei tagli. La superficie della vernice che si è staccata corrisponde circa al 5% dell'area del reticolo. Idoneo, previa adeguata preparazione del supporto, a ricevere una nuova pitturazione.

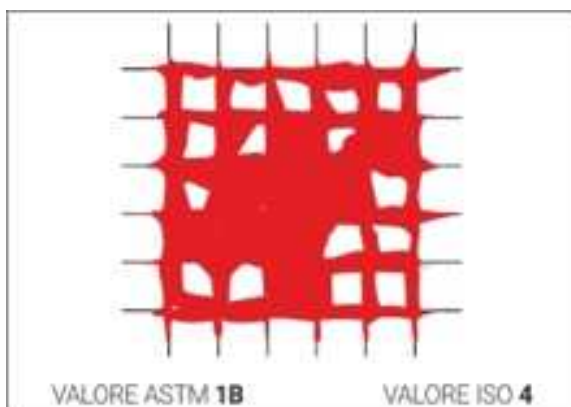


La vernice si è staccata lungo i bordi dei tagli e/o ai punti di intersezione delle linee del reticolo. La superficie della vernice che si è staccata varia tra il 5% e il 15% dell'intera superficie. Idoneo, previa adeguata preparazione del supporto, a ricevere una nuova pittura.



La vernice si è staccata parzialmente o totalmente lungo i bordi dei tagli e/o si sono staccati parzialmente, o completamente, alcuni quadretti. La superficie della vernice che si è staccata varia tra il 15% ed il 35%. Prima di effettuare una nuova pittura, procedere all'applicazione di un primer fissativo

consolidante e, ad essiccazione avvenuta, ripetere il test valutando nuovamente l'adesione. Se i valori lo consentono, provvedere alla nuova pittura previa applicazione di primer fissativo. In caso contrario prevedere la raschiatura parziale o totale della superficie prima di procedere ad una nuova pittura.



La vernice si è staccata in larghe strisce lungo i bordi dei tagli e/o si sono staccati parzialmente, o completamente, alcuni quadretti. La superficie della vernice che si è staccata varia tra il 35% ed il 65%. Prevedere la raschiatura parziale o totale della superficie prima di procedere ad una nuova pittura.



Qualsiasi grado di distacco che non può rientrare nella classificazione 4, dove, quindi, la vernice che si è staccata supera il 65% dei quadretti di vernice. Prevedere la raschiatura totale della superficie prima di procedere ad una nuova pitturazione.

5.5.2 Test corrosione nebbia salina neutra

La prova di corrosione in nebbia salina neutra è un metodo ampiamente più diffuso in ambito industriale per misurare le prestazioni anticorrosione di un materiale metallico.

Il test prevede l'intaglio a croce del pezzo/lamierino verniciato fino a scoprire il metallo nudo. Il particolare viene poi introdotto in una apposita cabina termostatica ad una temperatura di $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, dove avviene la nebulizzazione mediante l'introduzione di una soluzione costituita dal 5% di cloruro di sodio. Tale atmosfera decisamente aggressiva si deposita quindi dove il metallo nudo è stato scoperto dagli intagli e tenderà quindi a corrodere lo stesso.

In funzione della bontà e della qualità del pretrattamento a cui il manufatto è stato sottoposto, la corrosione verrà (o non avverrà) contenuta nella sola zona dell'intaglio e vi saranno fenomeni di corrosione sottopellicolare, che tenderanno a gonfiare il film di vernice e a provocarne il distacco. Il valore in ore indicativo prima del massimo distacco del film di vernice viene utilizzato per definire la resistenza del campione.

Secondo la ISO 12944 e il marchio QUALICOAT ad ogni classe di corrosività viene associato un numero minimo di ore di nebbia salina necessario per il superamento del test per quella specifica classe di corrosione:

Categoria	Tempo di esposizione
C1	Non applicabile
C2	240h (10 giorni)
C3	480h (20 giorni)
C4	720h (30 giorni)
C5	1440h (60 giorni)

Tabella 4: tempo di esposizione richiesto per ogni classe di corrosività

In ambito normativo i parametri di processo sono definiti dalla UNI EN ISO 9227:2012 e dalla ASTM B117-11, che possono essere considerate operativamente equivalenti. Nello specifico la norma ISO riporta:

- La concentrazione di 50g/l \pm 5 g/l di NaCl per la soluzione da spruzzare, in modo da ottenere una densità compresa tra 1,029 e 1,036 g/cm³ a 25°C.
- Il pH della soluzione, compreso tra 6,5 e 7,2 a 25°C \pm 2°C.
- Il valore di pressione alla quale deve funzionare l'atomizzatore, compreso tra 70 e 170 kPa.
- L'angolo al quale devono essere esposti i campioni, tra 15° e 25°.
- Il volume di liquido che deve esser raccolto dal pluviometro posto all'interno della camera, pari a 1,5 ml/h \pm 0,5 ml/h.
- La temperatura misurata all'interno della camera: 35°C \pm 2°C

Le proprietà dei metalli sono quindi state valutate utilizzando i parametri operativi sopra riportati e sottoponendoli ad una prova della durata di 720h con annesso un test di soffiatura, con controlli intermedi dello stato superficiale a 480h, 560h e 640h.

6 Risultati sperimentali

Gli esiti delle prove descritte nel capitolo precedente sono qui riportati e commentati. I paragrafi seguenti sono dedicati alla descrizione dei risultati delle prove di corrosione in nebbia salina neutra e prove di test quadrettatura supporto della prima.

6.1 prove di corrosione in nebbia salina neutra

Le prove di corrosione in nebbia salina neutra sono state eseguite su un numero di campioni tale da poter garantire una sufficiente affidabilità statistica dei risultati, in genere tre lamierini per ogni differente combinazione di pretrattamento e di differente concentrazione del bagno.

Per facilitare l'analisi dei risultati è stato stabilito un tempo di contatto per ogni fase di pretrattamento pari a 3 minuti.

Come già detto i campioni sono stati sottoposti a una prova della durata di 720h corrispondente alla classe di corrosività C4 con rilevamenti intermedi a 480h 560h e 640h. I risultati sono riportati in tabelle apposite secondo la seguente legenda basata sui diversi colori:

Nessun segno di corrosione (ottima tenuta dello strato di vernice)	Leggeri segni di corrosione lungo il taglio a croce	Presenza di sollevamento dello strato della vernice lungo il taglio	Presenza di un importante distacco dello strato di vernice
--	---	---	--

Tabella 5: Legenda per la lettura dei risultati delle prove di corrosione in nebbia salina neutra

Nella prima prova sono stati confrontati due campioni di ferro nero: i differenti step applicati con le relative concentrazioni di esercizio sono riportati nella tabella sottostante:

Campione	Concentrazione (%) del pretrattamento			
	SA pH 12	FS pH 5	FD pH 3	P pH 9
Ferro nero 1	3%	x	x	x
Ferro nero 2	x	x	3%	x

Campione	Risultato del rilevamento / stato dei lamierini			
	480h	560h	640h	720h
Ferro nero 1				
Ferro nero 2				

Tabella 6: Riassunto dei risultati delle prove di esposizione in nebbia salina neutra di campioni in ferro nero sui quali sono stati eseguiti due diversi trattamenti di sgrassaggio e decapaggio.

Nella tabella si mette in evidenza il differente effetto che ha il solo trattamento di decapaggio rispetto allo sgrassaggio alcalino il quale risulta più efficace in termini di resistenza alla corrosione ma comunque non sufficiente al raggiungimento della classe di corrosività richiesta.



Fig 20: Foto della prima prova del campione Ferro 2 dopo 640h di test di nebbia salina

Come dai risultati riportati in tabella dalla foto del particolare si può evidenziare la presenza di un importante distacco dello strato di vernice.

L'efficacia delle combinazioni dei pretrattamenti è stata valutata nella seconda prova in cui sono stati confrontati 4 campioni di ferro nero e 1 campione zincato a freddo sottoposti a diverse concentrazioni e diverse fasi di pretrattamento per essere conformi alla classe di corrosività C4; le differenti fasi con diverse concentrazioni sono riportate nella tabella sottostante:

Campione	Concentrazione (%) del pretrattamento			
	SA pH 12	FS pH 5	FD pH 3	P pH 9
Ferro nero 1	5 %	x	x	x
Ferro nero 2	3%	x	3%	x
Ferro nero 3	3%	x	x	1%
Zincato 4	3%	x	x	1%
Ferro nero 5	3%	x	5%	x

Campione	Risultato del rilevamento / stato dei lamierini			
	480h	560h	640h	720h
Ferro nero 1				
Ferro nero 2				
Ferro nero 3				
Zincato 4				
Ferro nero 5				

Tabella 7: Riassunto dei risultati delle prove di esposizione in nebbia salina neutra di campioni in ferro nero e zincato a caldo sui quali sono stati eseguiti due diversi trattamenti di sgrassaggio, decapaggio e passivazione

Come si evince dagli esiti delle prove, l'aumento della concentrazione della fase di sgrassaggio alcalino non ha portato nessun cambiamento significativo sulla

resistenza alla corrosione del materiale, al contrario questa fase unita al decapaggio è risultata più efficace seppur non sufficiente.

La combinazione dello sgrassaggio alcalino unita alla passivazione non è risultata altrettanto valida per il campione in ferro nero, un comportamento diverso invece è stato ottenuto per un campione zincato a freddo; questo risultato è facilmente riconducibile alla natura del materiale. La passivazione ha un maggior effetto sullo zincato a freddo che sul ferro nero data poichè lo zinco tende a subire spontaneamente il processo di passivazione formando una pellicola protettiva di ossidi che proteggono dalla corrosione.

Un ulteriore aumento della resistenza alla corrosione si è riscontrato aumentando la concentrazione del bagno nella fase di decapaggio, per raggiungere tale concentrazione tuttavia si sono dovuti utilizzare diverse decine di litri di soluzione decapante DEC/AISI F 60 poichè il bagno decapante andava a deperire in maniera repentina a causa della natura basica del prodotto sgrassante DeNCLEAN 411 S che per azione di flusso di trascinamento andava ad annullare l'effetto acido del bagno nella fase di decapaggio.



Fig 21: Foto della seconda prova del campione Ferro 5 dopo 560h e 640h di test di nebbia salina

Come dai risultati riportati in tabella dalla foto del particolare si può evidenziare la presenza di segni di corrosione dopo 560h di test e la presenza di un distacco dello strato di verniciatura dopo 640h di test.

Dopo una breve valutazione economica si è deciso di provare ad utilizzare una soluzione sgrassante di natura acida.

Si è effettuata una terza prova per verificare un'eventuale influenza o differenza dei due diversi prodotti sgrassanti (DeNCLEAN 411 S e DF NX 1417) su metalli diversi.

Si è confrontata la resistenza di 4 campioni: due di ferro nero e due trattati tramite zincatura a freddo, in entrambi i tipi di materiale sono stati eseguiti i trattamenti di sgrassaggio e passivazione, per la fase di sgrassaggio si è utilizzato dapprima lo sgrassante alcalino e in seguito il fosfosgrassante.

Campione	Concentrazione (%) del pretrattamento			
	SA pH 12	FS pH 5	FD pH 3	P pH 9
Zincato 1	3%	x	x	1%
Zincato 2	x	1,5%	x	1%
Ferro nero 3	3%	x	x	1%
Ferro nero 4	x	1,5%	x	1%

Campione	Risultato del rilevamento / stato dei lamierini			
	480h	560h	640h	720h
Zincato 1				
Zincato 2				
Ferro nero 3				
Ferro nero 4				

Tabella 8: Riassunto dei risultati delle prove di esposizione in nebbia salina neutra di campioni in ferro nero e zincato sui quali sono stati eseguiti due diversi trattamenti di sgrassaggio e passivazione

Com'è evidente dagli esiti della prova, la tipologia di sgrassante combinata alla passivazione non ha alcuna influenza sulla resistenza del metallo, perlomeno all'interno di un intervallo di osservazione della lunghezza di 80h. Questo risultato è facilmente riconducibile al layout dell'impianto: prima della fase di passivazione infatti, il pezzo passa attraverso due fasi di risciacquo in rete quindi la natura acida o alcalina dello sgrassante non ha nessuna influenza sulla fase di passivazione.



Fig 22: Foto della terza prova del campione zincato 3,4 dopo 640h di nebbia salina neutra

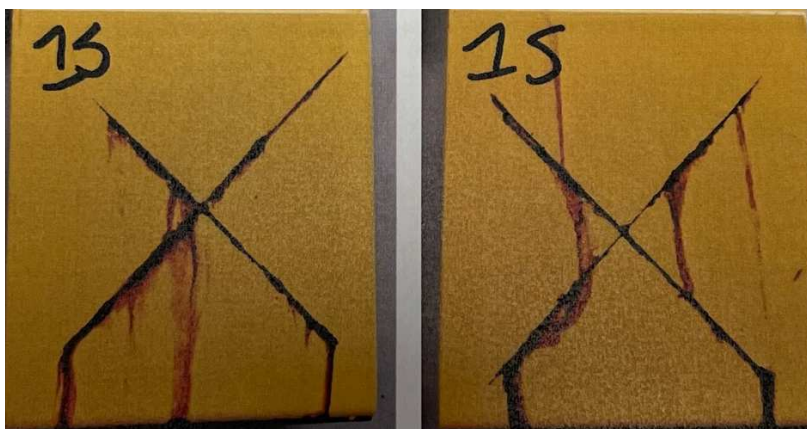


Fig 23: Foto della terza prova del campione ferro 3,4 dopo 640h di nebbia salina neutra

Come dai risultati riportati nella tabella dalla foto i campioni di ferro nero presentano segni di corrosione nettamente più evidenti dopo 640h di test rispetto ai campioni trattati tramite zincatura a freddo.

L'efficacia dei pretrattamenti è stata infine valutata nella quarta prova in cui sono stati confrontati 4 campioni di ferro nero sottoposti a diverse concentrazioni e diverse fasi di pretrattamento per raggiungere la conformità alla classe di

corrosività C4; le differenti fasi con diverse concentrazioni sono riportate nella tabella sottostante:

Campione	Concentrazione (%) del pretrattamento			
	SA pH 12	FS pH 5	FD pH 3	P pH 9
Ferro nero 1	5%	x	5%	x
Ferro nero 2	x	1,5%	5%	x
Ferro nero 3	x	1,5%	5%	1%
Ferro nero 4	x	2,5%	5%	x

Campione	Risultato del rilevamento / stato dei lamierini			
	480h	560h	640h	720h
Ferro nero 1				
Ferro nero 2				
Ferro nero 3				
Ferro nero 4				

Tabella 9: Riassunto dei risultati delle prove di esposizione in nebbia salina neutra di campioni in ferro nero sui quali sono stati eseguiti due diversi trattamenti di sgrassaggio, decapaggio e passivazione.

Come si evince dalla tabella aumentando ulteriormente la concentrazione di sgrassante alcalino unita alla fase di decapaggio la resistenza alla corrosione aumenta fino al raggiungimento delle 560h di test in nebbia salina neutra, lo stesso esito è stato raggiunto tramite fosfosgrassaggio ad una concentrazione pari a 1,5%. Tuttavia a parità di efficacia dei due sgrassanti combinati al fosfodecapaggio l'uso dello sgrassante alcalino DeNCLEAN 411 AS è risultato essere più incisivo e meno indicato a causa della continua necessità di alimentare il bagno decapante. Tramite l'uso di DeNCLEAN 411 AS infatti, per mantenere il bagno fosfodecapante ad una concentrazione pari al 5% la frequenza con cui il bagno veniva alimentato del prodotto DEC/AISI F 60 è risultata notevolmente maggiore rispetto all'uso del

fosfosgrassante acido che data la sequenza dei trattamenti il suo effetto acido non andava a deperire il trattamento successivo.

Dopo l'effettiva riconferma della scelta prodotto fosfosgrassante DF NX 1417 rispetto al prodotto alcalino DeNCLEAN 411 AS si è valutata la resistenza alla corrosione introducendo la passivazione al processo di pretrattamento del materiale che tuttavia, come si può riscontrare dai risultati in tabella, non si è rivelata sufficientemente efficace per il raggiungimento della classe di corrosività richiesta. Come viene riportato dai test in tabella il risultato migliore è stato rilevato tramite la combinazione del trattamento di fosfosgrassaggio unito ad una fase di fosfodecapaggio in cui le concentrazioni dei due bagni erano rispettivamente del 2,5 % e del 5%.

La scelta di questa condizione è stata supportata anche facendo una analisi in termini di sostenibilità dell'impianto; è stato possibile infatti, raggiungere la concentrazione del bagno sgrassante desiderata dopo una notevole aggiunta di prodotto DF NX 1417, tuttavia una volta raggiunta la concentrazione finale la frequenza con cui il bagno sgrassante e decapante venivano alimentati è risultata ampiamente ridotta.

Di seguito vengono riportate le foto del campione "Ferro 4" dopo il superamento al test di nebbia salina per la classe di corrosività C4.



Fig 24: Foto del test 4 del campione ferro 4 dopo 720h di nebbia salina neutra

Come da risultati riportati in tabella dai particolari dopo il raggiungimento delle 720h di test si possono evidenziare dei leggeri sollevamenti abbondantemente sotto il millimetro giustificando quindi positiva del test per la classe di corrosività richiesta.

Al termine di queste prove è comunque importante fare alcune considerazioni sulla test di resistenza in nebbia salina neutra: per quanto il test sia ampiamente diffuso in ambito industriale per la valutazione della resistenza dei metalli i risultati ottenuti devono essere adeguatamente interpretati.

La prova di corrosione in nebbia salina è originata dalla necessità di ottenere dei risultati in tempi relativamente brevi, per cui le condizioni a cui sono sottoposti i campioni sono particolarmente aggressive, il che da un lato ha permesso di identificare e confrontare facilmente eventuali criticità durante il processo di pretrattamento del materiale ma dall'altro ha reso difficile valutare le reali capacità di un componente di resistere a fenomeni corrosivi e stimarne quindi in maniera sufficientemente precisa il tempo di vita.

6.2 Prove di test adesione quadrettatura

Il grado di adesione di un coating al substrato è senza dubbio una delle caratteristiche di primaria importanza nella valutazione della bontà di un rivestimento ed è inoltre strettamente collegata alla resistenza alla corrosione. Da qui l'esigenza di andare a misurare, con una tecnica immediata e di semplice esecuzione il grado di adesione che si stabilisce tra rivestimento e substrato.

I campioni sottoposti al test di adesione sono stati sottoposti agli stessi parametri di processo e pretrattamenti analizzati nel paragrafo precedente, questo allo scopo di valutare la correlazione tra resistenza alla corrosione e adesione del coating al substrato.

Di seguito vengono riportate le immagini della superficie dei campioni sottoposta al cross cutting Test per le 4 prove in nebbia salina neutra:

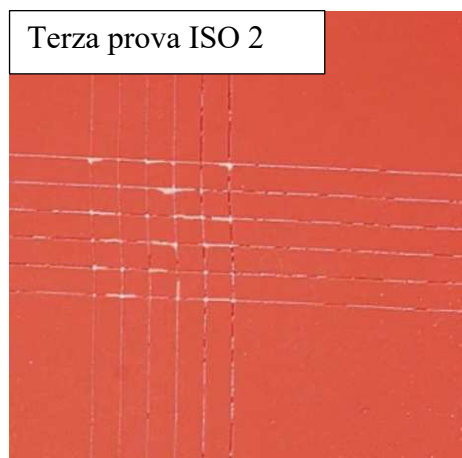
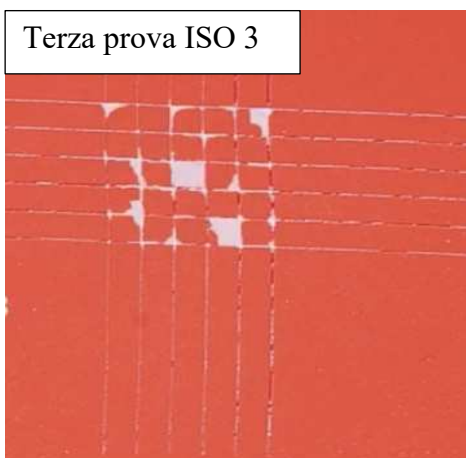
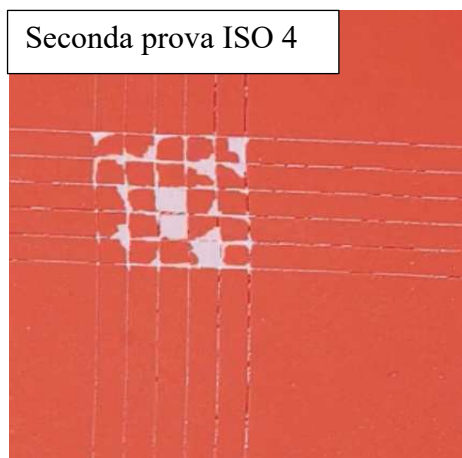


Fig 25: Immagini dei campioni delle quattro prove dopo il cross cutting test

Dalle foto si può notare che i rivestimenti dei campioni della prima e della seconda prova mostrano un comportamento simile tra loro e risultano appartenenti entrambi alla classe ISO 4, i provini infatti presentano evidenti segni di distacco del coating dopo applicazione dello strappo, ciò evidenzia una debole affinità del substrato metallino con la vernice correlata al singolo pretrattamento di fosfodecapaggio o sgrassaggio alcalino.

I risultati del cross cutting test della terza mostrano prova non presentano sorprese, i campioni appartengono rispettivamente alla classe ISO 3 e 2 evidenziando una resistenza maggiore all'adesione rispetto ai campioni della prima e seconda prova data dalla maggior concentrazione del bagno fosfodecapante combinata al bagno fosfosgrassante.

Il miglior responso della risposta al cross cutting test è stato ottenuto dai rivestimenti della quarta prova risultati appartenenti alle classi ISO 1 e 0, infatti come è possibile osservare dall'immagine soprastante per i campioni esaminati il test di adesione ha causato un minimo o quasi impercettibile distaccamento del coating, evidenziando così l'ottimo grado di affinità esistente tra il substrato metallico e la vernice applicata.

Le prove condotte hanno quindi dimostrato l'aumento della concentrazione del bagno fosfosgrassante con prodotto DF NX 1417 abbinato al trattamento fosfodecapante, come confermato dal test in nebbia salina neutra, si è rivelata la scelta più efficace ed efficiente.

7 Conclusioni

Finalità di questo lavoro era verificare l'effettivo contributo che i diversi pretrattamenti e differenti parametri di processo di finitura superficiale possano dare in termini di aumento di resistenza alla corrosione su alcune tipologie di metalli.

Per fare questo sono state effettuate delle prove di corrosione in nebbia salina neutra e delle prove cross cutting secondo il procedimento descritto dalle normative vigenti a supporto delle prove di resistenza a corrosione.

Le prove di corrosione in nebbia salina hanno messo in evidenza l'efficacia del trattamento di fosfosgrassaggio acido a discapito del trattamento di sgrassaggio alcalino.

La motivazione della scelta del primo prodotto rispetto al secondo è stata dettata dal particolare layout dell'impianto in questione: l'azione di flusso di trascinamento della fase di fosfodecapaggio successiva a quella di sgrassaggio ha influito in maniera considerevole sulla scelta del prodotto acido DF NX 1417 a discapito dello sgrassante alcalino DeNCLEAN 411 AS che andava ad annullare l'effetto del bagno decapante.

La scelta di questa condizione è stata supportata anche facendo una analisi economica in termini di sostenibilità dell'impianto, il prodotto sgrassante DF NX 1417 acido è risultato più efficace sia in termini di resistenza alla corrosione sia in termini di decadimento del bagno. Alla concentrazione del bagno fosfosgrassante pari a 2,5% la resistenza a corrosione dei campioni di ferro in nebbia salina ha mostrato un risultato di 720h corrispondenti alla classe di corrosività C4 (target interno prefissato).

Inoltre, una volta raggiunta la concentrazione finale, la frequenza con cui il bagno sgrassante e decapante veniva alimentato è risultata ampiamente ridotta rispetto al prodotto alcalino DeNCLEAN 411 AS.

Una soluzione ipotetica per l'uso dello sgrassante alcalino DeNCLEAN 411 AS sarebbe stata l'introduzione di un ulteriore step di lavaggio intermedio tra fase di

sgrassaggio e fosfodecapaggio, operazione troppo dispendiosa e di conseguenza scartata.

Le prove di cross cutting test hanno permesso di misurare in modo semplice ed immediato grado di adesione del coating al substrato e valutare di conseguenza la bontà del rivestimento depositato dopo il processo di pretrattamento.

Come ci si aspettava il responso migliore è stato ottenuto dai rivestimenti della quarta prova risultati appartenenti alla classe ISO 0 in cui il test adesione non ha causato alcun distacco del coating, evidenziando così l'ottimo grado di affinità esistente tra il substrato metallico e lo strato di vernice applicato.

Lo studio in esame ha quindi dimostrato l'effettiva correlazione tra resistenza alla corrosione bontà del grado di adesione del rivestimento.

Possibili sviluppi futuri potrebbero essere dedicati alla ricerca e definizione di parametri di processo ottimali di fosfodecapaggio e fosfosgrassaggio combinati a pretrattamenti meccanici per substrati metallici, data l'influenza che questi hanno sul risultato finale.

Riferimenti bibliografici

- Saggese P. *Il trattamento delle superfici metalliche*, Manuale trattamento superfici, Condoroilchemical
- Di Caprio, G. *Gli acciai inossidabili*, Hoepli, (2003).
- P. Paracchini, *Manuale di trattamenti e finiture*, Tecniche Nuove, (2003).
- I. Pastorelli, *Verniciatura e controllo qualità*, HOEPLY (2004).
- Riva M. *Le Vernici in Polvere*, caratteristiche ed impiego, Pulverit S.P.A. Milano 1990.
- A. Bernasconi, *Note sulla verniciatura elettrostatica a polvere*, La Rivista del colore (1994).
- Prof. A. Priola, *Appunti del corso "Le Vernici"*, modulo di applicazioni industriali dei polimeri della laurea magistrale in Chimica Industriale.
- L.R. *Progetto Nanocoat*, Art 21, (2005).
- Pedferri P. *Corrosione e Protezione dei Materiali*, Polipress, Milano (2009)
- QualisteelCoat, *Technical Specification*, Version 4.1-January 2019.
- Hilti, *Manuale sulla corrosione*, [www. Hilti.com](http://www.hilti.com)
- VP Verniciatura, *Processo di lavorazione*, www.verniciatura.it
- Hempel, *Come selezionare il ciclo di Pitturazione corretto*, www.hempel.it
- M.Boniardi, V. Boneschi. *Generalità sugli acciai inossidabili bifasici ed aspetti metallurgici della loro saldatura*, Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano (1999).
- *Preparazione delle superfici e modalità di scelta per le diverse applicazioni*, Metal Cleaning & Finishing (2009)