

LA LIMITAZIONE DELLE EMISSIONI DI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI IN ATMOSFERA ALL'INTERNO DELLE AZIENDE DEL SETTORE LEGNO - ARREDO

Approfondimenti sull'applicazione alle aziende del settore legno – arredo, insediate nel territorio nazionale, all'allegato III alla Parte Quinta del D.Lgs. 152/2006

(ex. Decreto Ministeriale n° 44/04) riguardante la limitazione delle emissioni di composti organici volatili in atmosfera



CATAS

 **FEDERLEGNO-ARREDO**

AREA
SciencePark

Coordinamento del progetto di ricerca e stesura elaborato:

Franco Bulian (CATAS S.p.A.) (bulian@catas.com)
Margherita Tiberio (CATAS S.p.A.) (tiberio@catas.com)
Pierluigi Gorani (Federlegno Arredo) (ambiente@federlegno.it)
Serena Petaccia (AREA Science Park) (serena.petaccia@innovationnetwork.it)

Collaborazione tecnica:

Sara Zanchiello (AREA Science Park)
Enzo Dreosti (AREA Science Park)
Paolo Sinigalia (Università degli Studi di Pordenone)
Davide Collini (Università degli Studi di Udine)
Sandro Ciroi (CATAS S.p.A.)
Debora Tiberio (CATAS S.p.A.)
Daniele Bergamasco (CATAS S.p.A.)
Annamaria Franz (CATAS S.p.A.)
Roberto Tosolini (CATAS S.p.A.)
Massimo Martini (Università degli Studi di Trieste)

Consulenza:

Mario Gionfini (Consulente, libero professionista)
Franco Di Valentin (Consulente, libero professionista)
Paolo Rosato (Università degli Studi di Trieste)
Paolo Bevilacqua (Università degli Studi di Trieste)
Luciano Ceccon (Università degli Studi di Udine)

Hanno inoltre collaborato a vario titolo:

Aziende che effettuano operazioni di verniciatura del legno
Associazioni di categoria della regione Friuli Venezia Giulia
Aziende produttrici prodotti vernicianti
Aziende produttrici impianti di applicazione
Aziende produttrici impianti di essiccazione
Università degli Studi di Udine
Università degli Studi di Trieste
Università degli Studi di Padova

San Giovanni al Natisone, luglio 2007



Via Antica, 24/3 – 33048 San Giovanni al Natisone (Udine)
Telefono: + 39 0432 747211; Fax: + 39 0432 747250
[http:// www.catas.com](http://www.catas.com)

Indice

- 1 - Premessa.
- 2 - Descrizione del progetto di ricerca.
- 3 - Stato dell'arte di tecnologie e prodotti impiegati nel settore della verniciatura del legno.
- 4 - Stato dell'arte dei cicli di verniciatura maggiormente utilizzati per la finitura delle superfici.
- 5 - I casi aziendali studiati, la descrizione del ciclo di lavorazione, delle tecnologie e delle problematiche ambientali correlate.
- 6 - L'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione: luci e ombre sull'efficienza di deposito. Valutazioni in linea della reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione dei prodotti vernicianti.
- 7 - Il contenuto di solventi organici volatili nei prodotti vernicianti maggiormente utilizzati.
- 8 - Studio di prodotti vernicianti alternativi. Le vernici a ridotto contenuto di solventi: gli aspetti pratici e le prestazioni.
- 9 - Le emissioni a camino e le emissioni diffuse. La valutazione dell'incertezza delle misure analitiche.
- 10 - Procedura per la gestione dei solventi all'interno del ciclo di lavorazione con particolare attenzione alla gestione e al contenimento delle emissioni diffuse.
- 11 - Le migliori tecnologie: gli impianti di applicazione e di essiccazione.
- 12 - Valutazione impianti di abbattimento presenti nelle aziende del settore della verniciatura del legno in relazione alla tipologia di prodotto finito e alle materie prime utilizzate.
- 13 - Ricerche e valutazioni sui sistemi di abbattimento. L'overspray di impianti di verniciatura a spruzzo robotizzati e tradizionali. Sistemi di depurazione e recupero delle acque di lavaggio degli impianti utilizzati per l'applicazione di vernici all'acqua.
- 14 - Bibliografia.

1 – Premessa

CATAS, in collaborazione con vari soggetti, ha attuato un programma di studio commissionato da Federlegno - Arredo srl volto ad approfondire le modalità di adeguamento delle aziende del settore della verniciatura di manufatti in legno (tavoli, mobili, antine, letti, serramenti, cornici, pavimenti e sedie), insediate nel territorio nazionale, alla legislazione vigente in materia di emissione in atmosfera di solventi organici volatili.

Tale legislazione, riportata nell'allegato III alla parte V del testo unico ambientale (D.Lgs. 152/96), recepisce la direttiva comunitaria 1999/13/CE relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili (COV) nelle attività industriali che superano le soglie di consumo di solvente previste dal decreto stesso. Per le attività di rivestimento del legno è stata stabilita una soglia di consumo di solvente pari a 15 tonnellate annue.

Nonostante l'obbligo di ottemperare a questo stretto vincolo legislativo sia noto da sei anni, l'attuazione pratica della legge al settore della verniciatura del legno non è particolarmente semplice, complice il fatto che il contesto produttivo italiano è caratterizzato prevalentemente da piccole e medie imprese, in cui la gestione delle tematiche ambientali è spesso complessa e l'ipotesi di modifiche agli impianti esistenti e ai cicli di verniciatura viene percepita come un momento estremamente critico per il futuro delle imprese stesse chiamate ad affrontare le sfide del mercato globale e della competizione sia in termini di qualità che di costi.

In quest'ambito Federlegno – Arredo ha deciso di affidare uno studio al CATAS con lo scopo di valutare l'impatto ambientale delle aziende in relazione alla tipologia ed alla quantità di solventi organici volatili contenuti nei prodotti utilizzati e di studiare le strategie di miglioramento, economicamente attuabili, per rispettare le disposizioni legislative mantenendo inalterate le qualità estetiche e prestazionali dei manufatti realizzati.

L'auspicio è che questo lavoro possa rappresentare un'utile guida per consentire alle aziende, soprattutto quelle di piccole dimensioni, che non sono in grado di affrontare autonomamente le fasi di ricerca e sviluppo di tecnologie, di individuare e personalizzare la strada di miglioramento più adeguata alle proprie esigenze.

2 - Descrizione del progetto di ricerca

Il programma di studio, iniziato nel mese di settembre del 2005 e concluso nel mese di giugno del 2007, descritto di seguito, ha consentito di valutare, all'interno di alcune aziende del settore della verniciatura del legno, l'impatto ambientale in relazione alla tipologia ed alla quantità di solventi organici volatili contenuti nei prodotti utilizzati e di studiare le strategie di miglioramento per rispettare le disposizioni legislative cercando di mantenere inalterate le qualità estetiche e prestazionali dei manufatti realizzati. Le ricerche hanno previsto di studiare le tecnologie utilizzate, valutando sperimentalmente alcuni parametri quali la reale efficienza di trasferimento degli impianti e il residuo secco dei prodotti vernicianti utilizzati, e di individuare tutti gli impatti ambientali connessi al ciclo produttivo con l'utilizzo di prodotti vernicianti alternativi.

Prove di laboratorio hanno consentito di confrontare le caratteristiche tecniche del prodotto finito in relazione alla tipologia di prodotto verniciante utilizzato.

Le fasi del progetto sono di seguito descritte:

Somministrazione di un questionario alle aziende

Preliminarmente è stata avviata una campagna di rilevazione tramite la somministrazione di un questionario opportunamente redatto alle aziende insediate nel territorio nazionale per "fotografare" le aziende che lavorano nel settore della verniciatura di manufatti in legno (in particolare quelle associate al CATAS o a Federlegno), coinvolte dall'ex Decreto Ministeriale n. 44 con l'obiettivo di evidenziare le tecnologie attualmente utilizzate (prodotti vernicianti ed impianti) e le strategie future di miglioramento.

Stato dell'arte dei cicli di verniciatura maggiormente utilizzati

E' stato condotto uno studio dei principali cicli di verniciatura utilizzati nel settore della verniciatura del legno in relazione alla tipologia e alla qualità del manufatto e valutazione quantitativa dei solventi impiegati per ciascuna fase del ciclo di verniciatura considerato.

Valutazioni e studio ottimizzazione dell'efficienza di trasferimento degli impianti di applicazione

Questa parte della ricerca è stata dedicata allo studio di casi aziendali comprendendo una valutazione in linea di verniciatura delle tecnologie utilizzate e della reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione dei prodotti vernicianti. L'efficienza di trasferimento, che rappresenta la quantità di vernice realmente applicata sul pezzo verniciato rispetto a quella totale impiegata, è un parametro particolarmente importante nelle operazioni di verniciatura, soprattutto in quelle eseguite con sistemi a spruzzo.

L'aumento dell'efficienza di trasferimento corrisponde quindi ad un minor spreco di vernice e, conseguentemente, anche a minori emissioni. Su tale argomento non esistono in realtà molti approfondimenti. Gli studi eseguiti nell'ambito di questa ricerca hanno consentito di verificare i sistemi di applicazione attualmente impiegati in alcune aziende in riferimento a questo parametro. Sono state individuate le strategie di miglioramento e redatte delle linee guida e "procedure di corretto utilizzo" dei sistemi di applicazione per consentire agli operatori di individuare agevolmente le migliori modalità applicative.

Studio dei prodotti vernicianti maggiormente utilizzati

Valutazione del contenuto di composti organici volatili nelle varie tipologie di prodotti vernicianti impiegati e preparazione di linee guida per la misurazione del contenuto di sostanze organiche volatili di questi prodotti. Esistono infatti dei casi particolari (per esempio prodotti vernicianti ad indurimento fotochimico o prodotti vernicianti a base poliestere) per i quali, in mancanza di regole o norme specifiche, tali valutazioni possono risultare problematiche e soggettive. Dopo una serie di valutazioni sperimentali eseguite sia in linea di verniciatura sia in laboratorio la ricerca ha consentito la redazione di linee guida per l'analisi in linea del contenuto di solventi organici dei prodotti vernicianti.

Studio di prodotti vernicianti alternativi

In questa fase è stato condotto uno studio di prodotti alternativi a quelli attualmente utilizzati presenti sul mercato. Valutazione dell'impatto ambientale in relazione alla tipologia e quantità di solventi in essi contenuti; studio, con prove di laboratorio, delle caratteristiche tecniche del prodotto finito.

Valutazione delle emissioni a camino e delle emissioni diffuse e redazione di linee guida

La valutazione delle emissioni diffuse e la redazione di linee guida e procedure gestionali per il loro contenimento è stato un argomento affrontato nel corso del lavoro. In questa fase è stata anche valutata l'incertezza di misura delle determinazioni analitiche effettuate a camino.

Ricerche e valutazioni sui sistemi di abbattimento dei solventi

E' stato condotto uno studio sugli impianti di abbattimento presenti nelle aziende del settore della verniciatura del legno in relazione alla tipologia di prodotto finito e alle materie prime utilizzate. Il lavoro è iniziato con uno studio bibliografico per comprendere le caratteristiche, i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna soluzione proposta dal mercato procedendo quindi ad una valutazione comparativa di differenti sistemi di abbattimento dei solventi organici volatili. Infine sono state analizzati, per il settore della verniciatura del legno, i costi del singolo impianto in relazione alla efficienza di abbattimento dei solventi organici volatili.

Ricerche e valutazioni sui sistemi di depurazione delle acque di lavaggio degli impianti

Per quanto riguarda il trattamento delle acque di lavaggio derivanti dall'impiego di prodotti vernicianti all'acqua, è stata condotta una ricerca documentale, brevettuale ed uno studio delle tecnologie di depurazione al fine di comprendere le caratteristiche, i vantaggi e gli svantaggi, di ciascuna soluzione proposta dal mercato. E' stata infine redatta una specific line guida per le imprese.

Ricerche e valutazioni sui sistemi di essiccazione esistenti

E' stata condotta una ricerca documentale, brevettuale e valutazione degli impianti di essiccazione proposti dal mercato in relazione alla tipologia di materie prime utilizzate ed alle caratteristiche del manufatto da verniciare.

Applicabilità del Piano Gestione Solventi

Per consentire alle aziende di compilare agevolmente il Piano di Gestione dei Solventi, come prescritto dalla legislazione, è stato realizzato un software semplice e di immediato utilizzo.

Raccolta di informazioni inerenti lo stato dell'arte e l'innovazione dei cicli di verniciatura

Nei mesi di maggio e giugno 2007, nell'ambito di questa ricerca, il CATAS ha organizzato un corso di formazione a carattere scientifico articolato in quattro incontri con l'obiettivo di offrire ai tecnici delle aziende del settore legno - arredo delle informazioni di carattere teorico-pratico necessarie per allineare i propri cicli di verniciatura alla legislazione vigente.

Nel corso degli incontri, condotti da tecnici CATAS in collaborazione con esperti del settore, sono stati affrontati diversi temi riguardanti lo stato dell'arte delle tecnologie esistenti. Questi corsi hanno consentito inoltre di aggiornare la banca dati inerente le migliori tecnologie utilizzabili nel settore legno - arredo individuate nella fase iniziale della ricerca.

In conclusione è possibile affermare che lo svolgimento di questo progetto ha rappresentato un'importante opportunità conoscitiva e di confronto per le aziende del settore, che, coinvolte attivamente, hanno avuto spesso l'opportunità di esaminare criticamente ed eventualmente personalizzare la strada di miglioramento più adeguata alle proprie esigenze anche attraverso delle sperimentazioni eseguite da tecnici esperti del settore.

2.1 - Il gruppo di lavoro coinvolto

Per la realizzazione del progetto è stato creato un "pool" di coordinamento costituito da:

- la Responsabile del reparto ambiente del CATAS (dott.sa Margherita Tiberio);
- Il Responsabile ambiente di Federlegno-Arredo di Milano (dott. Pierluigi Gorani).
- il Responsabile del reparto chimico del CATAS (dott. Franco Bulian);
- la Responsabile del Centro di Competenza Legno & Arredo di Area Science Park (dott. ing. Serena Setaccia) che ha sede presso il CATAS.

Per la realizzazione delle sperimentazioni sono stati coinvolti i seguenti tecnici:

- Due tecnici dell'Area di Ricerca di Trieste (ing. Sara Zanchiello e ing. Enzo Dreosti).
- Tre tecnici del reparto chimico del CATAS (dott. Daniele Bergamasco, p.i. Sandro Ciroi; p.i. Debora Tiberio).
- Il responsabile informatico del CATAS (p.i. Roberto Tosolini) e la responsabile delle tarature (dott.sa Annamaria Franz).
- Tre studenti universitari laureandi in diverse discipline che hanno realizzato delle tesi di laurea:
 - Massimo Martini (laureando in ingegneria ambientale presso l'Università degli Studi di Trieste).
 - Davide Collini (laureando in economia presso l'Università degli Studi di Udine).
 - Paolo Sinigalia (laureando in ingegneria del legno presso l'Università degli Studi di Pordenone).

La ricerca è stata supervisionata da consulenti esterni esperti:

- dott. Franco Di Valentin,
- dott. Mario Gionfini,
- docenti dell' Università degli Studi di Udine (prof. Luciano Ceccon) e di Trieste (prof. Paolo Bevilacqua e prof. Paolo Rosato).

Hanno inoltre collaborato alla ricerca, a vario titolo:

- i referenti ambientali delle Associazioni di categoria, in particolare dell'Associazione degli Industriali di Udine e di Pordenone.
- consulenti ambientali che operano nelle aziende del distretto della sedia.
- tecnici delle aziende del settore legno – arredo.
- tecnici delle aziende produttrici di prodotti vernicianti.
- tecnici delle aziende produttrici di impianti di verniciatura.
- tecnici delle aziende produttrici di impianti di essiccazione.

Il CATAS per la realizzazione del lavoro fa messo a disposizione le proprie conoscenze nonché i risultati pregressi degli studi e dei censimenti già effettuati.

Capitolo 3 – Analisi dello stato dell'arte di tecnologie e prodotti impiegati nel settore della verniciatura del legno

3.1 Introduzione

Come primo "step" della ricerca si è deciso di fotografare la situazione esistente inerente l'impatto ambientale delle aziende in relazione alla tipologia e alla quantità di solventi organici volatili contenuti nei prodotti utilizzati.

Con la collaborazione del Dipartimento di Economia dell'Università degli Studi di Udine è stato avviato uno studio volto a delineare un quadro, il più completo possibile, del settore della verniciatura in termini di prodotti vernicianti impiegati, di tecnologie attualmente utilizzate, dei benefici e delle problematiche che deriveranno dall'utilizzo in futuro di prodotti alternativi a quelli a base di solventi.

Lo studio è stato svolto attraverso interviste telefoniche alle aziende o tramite compilazione on

line di un questionario appositamente redatto che si è cercato di inoltrare a tutte le aziende insediate nel territorio nazionale. Va rilevato che la maggior parte delle aziende che hanno risposto in questa fase dell'indagine ha sede nelle regioni Veneto e Friuli Venezia Giulia. Nelle pagine seguenti si riporta la sintesi del lavoro svolto.

3.2 Alcuni dati preliminari relativi all'anno 2006

Il settore arredamento nell'anno 2006

Di seguito si riportano alcuni dati aggiornati del Macro Settore Arredamento che confrontano gli anni 2005 e 2006 estratti da rielaborazioni del Centro Studi Cosmit Federlegno.

Con Macro settore Arredamento si intende sia il settore Mobile (domestico + uffici + altri), sia gli apparecchi per l'illuminazione e i complementi d'arredo.

	2005	2006	var% 06/05
Fatturato alla produzione (in milioni di euro)	22283	22809	2,40%
Esportazioni (in milioni di euro)	10616	11162	5,10%
Importazioni (in milioni di euro)	2112	2406	13,90%
Numero Addetti	231565	231160	-0,20%
Numero Imprese	36086	35333	-2,10%

Rispetto all'anno 2005 il numero di imprese è diminuito di 753 unità, il numero di addetti risulta diminuito di 405 unità mentre il fatturato della produzione risulta aumentato del 2,4%.

Il numero medio di addetti per impresa è pari a 6,5 unità. Le aziende sono di piccole dimensioni e prevalentemente a conduzione familiare.

I prodotti vernicianti nell'anno 2006

Da stime di produttori di prodotti vernicianti, in Italia nell'anno 2006 sono state prodotte per il settore legno - arredo 145.000 tonnellate di prodotti vernicianti (circa 50% per mobili, 30% per serramenti e 20% per altri settori), mentre in Europa occidentale (Italia, Germania, Spagna, Austria, Svizzera, Scandinavia, Regno Unito, Francia, Belgio, Olanda e Lussemburgo) nel 2006 sono state prodotte 414.000 tonnellate di prodotti vernicianti.

Da questi dati si evince come il 35% circa dei prodotti vernicianti utilizzati nel settore legno - arredo venga prodotto in Italia.

Analizzando le diverse tipologie di prodotti vernicianti prodotte in Europa nell'anno 2006 sono di seguito schematizzate (comprende oltre al macro settore arredamento anche il settore serramenti):

	Europa occidentale 2006	Italia 2006
Nitrocellulosici	14,4%	8,0%
Ureici	9,2%	3,0%
Poliuretanic	35,6%	50,0%
Poliesteri	7,3%	4,0%
UV	14,4%	10,0%
Acqua	18,4%	24,0%
Altro	1%	1%
	100,0%	100,0%

Considerando le differenti tipologie di prodotti vernicianti prodotti nei diversi paesi europei e la relativa parte volatile, è possibile notare come l'Italia, se pur una grande produttrice ed utilizzatrice di prodotti vernicianti, produca prodotti tra i meno inquinanti di tutta l'Unione Europea; il contenuto medio di solventi delle vernici impiegate in Italia è pari al 56% ed è più basso rispetto alla media europea che è pari al 67%.

Analizzando nel dettaglio la situazione delle aziende del settore legno - arredo relativa all'anno 2005, emerge quanto esposto nei paragrafi seguenti, è bene tenere in considerazione che all'indagine hanno tendenzialmente aderito le aziende di dimensioni medio grandi e quindi più

strutturate per poter partecipare all'iniziativa.

4 – Analisi dello stato dell'arte dei cicli di verniciatura maggiormente utilizzati per la finitura delle superfici

4.1 - Scopo

L'attuazione della legislazione ambientale in materia di riduzione dei solventi organici volatili è oggetto di notevoli discussioni per le problematiche tecnico - economiche derivanti dalla applicazione e per le diverse interpretazioni attuative adottate dalla pubblica amministrazione in questi anni.

In questa pubblicazione non si affrontano nello specifico questi temi demandando ogni considerazione sui limiti esistenti o sulle differenze interpretative ad altre pubblicazioni.

Il lavoro riportato in questo paragrafo è stato finalizzato alla individuazione dei cicli di verniciatura più comunemente impiegati nel settore del mobile ed alla valutazione delle emissioni, riferite all'unità di superficie verniciata, delle varie fasi e totali di ogni ciclo.

I dati riportati, in particolare quelli relativi al residuo secco/m² e COV/m², possono essere utilizzati quale riferimento per effettuare delle valutazioni preliminari di tipo teorico sul rispetto dei limiti al camino (emissioni canalizzate) e sul rispetto dell'"emissione bersaglio".

Per quanto riguarda il rispetto del limite per le emissioni diffuse in queste pagine non vengono fornite indicazioni utili in quanto tali emissioni vengono teoricamente calcolate dal piano gestione solventi (PGS) e dipendono da diverse variabili. Questi aspetti saranno trattati in capitoli successivi in quanto sono state oggetto di approfondimenti da parte di questo gruppo di ricerca.

Per la prima opzione (il rispetto dei valori limite delle emissioni a camino come indicato nella Parte III dell'Allegato III alla parte V del Decreto Legislativo 152/06), un semplice calcolo riferito ai metri quadri prodotti giornalmente ed alle portate dei sistemi di aspirazione può servire a comprendere quali possono essere le concentrazioni di solventi mediamente emesse in atmosfera da ciascuno dei cicli di seguito presentati.

In riferimento all'approccio proposto dalla parte IV dell'allegato III alla parte V del D.Lgs. 152/06 (prescrizioni alternative alla parte III) si è invece proceduto a determinare per ogni ciclo le quantità di VOC e di "secco" coinvolte, parametrizzate all'unità di superficie.

Semplificando il calcolo previsto da tale allegato per la verniciatura di superfici in legno, è possibile indicare che qualora il rapporto:

quantità totali di COV del ciclo / secco totale del ciclo sia inferiore o uguale ad 1, è già rispettata l'emissione bersaglio per quantità di COV utilizzati anche superiori a 25 t/anno.

Nell'effettuare queste valutazioni sono stati trascurati i solventi di lavaggio dei macchinari ma si è tenuto conto solamente dei prodotti vernicianti utilizzati per il ciclo completo di verniciatura dei manufatti.

Il calcolo può essere teoricamente valido anche nel caso dell'impiego di più cicli. Sarà evidentemente necessario effettuare in questi casi una somma ponderata dei contributi di COV e di "secco" dei singoli cicli utilizzati.

4.2 - La metodologia considerata per la classificazione dei cicli di verniciatura

Allo scopo di inquadrare e razionalizzare i cicli di verniciatura in uso presso i vari produttori di mobili, invero piuttosto numerosi, è stata adottata la seguente classificazione (Figura 1) basata sulla suddivisione in categorie a seconda della:

1 - Morfologia del supporto

Si riferisce alla distinzione tra superfici piane e superfici sagomate.

I sistemi di applicazione ed i prodotti di rivestimento utilizzabili risultano spesso differenti implicando delle differenze sostanziali nei cicli proponibili.

Naturalmente i cicli di verniciatura utilizzabili su elementi sagomati sono teoricamente efficaci anche su pannelli piani ma non viceversa.

2 - Tipologia del supporto

Le tipologie di supporti impongono spesso l'impiego di prodotti particolari come ad esempio i primer di adesione per le carte delineando specifici cicli di verniciatura legati a questo aspetto.

3 - Tipo di finitura

In questo caso è stata fatta una suddivisione basandosi sulla trasparenza (cicli pigmentati o trasparenti, sull'evidenza della porosità del legno (poro aperto o poro chiuso) e sulla brillantezza (lucido od opaco). In questo modo i cicli sono stati riuniti in gruppi a seconda della tipologia di prodotto finito a cui sono destinati (es. ante, tavoli, mobili montati, ecc.).

All'interno di ogni gruppo sono pertanto presenti più cicli per ognuno dei quali sono anche previste delle alternative di finitura.

Ogni ciclo di verniciatura è mediamente comprensivo le seguenti fasi:

Fase 1:

- Levigatura del supporto
- Tinteggiatura e relativa essiccazione
- Riempimento (applicazione stucchi e fondi) e relativa essiccazione;
- Carteggiatura del fondo.

Fase 2:

- Finitura e relativa essiccazione.

Sono state specificate le emissioni di ogni fase calcolando infine quelle relative al ciclo completo (VOC totale).

I dati riportati nelle varie tabelle considerano un'efficienza di trasferimento pari al 100 % per tutti i sistemi di applicazione. Per la verniciatura piana dove i sistemi di applicazione e di recupero della vernice possono essere considerati prossimi ad efficienze del 100 % i valori riportati possono essere considerati prossimi a quelli reali. Nel caso invece di applicazioni a spruzzo, i consumi e le conseguenti emissioni di VOC devono essere necessariamente corretti in funzione delle effettive efficienze di trasferimento. Per tale motivo sono state riportate delle note specifiche al fine di consentire di valutare gli effettivi consumi di vernice di taluni cicli.

Le efficienze di trasferimento considerate sono quelle ricavate da sperimentazioni effettuate in linea di produzione (esperienze CATAS riportate nelle pagine che seguono).

Il dato impiegato come riferimento è stato quello del 60 % che può essere considerato come medio-alto rispetto alle misure effettuate nelle sperimentazioni menzionate. Per calcoli più dettagliati in relazione alle differenti esigenze aziendali possono essere tenute in considerazione le efficienze di trasferimento sperimentali riportate nelle pagine che seguono.

E' stato anche indicato per ogni ciclo il residuo secco applicativo ovvero la quantità di vernice secca effettivamente depositata sul manufatto.

Alcuni cicli sono realizzati in unico passaggio, mentre altri richiedono più passaggi.

Come tutte le schematizzazioni anche questa può non essere considerata completa esistendo parecchie situazioni intermedie o casi particolari (es. finiture ad olio o metallizzate).

Riteniamo comunque che possa rappresentare una larga maggioranza di situazioni reali potendo quindi fungere da riferimento su queste questioni.

La suddivisione dei cicli è stata quindi eseguita sulla base dei seguenti parametri:

- morfologia supporto (superfici sagomate o piane),
- tipo di supporto (MDF, pannelli nobilitati con carta, pannelli impiallacciati, pannelli nobilitati con foglie di PVC e legno massiccio).
- caratteristiche della finitura: trasparente o pigmentata (laccata); a poro aperto o poro chiuso.

In ciascuna casella della griglia così ottenuta riportata in figura 1 sono indicati i possibili cicli presentati nel seguente paragrafo.

Figura 1: la classificazione considerata

Morfologia superfici: Superfici piane						
<i>Supporti</i>		<i>MDF</i>	<i>Pannelli Nobilitati carta</i>	<i>Pannelli Impiallacciati</i>	<i>Pannelli Nobilitati PVC</i>	<i>Legno massiccio</i>
Trasparente	Poro aperto	/	Gruppo E Cicli: 1E - 2E	Gruppo L Cicli: 1L	/	Gruppo N Cicli: 1N
	Poro chiuso	/	Gruppo D Cicli: 1D - 2 D	Gruppo I Cicli: 1I - 2I - 3I - 4I - 5I	/	
Pigmentato		Gruppo B Cicli: 1 B	Gruppo C Cicli: 1 C	/	/	/

Morfologia: Superfici sagomate e piane						
<i>Supporti</i>		<i>MDF</i>	<i>Pannelli nobilitati carta</i>	<i>Pannelli impiallacciati</i>	<i>Pannelli nobilitati PVC</i>	<i>Legno massiccio</i>
Trasparente	Poro aperto	/	/	Gruppo G Cicli: 1G - 2G		
	Poro chiuso	/	/	Gruppo H Cicli: 1H - 2H		Gruppo P Cicli: 1P - 2P - 3P - R1 e R2
Pigmentato		Gruppo A Cicli: 1A 2A	Gruppo C Cicli: 1C	Gruppo M Cicli: 1M	Gruppo F Cicli: 1F e 2F	Gruppo O Cicli :1O

4.3 – La descrizione dei cicli di verniciatura

In successione vengono presentati i singoli cicli come sopra schematizzati.

Gli stessi possono essere considerati come rappresentativi del mercato italiano degli anni correnti.

I dati riportati sono stati ricavati da pubblicazioni e da informazioni raccolte presso i produttori e gli utilizzatori di prodotti vernicianti. I prodotti vernicianti sono indicati "pronti all'uso" ovvero già diluiti.

Per quanto riguarda i residui secchi considerati, si è fatto riferimento a schede tecniche ed a sperimentazioni direttamente eseguite in aziende e riportate nei capitoli che seguono.

Per quanto riguarda i poliesteri UV sono stati genericamente indicati come PE UV senza distinzione tra poliesteri veri e propri UV, poliesteri acrilati (acrilati UV) o miscele delle due tipologie di prodotti.

I residui secchi dei poliesteri accelerati e catalizzati sono stati considerati mediamente pari al 77,5 % considerando l'evaporazione sia della frazione solvente che dello stirene non reagito. Quest'ultimo punto è abbastanza controverso. Teoricamente il monomero reattivo dovrebbe reagire completamente assieme alla resina nella reazione di reticolazione ma, essendo relativamente volatile, tende comunque ad evaporare durante l'applicazione e durante le fase di appassimento ed essiccazione in funzione delle specifiche condizioni adottate (tempi, temperature, grammature, ventilazione, ecc.).

Per i residui secchi dei prodotti fotoreticolabili, che teoricamente sono considerabili prossimi al 100%, è stata considerata la loro diluizione in funzione del sistema di applicazione adottato.

Per molti dei cicli a solvente più tradizionali qui presentati sono state proposte e riportate possibile alternative con prodotti a base acqua che vengono sempre più sperimentati ed utilizzati proprio per i benefici che apportano in termini di emissioni e che in questa pubblicazione vengono resi oggettivi con dati numerici. Per quel che riguarda i prodotti vernicianti all'acqua tradizionali è stato mediamente considerato un residuo secco medio del 40 %; valori leggermente più elevati (50 %) sono stati considerati per prodotti vernicianti fotoreticolabili (UV all'acqua).

4.3.1 Il gruppo A

Morfologia	Supporto	Tipo di Finitura		
Superficie				
Sagomata	MDF	Pigmentata	Lucida/opaca	Poro chiuso

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici sagomate e piane soprattutto per la produzione di antine laccate per cucine.

Per la presenza di sagomature l'applicazione delle vernici viene realizzata mediante impianti automatici di spruzzatura con essiccazione per lo più effettuata con sistemi a bilancelle in forni di essiccazione ad aria calda.

Vengono di seguito presentati due cicli per questa tipologia di prodotti e vengono proposte più alternative per la fase di finitura due prevedono l'utilizzo di prodotti vernicianti all'acqua e due a solvente.

Il Ciclo 1A

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Isolante	solvente	PU	spruzzo	Aria	100	80,0	80,0	20,0
	Fondo	solvente	PE cat-acc	spruzzo	Aria (35-45°C) 30'	200	22,5	45,0	177,5
	Fondo	solvente	PE cat-acc	spruzzo	Aria (35-45°C) 30'	200	22,5	45,0	177,5
	Carteggiatura			320-360 grana					

Le alternative al ciclo 1 A vengono di seguito riportate:

Alternativa 1 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Fin. Opaca	solvente	PU	spruzzo	Aria (35-45°C) 30'	120	61,5	73,8	46,2
Totale								243,8	421,2

Alternativa 2 – Finitura lucida

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Fin. Lucida	solvente	PU	spruzzo	Aria (35-45°C) 150'	160	65	104,0	56
Totale								274,0	417,0

Alternativa 3 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Fin. opaca	acqua	Dispersione acrilica	spruzzo	Aria (35-45°C) 150'	120	5,0	6,0	42
Totale								176,0	417,0

Note

- La funzione della prima mano di isolante, poco utilizzato, è quella di favorire l'adesione al supporto delle mani successive. Grazie all'effetto penetrante, questa mano consolida anche la coesione delle fibre del pannello MDF evitando o limitando la formazione di possibili rotture del supporto.
- Il fondo poliestere (chiamato poliesterino), che può essere applicato anche in tre mani, è caratterizzato da un elevato effetto di riempimento e facilità di carteggiatura. Per contro la presenza di stirene è messa in discussione per gli aspetti ambientali. Normalmente viene applicato PE bianco o in tinta.
- Le alternative di finitura qui presentate sono tre. Le prime due, più tradizionali, sono basate su prodotti a solvente di tipo poliuretano bicomponente. L'esempio presentato riguarda un ciclo con opacità bassa e nel caso di superfici lucide le quantità di finitura coinvolte possono essere leggermente superiori (circa 160 g/m²). La seconda opportunità è quella di impiegare un prodotto all'acqua che può essere anche bicomponente nel caso in cui siano richieste delle resistenze superficiali maggiori.

- Per quanto riguarda le valutazioni sulle quantità di solventi emesse per metro quadro verniciato, bisogna necessariamente considerare anche l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione impiegati il cui valore è influenzato da molti fattori: sistema applicativo impiegato, impostazioni, dimensioni elementi, forma, diluizione prodotto verniciante, ecc. Nell'ipotesi semplificativa che tale valore sia pari al 60% per tutti i sistemi a spruzzo, le emissioni totali ammonterebbero per la finitura opaca (alternativa 1) a 406,3 g di solvente per metro quadro di superficie verniciata e negli altri due casi 456,7 g/m² (alternativa 2) e 293 g/m² (alternativa 3).
- Nel caso in cui non venga impiegato l'isolante, questi valori si riducono rispettivamente a 273 g/m², 323 g/m² e 160 g/m².
- Per quel che riguarda la parte IV dell'allegato III al capitolo V del D.Lgs 152/06, dai dati sopra riportati si determina che il rapporto tra solventi utilizzati e secco totale è inferiore ad 1 per tutte le alternative indicando il potenziale rispetto di questo allegato.
- Nel caso dell'impiego di prodotti all'acqua monocomponenti, la possibilità di recupero dell'overspray aumenterebbe di fatto l'efficienza di trasferimento effettiva ma visto il basso contributo in termini di VOC dei prodotti all'acqua, il beneficio potrebbe essere legato agli aspetti economici, in questo caso dovrebbero essere valutati altri aspetti del ciclo di lavorazione come ad esempio l'eventuale trattamento delle acque di lavaggio provenienti dai cicli di verniciatura; problematica riportata nelle pagine seguenti.

Ciclo 2 A

Il ciclo proposto è alternativo a quello precedente dove tuttavia il fondo poliesteri è stato sostituito con un prodotto all'acqua di tipo fotoreticolabile. Le emissioni della prima fase vengono pertanto considerevolmente ridotte. Per contro vi è evidentemente l'esigenza di disporre di impianti di essiccazione più complessi.

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Isolante (1)	solvente	PU	spruzzo		100	80,0	80,0	20,0
	Fondo UV bianco	Acqua	Disp. Acrilica	spruzzo	Aria calda 30'+2 lamp. UV A.P.	120	2,0	2,4	45,6
	Levigatura				320				
	Fondo UV bianco	Acqua	Disp. Acrilica	spruzzo	Aria calda 30'+2 lamp. UV A.P.	120	2,0	2,4	45,6
	Carteggiatura				320 grana				

Per quanto riguarda la finitura vengono proposte tre possibili alternative.

Alternativa 1 – Finitura lucida

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucida	solvente	PU	spruzzo	Aria calda 2-4h	160	65,0	104	56
Totale								188,8	167,2

Alternativa 2 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura UV	Acqua	Disp. acrilica	spruzzo	Aria calda 30'+4 lamp. UV A.P.	100	3,0	3,0	37
Totale								87,8	148,2

Alternativa 3 – Finitura opaca base acqua

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
------	------------	------	----------------------	--------------	----------------------	------------------------------	---------	-------------------------	-----------------------------------

II	Finitura opaca	acqua	mono/bi comp.	spruzzo	Aria calda 2-3h h	120	5,0	6,0	42
Totale								90,8	153,2

Note:

- Il ciclo qui proposto può essere attualmente considerato come “teorico” in quanto i risultati ottenuti non sono ancora considerati soddisfacenti.
- In questo caso nella prima fase è prevista l’applicazione di un fondo all’acqua di tipo fotoreticolabile. Le emissioni, come si evince dai dati riportati, sono assai limitate.
- L’impiego di una finitura poliuretana al solvente determina delle emissioni non molto differenti da quelle di un ciclo tradizionale. I due prodotti a maggior contenuto di solvente, l’isolante e la finitura poliuretana, sono infatti ancora presenti. Considerando anche l’efficienza di trasferimento intorno al 60 % le emissioni totali ammonterebbero a circa 314,7 g/m².

In riferimento parte IV dell’allegato III al capitolo V del D.Lgs 152/06 la quantità di solvente coinvolta in questo ciclo è pari al 38 % del peso totale dei prodotti vernicianti impiegati.

- Nel caso dell’alternativa 2 tenendo conto dell’efficienza di trasferimento pari al 60%, le emissioni totali sarebbero pari a circa 146,3 g/m². La maggior parte di esse deriverebbe tuttavia dall’isolante che da solo provoca un’emissione di 133 g/m². Sempre in riferimento alla legislazione, la quantità di solvente coinvolta in questo ciclo è pari al 20 % del peso totale dei prodotti vernicianti impiegati.
- Le considerazioni espresse per l’alternativa 2 sono valide anche per il caso 3 sia in riferimento alle emissioni totali che per quanto riguarda le percentuali di solvente rispetto al totale dei prodotti vernicianti utilizzati.

4.3.2 Il gruppo B

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	MDF	Pigmentata	Lucida/opaca	Poro chiuso

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane soprattutto per la produzione di antine laccate per cucine o strutture di mobili vari.

L’applicazione delle vernici viene realizzata mediante impianti automatici di spruzzatura con essiccazione per lo più effettuata con sistemi a bilancelle in forni di essiccazione ad aria calda.

Viene di seguito presentato un ciclo tipico per questa tipologia di prodotti con più alternative per quanto riguarda la finitura.

Ciclo 1B

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Isolante	solvente	PU	Rullo		15	80,0	12,0	3,0
	Stucco	solvente	Acrilico	Rullo	UV - 1 Lamp. A.P.	30	5,0	1,5	28,5
	Fondo	solvente	Acrilico anticalo	Reverse	UV - 3 Lamp. A.P.	80	5,0	4,0	76,0
	Carteggiatura			240-320					
	Fondo	solvente	Acrilico	Revers	UV - 3 Lamp.. A.P.	80	5,0	4,0	76,0
	Carteggiatura			320 - 360 - 400 grana					

Alternativa 1 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	solvente	PU	Spruzzo/velo	aria 2 h	120,0	60,0	72,0	48,0
Totale								93,5	231,5

Alternativa 2 – Finitura pigmentata opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura pigmentata. opaca	Acqua	Emulsione acrilica pigmentata	Spruzzo/velo	aria 2 h	120,0	3,5	4,2	55,2
Totale								25,7	238,7

Alternativa 3 – Finitura lucida

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucida	solvente	PU	Spruzzo/velo	aria 2/4 h	160,0	65,0	104,0	56,0
Totale								125,5	239,5

Note

- Anche in questo caso è prevista l'applicazione di una prima mano di isolante che, come nel caso precedente è caratterizzata da un basso residuo secco.
- Sia questa mano che le successive sono applicate tramite sistemi (rullo e velo) che garantiscono elevate efficienze di trasferimento. Solo in caso di applicazione a spruzzo delle finiture, che garantirebbe una maggiore omogeneità, i valori di solvente indicati nelle tabelle andrebbero corretti in funzione della perdita di parte della vernice spruzzata (overspray).
- Le alternative di finitura qui presentate sono tre ma si tratta in realtà di prodotti differenti come opacità. E' interessante notare come il prodotto ad effetto lucido deve essere applicato in quantità maggiore per garantire più spessore e quindi omogeneità dell'aspetto superficiale.
- Considerando l'applicazione a velo i valori di consumo totale di VOC sarebbero quelli indicati. Nel caso di sistemi a spruzzo le emissioni potenziali aumenterebbero a 155,8 g/m² nel primo caso, a 42,8 g/m² nel secondo ed a 209,2 g/m² nel terzo (sempre considerando una efficienza di trasferimento del 60 % per i sistemi a spruzzo impiegati). Il confronto tra residuo secco e VOC indica sempre valori di solventi inferiori alla metà del residuo secco.

4.3.3 Il gruppo C

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
		Pigmentata	Opaca	Poro chiuso
Piana	Pannello rivestito con carta			

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane laccate per mobili in genere.

La superficie piana si presta all'applicazione con sistemi a rullo ed a velo.

Vengono di seguito presentati 2 cicli con più alternative di finitura per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1 C

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Levigatura-Lavaggio	solvente							
	Isolante (3)	solvente	Isolante PU	Rullo	IR t= 30-40"	15	78,0	11,7	3,3
	Stucco x aderenza (4)	solvente	Stucco UV	Rullo	UV - 1 Lamp. A.P.	30	10,0	3,0	27,0
	Fondo	solvente	Fondo UV	Rullo /Reverse	UV - 3 Lamp. A.P.	30	7,0	5,6	74,8
	Carteggiatura			320-400 grana					

Alternativa 1 – Finitura opaco UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaco UV	solvente	UV -bi cure	Velo	UV-Ap.-TL03-05 3 A.P.	120	45,0	54,0	66
Totale								74,3	171,1

Alternativa 2 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	solvente	PU pigmentato	Spruzzo/velo	a.c - 2h	150	60,0	90,0	60,0
Totale								110,3	165,1

Alternativa 3 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	acqua	Monocomp. o bicomp. pigmentata	Spruzzo/velo	a. c. 2-3 h	120	3,8	4,6	54
Totale								24,9	159,1

Alternativa 4 - Finitura opaco UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaco UV	acqua	UV all'acqua pigmentata	Spruzzo/velo	30'a.c. + 2 Lamp A.P.	100	2,0	2,0	45,0
Totale								22,3	150,1

Alternativa 5 - Finitura lucido UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucido UV	solvente	UV -bi cure	Velo	UV-Ap.-TL03-05 3 A.P.	140	30	42,0	98
Totale								62,3	203,1

Note

- La prima operazione, quella di lavaggio (solitamente con acetone), serve per eliminare eventuali tracce di sostanze "distaccanti" che potrebbero determinare problemi nell'adesione della vernice.

- La prima mano ha funzione di primer di adesione mentre la seconda più da riempitivo per i pori della carta.
- Trattandosi di superfici piane le applicazioni possono anche essere eseguite a rullo garantendo efficienze di trasferimento prossime al 100%.
- L'impiego di prodotti a doppio meccanismo di indurimento (caso 1) riesce a bilanciare una produttività elevata (UV) con le qualità (es. distensione) di un sistema poliuretano, presentato nella seconda ipotesi.
- Nell'alternativa 3 è interessante notare la possibilità di impiegare una finitura all'acqua mono- o bi-componente. Spesso si tratta dello stesso prodotto a cui vengono aggiunte piccole percentuali di appropriati induritori. Queste sostanze inducono una reticolazione delle resine garantendo migliori prestazioni soprattutto per quel che riguarda la durezza e le resistenze chimiche.
- Il quarto caso è invece quello di un prodotto UV all'acqua che deve evidentemente impiegare adeguati impianti. La reticolazione è ottenuta mediante l'impiego di particolari resine (insature) con l'ausilio di fotoiniziatori. L'acqua deve essere completamente allontanata dal film prima dell'irraggiamento finale. Tale esigenza viene soddisfatta con l'impiego di aria calda (come nell'esempio presentato) ma può anche avvenire con lampade IR o sistemi a microonde.
- La finitura con applicazione a velo, seppur determina solitamente un livellamento inferiore rispetto allo spruzzo, garantisce efficienze di trasferimento prossime al 100 %. Il dato teorico sulle emissioni può quindi essere considerato non molto differente rispetto a quello reale. Negli altri casi l'eventuale applicazione a spruzzo determinerebbe invece delle emissioni più elevate in considerazione dell'efficienza di trasferimento più bassa.
- In tutti i casi le quantità di solventi impiegate sono assai inferiori rispetto al residuo secco applicato garantendo pertanto il rispetto del rispetto dell'emissione bersaglio prevista dalla legislazione.

4 / 4 Il Gruppo D

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	Pannello rivestito con carta finish	Trasparente	Lucida/opaca	Poro chiuso

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane per mobili in genere ad imitazione del legno. Si tratta in genere di cicli di verniciatura economici non più diffusamente utilizzati perché sostituiti da carte finish già verniciate (finite o non finite). La carta è anche sostituita con impiallaccature di bassa qualità. La superficie piana si presta all'applicazione con sistemi a rullo ed a velo. Vengono di seguito presentati 3 cicli con diverse alternative di finitura per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1D

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Levigatura-Lavaggio	solv.							
	Isolante	solv.	Isolante PU	rullo	IR t= 30-40"	10	78,0	7,8	2,2
	Isolante	solv.	Isolante UV per carta	rullo	UV - 1 Lamp.A.P.	15	42,0	6,3	8,7
	Fondo	solv.	Fondo UV	reverse	UV - 3 Lamp.A.P.	80	7,00	5,6	74,4
	Carteggiatura			320-400 grana					

Alternativa 1 – Finitura opaco UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaco UV	solv.	Poliacrilica UV	Velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	120	50,0	60,0	60,0
Totale								79,7	145,3

Alternativa 2 – Finitura lucido UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucido UV	solv.	Lucido UV	velo	App.+TL03-05+3 A.P.	140	15,0	21,0	119,0
Totale								40,7	204,33

Alternativa 3 – Finitura in due mani di poliesteri UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura Ciclo 2:1 (2)	solv.	PE UV	velo (3)	App.+TL03-05+3 A.P.	120	5,0	6,0	114,0
			opaco UV	velo (4)	"	100	50,0	50,0	50,0
Totale								75,7	249,3

Note:

- La prima fase è sempre quella di un opportuno lavaggio con solvente o leggera levigatura della superficie in modo tale da renderla idonea all'applicazione delle mani successive. Trascurare questo passaggio può determinare problemi di adesione che possono manifestarsi anche nel tempo a causa dell'irrigidimento del film di vernice e delle tensioni che ne derivano.
- Le applicazioni proposte, trattandosi di superfici piane, sono realizzate tutte con sistemi che garantiscono efficienze di trasferimento prossime al 100 %.
- La prima alternativa di finitura prevede un unico passaggio. Per quanto riguarda l'alternativa 3, a maggior grammatura, vengono applicate in sequenza due mani di poliesteri UV (la seconda direttamente sulla prima mano dopo gelificazione). In tal modo si possono raggiungere spessori assai elevati senza ricorrere a fasi intermedie di carteggiatura.
- In tutti i casi i valori di solvente emesso per metro quadro di superficie sono nettamente inferiori al residuo secco applicato.

Ciclo 2 D

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Pulitura Lavaggio	solv.							
	Primer isolantex carta	solv.	Isolante PU	rullo	IR t= 30-40"	10	78,0	7,8	2,2
	Isolante	solv.	Isolante UV	rullo	UV - 1 Lamp.A.P.	10	42,0	4,2	5,8
	Fondo	solv.	Fondo UV anticalo	reverse	UV - 3 Lamp.A.P.	80	7,0	5,6	74,4
	Carteggiatura			320-400					
	Fondo PE-UV	solv.	Fondo PE UV par.	velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	240	20,0	48,0	192,0
	Carteggiatura (2)				320-360-400 grana				

Alternativa 1 – Finitura UV opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto	Applicazione	Essiccazione	Quantità	VOC	VOC	Residuo
------	------------	------	----------	--------------	--------------	----------	-----	-----	---------

			<i>verniciante</i>		<i>(tempo)</i>	<i>(g/m2)</i>	<i>(%)</i>	<i>(g/m2)</i>	<i>secco (g/m2)</i>
II	Finitura UV opaca (3)	solvente	Opaco UV	velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	120	50,0	60,0	60,0
Totale								125,6	334,4

Alternativa 2 – Finitura UV lucida

<i>Fase</i>	<i>Operazione</i>	<i>Base</i>	<i>Prodotto verniciante</i>	<i>Applicazione</i>	<i>Essiccazione (tempo)</i>	<i>Quantità (g/m2)</i>	<i>VOC (%)</i>	<i>VOC (g/m2)</i>	<i>Residuo secco (g/m2)</i>
II	Finitura UV lucida (3)	solv.	lucido UV	velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	140	15,0	21,0	119,0
Totale								86,6	393,4

Alternativa 3

<i>Fase</i>	<i>Operazione</i>	<i>Base</i>	<i>Prodotto verniciante</i>	<i>Applicazione</i>	<i>Essiccazione (tempo)</i>	<i>Quantità (g/m2)</i>	<i>VOC (%)</i>	<i>VOC (g/m2)</i>	<i>Residuo secco (g/m2)</i>
II	Ila mano PE-UV par.	solvente	Pe UV	velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	240	20,0	48,0	192,0
	Spazzolatura		paste abrasive+polish						
Totale								115,7	469,3

Note

- Questo ciclo può essere considerato come uno dei più tradizionali per l'ottenimento di superfici con elevata brillantezza e qualità. La riconosciuta migliore qualità rispetto al precedente deriva soprattutto dall'applicazione di uno spessore totale decisamente superiore, garantito da una doppia applicazione di fondo. Viene utilizzato particolarmente per piani tavolo, scrivanie, ecc. La spazzolatura finale conferisce una notevole uniformità producendo superfici assai apprezzate per il loro aspetto.
- I quantitativi di solvente impiegato sono nettamente inferiori rispetto al secco applicato.
- Viene citata l'applicazione di un fondo anticalo ovvero di un prodotto che tendenzialmente contrasta l'effetto delle vernici di "assestarsi" nel tempo seguendo la conformazione del supporto perdendo quindi l'effetto di specularità. Tale problematica viene conosciuta appunto come "calo".
- Le quantità di solventi impiegate per metro quadro possono essere considerate come prossime a quelle reali soprattutto in considerazione dell'impiego di sistemi di applicazione con elevate efficienze di trasferimento. Permane anche in questo caso, come già ripetutamente citato, il problema di stabilire con esattezza la quantità di stirene che, non reagendo con la resina, si libera nell'ambiente.
- Per quanto riguarda il confronto tra residuo secco e solventi impiegati, il rapporto è nettamente favorevole.

4.3.5 Il Gruppo E

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	Pannello rivestito con carta	Trasparente	Opaca	Poro aperto

Anche a questo gruppo appartengono cicli di verniciatura per superfici piane per mobili di vario tipo ad imitazione del legno con effetto "poro aperto". Si tratta in genere di cicli di verniciatura economici.

Vengono di seguito presentati 2 cicli per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1E

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Pulitura carta	solv.							
	Primer isolante	solv.	Isolante PU	rullo	IR t= 30-40"	10	78,0	7,8	2,2
	Primer UV	solv	Fondo UV	rullo	1 Lamp A.P.	10	5,0	0,5	9,5

Alternativa 1 – Applicazione finitura a solvente

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	solv.	Opaco UV	velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	100	73,0	73	27,0
Totale								80,8	38,7

Alternativa 2 - Applicazione finitura all'acqua

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	acqua	Opaco UV	velo	30 ' a.c. + 2A.P	100	7,0	7,0	47,0
Totale								80,8	38,7

Ciclo 2E

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Pulitura carta	solv							
	Primer isolante	solv.	Isolante PU	rullo	IR t= 30-40"	15	78,0	11,7	3,3

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	solv.	Opaco UV	Rullo (baby)	UV-2 lamp. A.P.	10	5,0	0,5	9,5
Totale								12,2	12,8

Note

- Questo ciclo indicato come “moderno” è caratterizzato da un’elevata produttività non prevedendo applicazioni intermedie di mani di fondo. Viene impiegato soprattutto per i fianchi e l’interno dei mobili per dare “protezione” alla carta finish o per modificarne il colore con una maggior personalizzazione.
- Le grammature sono molto basse e conseguentemente gli spessori ottenibili sono assai ridotti.
- Anche in questo caso le quantità di solventi indicate nelle tabelle sono tendenzialmente prossime a quelle reali in considerazione dell’impiego di sistemi di applicazione a rullo o a velo.
- In dipendenza soprattutto delle grammature, le quantità assolute di VOC impiegate sono assai ridotte. L’isolante, avendo residuo secco assai limitato, è il prodotto che si associa alla maggior quantità di solventi impiegate in questo ciclo. Bisogna tuttavia considerare che questa è una loro peculiarità avendo la funzione primaria di penetrare e bagnare adeguatamente il supporto.
- Per quanto riguarda il confronto tra residuo secco e solventi impiegati, il rapporto è di circa 1:1.

4.3.6 Il Gruppo F

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Sagomata	Pannello MDF rivestito con PVC	Laccata	Lucida/opaca	Poroso chiuso

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici sagomate rivestite con foglie in PVC. Tipiche applicazioni sono rappresentate da antine per cucine.

Vengono di seguito presentati due cicli per questa tipologia di prodotti il primo su PVC direttamente verniciabile mentre il secondo su foglia di PVC non direttamente verniciabile.

Ciclo 1 F

Alternativa 1 – Finitura liscia o gofrata

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura liscia o gofrata	Solvente	Laccato PU opaco	spruzzo	40°C - 2 h	140	50,0	70	70,0
Totale								70,0	70,0

Alternativa 2 – Finitura pigmentata opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura pigmentata opaca	Acqua	Emulsione acrilica pigmentata	Spruzzo	aria 2 h	120	3,5	4,2	55,2
Totale								25,7	238,7

Note

- In questo ciclo viene applicata solo la finitura ed è impiegato per produrre superfici lucide.
- I prodotti vernicianti sono a base poliuretanica e, in dipendenza della presenza di pigmenti e cariche, sono caratterizzati da residui secchi relativamente elevati.
- L'impiego di sistemi a spruzzo determina notevoli perdite di prodotto. Sempre in un'ipotesi di efficienze pari al 60 %, i valori di solventi emessi risulterebbero pari a circa 246 g per metro quadro verniciato.
- Per quanto riguarda il confronto tra residuo secco e solventi impiegati, il rapporto spostato verso le sostanze organiche volatili indicando che il ciclo non sarebbe conforme alle specifiche dell'allegato III del D.M. 44.

Ciclo 2 F

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Levigatura Pulitura			320					
	Primer ancorante	Solvente	PU bianca	spruzzo	30-240 max.	50	50	25,0	25,0

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Lucido PU	spruzzo	40°C - 2 h	150	55	82,5	67,5
Totale								107,5	92,5

Note

- Il PVC non laccabile deve essere preventivamente trattato con un primer per favorire l'adesione della successiva applicazione.
- Questo ciclo viene impiegato per produrre superfici lisce, a varia opacità o gofrate, tipiche del PVC.

- Anche qui i prodotti impiegati sono a base poliuretanic con residui secchi analoghi ai precedenti.
- I valori di solventi emessi risulterebbero pari a circa 158 g per metro quadro verniciato tenendo sempre in considerazione l'efficienza di trasferimento dei sistemi a spruzzo.
- Per quanto riguarda il confronto tra residuo secco e solventi impiegati, il loro rapporto è prossimo all'unità.

4.3.7 Il Gruppo G

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Sagomata	Pannelli sagomati impiallacciati	Trasparente	Opaca	Poro aperto

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici sagomate impiallacciate con varie specie legnose. Tipiche applicazioni: antine per mobili e cucine di stile classico e moderno.

Il tipo di finitura a "poro aperto" prevede tendenzialmente l'applicazione di grammature limitate al fine di non produrre spessori eccessivi.

I cicli adatti a questa tipologia di superfici sono il ciclo 10, già presentato precedentemente ed altri tre di seguito schematizzati.

Ciclo 1 G

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta sup.int.	Veicolata	Solv/acqua	spruzzo	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Tinta sup.est.	Veicolata	Solv/acqua	spruzzo	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Leggera Carteggiatura (spuntatura)								
	Fondo	Solvente	PU /Acr,	spruzzo	a.c 1-2 h	100	75,0	75,0	25,0
	Carteggiatura (1)					240-280-300 grana			

Alternativa 1 – Finitura superficie

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	Solvente	Fondo finitura PU/ Acrilica	spruzzo mec.	a.c. 1-2 h	150	70,0	105,0	45,0
	Finitura sup.est.	Solvente	Finitura PU / Acrilica	spruzzo mec.	a.c. 2h	90	70,0	63,0	27,0
Totale								279,0	101,0

Alternativa 2 – Finitura superficie

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	Acqua	Fondo finitura Acrilica	spruzzo mec.	40°C 3h	120	5,0	6,0	48
	Finitura sup.est.	Acqua	Emulsione Acrilica	spruzzo mec.	40°C 3h	120	5,0	6,0	48
Totale								123,0	125,0

Note

- Questo ciclo può essere considerato come uno tra i più tradizionali impiegati per la finitura di antine impiallacciate.
- Nel caso dell'alternativa 1 l'impiego di soli prodotti a base solvente di tipo poliuretano determina emissioni considerevoli che, tenendo in considerazione anche l'efficienza di trasferimento, possono raggiungere valori nell'intorno dei 465 g per metro quadro verniciato.
- L'alternativa 2 prevede invece l'impiego di una finitura all'acqua che consente una notevole riduzione nell'impiego e conseguentemente nella potenziale emissione di solventi. I valori, sempre considerando l'efficienza di trasferimento, sono più che dimezzati essendo prossimi a 205 g/m².
- Il confronto tra residuo secco e solventi impiegati evidenzia valori simili per l'alternativa 2 mentre gli stessi sono nettamente sbilanciati verso i solventi per il caso 1.

Ciclo 2 G

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta sup.int.	Veicolata	Solv/acqua	spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Tinta sup.est.	Veicolata	Solv/acqua	spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Stracciatura(2)								
	Fondo sup.est.	solv.	Poliacr. UV	spruzzo mec.	App. TI e 2 lam A.P.	70	75,0	52,5	17,5
	Carteggiatura					240-280-300/240			

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	solv.	Fondo finitura UV	spruzzo mec.	A.C. TL-4 lamp A.P.	50	70,0	35,0	15,0
	Finitura sup.est.	solv.	Finitura UV	spruzzo mec.	A.C. TL-4 lamp A.P.	100	70,0	70,0	30,0
Totale								193,5	66,5

Note

- Questo ciclo può essere considerato come alternativo a quello tradizionale essendo caratterizzato dall'impiego esclusivo di prodotti vernicianti fotoreticolabili (UV). Le produttività sono tendenzialmente superiori.
- Malgrado l'impiego di prodotti che tendenzialmente potrebbero raggiungere valori di residuo secco anche prossimi al 100 %, la necessità applicative (riduzione della viscosità per i sistemi a spruzzo) determina ugualmente emissioni potenziali considerevoli, nell'intorno dei 322 g/m² per effetto della necessaria diluizione.
- Il confronto tra residuo secco e solventi impiegati evidenzia ulteriormente questo sbilanciamento verso i solventi.

4.3.8 Il Gruppo H

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
		Trasparente	Lucida/opaca	Poro chiuso
Sagomata	Pannelli sagomati impiallacciati			

Questo gruppo è assai simile al precedente. La differenza sostanziale sta nel tipo di finitura definita a “poro chiuso” su supporti in legni con poro compatto (Acero, Ciliegio, Faggio)
 Le grammature dovranno pertanto essere maggiori al fine di produrre un film continuo sulla superficie del prodotto verniciato (generalmente antine).
 Possono essere considerati adatti i cicli di seguito presentati.

Ciclo 1H

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta sup.int.	Veicolata	Solv/acqua	Spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Tinta sup.est.	Veicolata	Solv/acqua	Spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Fondo sup.est. (2 mani)	Solvente	PU base Acrilica	Spruzzo mec.	a.c 1-2h	140	65,0	91,0	49,0
	Fondo sup.int. (1 mano)	Solvente	PU base Acrilica	Spruzzo mec.	a.c. 1-2h	140	65,0	91,0	49,0
	Carteggiatura (1)					240-280-300 grana			

Alternativa 1 – Finitura superficie

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	Solvente	Fondo PU finitura PU	Spruzzo mec.	a.c. 1-2 h	120	60,0	72,0	48,0
	Finitura sup.est.	Solvente	Finitura PU	Spruzzo mec.	a.c. 2h	120	70,0	84,0	36,0
Totale								283,0	137,0

Alternativa 2 – Finitura superficie

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	Acqua	Fondo finitura	Spruzzo mec.	40°C 3h	120	5,0	6,0	48
	Finitura sup.est.	Acqua	Fin. disp. acr.	Spruzzo mec.	40°C 3h	120	5,0	6,0	48
Totale								139,0	149,0

Note

- I valori calcolati nelle tabelle riguardano solo le superfici esterne per semplicità di rappresentazione e di discussione dei dati
- Anche il ciclo sopra descritto è considerabile come “tradizionale”.
- Nel caso dell’alternativa 1 l’impiego di soli prodotti a base solvente di tipo poliuretano determina emissioni considerevoli che, tenendo in considerazione anche l’efficienza di trasferimento, possono raggiungere valori nell’intorno dei 472 g per metro quadro verniciato.
- L’alternativa 2 prevede invece l’impiego di una finitura all’acqua che consente una notevole riduzione nell’impiego e conseguentemente nella potenziale emissione di solventi. I valori,

sempre considerando l'efficienza di trasferimento, sono più che dimezzati essendo prossimi a 232 g/m².

- Il confronto tra residuo secco e solventi impiegati evidenzia valori simili per l'alternativa 2 mentre gli stessi sono nettamente sbilanciati verso i solventi per il caso 1.

Ciclo 2H

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta sup.int.	Solv/acqua	Tinta "veicolata"	spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Tinta sup.est.	Solv/acqua	Tinta "veicolata"	spruzzo mec.	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Stracciatura (2)								
	Fondo sup.est.	solv.	Poliacr. UV	spruzzo mec.	App.+ gel + UV	110	70,0	77,0	33,0
	Carteggiatura					240-280-300/240			

Alternativa 1 – Finitura superficie

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura sup.int.	solv.	Fondo finitura UV	spruzzo mec.	A.C. TL-4 lamp A.P.	70	70,0	49,0	21,0
	Finitura sup.est.	solv.	Finitura UV	spruzzo mec.		100	70,0	70,0	30,0
Totale								232,0	88,0

Note

- Questo ciclo può essere considerato come alternativo a quello tradizionale essendo caratterizzato dall'impiego esclusivo di prodotti vernicianti fotoreticolabili (UV). Le produttività sono tendenzialmente superiori.
- Malgrado l'impiego di prodotti che tendenzialmente potrebbero raggiungere valori di residuo secco anche prossimi a 100, la necessità applicative (riduzione della viscosità per i sistemi a spruzzo) determina ugualmente emissioni potenziali considerevoli, nell'intorno dei 387 g/ m².
- Il confronto tra residuo secco e solventi impiegati evidenzia ulteriormente un netto sbilanciamento e conseguentemente il mancato rispetto dei limiti dell'allegato III.

4.3.9 Il Gruppo I

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	Impiallacciati	Trasparente	Opaca/lucida	Poro chiuso

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane impiallacciate; sono molto usati per finiture in passaggio unico su superfici di mobili in genere.

Vengono di seguito presentati due cicli per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1 I

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura				120-150-150				
	Tinta	solvente/acqua	Tinta solvente	rullo	I.R 30-60" + a.c.	20	95,0	19,0	1,0
	Isolante*	solvente	Isolante PU	rullo					

Fondo UV trasparente	solv.	Fondo Acrilico UV	rullo	1-2 lamp.A.P.	30	10,0	3,0	27,0
Fondo anticalo	solv.	Fondo acrilico/PE UV	reverse	2-3 lamp.A.P.	80	5,0	4,0	76,0
Carteggiatura				320-340-400				
Ritocco tinta (eventuale)								

Alternativa 1 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	solv.	Opaco UV	Velo	Ap+TiO ₃ ,05 +2 A.P.	120	55,0	66,0	54,0
Totale								92,0	158,0

Alternativa 2 – Finitura lucida

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucida (2)	solv.	Lucido UV	velo	Ap-TL03,05 4 A.P.	140	15,0	21,0	119,0
Totale								47,0	223,0

Alternativa 3

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura Ciclo 2:1	solv.	opaco UV	A velo (ciclo 2:1) (3)		120	5,0	6,0	114,0
				A velo (ciclo 2:1) (4)		100	50,0	50,0	50,0
Totale								82,0	268,0

Note

- L'applicazione dell'isolante viene effettuata quando necessario, ad esempio con impiallaccature costituite da particolari legni esotici ed altre specie "problematiche".
- Questo ciclo prevede l'applicazioni di più mani di prodotti fotoreticolabili.
- Le quantità di solventi coinvolte sono abbastanza ridotte in conseguenza della tipologia di prodotti impiegati e della possibilità di utilizzare sistemi di applicazione con rendimenti prossimi al 100 %. Nel caso della finitura applicata a velo a ridotta viscosità rende comunque necessaria una discreta diluizione. In definitiva i solventi impiegati ammontano a circa 103 g per ogni metro quadro prodotto.
- Il residuo secco applicato è di circa tre volte superiore alla quantità di solventi impiegata per il ciclo 3 a maggior grammatura. Anche negli altri casi si nota il rispetto dei requisiti previsti dalla legislazione

Ciclo 2 I

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta	Solvente acqua	Tinta solvente	rullo	I.R 30-60" + a.c.	15	95,0	14,3	0,8
	Isolante (1)	Solvente	Isolante PU	rullo					
	Fondo UV trasparente	Solvente	Stucco Poliacr. UV	rullo	1 lamp. A.P.	20	10,0	2,0	18,0

Fondo UV	Solvente	Stucco Poliacr.	reverse	1 lamp A.P.	50	5,0	2,5	47,5
Carteggiatura				320				
Fondo PE	Solvente	Stucco UV x esterni	reverse	3 Lamp. A.P.	50	5,0	2,5	47,5
Carteggiatura				180				
PE x esterni/interni	Solvente	PE UV paraffinato	Velo	Ap. TL 03 - Gel+2 A.P.	240	15,0	36,0	204,0
Carteggiatura								

Alternativa 1 – Finitura lucida

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura lucida (2)	Solvente	Lucido UV	Velo	Ap-TL03,05 4 A.P.	140	15,0	21,0	119,0
Totale								78,3	436,8

Alternativa 2 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Solvente	Opaco UV	Velo	Ap+TI03,05 +2 A.P.	110	45,0	49,5	60,5
Totale								106,8	378,5

Alternativa 3 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Solvente	Opaco PU	Velo	a.c.	200	70,0	140,0	60,0
Totale								197,3	377,8

Alternativa 4

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Ila mano PE-UV par.	Solvente	PE UV	Velo	UV-Ap.TL03,05 3A.P.	240	15,0	36,0	204,0
	Spazzolatura		Paste abrasive polish						
Totale								93,3	521,0

Note

- Questo ciclo prevede l'applicazioni di più mani di prodotti fotoreticolabili.
- Le prime due alternative sono analoghe per quanto riguarda i prodotti impiegati salvo l'aspetto finale. Le grammature sono differenti in quanto per l'ottenimento di finiture lucide vengono applicati tendenzialmente spessori maggiori. L'alternativa 4 si riferisce ad una finitura PE spazzolato (Lucido) per mobili di elevata qualità.
- Essendo tutte le applicazioni effettuate a velo od a rullo, le quantità indicate nelle tabelle possono essere considerate quelle proprie dei cicli proposti.
- Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si può notare che in tutti i casi i valori di residuo secco medio sono nettamente superiori al 50 %. Ciò è dovuto all'impiego di prodotti fotoreticolabili e all'assenza di applicazioni a spruzzo.

Ciclo 3I

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura								
	Tinta	Solv/acqua	tinta a solv.	rullo	IR 30-60"	20	90,0	18,0	2,0
	Fondo	Solvente	Fondo UV p.a.	rullo	1-2 LAMP. A.P.	30	10,0	3,0	27,0
	Fondo anticalo	Solvente	Acrilico UV	reverse	3 lamp. A.P.	80	5,0	4,0	76,0
	Carteggiatura				280-320				
	Fondo(1)	Solvente	PE-UV paraffinato	velo	Ap. TL03,05 -3 A.P.	240	15,0	36,0	204,0
	Pantografatura bordi								

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I a	Tinta bordi								
	Fondo bordi (1-2 mani)	Solvente	PE	spruzzo	1-3h	450	60,0	270,0	180,0

Alternativa 1 – Applicazione Finitura

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura (3)	Solvente	PU	spruzzo	a.c. 2h	150	65,0	97,5	52,5
Totale escludendo i bordi								158,5	361,55

Alternativa 2 – Applicazione Finitura UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura UV (4)	Solvente	Acrilica UV	spruzzo	Ap. TL03,05 -3 A.P.	140	68,0	95,2	44,8
Totale escludendo i bordi								156,2	353,8

Note

- In questo ciclo vi è una maggior complessità imputabile alla verniciatura dei bordi che viene generalmente effettuata accatastando più pannelli l'uno sull'altro e procedendo con applicazione a spruzzo appunto "in catasta". L'emissione di tale operazione andrebbe considerata nella valutazione globale. In questa analisi è stata tuttavia trascurata per semplificare l'analisi.
- Le emissioni della verniciatura della sola parte superficiale dei manufatti, come evidente dai dati totali, sono elevate per entrambe le alternative proposte. Considerando l'efficienza di trasferimento pari al 60 % per la finitura a spruzzo, i valori teorici di consumo di composti organici volatili ammonterebbero a 264,2 g/m² per il primo caso e a 260,3 g/m² per il secondo.
- Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si può notare entrambi i casi sono conformi al limite del 50 %.

Ciclo 4 I

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Tinta	solv./acqua	Tinta e veicolo	spruzzo	I.R 15-30"	30	95,0	28,5	1,5
	Fondo trasp. UV	acqua	Fondo UV all'acqua	spruzzo	aria 30'+1-2 Lamp. UV A.P.	80	5,0	4,0	36
	Carteggiatura manuale				320-360-400				

Alternativa 1 – Finitura opaca UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca UV	acqua	UV all'acqua	spruzzo	30' a.c. + 2 Lamp UV A.P.	100	2,0	2,0	47
Totale								34,5	84,5

Note

- Questo ciclo assai simile ai precedenti è basato sull'impiego di prodotti all'acqua di tipo fotoreticolabile. Anche in questo caso, come in altri esempi presentati precedentemente, si nota come l'essiccazione prevede due fasi. Nella prima vi è il completo allontanamento dell'acqua (operazione effettuata in qualche caso anche con sistemi a microonde), mentre la seconda fase prevede la reticolazione della resina con lampade UV.
- La quantità totale di solventi coinvolti dipende quasi esclusivamente dall'impiego di una tinta a veicolo misto (acqua/solvente).
Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si può notare il netto rispetto dei limiti previsti

Ciclo 5 I

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Tinta	Solvente	Tinta e veicolo	rullo	I.R 15-30"	10	88,0	8,8	1,2
	Fondo	Solvente	Fondo UV bagn.	rullo	1 Lamp.A.P.	30	5,0	1,5	28,5
	Fondo	Solvente	Fondo UV	reverse	3 lamp.A.P.	60	5,0	3,0	57,0
	Carteggiatura				320-340				

Alternativa 1 – Finitura opaca acqua

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Acqua	UV fotoiniziata	Velo	NIR - LAMP.A.P.	120	2,0	2,4	45
Totale								15,7	131,7

Note

- Questo ciclo è invece totalmente a base di prodotti fotoreticolabili.
- Data l'applicazione in piano con rulli o velatrici, le efficienze di trasferimento sono assai elevate. I consumi di solvente possono pertanto essere considerati quelli effettivamente indicati nelle tabelle.
- Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si può notare la netta rispondenza ai limiti previsti.

4.3.10 Il Gruppo I

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	Pannelli piani impiallacciati	Trasparente	Opaca	Poroso aperto

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane impiallacciate. Tipiche applicazioni: antine per cucine e mobili in varie specie legnose. Vengono di seguito presentati due cicli per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1L

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Tinta	solvente/acqua	Tinta a solv.	ruolo	I.R 30-60" / a.c.	10	90,0	9,0	1,0
	Fondo acrilico	Solvente	Fondo UV	ruolo	1-2 lamp.A.P.	20	5,0	1,0	19,0
	Fondo	Solvente	Fondo UV	ruolo	3 lamp.A.P.	20	5,0	1,0	19,0
	Carteggiatura				320-360-400				
	Ritocco tinta				IR				

Alternativa 1 – Finitura opaco UV

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaco UV	Solvente	Acrilica UV	spruzzo/Velo	Ap+TL03,05 +2 A.P.	100	45,0	45,0	55,0
Totale								56,0	94,0

Alternativa 2 – Finitura all'acqua

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura all'acqua	Acqua	Acrilica	spruzzo/velo	a.c. 2 ore	100	2	2,0	40
Totale								13,0	79,0

Alternativa 3 - Finitura baby

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Solvente	Acrilica UV	Rullo (baby)	2 lampA.P.	20	40,0	8,0	12,0
Totale								19,0	51,0

Alternativa 4 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca (1)	Solvente	PU	spruzzo/velo	a.c. 2h	150	55,0	82,5	67,5

Totale	84,5	105,5
--------	------	-------

Note

- Il ciclo proposto può essere considerato come “economico”.
- Le superfici completamente piane consentono di utilizzare sistemi di applicazione ad elevata efficienza di trasferimento quali i rulli e le velatrici.
- Le emissioni totali sono relativamente basse anche se l'applicazione di maggior qualità prevista dalla prima alternativa determina emissioni quasi paragonabili al residuo secco applicato. Bisogna infatti considerare che, proprio per ottenere qualità estetiche di un certo pregio, le finiture UV sono frequentemente “tagliate” con altre resine (ad esempio nitrocellulose o CAB) tipicamente veicolate con quantità di solventi anche molto elevate.
- La seconda alternativa prevede invece l'applicazione di quantità di vernice molto più basse mediante rullo con conseguente drastica riduzione dei solventi impiegati.
- Entrambi i casi presentati sono conformi all'allegato III.

4.3.11 Il Gruppo M

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Piana	Pannelli piani impiallacciati	Laccata	Opaca	Poro aperto

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane laccate con finiture a poro aperto (Rovere, Frassino).

Tipiche applicazioni: superfici di mobili in genere di camere, bagni soggiorni e cucine.

In questi cicli non è evidentemente previsto l'impiego di alcuna tinta. In qualche circostanza possono eventualmente essere impiegati prodotti di preparazione (es. isolanti o primer di adesione) che spesso contengono elevate quantità di solventi.

Viene di seguito presentato un ciclo per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1M

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Fondo /Finitura pig. UV	acqua	Fondo UV all'acqua	spruzzo	aria 30'+1-2 Lamp. UV A.P.	100	2,0	2,0	40,0
	Carteggiatura				320-340				

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Fondo Finitura UV Pig.	acqua	Fondo UV all'acqua	spruzzo	aria 30'+1-2 Lamp. UV A.P.	100	2,0	2,0	40,0
Totale								4,0	80,0

Note

- Il ciclo qui descritto è impiegato soprattutto per la produzione di superfici bianche, anche a diversa sfumatura. Esso prevede l'impiego esclusivo di prodotti fotoreticolabili a base acqua. Come in altri cicli presentati precedentemente si ricorda che l'iniziale allontanamento dell'acqua deve essere eseguito in modo efficace e completo.
- La sua peculiarità di essere basato esclusivamente su prodotti all'acqua rende evidente come le emissioni potenziali siano quasi insignificanti.

4.3.12 Il Gruppo N

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
		Trasparente	Opaca	poro aperto
Piana	Legno massiccio			

A questo gruppo appartengono cicli di verniciatura adatti per superfici piane di mobili realizzate in legno massiccio.

Vengono di seguito presentati due cicli per questa tipologia di prodotti.

Ciclo 1N

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Tinta	Solvente		rullo	IR 30'	15	90	13,5	1,5
	Fondo	Solvente	PE	rullo	UV 2 Lamp. A.P.	30	10	3	27
	Fondo	Solvente	PE	reverse	UV 2 Lam. A.P.	70	10	7	63
	Carteggiatura		320-400						

Alternativa 1 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Solvente	Acrilica UV	Velo/spruzzo	2' App. 2' Lamp B.P – 2 Lam.IST	100	70	70	30
Totale								93,5	121,5

Alternativa 2 – Finitura opaca

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	Solvente	Acrilica UV	Rullo (baby)	2 lampade A.P.	20	40,0	8,0	12,0
Totale								31,5	103,5

Note

- Nuovamente la presenza di superfici piane rende proficuo l'impiego di sistemi di applicazione a rullo o velo e pertanto ad elevata efficienza.
- Il primo ciclo è particolarmente adatto per legni di conifera.
- Le emissioni, come evidente dai dati totali sono nell'intorno dei 90-100 g/m².
- Per quanto riguarda la conformità al piano di riduzione si può notare che entrambe le alternative rispettano il principio dell'impiego di una quantità di solvente pari od inferiore al secco applicato.

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Nitro	spruzzo	aria 24 h	120	75,0	90,0	30,0
	Ceratura (1)	cera		tampone	aria	10			10,0
Totale								332,0	156,0

Note

- Il ciclo presentato viene solitamente effettuato su mobile montati. Questo e sue variazioni vengono spesso definiti come cicli per mobili d'arte povera. Sono caratterizzati dall'uso di sistemi a spruzzo e di vernici a base nitrocellulosica che tendono a riprodurre l'aspetto estetico di mobili facenti parte della vecchia tradizione popolare.
- Le emissioni, come evidente dai dati totali sono assai elevate. Tenendo conto di un'efficienza di trasferimento del 60 % per tutti i sistemi a spruzzo, il valore totale si assesta nell'intorno dei 517 g/m².
- Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si può notare il netto superamento del limite previsto.

Ciclo 2 P

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura			120-150-180 grana					
	Tinta	Acqua	Tinta veicolata	spruzzo	IR+a.c.	30	20,0	6,0	3,0
	Fondo	Solvente	Fondo PU	spruzzo	40 °C 1h	140	60,0	84,0	56,0
	Fondo	Solvente	Fondo PU	spruzzo	40 °C 1h	140	60,0	84,0	56,0
	Carteggiatura			280-320 grana					

Alternativa 1 – Applicazione Finitura solvente

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Opaco PU	spruzzo	40°C 1h	120	70,0	84,0	36,0
Totale								258	151

Alternativa 2 – Applicazione Finitura solvente

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Opaco acrilico ceroso	spruzzo	60°C 1h	120	65,0	78,0	42,0
Totale								252	157

Alternativa 3 – Applicazione Finitura acqua

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Acqua	Opaco all'acqua (1)	spruzzo	40°C 1h	120	5,0	6,0	54,0
Totale								180	169

Note

- Il ciclo qui presentato impiega prodotti a base poliuretanica con una diversa alternativa di finitura a base acqua.
- Le emissioni potenziali, considerando l'overspray, ammontano a 427,5 g/m² nel primo caso mentre si riducono a 297,5 g con la finitura all'acqua.
- Per quanto riguarda la conformità all'allegato III si nota per entrambi i casi come i solventi consumati per metro quadro verniciato superano di molto la vernice applicata in termini di residuo secco.

Ciclo 3P

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura			120-150-180 grana					
	Tinta	acqua	Tinta veicolata	spruzzo	IR+a.c.	30	20,0	6,0	3,0
	Fondo	acqua	Dispersione acr.(1)	spruzzo	30- 40 °C 1h	100	3,0	3,0	40,0
	Eliminato fondo								
	Carteggiatura			280-320					
	Patina all'acqua	acqua	Acrilico		Aria 8h	10	20,0	0,0	1,0

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura opaca	acqua	Dispersione acr.(2) mono-Bicomponente	spruzzo	40°C 1+1/2h	120	5,0	6,0	54
Totale								15,0	98,0

Note

- Questo ciclo, interamente ad acqua, è alternativo al precedente e viene proposto proprio in conseguenza delle elevate emissioni insite nel precedente. Si tratta di una sostituzione totale di tutti i prodotti a base solvente con altri aventi l'acqua come principale veicolo. Evidentemente la peculiarità estetica deve essere attentamente valutata.
- Le emissioni totali sono assai ridotte ammontando ad un totale di circa 61 g/m².
- Come già evidente in diversi casi precedentemente esaminati, l'impiego di prodotti a base acqua consente il rispetto dell'allegato III con ampi margini.

4.3.15 Il Gruppo R

Morfologia Superficie	Supporto	Tipo di Finitura		
Sagomata	Legno massiccio	Trasparente pigmentata	Opaca/lucida	Poro chiuso

A questo gruppo appartengono elementi quali Cornici e altri componenti torniti del mobile.

Ciclo 1R

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura			120-150-180					
	Tinta	acqua	Tinta veicolata	Tinteggiatrice rotativa	IR+a.c.	30	20	6,0	6,0
	Fondo	Solvente	Fondo PU	Spruzzo mec.	30-40 °C 1h	140	60,0	84,0	56,0
	Fondo	Solvente	Fondo PU	Spruzzo mec.	30-40 °C 1h	140	60,0	84,0	56,0
	Fondo	Solvente	Fondo PU	Spruzzo mec.	30-40 °C 1h	140	60,0	84,0	56,0

	Carteggiatura			Carta – scotch brite					
--	---------------	--	--	----------------------	--	--	--	--	--

Alternativa 1 – Applicazione Finitura

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Opaco PU	Manuale a spruzzo	40°C 1h	120	70,0	84,0	36,0
Totale								337,5	210,0

Alternativa 2 – Applicazione Finitura

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	Solvente	Lucido PU	Manuale a spruzzo	40°C 1h	160	55,0	88,0	72
Totale								360,5	230,0

Ciclo 2R

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
I	Carteggiatura			120-150-180					
	Tinta	acqua	Tinta veicolata	Tinteggiatrice rotativa	IR+a.c.	30	20	6,0	6,0
	Fondo	acqua.	Dispersioni Acriliche Bicomp.	Spruzzo mec.	30-40 °C 1h	80	4,0	3,2	45,0
	Fondo	acqua	Dispersioni Acriliche Bicomp	Spruzzo mec.	T amb. 15h	80	4,0	3,2	45,0
	Carteggiatura			Carta – scotch brite 280-320					

Fase	Operazione	Base	Prodotto verniciante	Applicazione	Essiccazione (tempo)	Quantità (g/m ²)	VOC (%)	VOC (g/m ²)	Residuo secco (g/m ²)
II	Finitura	acqua	Dispersioni Acriliche Bicomp.	Manuale a spruzzo	T amb. 2h	120	7	8,4	56,0
Totale								20,8	152,0

Note

- I cicli presentati evidenziano notevoli differenze nell'impiego di solventi. Quelli più tradizionali, anche in considerazione dell'impiego di sistemi a spruzzo, risultano consumare quantitativi di solventi anche superiori ai 600 g/m². C'è da considerare che in questi casi che l'efficienza di trasferimento del 60 % presa come riferimento per tutte le applicazioni a spruzzo è forse ottimistica in considerazione della geometria degli elementi considerati;
- Nel caso dell'impiego di cicli a base acqua, non ancora diffusi, i valori si ridurrebbero in misura notevole.

4.4 - Conclusioni

Dall'esame dei cicli qui indicati possono emergere diversi spunti di riflessione. Qui di seguito ne proponiamo alcuni che speriamo possano essere utili ad alimentare un esame critico di questa materia spesso controversa:

- esiste una varietà considerevole di cicli di verniciatura per il mobile. Questa differenziazione trova le sue ragioni in una specificità di prodotti finiti considerevole che richiede adeguate tipologie di finitura in relazione agli stili ed alle qualità richieste;
- la maggior parte dei cicli esistenti impiegano prodotti a base solvente si nota tuttavia una estrema specializzazione con l'impiego di molti prodotti fotoreticolabili o a base poliesteri in cui anche la frazione liquida, o parte di essa, polimerizza insieme alla resina;
- questi prodotti creano una difficoltà nel calcolo del residuo secco in quanto non è prevedibile a priori quale sia la percentuale di solvente reattivo che effettivamente reagisce con la resina;
- si nota una certa trasformazione dei cicli con l'impiego di prodotti a base acqua almeno in qualche fase del ciclo produttivo;
- laddove vengano impiegati sistemi di applicazione a spruzzo, le emissioni tendenzialmente aumentano sia per la necessità di diluire i prodotti, sia per l'effetto della ridotta efficienza di trasferimento;
- dall'analisi qui fatta potrebbe apparire molto più semplice la valutazione dell'impatto ambientale di un ciclo di verniciatura a partire dalle sue emissioni potenziali. I confronti qui presentati sembrerebbero un criterio di scelta molto immediato ed efficace;
- conoscendo nei dettagli il percorso dei solventi organici utilizzati nei cicli di verniciatura implementati all'interno dei siti aziendali, sia sulla base delle informazioni fornite in questo paragrafo, sia sulla base di sperimentazione descritte di seguito che possono effettuare le imprese autonomamente presso le proprie linee di verniciatura, è potenzialmente possibile, per le aziende che adottano un piano di riduzione, calcolare, secondo le prescrizioni del Piano di Gestione dei solventi, l'emissione totale senza effettuare le misurazioni a camino nel modo seguente:
Emissione totale = I1 (solventi in ingresso) – O5 (solventi persi per reazioni) – O6 (solventi nei rifiuti) – O7 (solventi venduti) – O8 (solventi recuperati ma non riutilizzati nel processo).
Naturalmente questa metodologia di calcolo deve essere accettata dall'autorità competente.

Ringraziamenti:

Per la consulenza sullo studio inerente i cicli di verniciatura si rivolge un particolare ringraziamento al Prof. Franco Di Valentin, alla ditta Santarossa Marino s.a.s e al Sig. Mario Carter dell'Ilva Polimeri SpA.

Capitolo 5 - I casi aziendali studiati, la descrizione del ciclo di lavorazione, delle tecnologie e delle problematiche ambientali correlate

5.1 – Premessa

La normativa impone alle aziende di monitorare puntualmente le quantità di solventi in ingresso ed in uscita dai cicli di lavorazione, di essere a conoscenza della composizione dei prodotti vernicianti impiegati, e di verificare e dichiarare come e dove questi solventi vengono smaltiti.

Per l'adeguamento le imprese dovranno provvedere a mirati investimenti volti sia all'impiego di prodotti a minor impatto ambientale, con la conseguente modifica dei cicli di lavorazione, sia eventualmente all'impiego di opportuni sistemi di abbattimento.

Prima di ipotizzare delle modifiche agli impianti esistenti e ai cicli di verniciatura è necessario acquisire un certo numero di informazioni riguardanti il processo produttivo attraverso studi preliminari che spesso le aziende del settore, essendo di piccole dimensioni, non sono in grado di effettuare autonomamente.

Una delle fasi principali del progetto è stata lo studio di casi aziendali reali che ha previsto di analizzare alcune aziende del settore della verniciatura del legno.

Per ciascuna azienda, tramite visite presso i siti produttivi, sono state studiate le fasi di verniciatura, i prodotti vernicianti (tipologia e quantità) e le tecnologie utilizzate, la documentazione e le procedure per la gestione dell'ambiente implementate, è stata fotografata la situazione esistente e sono state ipotizzate delle modifiche ai cicli di verniciatura per consentire alle imprese il rispetto dei vincoli legislativi imposti.

Nelle pagine che seguono si riportano i risultati emersi dall'indagine.

Particolare attenzione è stata posta allo studio delle caratteristiche tecniche del prodotto finito e alla valutazione dell'aspetto estetico del manufatto in relazione alla tipologia di prodotto verniciante, a minor contenuto di solvente, utilizzato.

I sistemi di applicazione attualmente impiegati nelle aziende sono stati attentamente presi in esame ponendo particolare attenzione all'efficienza di trasferimento degli stessi (i risultati sperimentali saranno riportati nel capitolo 6).

5.2 - I casi aziendali oggetto di studio

Per la realizzazione dello studio sono state selezionate alcune aziende, in relazione alle tipologie di prodotti finiti realizzati di seguito descritte.

- *(azienda 1) - Produzione di cucine componibili*
- *(azienda 2) - Produzione e verniciatura di componenti per mobili (cornici ed antine)*
- *(azienda 3) - Produzione e verniciatura di cornici*
- *(azienda 4) - Verniciatura di mobili per ufficio (braccioli, mobili moderni, complementi d'arredo e porte in legno)*
- *(azienda 5) - Verniciatura di semilavorati di differenti forme e dimensioni*
- *(azienda 6) - Lucidatura mobili in arte povera*
- *(azienda 7) - Produzione e verniciatura di mobili moderni*
- *(azienda 8) - Produzione e verniciatura di antine e mobili*
- *(azienda 9) - Produzione e verniciatura di mobili in stile*
- *(azienda 10) - Produzione di mobili in stile classico e moderno*
- *(azienda 11) - Produzione e verniciatura sedie*
- *(azienda 12) - Verniciatura sedie per conto terzi*
- *(azienda 13) - Produzione e verniciatura sedie*
- *(azienda 14) - Verniciatura elementi di mobili e tavoli in pino*
- *(azienda 15) - Verniciatura di antine e cornici per conto terzi*
- *(azienda 16) - Produzione mobili in legno (camere matrimoniali, camerette e salotti)*
- *(azienda 17) - Verniciatura lettini*

■ (azienda 18) - Produzione e lavorazione semilavorati di legno

La descrizione dettagliata dei Piani di Gestione dei solventi delle imprese viene riportata nello studio completo.

5.3 - Azienda 1: produzione di cucine componibili

Descrizione del ciclo di lavorazione

Il ciclo di lavorazione prevede le principali fasi di seguito descritte:

- Sezionatura dei pannelli.
- Squadrabordatura dei pannelli.
- Foratura dei pannelli.
- Levigatura e verniciatura dei pannelli.
- Lucidatura.
- Premontaggio fusti e ante.
- Imballaggio mobili.
- Spedizione.

Descrizione degli impianti di verniciatura dell'azienda 1

Di seguito sono elencati gli impianti di verniciatura presenti presso il sito aziendale:

- Applicazione della tinta e del fondo: giostra con otto pistole per l'applicazione della tinta a solvente e del fondo. Tunnel ad aria calda per l'essiccazione della tinta.
- Applicazione dello stucco a rullo con essiccazione UV.
- Impianti per l'applicazione del fondo e della finitura:
 - Due postazioni per applicazione manuale a spruzzo con sistema di applicazione misto aria; in serie sono posizionati due robot cartesiani con 4 pistole e un forno utilizzato prevalentemente per finiture lucide e in modeste quantità per finiture laccate opache.
 - Robot antropomorfo con sistema di applicazione misto aria.
 - Due sistemi di applicazione manuale a bassa pressione (pistola a tazza oppure pistola con pompa) che prevedono l'utilizzo di prodotti vernicianti all'acqua (un solo operatore) o l'utilizzo di prodotti vernicianti a solvente (due operatori).

5.4 - Azienda 2: Produzione e verniciatura di componenti per mobili (ante, gambe di tavolo, profili in legno massello, cornici, zoccoli ed antine impiallacciati e rivestiti (MDF e truciolare)).

Descrizione del ciclo di verniciatura

Di seguito si descrivono le principali fasi di lavorazione:

1. Stoccaggio.
2. Sezionatura e scorniciatura.
3. Sagomatura.
4. Rivestimento (eventuale).
5. Verniciatura profili.
6. Stoccaggio prodotto finito.
7. Montaggio dei pezzi (eventuale).

Descrizione degli impianti di verniciatura dell'azienda 2

Gli impianti di verniciatura che causano emissione di solvente sono di seguito elencati:

- due giostre per l'applicazione della tinta.
- impianto a carosello per l'applicazione del fondo.
- Impianto di verniciatura manuale ed automatica per l'applicazione della finitura.

5.5 - Azienda 3: lavorazioni e rivestimento di profili (in carta e tranciato); levigatura e verniciatura profili; produzione di mobili in kit.

Descrizione generale dell'attività

L'azienda effettua prevalentemente l'attività di verniciatura utilizzando circa 460 tonnellate di solvente all'anno. L'azienda è coinvolta dal D.Lgs. 59/2005 (decreto di recepimento della direttiva IPPC). I prodotti vernicianti utilizzati sono in totale pari a 583 tonnellate. L'azienda effettua il recupero del diluente con distillazione.

Descrizione degli impianti di verniciatura

In azienda sono presenti due giostre per l'applicazione della tinta, e tre impianti a carosello:

- impianto a spruzzo per l'applicazione del fondo;
- impianto a carosello per l'applicazione della finitura;
- impianto manuale a spruzzo per la campionatura;
- tre impianti di verniciatura a trafilatura (una linea principale, una secondaria utilizzata solo per piccole commesse, un'altra usata solo per ricoprire gli esuberanti).

L'essiccazione avviene all'interno di un forno ad aria calda.

5.6 - Azienda 4: Verniciatura di mobili per ufficio (braccioli, mobili moderni, complementi d'arredo e porte in legno)

Descrizione del ciclo di verniciatura

L'azienda effettua la verniciatura piana (Tavoli, Pennellature, Scocche di sedute in multistrato, Porte, Ante).

Gli impianti di verniciatura vengono di seguito descritti:

- impianto automatico per la verniciatura di superfici piane, composto da una spruzzatrice automatica a 4 teste e un forno di essiccazione a piani. Vengono utilizzate vernici poliuretaniche.
- cabina di applicazione manuale collegata ad un forno a bilancelle dedicato all'asciugatura dei componenti. In questa postazione vengono verniciate, con prodotti vernicianti poliuretanici trasparenti e pigmentati, superfici sagomate con sistema di applicazione a spruzzo Misto Aria.
- cabina a velo d'acqua dove vengono applicati con aerografi Misto Aria prodotti poliuretanici e acrilici su superfici piane come porte, pannelli e cornici.
- spruzzatrice a sei teste rotanti per l'applicazione della tinta a solvente su superfici piane.

L'essiccazione avviene sempre su carrelli a temperatura ambiente all'interno delle stesse cabine di verniciatura.

5.7 - Azienda 5: Verniciatura di semilavorati di differenti forme e dimensioni

Descrizione del ciclo di verniciatura

L'azienda vernicia semilavorati di diverse forme e dimensioni per conto terzi.

Postazione n. 1 - Vengono lavorati meccanicamente e verniciati tutti i componenti di un fornitore che produce cucine su misura, tutte le fasi di verniciatura e finitura si susseguono nello stesso punto di lavorazione, i componenti sono raggruppati per commessa cliente finale in modo da garantire l'uniformità della qualità estetica. Per la verniciatura vengono utilizzati prodotti vernicianti poliuretanici, l'applicazione è manuale con sistema misto aria all'interno di una cabina di verniciatura aperta con sistema di abbattimento ad acqua.

Postazione n. 2 - Vengono verniciati elementi piani come porte e cornici, sia con finitura trasparente che pigmentata utilizzando prodotti vernicianti poliuretanici. Gli operatori utilizzano aerografi Misto Aria. L'essiccazione avviene in un'area dedicata all'interno della cabina.

Postazione n. 3 - In questa piccola cabina a velo d'acqua vengono applicati con sistema manuale a spruzzo prodotti poliuretanici e acrilici su sedute sagomate in legno. I sistemi di applicazione sono Aerografi Misto Aria.

Postazione n. 4 - Vengono lavorati piccoli lotti destinati principalmente all'arredamento navale su commessa. Vengono utilizzati differenti prodotti vernicianti in relazione ai manufatti da realizzare. Vengono utilizzati aerografi a bassa pressione (a tazza) e Misto Aria (per superfici ampie). In questa postazione viene richiesto l'utilizzo di prodotti vernicianti poliuretanici ignifughi.

Postazione n. 5 - La cabina di verniciatura aperta manuale a spruzzo a velo d'acqua da poco installata è destinata alla verniciatura di componenti laccati e trasparenti di medio grandi dimensioni o componenti di grossi lotti. Prodotto verniciante utilizzato: acrilico e poliuretanico, essiccazione naturale.

Postazione n. 6 - Macchina velatrice utilizzata raramente per grosse produzioni di semilavorati piani non c'è forno. Le restanti postazioni sono adibite alla levigatura manuale o automatica dei prodotti nelle fasi intermedie della verniciatura dei pezzi.

Quest'azienda è in grado di effettuare la verniciatura di qualsiasi elemento piano o tridimensionale (Tavoli, Pennellature, Scocche di sedute in multistrato, Porte e Ante) di supporti realizzati in differenti specie legnose (Pannelli MDF, Multistrato, Parti in massello). Le finiture realizzate sono molteplici da laccati ai trasparenti, lucidi e opachi; il ciclo di verniciatura è estremamente flessibile in grado di gestire tutte le commesse.

Solo per alcuni prodotti finiti (porte cornici sedute) viene applicata la tinta con sistema a spruzzo e con dispositivi a bassa pressione, generalmente il prodotto applicato viene fornito pronto all'uso e quindi non viene diluito. L'essiccazione avviene sempre su carrelli a temperatura ambiente all'interno delle stesse cabine di verniciatura.

5.8 - Azienda 6: Lucidatura mobili in arte povera

Descrizione del ciclo di lavorazione

Le principali fasi del ciclo di lavorazione sono di seguito descritte:

- Arrivo mobili grezzi.
- Carteggiatura mobile grezzo.
- Invecchiamento meccanico del legno (tarlatura ecc...).
- Trattamento del legno con prodotti inorganici.
- Tinteggiatura dei pezzi con prodotti all'acqua.
- Applicazione del fondo.
- Asciugatura del fondo.
- Carteggiatura del fondo.
- Applicazione della finitura.
- Asciugatura della finitura.
- Imballo e consegna.

5.9 - Azienda 7: Produzione e verniciatura di mobili moderni

Descrizione del ciclo di lavorazione e di verniciatura

L'azienda produce mobili in legno moderni (camere matrimoniali, camerette armadi, mensole e salotti). Le principali lavorazioni sono: taglio, sezionatura, incollaggio, squadratura, bordatura, foratura, levigatura, tinteggiatura, verniciatura, montaggio ed imballaggio. Il laboratorio utilizzato è suddiviso in quattro reparti principali:

- reparto macchine;
- reparto verniciatura;
- reparto montaggio ed imballo;
- magazzino materie prime e prodotto finito.

Nel reparto verniciatura è presente una cabina a spruzzo in cui viene applicata la vernice sui bordi dei pannelli oppure vengono effettuate le laccature a campione o su misura. Nella stessa cabina avviene in un locale separato, l'essiccazione. È inoltre presente una linea di verniciatura piana a rullo e a velo.

Il reparto verniciatura è dotato di 14 camini; tre sono collegati alla cabina a spruzzo e i restanti 11 sono suddivisi lungo la linea di verniciatura nelle seguenti fasi:

- levigatura (polverino);
- verniciatura a velo;
- tinteggiatrice e spalmatrice;
- essiccazione IR;
- essiccazione UV;
- correzione tinta;
- tunnel di appassimento.

Il lavaggio dell'attrezzatura avviene con ricircolo di acqua. I rifiuti vengono depositati all'esterno in un posto coperto. La preparazione dei prodotti vernicianti è effettuata manualmente a bordo macchina dove avviene il recupero di solvente.

5.10 - Azienda 8: Produzione e verniciatura di antine e mobili

Descrizione del ciclo di lavorazione

L'azienda effettua la verniciatura di superfici piane. Gli impianti di applicazione utilizzati sono di seguito descritti:

- verniciatura piana in linea con sistemi a spruzzo costituito da 8 pistole.
- Impianto di applicazione a velo
- Impianto di applicazione a spruzzo.

5.11 - Azienda 9: Produzione verniciatura e lucidatura di mobili in stile

Descrizione del ciclo di lavorazione

L'azienda esegue la verniciatura di mobili in legno. Il ciclo produttivo comporta il succedersi delle seguenti attività:

anticatura meccanica del mobile, levigatura del legno, applicazione manuale della tinta all'acqua con sistema a spruzzo, stracciatura del prodotto in eccesso con panni, applicazione del fondo poliuretano, asciugatura in tunnel, carteggiatura del semilavorato, applicazione della patina anticante, fissaggio, applicazione della finitura ed asciugatura in tunnel dei manufatti.

Il prodotto grezzo subisce inizialmente il processo di anticatura meccanica (ammaccamento con attrezzi appuntiti) e successivamente viene levigato in linea. All'interno della cabina di applicazione manuale a spruzzo viene applicata la tinta all'acqua che viene successivamente "tirata" utilizzando spugne.

Successivamente viene applicato in due mani, con sistema manuale a spruzzo, il prodotto di fondo poliuretano. Il materiale viene quindi carteggiato e su di esso viene applicata la patina anticante (morcia) con sistema manuale a spruzzo. La patina asciutta viene asportata tramite stracciatura e viene quindi fissata applicando un fondo nitro a spruzzo su mobile montato.

Inizialmente vengono corrette eventuali sfumature utilizzando tinta a solvente e viene quindi applicata la finitura nitro a spruzzo in una singola "mano". Dopo l'applicazione della finitura si procede all'asciugatura all'interno di un forno, il mobile viene disposto su rulli, e lasciato stazionare all'interno del tunnel per il tempo richiesto. In alcuni casi, a fine ciclo, viene applicato uno strato di cera lucidante.

5.12 - Azienda 10: Produzione di mobili in stile classico e moderno

Descrizione del ciclo di lavorazione

L'azienda produce mobili in stile classico e moderno.

Il prodotto è suddiviso in una linea giorno (mobili per soggiorni e sale da pranzo) e una linea notte (armadiature per camere, camere da letto). Le finiture offerte sono molteplici e vanno dall'essenza ciliegio, rovere sbiancato e moro, al laccato opaco e lucido.

Le varie fasi di lavorazione interna si dividono in squadra bordatura, foratura, verniciatura, levigatura, premontaggio, montaggio ed imballo.

Le operazioni di sezionatura e pressatura, sono affidate ad un'azienda esterna. Le fasi di lavorazione sono differenti a seconda si tratti di componenti classici, moderni o laccati.

Sotto viene riportato un diagramma del ciclo produttivo, nel quale vengono indicate le principali materie prime utilizzate.

Poiché il consumo totale annuo di solventi è pari a 50,6 t/anno (con anno di riferimento il 2005) l'attività rientra nel campo di applicazione dell'allegato III alla parte V del D. Lgs. 152/06.

5.13 - Azienda 11: Produzione e verniciatura sedie

L'azienda vernicia sedie di qualità medio - alta per conto terzi utilizzando circa t/anno di solventi organici volatili. Tale attività non rientra nell'ambito di applicazione dell'allegato III alla parte V del Decreto Legislativo 152/06, ma nell'ambito di applicazione dell'articolo 272 dello stesso. Sulla base dell'allegato IV alla parte V l'azienda potrà aderire all'autorizzazione di carattere generale eventualmente predisposta dalla pubblica amministrazione.

L'azienda è stata oggetto di studio in quanto il ciclo di verniciatura implementato prevede l'utilizzo quasi esclusivo di vernici all'acqua.

Il ciclo completo di verniciatura prevede le seguenti fasi:

- ingresso delle sedie grezze;
- applicazione della tinta all'acqua mediante sistema a spruzzo con robot;
- essiccazione della tinta;
- applicazione di una o più mani di fondo all'acqua a spruzzo elettrostatico con robot;
- essiccazione del fondo e sua carteggiatura;
- applicazione della finitura, quasi esclusivamente all'acqua, a spruzzo elettrostatico con robot ed essiccazione della finitura;
- effettuazione di ritocchi manuali.

Su quest'azienda sono state eseguite parecchie sperimentazioni inerenti la valutazione dell'efficienza di trasferimento degli impianti di applicazione riportate nel capitolo seguente.

5.14 - Azienda 12: Verniciatura sedie

L'attività prevalente consiste nella verniciatura di sedie di qualità medio alta per conto terzi.

Il consumo annuo di solvente dichiarato risulta essere di circa 28 t/anno.

Il ciclo completo di produzione prevede le seguenti fasi:

- ingresso delle sedie grezze;
- applicazione della tinta all'acqua mediante flow – coating e sua essiccazione;
- applicazione di una o più mani di fondo a spruzzo elettrostatico con robot antropomorfo;
- essiccazione del fondo e successiva carteggiatura;
- applicazione della finitura a spruzzo elettrostatico con robot antropomorfo;
- essiccazione della finitura;
- effettuazione di ritocchi a spruzzo con pistola manuale;
- tappezzeria e imballaggio.

5.15 - Azienda 13: Produzione e verniciatura sedie

Tale azienda effettua la verniciatura di sedie di qualità medio - alta per conto terzi e consuma circa 58 t/anno di solvente organico volatile. Le fasi di lavorazione sono le seguenti:

- ingresso delle sedie grezze;
- applicazione della tinta mediante sistema a spruzzo ed essiccazione;
- applicazione di una o più mani di fondo a spruzzo elettrostatico con robot antropomorfo; essiccazione e carteggiatura del fondo;
- applicazione della finitura a spruzzo elettrostatico con robot antropomorfo;
- essiccazione della finitura;

5.16 - Azienda 14: Verniciatura elementi di mobili e tavoli in pino

L'attività svolta dall'azienda consiste nella verniciatura elementi di mobili e tavoli in pino.

Gli impianti e le fasi di verniciatura sono di seguito descritte:

- Applicazione della tinta.
- Verniciatura a spruzzo manuale.
- Verniciatura a spruzzo robotizzata.
- Verniciatura robotizzata a bilancelle.

5.17 - Azienda 15: Verniciatura di antine e cornici per conto terzi

L'azienda effettua la verniciatura di antine e cornici per conto terzi.

I locali dove avvengono le operazioni di verniciatura sono di seguito descritti:

- A. cabina di verniciatura aperta con aspirazione frontale per l'applicazione manuale a spruzzo della mano di fondo ai bordi dei tavoli che prevede l'utilizzo di prodotti vernicianti poliesteri. L'essiccazione dei manufatti avviene in prossimità della cabina;
- B. impianto in linea per l'applicazione a spruzzo della mano di finitura che prevede l'utilizzo di prodotti vernicianti acrilici e la successiva essiccazione con aria calda seguita da essiccazione con lampade UV;
- C. cabina di verniciatura per l'applicazione manuale a spruzzo di prodotti vernicianti poliuretanici per conferire un effetto "anticatura". L'essiccazione dei pezzi avviene all'interno della cabina.

5.18 - Azienda 16: Produzione mobili in legno (camere matrimoniali, camerette e salotti)

L'attività aziendale consiste nella lavorazione e verniciatura di componenti per mobili (camere matrimoniali, camerette e salotti).

L'azienda consuma circa 65 t di solventi all'anno ed è quindi coinvolta nell'allegato III del D.Lgs. 152/06.

Il gestore dichiara di non produrre rifiuti contenenti solventi quindi il calcolo delle emissioni diffuse è effettuato trascurando il contributo dei COV nei rifiuti.

5.19 - Azienda 17: Verniciatura lettini

L'azienda effettua la verniciatura per conto terzi di lettini per l'infanzia per conto terzi.

Le principali fasi del ciclo di lavorazione sono di seguito descritte:

- Tinteggiatura del pezzo.
- Appassimento.
- Applicazione del fondo a spruzzo.
- Carteggiatura.
- Applicazione finitura a spruzzo.
- Essiccazione naturale.
- Stoccaggio e spedizione.

L'applicazione della tinta avviene con sistema a flow - coating.

Le operazioni di verniciatura per l'applicazione del fondo e della finitura avvengono in due linee di verniciatura manuale e in tre linee di verniciatura robotizzata.
Le operazioni di verniciatura effettuate da robot avvengono in cabina pressurizzata a ventilazione.
L'overspray viene aspirato attraverso filtri a secco.

5.22 - Azienda 18: Produzione e trattamenti in conto lavoro di accessori e componenti per l'industria del mobile e dell'arredamento (principalmente verniciatura).

L'azienda effettua la produzione e la verniciatura di accessori e componenti per l'industria del mobile. Le attività svolte sono di seguito elencate:

Verniciatura di fondo

Durante questa fase si effettua la verniciatura poliuretanica o poliestere del materiale; questo viene posizionato manualmente, nelle apposite "barelle" del carosello, qui gli operatori provvedono, in relazione al grado di finitura richiesto, alla verniciatura manuale del materiale utilizzando pistole ad aria compressa.

Verniciatura di finitura

La verniciatura poliuretanica o acrilica del materiale si può effettuare utilizzando le linee di verniciatura robotizzate o nelle cabine a velo, dove gli operatori provvedono, in relazione al grado di finitura richiesto, alla verniciatura manuale del materiale, utilizzando pistole ad aria compressa.

Levigatura piani

Il materiale viene levigato tramite levigatrice automatica, al fine di preparare le superfici per le successive lavorazioni.

Levigatura manuale bordi e piani

I particolari vengono controllati manualmente al fine di uniformare tutti quei profili "irregolari" (bugne, cornici, sagomature, etc.) non levigabili con le levigatrici automatiche.

Spazzolatura bordi e piani

Il materiale viene spazzolato dalle macchine spazzolatrici, al fine di eliminare tutte quelle imperfezioni dalle superfici dei particolari stessi. Allo stesso tempo viene, inoltre, applicata una lucidatura sulla parti spazzolate.

Spazzolatura manuale bordi e piani

I particolari vengono spazzolati manualmente al fine di uniformare tutti quei profili "irregolari" (bugne, cornici, sagomature, etc.) non lavorabili dalle spazzolatrici automatiche; è per questo che si rende necessario effettuare la spazzolatura manuale dei suddetti particolari.

Applicazione pellicola trasparente

Per i particolari che prevedono determinate lavorazioni (es. foratura) che possono influire sulla conformità del materiale stesso, viene applicato del film estensibile tramite l'utilizzo della filmatrice robot.

Imballo e immagazzinamento

Il materiale terminato il ciclo di lavoro, viene posizionato, nell'area adibita all'imballaggio.

Qui gli operatori provvedono ad imballare il materiale finito, quindi a posizionare il materiale nell'area preposta per la consegna, oppure ad inviare lo stesso a magazzino.

Ringraziamenti:

Un particolare ringraziamento alle 18 aziende che hanno collaborato attivamente rendendosi disponibili ad eseguire sperimentazioni ed a fornire dati sensibili, che non vengono menzionate per garantire la riservatezza.

Capitolo 6

L'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione: luci e ombre sul rendimento di deposito. Valutazioni in linea della reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione dei prodotti vernicianti.

6.1 - Definizioni

Una delle fasi principali del progetto ha riguardato lo studio di casi aziendali, in condizioni operative reali, delle tecnologie utilizzate e della **reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione**.

L'efficienza di trasferimento è il parametro che rappresenta la quantità di vernice realmente applicata sul pezzo verniciato rispetto a quella totale impiegata. L'efficienza di trasferimento è un parametro particolarmente importante nelle operazioni di verniciatura, soprattutto in quelle eseguite con sistemi a spruzzo.

La formula che esprime l'efficienza di trasferimento in termini percentuali è la seguente:

$$ET (\%) = 100 \times QA/QS$$

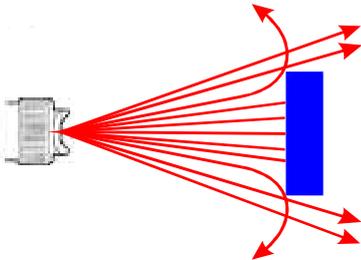
Dove:

QA = Quantità di prodotto verniciante che raggiunge e si deposita sul pezzo in g

QS = Quantità totale di vernice erogata dal sistema di applicazione per pezzo in g

Il prodotto verniciante che non raggiunge il pezzo viene solitamente chiamato overspray

Overspray



Overspray

L'aumento dell'efficienza di trasferimento corrisponde quindi ad un minor spreco di vernice e, conseguentemente, anche a minori emissioni in atmosfera laddove vengano evidentemente impiegati prodotti vernicianti a solvente.

Ammettendo di applicare la stessa quantità di un prodotto verniciante a solvente e che il suo contenuto di SOV rimanga immutato, la riduzione dell'emissione di SOV in percentuale a seguito di un aumento dell'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione è calcolabile come segue:

$$\text{\% Riduzione dell'emissione di SOV} = 100 * \frac{ET (\%) \text{ dopo} - ET (\%) \text{ prima}}{ET (\%) \text{ dopo}}$$

L'attività sperimentale della ricerca ha avuto come finalità la valutazione dei sistemi di applicazione attualmente impiegati nelle aziende del settore, in riferimento proprio a questo parametro.

Il progetto ha previsto anche la redazione di un documento riguardante le opportunità pratiche di miglioramento dell'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione dei prodotti vernicianti utilizzati nel settore legno-arredo.

Il documento dal titolo "Efficienza di trasferimento; luci e ombre sul rendimento di deposito" riportato nel paragrafo 6.2 ha approfondito i seguenti aspetti:

- tecniche di verniciatura (a spruzzo, flow-coating e immersione) e caratteristiche;
- confronto tra le diverse tecnologie per il rendimento applicativo;
- metodologia di miglioramento;
- raccomandazioni operative.

Nel paragrafo 6.3 si riportano i risultati sperimentali raccolti presso alcuni siti aziendali.

6.2 – Efficienza di trasferimento (luci e ombre sul rendimento di deposito)

Introduzione e nozioni storiche

Quando nella prima metà degli anni 80° iniziarono a diffondersi le apparecchiature pneumatiche ad alto volume e bassa pressione HVLP per ridurre l' "overspray" e/o il rimbalzo della vernice durante i processi di finitura, la grande motivazione per il loro uso era l'elevata efficienza di trasferimento (non inferiore all' 65%).

Successivamente l'efficienza di trasferimento, i suoi valori per i diversi sistemi applicativi e i relativi metodi di misura sono stati oggetto di articoli di stampa, relazioni, informazione tecnica e pubblicità con svariati equivoci; è opportuno fare oggi un'analisi su tale aspetto della verniciatura per fornire agli utilizzatori nuovi elementi.

Molto prima, negli anni 50°, si parlava dell'economia del materiale durante la verniciatura com'è evidenziato in una tabella pubblicata in quei tempi:

Sistema applicativo		Economia di materiale
Pneumatico (a freddo) manuale o automatico		Scarsa, 50-60% del materiale utilizzato
Pneumatico a caldo	Pressione standard	Solo di poco superiore all'applicazione a freddo
	Bassa pressione	Molto meglio dell'applicazione a freddo
Elettrostatico automatico		Fino al 98% di rendimento
Elettrostatico manuale		Elevata
Airless		Molto meglio del sistema pneumatico

Da: A.Harvey – Paint Finishing in Industry - 1958

Evidentemente il modo di presentare questo parametro, importante nella verniciatura, è condizionato dallo sviluppo tecnico del momento. In questi anni la sfida nel settore della finitura è l'introduzione di nuovi sistemi e di una mentalità operativa per adeguare gli impianti alle nuove norme e portare nel reparto di verniciatura una visione più industriale e meno artigianale.

L'innovazione tecnologica nell'ultimo secolo si può suddividere sinteticamente in:

Prima Fase: La ricerca era per vernici migliori (chimica)

Seconda Fase: La ricerca era per verniciature migliori (applicazione)

Terza Fase: La ricerca è per evitare-ridurre la verniciatura (tecnologia composita)

Oggi gli orientamenti e gli obiettivi dell'Innovazione Tecnologica sono:

- Miglioramento delle condizioni ecologiche – ambientali.
- Riduzione del consumo di prodotto per unità di superficie (m²).
- Riduzione del costo complessivo di verniciatura.
- Realizzazione di “sistemi prodotto” flessibili.
- Realizzazione di “processi di fabbricazione” robotizzati.
- Incremento della qualità – affidabilità.

E' opportuno quindi analizzare l'efficienza di trasferimento nei suoi vari aspetti per evitare soprattutto “le ombre” che possono portare a scelte non idonee.

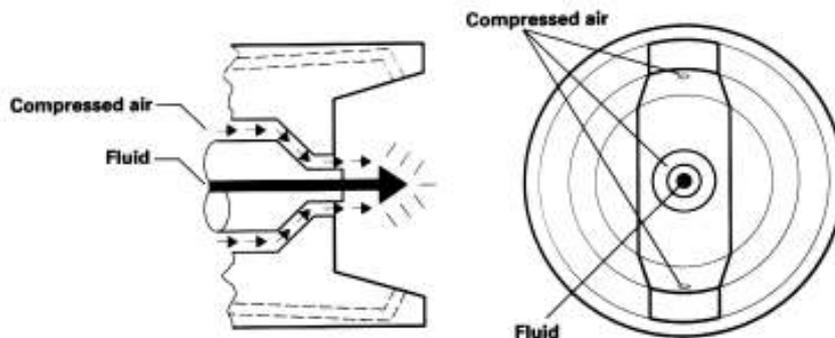
La scelta della tecnica applicativa è condizionata dal tipo di manufatto (materiale, forma e dimensione), dal prodotto verniciante e dalla produzione richiesta. All'utilizzatore si possono presentare diverse alternative che debbono essere selezionate per il caso specifico con analisi di confronto.

Tecniche di verniciatura a spruzzo

Brevemente esaminiamo le caratteristiche delle diverse tecnologie applicative dei prodotti vernicianti, utilizzate nel settore legno-arredo.

Verniciatura pneumatica

Si utilizza l'atomizzazione pneumatica (Airspray): in questo caso il fluido uscendo dall'ugello a bassa velocità è avvolto da un getto d'aria ad alta velocità. L'attrito, tra il liquido e l'aria, rompe il fluido provocando l'atomizzazione. L'energia utilizzata è la pressione dell'aria compressa. Si può regolare il flusso del fluido indipendentemente dalla sorgente dell'energia.



La pressione dell'aria compressa può variare da pochi decimi di bar a 10 bar, la pressione del fluido (vernice) può avere gli stessi valori in funzione della viscosità e della portata richiesta.

Nel tempo si sono definite categorie di apparecchiature con diverse caratteristiche funzionali e risultati.

Oggi possiamo considerare queste categorie:

Apparecchiature pneumatiche tradizionali (Low Volume - High Pressure)

Apparecchiature più diffuse in tutti i campi, particolarmente perfezionate per soddisfare le esigenze di finitura e di produzione senza attenzione particolare alla riduzione dell'“overspray”. L'“overspray” era considerato un costo della verniciatura e quando nuove tecnologie (sistemi airless, sistemi elettrostatici ecc.) potevano ridurlo il verniciatore, se interessato, le utilizzava. Il rendimento applicativo medio poteva variare dal 20 al 50 %.

Apparecchiature HVLP (High Volume - Low Pressure)

L'uso delle apparecchiature pneumatiche tradizionali era comunque indispensabile in alcuni settori, in cui le nuove tecnologie non potevano essere utilizzate. La necessità alla riduzione

dell'inquinamento ambientale ha spinto la tecnologia ad affinare l'applicazione a bassa pressione aumentando il volume d'aria compressa ed ottenere rendimenti applicativi non inferiori al 65% con pressioni al cappello di 0,6 bar (10 psi).

Apparecchiature LVLP (Low Volume - Low Pressure)

Per alcune applicazioni artigianali o quando non si dispone di compressori idonei per altri sistemi, sono disponibili queste apparecchiature, che usano pressioni inferiori a 0,6 bar e migliorano il rendimento applicativo di qualche punto percentuale.

Apparecchiature "New Tech"

Con questa denominazione considero tutta la gamma di nuove apparecchiature pneumatiche oggi a disposizione degli utilizzatori sviluppate con nuovi studi sulla polverizzazione dei prodotti, utilizzando sistemi di controllo più sofisticati (es. camere laser).

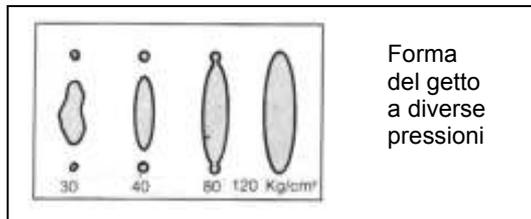
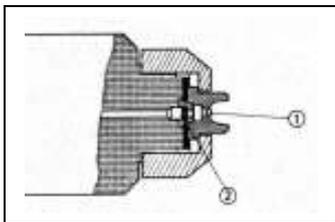
Inoltre con tale nuova gamma si è voluto rovesciare la soluzione per ridurre l'"overspray": se esistono standard di controllo per l'efficienza di trasferimento si devono valutare i risultati senza considerare la pressione al cappello della pistola, con questo si è voluto superare i limiti delle HVLP con alcuni prodotti vernicianti ad elevate cadenze produttive.

Queste apparecchiature offrono un rendimento applicativo che varia dal 30 al 60 %.

Verniciatura a pressione

Si utilizza l'atomizzazione a pressione (Airless): l'energia utilizzata è la pressione del fluido.

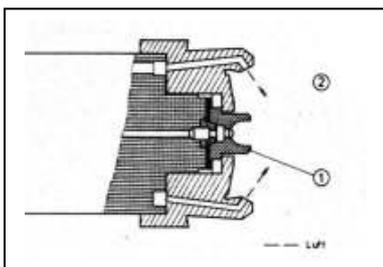
Il prodotto viene spinto con una pressione superiore a 100 bar attraverso un ugello (1), uscendo all'aria il prodotto si polverizza. Per migliorare l'atomizzazione si può utilizzare un preatomizzatore (2). Gli ugelli per resistere a tali pressioni sono realizzati in carburo di tungsteno e il foro si presenta sotto forma di fenditura per ottenere un getto piatto o rotondo per un getto conico.



L'assenza dell'aria compressa riduce il "fumo" del getto di vernice, diminuendo l'"overspray" ed aumentando il rendimento applicativo (tra il 40 e il 70 %).

Spruzzatura Mista A+A (aria compressa + alta pressione)

Per soddisfare le esigenze dell'industria con nuovi prodotti vernicianti fu introdotto un nuovo sistema misto che abbina l'alta pressione del prodotto e l'aria compressa per migliorare la polverizzazione. L'aria supplementare spezza la goccia formata dall'alta pressione. In questo caso si usano pressioni più basse (50/70 bar), si ottengono velocità ridotte delle particelle e portate di fluido inferiori.

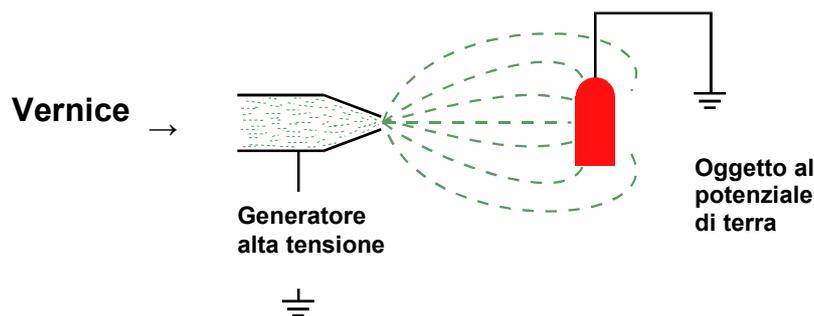


L'utilizzo dell'aria compressa consente la riduzione della pressione del fluido e di ridurre le dimensioni delle goccioline di vernice, si ottiene un'efficienza di trasferimento con valore intermedio tra le apparecchiature "Airless" e quelle pneumatiche (40-65%).

La Verniciatura elettrostatica

Un impianto di verniciatura elettrostatica è costituito da un polverizzatore collegato ad un generatore d'alta tensione (- 30/150 kV), che carica elettricamente le particelle di vernice e crea un campo tra il polverizzatore e il pezzo da verniciare, collegato a terra.

Le particelle caricate vengono attratte dall'altro polo seguendo le linee del campo elettrostatico, in questo modo si possono rivestire superfici non viste dal polverizzatore.



Per il polverizzatore si possono utilizzare tutte le tecnologie sopra illustrate, ottenendo un rendimento applicativo superiore a quello senza elettrostatica.

Esistono anche apparecchiature elettrostatiche a coppa/tazza rotante, in cui l'energia di polverizzazione è la forza centrifuga, che permettono rendimenti applicativi fino al 90/93 %.

Le apparecchiature elettrostatiche offrono il massimo rendimento su oggetti tubolari o di piccole dimensioni.

L'efficienza di trasferimento

Come descritto nel capitolo 6.1, l'efficienza di trasferimento o rendimento applicativo è la quantità di prodotto che raggiunge l'oggetto da verniciare rispetto alla quantità di prodotto spruzzato:

Apparecchiature con grado di trasferimento elevato offrono una verniciatura meno inquinante ed a costi contenuti, a causa della diminuzione dell'overspray.

Questa misura non è precisa se una importante quantità di solvente evapora prima della verifica della quantità sull'oggetto, evaporazione che comunque avviene sempre in funzione della volatilità dei solventi presenti.

Una formula più accurata (utilizzata nel corso delle nostre sperimentazioni) richiede il peso della vernice sull'oggetto dopo l'essiccazione e la conoscenza del residuo secco della vernice utilizzata:

$$\text{Efficienza Trasferimento} = (\text{Peso solido sul pezzo} / \text{Peso PV spruzzato}) \times \text{Residuo secco} \%$$

Utilizzando tali formule è possibile valutare i risultati con diverse apparecchiature, diversi prodotti vernicianti e diverse configurazioni geometriche (pannelli, tubi ecc...).

Sotto la spinta delle autorità per il controllo e la riduzione dell'inquinamento e dopo l'apparire delle pistole HVLP che interessavano un mercato molto ampio, si è cercato di stabilire norme di riferimento standard per confronti e riferimenti più precisi.

Ad esempio il metodo ASTM D5009:

$$TE = (100 \times P) \times 100 / (F \times d \times S)$$

Dove:

TE = efficienza di trasferimento (%)

P = massa di rivestimento solido depositato sul pezzo (g)

F = volume di fluido spruzzato (ml)

d = densità del prodotto (g/ml)

S = residuo secco %

Il metodo della norma UNI EN 13966 - 1 per pannelli piani:

$$\eta TE = (md2 - md1) \times vr \times 10000 / Vc \times \rho \times b \times Sw$$

ηTE efficienza di trasferimento

md1 massa lamierino prova, g

md2 massa lamierino prova e rivestimento secco, g

vr velocità della corsa, mm/s

Vc portata prodotto verniciante, ml/s

ρ densità prodotto, g/ml

b dimensione lamierino, mm

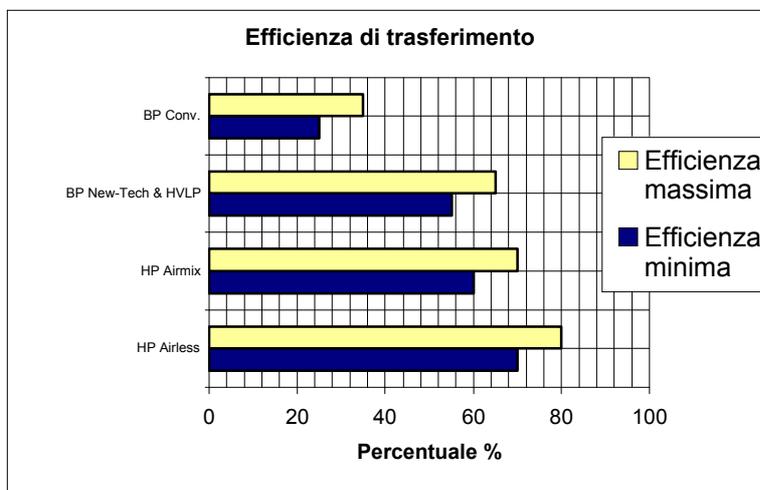
Sw residuo secco prodotto % in peso

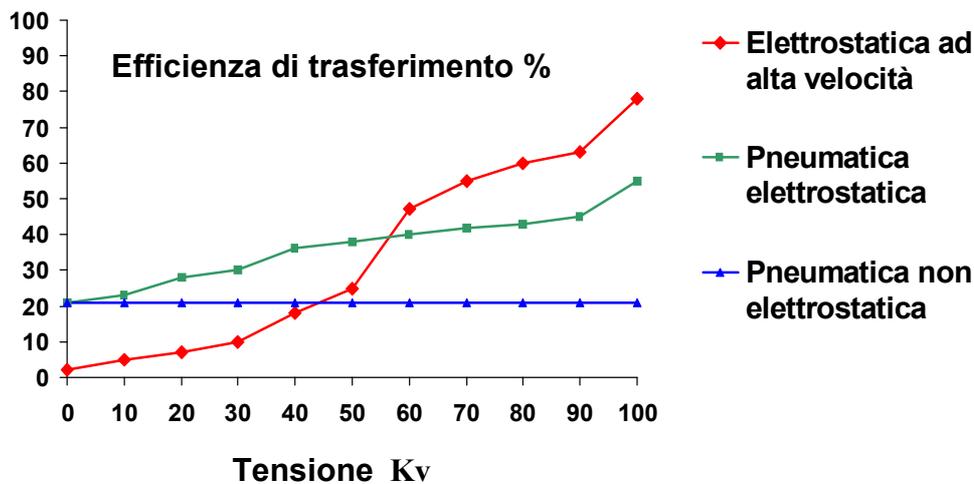
Senza entrare nei dettagli degli standard di riferimento che ciascuno può esaminare, è opportuno precisare che i test, fatti su lamierini, devono essere eseguiti per i confronti dei diversi sistemi di essiccazione con gli stessi parametri (es. distanza pistola e lamierino, ecc ...) e con gli stessi prodotti vernicianti.

Quando l'interesse economico per l'applicazione delle vernici e l'esigenza di leggi e norme sempre più restrittive per gli insediamenti industriali sono cresciuti in tutte le aree geografiche e in tutti i settori industriali, i valori del rendimento applicativo sono diventati un elemento importante per la scelta delle apparecchiature di applicazione.

I fornitori di impianti hanno presentato, per le proprie apparecchiature e per le diverse tecnologie proposte, i valori di riferimento, creando a volte situazioni equivoche.

Se analizziamo queste due tabelle:





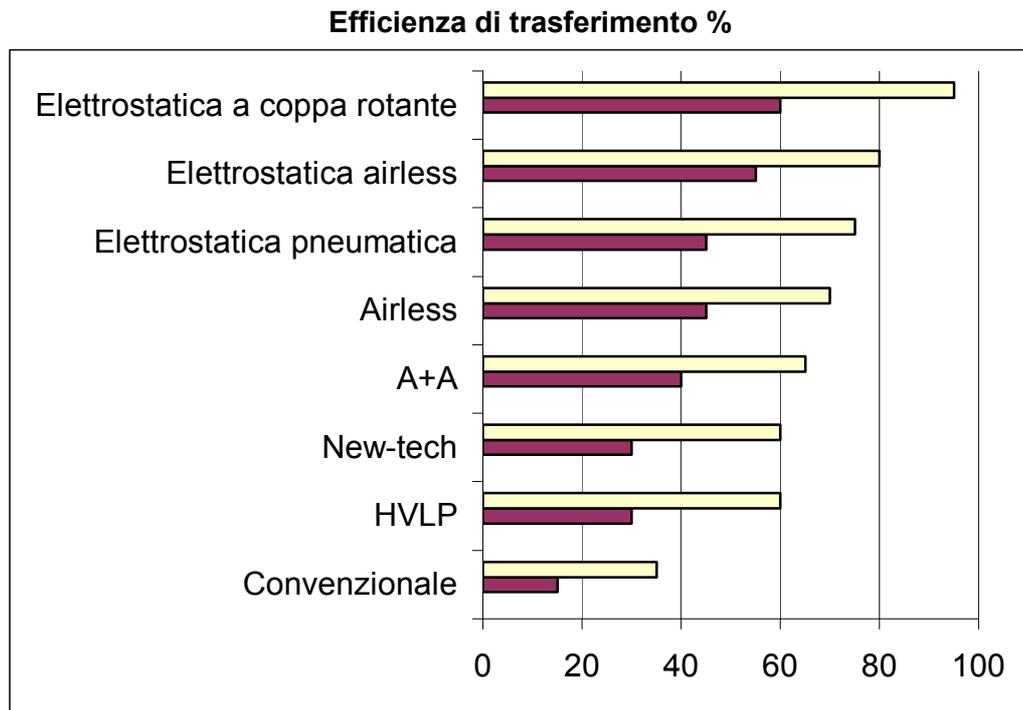
Potremmo concludere che l'80% di rendimento è raggiungibile solo con apparecchiature elettrostatiche ad alta velocità o con apparecchiature airless, le seconde più economiche. Inoltre sarebbero poco giustificate le apparecchiature pneumatiche elettrostatiche visto il rendimento comparato ad apparecchiature New - Tech o HVLP. Ci si potrebbe chiedere allora perché tutte le sedie in legno prodotte industrialmente in Italia sono verniciate elettrostaticamente, con soddisfazione degli utilizzatori. Ma le due tabelle non sono comparabili.

Bisogna distinguere tra le prove effettuate secondo norme di riferimento e prove o tabelle tecniche/commerciali realizzate con prove diverse, fornite per orientare le scelte impiantistiche. Attualmente le norme esistenti si riferiscono, come la EN 13966-1, ad applicazione su lamierini piani; la prova registra diversi parametri: prodotto utilizzato e sue caratteristiche, tipologia della pistola o apparecchiatura di spruzzatura con le regolazioni utilizzate, condizioni di applicazione, e ulteriori parametri significativi, metodo di calcolo dell'efficienza di trasferimento e il risultato ottenuto per l'apparecchiatura verificata. Recentemente il comitato europeo ha deciso di non definire altra norma oltre ai lamierini piani. Poiché lo standard di prova è su lamierini piani poche apparecchiature elettrostatiche sono state certificate e i risultati diffusi. Altre prove o tabelle si riferiscono a test su manufatti di tipo diverso (tubi, angolari ecc.) o a risultati su impianti realizzati, fornendo un campo di valori perché ogni applicatore ha pezzi diversi da verniciare con prodotti e produzioni (quindi tempi) diversi. Fatte queste premesse possiamo esaminare i diversi valori per diverse tecnologie applicative.

Prove in laboratorio danno valori di Efficienza di trasferimento in condizioni ripetitive e ottimali per confronto di diverse apparecchiature a pari condizioni su lamierini piani:

Pneumatica convenzionale:	circa 40%
Pneumatica "New Tech" & HVLP:	superiore al 65%
A+A:	superiore al 80%
Airless:	superiore al 90%
(Ancora maggiore con l'uso dell'elettrostatica +6 %)	

Tabella che indica valori massimi e minimi su esperienze operative e consuntivi di impianti realizzati per diverse tecnologie di applicazione:



I valori indicati servono ad orientare una scelta, che deve essere poi valutata attentamente in funzione dei manufatti da verniciare (forma, dimensioni), della loro quantità (produzione giornaliera), dei prodotti vernicianti, della finitura richiesta e non ultimo dell'investimento stanziato. Ovviamente sviluppi tecnici delle apparecchiature prodotte da diverse aziende possono modificare i valori indicati, ma non invertire la scala dei valori se le apparecchiature vengono usate correttamente. Ricordo come esempio che un disco elettrostatico (apparecchiatura a turbina pneumatica ad asse verticale) con rendimenti che arrivano al 95%, sarà difficilmente raggiunto da altre tecniche, al contrario una coppa elettrostatica che dispone di una guaina pneumatica per variare l'impatto (regolata tra 0,5 e 0,7 bar), se per penetrare in alcuni recessi del pezzo si utilizzano pressioni maggiori il suo rendimento diminuisce. Se si utilizza una pistola HVLP, con pressioni di aria superiori a 0,6 bar, non vengono garantiti i rendimenti applicativi per cui è stata progettata.

Queste osservazioni servono a porre attenzione al controllo delle apparecchiature, che devono essere utilizzate secondo parametri prestabiliti, al di fuori dei quali le caratteristiche operative variano a volte in modo importante e il loro rendimento applicativo può diminuire vistosamente.

Conclusioni finali

La scelta di una soluzione tecnica per la verniciatura deve essere indirizzata alla riduzione dell'inquinamento (aria, acqua, suolo), per soddisfare alle norme sempre più rigide.

Il miglioramento dell'efficienza di trasferimento dell'applicazione associa a questo anche la riduzione dei costi per il reparto di verniciatura.

Dapprima deve essere scelta la migliore tecnologia applicativa per la T.E. (R.A.) compatibilmente con il manufatto da verniciare e con gli obiettivi finali della produzione.

Ma non bisogna trascurare altri parametri che possono condizionare la scelta o che successivamente devono essere controllati per mantenere costanti i risultati.

Fattori che influenzano l'efficienza di trasferimento:

1 - Oggetti da verniciare (tipo di appensione o presentazione di fronte al polverizzatore, dimensioni, geometria, tipo materiale e sue caratteristiche (conducibilità, umidità per il legno, messa a terra).

2 - Cabina di applicazione (velocità dell'aria in cabina, bilanciamento ventilazione, dimensioni della cabina rispetto alle dimensioni dei pezzi, prossimità di parti (della cabina o altro) a massa rispetto ai pezzi e alla pistola.

3 - Velocità trasportatore.

4 - Fattori ambientali (temperatura, umidità).

5 - Caratteristiche del polverizzatore (tipo ugello, cappello, ecc...).

6 - Posizione del polverizzatore (distanza testa – oggetto).

7 - Caratteristiche delle vernici (viscosità, tensione superficiale, resistività e temperatura).

8 - Pressione di alimentazione della vernice.

9 - Dimensione dell'impatto della vernice sul pezzo.

10 - Sovrapposizione delle passate (se l'applicazione è automatica).

11 - Automazione (velocità della pistola, orientamento, tempi di spruzzatura).

12 - Formazione dei verniciatori e addetti all'impianto.

13 - Manutenzione e gestione impianto.

Per un'analisi più pratica verifichiamo i diversi punti sopra indicati con un caso concreto:

Spruzzatura manuale con apparecchiatura pneumatica elettrostatica di un elemento tridimensionale (esempio sedia in legno):

- La sedia deve essere appesa in modo da presentarsi al verniciatore ad una altezza operativa di facile accesso a tutte le parti della sedia (verificare l'ergonomia dei movimenti),
- poiché il legno è un cattivo conduttore si deve verificare la sua umidità (11-15 %) per garantire l'effetto elettrostatico.
- La messa a terra della sedia è altrettanto importante per mantenere sempre l'effetto elettrostatico (pulizia frequente dei ganci) e controllo della messa a terra delle parti metalliche dell'impianto (trasportatore).
- Le parti metalliche della cabina e tutte le parti messe a terra devono avere una distanza dal pezzo di almeno 0,8 m o più, in funzione dei movimenti del verniciatore, la velocità dell'aria in cabina nella zona applicativa deve essere 0,35 m/secondo e nella zona del verniciatore 0,5 m/secondo.
- La velocità di trasporto dei pezzi condiziona l'applicazione, quindi non deve essere modificata senza un'analisi degli effetti (l'applicatore riesce a mantenere la cadenza applicativa senza superare il valore di erogazione vernice ottimale per il rendimento applicativo).
- Deve essere verificato che le condizioni ambientali siano costanti (umidità 50-70%, temperatura 15-20 °C).
- Durante il collaudo dell'impianto verificare la scelta degli ugelli più idonei e non modificarli senza un esame degli effetti.
- Mantenere, durante l'applicazione, una distanza tra 15-30 cm tra polverizzatore e pezzo.
- Controllare regolarmente le caratteristiche del prodotto con strumenti confrontabili con i diversi fornitori (viscosimetro, resistivometro, ecc.).
- La pressione di alimentazione è condizionata dalla viscosità e dalla erogazione del prodotto che si vuole utilizzare, se deve essere modificata, vuol dire che le condizioni operative sono variate ed è quindi necessario controllare l'impianto.
- I verniciatori oltre l'esperienza operativa, devono conoscere le caratteristiche delle apparecchiature e delle vernici per i controlli e le eventuali modifiche.
- Per la manutenzione dell'impianto deve essere considerata non solo la riparazione ma anche il mantenimento dei parametri ottimali, che hanno effetto sul rendimento, il cui valore si può conoscere a posteriori (giorni, settimane, ...).

L'elenco precedente mostra molti elementi che influenzano il rendimento applicativo, questo significa che oltre alla scelta dell'apparecchiatura più idonea è molto importante il controllo della gestione dell'impianto; il non controllo sistematico di alcuni parametri può danneggiare il risultato non solo in termini qualitativi, ma anche sui valori del rendimento applicativo e quindi dell'inquinamento ambientale.

Tutto ciò può essere amplificato nel caso di verniciatura di manufatti in legno con apparecchiature elettrostatiche, in quanto il legno non è un buon conduttore. Il controllo della sua umidità e della resistività della vernice è importante per mantenere stabile l'effetto elettrostatico, senza ovviamente dimenticare gli altri parametri applicativi.

Se aggiungiamo altri elementi (lavaggi, pulizie, tecniche ecc...) possiamo definire il rendimento finale del reparto di verniciatura rispetto ai prodotti utilizzati.

Per bassi valori di rendimento applicativo un piccolo miglioramento ha un beneficio importante, più il rendimento aumenta tale effetto diminuisce ma si ottiene sempre una riduzione vicina alla percentuale di incremento.

Nella pratica su piccoli pezzi il rendimento può essere basso e spesso il verniciatore non ha piena conoscenza.

E' necessario valutare la reale situazione per intervenire nelle operazioni dove facilmente si eliminano sprechi di prodotti o solventi e successivamente affrontare un passaggio a nuove

tecnologie con maggiore E.T. / R.A., questo per evitare che l'uso di nuove tecnologie venga condizionato da errori o abitudini devianti dall'obiettivo primario.

Tutto l'impianto di verniciatura influenza il rendimento applicativo, la tecnologia di applicazione della vernice è sicuramente l'elemento più importante, ma se male utilizzata i risultati potrebbero essere inferiori alle aspettative.

6.3 Alcuni dati sperimentali sui parametri che influenzano l'efficienza di trasferimento

Come accennato nel paragrafo precedente l'efficienza di trasferimento è legata a molti fattori.

Nel paragrafo precedente è stato descritto come questi fattori siano migliorabili. Le evidenze riportate di seguito, condotte negli anni dal CATAS, dimostrano, con dati sperimentali, come i fattori elencati possano incidere sull'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione.

Alcune di queste prove effettuate prevalentemente per la verniciatura delle sedie, sono state eseguite in laboratorio, altre direttamente in azienda.

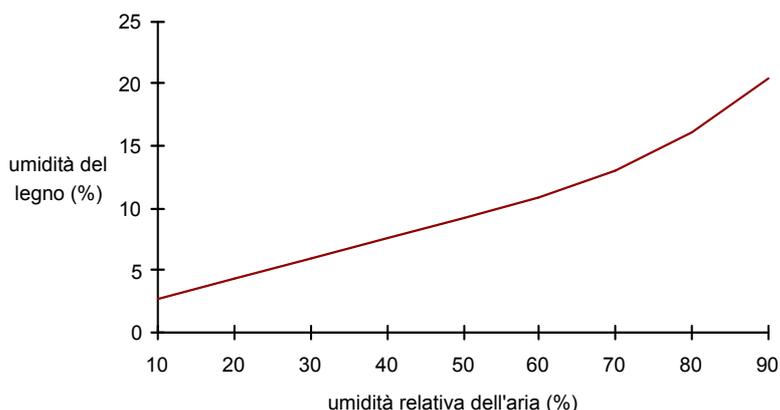
Per l'esecuzione delle prove sono state inizialmente definite alcune procedure che hanno dovuto considerare l'igroscopicità del legno. La sua variabilità, in funzione delle condizioni climatiche ambientali, rende infatti problematiche le determinazioni ponderali necessarie per i calcoli di questo parametro.

6.3.1 La valutazione dell'efficienza di trasferimento su supporti legnosi

Diverse esperienze condotte dal CATAS hanno messo in evidenza come la trattazione sperimentale di supporti legnosi, per i quali vi sia una valutazione del peso del supporto stesso in momenti diversi, dia luogo a notevoli problemi.

Il legno è infatti un materiale cosiddetto "vivo" che si pone in equilibrio con il clima dell'ambiente che lo circonda. Si definisce come umidità di equilibrio l'umidità, al di sotto del punto di saturazione delle fibre, a cui il legno si equilibra con l'ambiente che lo circonda (in termini di temperatura ed umidità relativa dell'aria).

Grafico: variazione dell'umidità di equilibrio del legno di faggio a 20°C in funzione dell'umidità ambientale relativa.



Da ciò deriva che il peso di un supporto legnoso è notevolmente influenzato dalle condizioni climatiche ambientali.

Nel caso di una sedia, supponiamo di 3 kg, il peso dell'acqua presente in condizioni di equilibrio con quelle ambientali normali (temperatura 20 °C e u.r. del 65 %) è superiore ai 321 g.

Una piccola variazione di questo valore determina incertezze notevoli nella misura della quantità di vernice che si deposita su una sedia.

Quest'ultima, dalle esperienze condotte, è infatti solitamente nell'intorno di qualche decina di grammi.

Queste considerazioni, nel caso specifico relativo alla verniciatura delle sedie o di pannelli di legno, hanno suggerito una procedura che prevede tre fasi:

- una prima fase in cui si realizza il condizionamento controllato del supporto in legno da verniciare (pannelli, sedie) che si può ritenere completato alla stabilizzazione del peso dello stesso (P_1);
- una seconda fase in cui viene eseguita l'applicazione della vernice determinando la quantità erogata dal sistema di applicazione (Q_1) ed il suo residuo secco (RS);
- la terza fase, che segue il trattamento di verniciatura, consiste nel ricondizionamento termogravimetrico del supporto che viene ritenuto completo alla stabilizzazione del peso del supporto stesso (P_2) secondo le identiche modalità della prima fase.

L'efficienza di trasferimento viene quindi calcolata nel seguente modo:

$$E.T. (\%) = 100 \times (P_2 - P_1) / (Q_1 \times RS / 100)$$

Questa procedura utilizzata per la maggior parte delle prove di seguito descritte, ha garantito una buona ripetibilità dei risultati.

Per la determinazione dell'efficienza di trasferimento di sistemi di applicazione adatti per la verniciatura piana, la problematica è stata ovviata ricoprendo alcuni manufatti rappresentativi della produzione con pellicola di alluminio preventivamente pesata.

I pezzi sono stati regolarmente verniciati ed essiccati all'interno della linea di verniciatura.

Per le considerazioni quantitative, come descritto di seguito, è stata presa in considerazione unicamente la pellicola di alluminio con il prodotto verniciante essiccato.

6.3.2 Influenza delle modalità di utilizzo

Le evidenze sperimentali di seguito riportate sottolineano l'influenza della modalità di utilizzo sull'efficienza di trasferimento di un sistema di applicazione a spruzzo.

Le prove sono state eseguite utilizzando una pistola HVLP con ugello da 1,9 mm.

La vernice utilizzata è di tipo poliuretanico bicomponente. La procedura adottata è stata quella indicata nella norma UNI EN 13966-1: 2006 "Determinazione dell'efficienza di trasferimento di apparecchi atomizzati e spruzzatori di prodotti vernicianti liquidi. Parte 1: Pannelli piani".

Rispetto a questo documento, le prove sono state eseguite manualmente.

E' stata utilizzata la stessa vernice a due diverse viscosità. Per ogni viscosità sono state eseguite tre diverse prove applicative a tre diverse pressioni dell'aria misurata all'ingresso della pistola.

Per ogni pressione, l'operatore ha modificato la distanza dal pezzo in modo da ottenere una applicazione ottimale.

Dalle prove eseguite, riportate nel documento completo, è possibile notare come l'utilizzo di miscele di prodotti vernicianti a viscosità più basse (maggiore diluizione) riduca considerevolmente l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione.

Anche la pressione ha un'influenza su questo parametro, più bassa è la pressione impiegata, maggiore è l'efficienza di trasferimento.

Impiegando pressioni più basse è conseguentemente necessario avvicinare la pistola al pezzo da verniciare.

Questa esperienza dimostra che, a parità di sistema applicativo, è possibile migliorare l'efficienza di trasferimento agendo opportunamente sulle sue regolazioni.

Evidentemente nella sperimentazione effettuata sono state volutamente esasperate le condizioni adottate. Rimane tuttavia valido ed evidente il concetto che un'attenzione, spesso del tutto assente, all'efficienza di trasferimento porterebbe innegabilmente a dei benefici per gli utilizzatori dei sistemi di applicazione.

6.3.3 Influenza del supporto

Si è cercato di evidenziare quanto incide, per la verniciatura con sistemi elettrostatici, il valore di umidità del supporto legnoso. L'umidità del supporto interviene nell'efficienza di trasferimento incidendo particolarmente sulla seconda forza precedentemente elencata a parità di altre caratteristiche (tipo e resistività della vernice, sistema applicativo, condizioni ambientali, etc...).

Una maggiore umidità del supporto permette in teoria di aumentare la conducibilità del legno che, di per sé, è un materiale isolante. L'attrazione elettrostatica tra le particelle di vernice nebulizzate ed il supporto sarà tanto maggiore quanto più elevata è l'umidità del legno. L'efficienza di trasferimento, dovrebbe teoricamente essere quindi maggiore per supporti di legno con contenuti di umidità superiori.

Questa parte della ricerca ha avuto la finalità di mettere a punto un sistema per il calcolo dell'efficienza di trasferimento in una linea di verniciatura per gambe di tavoli verificando inoltre quale sia l'incidenza dell'umidità del supporto su tale valore.

La modalità di svolgimento delle prove

Allo scopo di ottenere supporti con una umidità uniforme e nota, sono stati condizionati 20 elementi in faggio di dimensioni identiche in due gruppi diversi di 10 pezzi ciascuno; il primo gruppo è stato condizionato a 20° C e al 65 % di umidità relativa dell'aria; il secondo a 20° C e al 35 % di umidità relativa. L'umidità del legno corrispondente è del 12 % e dell' 8 % circa.

Il condizionamento è stato considerato terminato al raggiungimento di un valore di peso costante degli elementi.

Per cercare di non alterare lo stato di umidità raggiunto dai supporti prelevati dalle celle di condizionamento, essi sono stati avvolti in film estensibile fino al momento della verniciatura.

Gli elementi sono stati quindi agganciati in modo alternato alla linea di verniciatura automatica in dotazione all'azienda con la quale è stata condotta la sperimentazione e verniciati.

Dopo il periodo di ricondizionamento post-verniciatura eseguito allo scopo di fare evaporare i solventi residui, si è proceduto alla pesatura dei pezzi ricavando, per differenza rispetto al peso di ciascuno di essi prima della verniciatura, la quantità di vernice effettivamente trasferita. Conoscendo la quantità di prodotto verniciante erogato dal sistema di applicazione per singolo pezzo e il residuo secco della miscela è stato possibile ottenere l'efficienza di trasferimento secondo la formula precedentemente riportata.

I risultati sperimentali

Condizioni ambientali: temperatura: 20°C; umidità relativa interna (nella zona di verniciatura): 35%; velocità dell'aria: tale parametro è stato misurato in 4 punti nella zona della linea in cui avviene l'applicazione della vernice.

Le prove eseguite hanno dimostrato innanzitutto che è possibile la misura dell'efficienza di trasferimento in una linea di produzione prevedendo un condizionamento degli elementi in legno che vengono utilizzati per le prove. Si è visto inoltre che, nelle condizioni adottate, l'umidità del pezzo da verniciare incide in modo rilevante sull'efficienza di trasferimento (la differenza assoluta di efficienza di trasferimento tra supporti condizionati al 65 % di u.r. e supporti condizionati al 35 % di u.r. = 25,6 %)

I dati sono estremamente significativi in quanto dimostrano che riuscendo ad intervenire sul fattore umidità, anche solo superficiale, del supporto si potrebbero ottenere notevoli vantaggi in termini di miglioramento dell'efficienza di trasferimento.

6.3.3 Influenza della manutenzione degli impianti

Altre determinazioni sperimentali hanno consentito di evidenziare come l'efficienza di trasferimento sia influenzata anche da fattori apparentemente poco significativi come la pulizia dei ganci metallici che trasportano le gambe di tavolo in una linea di verniciatura di tipo elettrostatico. L'azienda con la quale abbiamo collaborato non procede sistematicamente alla rimozione della vernice che si deposita sui ganci e quindi, nel tempo, è presumibile che il contatto elettrico perda di efficacia.

Abbiamo voluto verificare le differenze in termini di efficienza di trasferimento che si ottengono dal processo di verniciatura eseguito con ganci sporchi e puliti.
L'utilizzo di ganci sporchi determina una resa minore del sistema valutabile nell'intorno del 10 %.

6.4 - Valutazioni in linea della reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione dei prodotti vernicianti

6.4.1 Introduzione

In questa parte dello studio, vengono analizzate alcune linee di produzione.
Per queste sono state verificate le emissioni di solventi nelle varie fasi dell'applicazione delle vernici misurando anche la loro efficienza di trasferimento effettiva.
Questi studi consentono di tracciare un quadro analitico molto dettagliato delle varie linee individuando quindi le quantità consumate, le quantità realmente applicate, i rifiuti di verniciatura prodotti e le emissioni nelle varie fasi della lavorazione.

6.4.2 La sperimentazione eseguita

Per determinare, con metodo sperimentale, l'efficienza di trasferimento di differenti sistemi di applicazione del prodotto verniciante sono state eseguite le prove in azienda elencate di seguito.

6.4.3 La metodologia di lavoro

La metodologia di lavoro adottata nel caso della verniciatura di sedie descritta in precedenza, ha previsto nel dettaglio le seguenti fasi:

Preliminarmente si è provveduto al condizionamento controllato dei campioni da verniciare (alcuni manufatti grezzi di faggio) fino alla stabilizzazione del peso in una cella climatica a temperatura e ad umidità controllate (Temperatura = $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$; Umidità relativa = $50\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$).

La sperimentazione di ciascuna linea di verniciatura ha previsto i seguenti passaggi:

- Applicazione della vernice al supporto e determinazione della quantità erogata dal sistema di applicazione.
- Analisi chimiche dei prodotti vernicianti utilizzati e determinazione del residuo secco.
- Analisi ponderale della quantità di vernice solida depositata sul supporto dopo la verniciatura ricondizionando, nelle stesse condizioni termogravimetriche iniziali, i supporti verniciati fino alla stabilizzazione del peso.

La metodologia di lavoro utilizzata per impianti di verniciatura piana in linea ha previsto le seguenti fasi:

- Selezione dei manufatti rappresentativi della produzione (ad esempio lotti di antine opportunamente selezionati in relazione alle dimensioni) e rivestimento con una pellicola di alluminio preventivamente pesata del lotto selezionato.
- Analisi chimiche dei prodotti vernicianti utilizzati e determinazione del residuo secco.
- Inserimento dei supporti all'interno della linea di verniciatura nelle normali condizioni di lavorazione e verniciatura dei provini.
- Determinazione della quantità erogata dal sistema di applicazione per la verniciatura del lotto selezionato.
- Essiccazione completa dei provini.
- Pesata della pellicola di alluminio contenente il prodotto essiccato.

6.4.4 Sperimentazioni presso l'azienda 1

Le sperimentazioni di seguito riportate sono state eseguite all'interno dell'azienda 1, dove è stata valutata l'efficienza di trasferimento di tutti gli impianti di applicazione di seguito elencati:

- Impianto in linea funzionante in due differenti modalità:
Prima modalità: applicazione manuale in due mani "bagnato su bagnato" a spruzzo con "sistema Misto - Aria", in entrambe le cabine poste sequenzialmente.
Seconda modalità: applicazione nella prima cabina con applicazione manuale a spruzzo sistema Misto - Aria e nella seconda cabina con robot cartesiano.
- Cabina applicazione manuale che prevede l'utilizzo di prodotti all'acqua.
- Robot antropomorfo che prevede l'utilizzo di prodotti vernicianti a solvente e all'acqua.
- Cabina manuale che prevede l'utilizzo di prodotti a solvente.

Prima sperimentazione: impianto in linea funzionante con la prima modalità (modalità mattina)

Determinazioni sperimentali eseguite:

- Determinazione della quantità vernice spruzzata dal sistema di applicazione (consumo per unità di superficie).
- Determinazione quantità di vernice realmente depositata sui manufatti.
- Valutazione della reale efficienza di trasferimento dell'impianto di applicazione.

Nella prima cabina avviene la verniciatura manuale del bordo e la verniciatura della superficie con quantità minori di prodotto verniciante, nella seconda cabina avviene la verniciatura esclusivamente della superficie.

Il residuo secco del prodotto verniciante poliuretanico utilizzato (colore cioccolato) è stato determinato sperimentalmente subito dopo la sua formulazione risultando pari al 43,6%.

È stata misurata la superficie da verniciare sia dei bordi sia della superficie di 17 bancali che sono stati successivamente verniciati utilizzando circa 3'592 g di prodotti vernicianti. La vernice consumata di colore cioccolato risulta pari a 428 g/m².

Dalla determinazione della vernice liquida applicata al supporto per unità di superficie (m²) risulta che **l'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione sperimentale è pari al 23,10%**.

La sperimentazione è stata ripetuta cambiando il prodotto verniciante (colore moscato) avente un residuo secco all'applicazione pari al 53,2%. In questo caso è stata misurata la superficie di 25 bancali pari a 9,36 m² per i quali sono stati utilizzati circa 3'653 g di prodotti vernicianti.

La vernice consumata per unità di superficie (m²) è risultata quindi pari a 390 g/m².

L'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione sperimentale è pari al 25,40%.

Nella seconda cabina utilizzata con la prima modalità (sistema di applicazione Misto – Aria) avviene la verniciatura manuale esclusivamente della superficie. Il prodotto verniciante poliuretanico all'applicazione (colore seta) ha un residuo secco pari al 49,20%. La vernice consumata per unità di superficie risulta pari a 283 g/m². Dalla determinazione della vernice liquida applicata al supporto per unità di superficie (m²) risulta che **l'efficienza di trasferimento sperimentale del sistema di applicazione risulta pari al 53,02%**.

Le sperimentazioni condotte utilizzando un secondo prodotto verniciante poliuretanico (colore tortora) avente un residuo secco all'applicazione pari al 46% hanno previsto il consumo di 265 g/m². Dalla determinazione della vernice liquida applicata al supporto per unità di m² emerge che **l'efficienza di trasferimento sperimentale del sistema di applicazione risulta pari al 45,00%**.

Interessante notare le differenze tra la prima e la seconda cabina; nonostante l'identico impianto di applicazione, l'efficienza di trasferimento sperimentale risulta nettamente superiore nella seconda cabina (superiore del 24%) rispetto alla prima, dove, un differente operatore, vernicia una superficie differente (nel secondo caso solo la superficie).

In questo caso, sulla base delle formule precedentemente riportate, il risparmio di prodotto verniciante nella seconda cabina rispetto alla prima risulta pari al 50%.

Seconda sperimentazione: impianto in linea funzionante con la seconda modalità (modalità pomeriggio)

La seconda modalità di utilizzo prevede l'applicazione Misto - Aria manuale ed automatica di due mani "bagnato su bagnato".

Nella seconda cabina utilizzata con la seconda modalità, vengono verniciati manualmente con sistema Misto - Aria i bordi dei pannelli e la superficie utilizzando minori quantità di prodotti vernicianti.

Segue la completa verniciatura della superficie con robot cartesiano che prevede la movimentazione trasversale (direzioni x e y) e l'utilizzo di 4 pistole.

La modalità pomeriggio prevede anche l'applicazione di prodotti vernicianti a base acqua (cambio dell'ugello per consentire una maggior polverizzazione del prodotto verniciante).

Nella **cabina manuale** sono stati verniciati 20 bancali (totale superficie 9,6 m²) con prodotto verniciante poliuretano pigmentato bianco polare (residuo secco all'applicazione pari a 38,2%). La vernice utilizzata risulta pari a 188 g/ m² e **l'efficienza di trasferimento sperimentale pari al 45,73%**.

La sperimentazione è stata ripetuta con un differente prodotto verniciante poliuretano pigmentato di colore bianco ghiaccio (residuo secco all'applicazione pari a 49,36%).

La vernice consumata risulta pari a 176 g/ m² e **l'efficienza di trasferimento calcolata pari a 51,18%**.

Si nota come la media di questi valori, pari al 48,45%, sia in linea con la media dei valori della seconda cabina manuale utilizzata con modalità mattina (49,01%).

Le sperimentazioni sono state ripetute con il robot cartesiano; la vernice consumata di colore bianco polare risulta pari a 360 g/ m² e **l'efficienza di trasferimento calcolata risulta pari a 30,7%**.

Le sperimentazioni sono state ripetute con identiche modalità operative utilizzando prodotto verniciante colore bianco piuma (vernice consumata: 410 g/ m²). Il residuo secco sperimentale del prodotto verniciante all'applicazione risulta pari a 49,03% e **l'efficienza di trasferimento del robot pari a 27,06%**.

Sarebbe sufficiente migliorare l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione di un 6% per ottenere una riduzione dei consumi di prodotti vernicianti di una quantità pari al 20%.

Terza sperimentazione: cabina dove viene svolta l'applicazione manuale a spruzzo

All'interno di questa cabina può essere utilizzata una pistola manuale a tazza oppure una pistola manuale collegata ad una pompa.

Il prodotto verniciante utilizzato è a base acqua, vengono generalmente realizzate finiture trasparenti su legno e finiture laccate opache su pannello.

Le sperimentazioni sono state effettuate utilizzando prodotto verniciante di colore cioccolato.

La vernice erogata dal sistema di applicazione è risultata pari a 133 g/m² mentre la vernice liquida depositata sul supporto è risultata pari a 63,54 g/m².

L'efficienza di trasferimento media calcolata (sistema di applicazione manuale a tazza) è risultata pari a 47,83%.

Si è ritenuto opportuno valutare l'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione in relazione alla geometria dei pezzi, i risultati ottenuti sono di seguito riportati:

Sistema di applicazione manuale a tazza:

Efficienza di trasferimento bancale con pezzi grandi: 55,52%
Efficienza di trasferimento bancale con pezzi medi: 34,66%
Efficienza di trasferimento bancale con pezzi piccoli: da 29% a 31%.

Da notare come il parametro efficienza di trasferimento sia legato alla geometria dei pezzi da verniciare; più grande è la superficie maggiore risulta l'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione.

Quarta sperimentazione: robot antropomorfo

Il robot antropomorfo con sistema di applicazione Mistto Aria viene utilizzato per la verniciatura sia dei bordi sia della superficie. Vengono realizzate finiture laccate opache e a solvente. La sperimentazione è stata effettuata utilizzando prodotto verniciante a solvente poliuretanico di colore basalto. La superficie dei pannelli da verniciare (bordi e superficie) è risultata pari a 4,78 m². La vernice erogata dal sistema di applicazione è risultata pari a 480 g/m²; questa misurazione è stata effettuata ancorando un sacchetto al sistema di applicazione.

Efficienza di trasferimento sperimentale è risultata pari a 31,75%.

Il Robot antropomorfo viene utilizzato anche per l'applicazione di prodotti vernicianti a base acqua. **L'efficienza di trasferimento** calcolata dalla sperimentazione eseguita con prodotto verniciante all'acqua di colore verde luce è **risultata pari a 38,31%**. La vernice consumata quantificata con la prova del sacchetto è risultata pari a 346 g/m².

La sperimentazione è stata ripetuta utilizzando prodotto verniciante all'acqua di colore cioccolato. **L'efficienza di trasferimento è risultata pari a 32,75 %** (vernice consumata con prova del sacchetto 345 g/m²).

4.5 Sperimentazione 2

In questo caso la determinazione è stata eseguita su un **impianto di verniciatura a carosello** utilizzato per l'applicazione del prodotto di fondo poliuretanico a profili di legno. In esso i materiali da verniciare vengono appoggiati su dei telai rettangolari aventi dimensioni su richiesta. Detti telai sono mossi mediante catenarie e vengono opportunamente fatti stazionare nei punti di lavoro (carico /scarico /spolveratura /verniciatura) e poi spostati su piani sopraelevati delimitati e ventilati, necessari per l'asciugatura dei pezzi. La tabella seguente sintetizza le caratteristiche dell'impianto utilizzato:

Caratteristiche Impianto	Modalità	Tipologia	Note
Sistema di applicazione	Automatico	Pistole Airless	N° pistole funzionanti in automatico: 16
Sistema di essiccazione	Stoccaggio su bilance carosello	Essiccazione a Ambiente	Tempi di attraversamento = 50'/giro carosello

La quantità di prodotto verniciante erogato dal sistema di applicazione per unità di superficie è stata misurata selezionando 10 bancali di carico, contenenti ciascuno 12 profili, rappresentativi della produzione, ed è stata quantificata la superficie che deve essere verniciata nelle normali condizioni dal sistema di applicazione (fronte e i due bordi lunghi di ciascun profilo).

I residui secchi dei diversi componenti dei prodotti vernicianti poliuretanici utilizzati sono stati sia desunti dalla lettura delle schede tecniche e di sicurezza sia determinati analiticamente presso il laboratorio chimico del CATAS secondo la norma "UNI EN ISO 3251 - Pitture, vernici e materiali plastici - Determinazione del contenuto delle sostanze non volatili". I dati sono di seguito riportati:

Componenti vernice	Codice	% SOV ^(*)	% RS ^(*)	% RS da analisi laboratorio
Parte A	LBA 32	55	45	45,21
Parte B	LNB 35	70	30	29,04
Parte C (bianco)	LMT 17825	16	84	62,94
Diluente	S800	100	0	0,104

(*) Dati da fornitore e schede di sicurezza prodotto

Presso il laboratorio del CATAS è stato contemporaneamente determinato il **residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione che è risultato pari al 36 %**.

La quantità di prodotto verniciante erogato è stata determinata pesando i contenitori, contenenti i prodotti vernicianti, prima e dopo la verniciatura.

La quantità di vernice erogata per unità di superficie risulta pari a **148 g / m²**.

Da notare che il valore è conforme con quanto dichiarato dall'operatore a inizio sperimentazioni (140 - 150 g / m²).

La reale efficienza di trasferimento dell'impianto è stata determinata come segue:

- Dimensionamento di quattro pannelli.
- Applicazione del prodotto verniciante sui pannelli rivestiti con Alluminio.
- Peso dell'alluminio con il prodotto verniciante secco applicato.
- Calcolo della quantità di prodotto verniciante realmente applicato dalla conoscenza del residuo secco.

La quantità di prodotto verniciante liquido effettivamente applicato per unità di superficie risulta pari a 75,80 g / m².

L'efficienza di trasferimento sperimentale calcolata per l'impianto a carosello è risultata pari al 51 %.

6.4.6 Sperimentazione 3

La prima sperimentazione ha previsto la determinazione dell'efficienza di trasferimento di un **impianto di applicazione a Carosello** nel quale vengono verniciati i pezzi su commessa; viene verniciata la superficie piana fronte e retro e i bordi del pannello (totale superficie verniciata 18,8 m²).

Per l'applicazione viene utilizzata una pistola manuale Misto - Aria e viene realizzata la finitura laccata opaca utilizzando **vernice poliuretanic**a di colore avorio avente un **residuo secco all'applicazione pari al 45%**.

La quantità di **prodotto verniciante erogata** per unità di superficie risulta **pari a 263 g/m²** (valore dichiarato dall'operatore a inizio sperimentazioni è di 200 g/m²).

Per la determinazione dell'efficienza di trasferimento dell'impianto è stato quantificato il prodotto verniciante effettivamente applicato per unità di superficie pari a 131 g/m².

L'efficienza di trasferimento sperimentale calcolata per l'impianto carosello è risultata pari al 50%.

La seconda sperimentazione ha previsto la determinazione dell'efficienza di trasferimento all'interno di una **cabina di verniciatura manuale** (verniciatura della superficie piana (fronte + bordi). Per l'applicazione è stata utilizzata una **pistola manuale a tazza**. Per la finitura laccata lucida è stato utilizzato un **prodotto verniciante poliuretanic**o di colore rosso.

Per la determinazione della quantità di prodotto verniciante erogato dal sistema di applicazione per unità di superficie sono stati dimensionati alcuni bancali di carico (superficie totale pari a 7,4 m²).

Sulla base di analisi effettuate presso il laboratorio chimico del CATAS è stato determinato il **residuo secco** del prodotto verniciante all'applicazione che è **risultato pari al 46%** (risultato da analisi di laboratorio - Norma EN ISO 3251).

La quantità di **prodotto verniciante erogato dal sistema di applicazione per unità di superficie** è **risultato pari a 288 g / m²** (valore dichiarato dall'operatore a inizio sperimentazioni: 300 g / m²).

La quantità di **prodotto verniciante effettivamente applicato per unità di superficie è risultata pari a 115 g/ m².**

L'efficienza di trasferimento sperimentale calcolata per l'impianto a carosello è risultata quindi pari al 40%.

6.4.7 Sperimentazione 4

Anche in questa azienda è stata determinata **l'efficienza di trasferimento dell'impianto di applicazione a carosello**. Per la sperimentazione è stato applicato **un prodotto di fondo poliuretano bianco (residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione da analisi di laboratorio, secondo la norma UNI EN ISO 3251 è risultato pari al 36%)**. Per l'applicazione sono state utilizzate 16 pistole "Airless" normalmente utilizzate per la verniciatura dei manufatti.

Per la determinazione della quantità di prodotto verniciante erogata dal sistema di applicazione per unità di superficie sono stati misurati 10 bancali contenenti ciascuno 12 profili per un totale di 27 m². La quantità di prodotto verniciante erogata per unità di superficie è risultata pari a 149 g/m² (valore dichiarato dall'operatore ad inizio sperimentazioni: 140 - 150 g/ m²).

Il prodotto verniciante effettivamente applicato per unità di superficie è risultato pari a 75,8 g/ m².

L'efficienza di trasferimento sperimentale calcolata per l'impianto a carosello è risultata pari al 51%.

6.4.8 Sperimentazione 5

Determinazione sperimentale, in condizioni operative reali, **dell'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione per la verniciatura di sedie.**

Nel corso delle sperimentazioni è stato determinato quanto segue:

- la quantità di vernice e di solvente realmente utilizzata per verniciare ciascun pezzo (quantità erogata dal sistema di applicazione e quantità che aderisce al supporto);
- le caratteristiche chimiche dei prodotti vernicianti utilizzati;
- la reale efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione utilizzati.

Di seguito vengono riassunte le determinazioni sperimentali eseguite presso le linee di produzione.

La **prima sperimentazione** contempla l'utilizzo di un **prodotto verniciante all'acqua per l'applicazione del fondo su sedie non tinte.**

La sperimentazione è stata eseguita su sedie non tinte, precedentemente condizionate.

Il condizionamento del supporto si è reso necessario in quanto il legno, essendo un materiale "vivo", si pone continuamente in equilibrio con l'ambiente che lo circonda, da ciò deriva che il peso di un supporto legnoso è notevolmente influenzato dalle condizioni climatiche ambientali.

Nel caso di una sedia, solo piccole variazioni della quantità di acqua contenuta potrebbero determinare notevoli incertezze nel quantificare la vernice che si deposita su una sedia.

Per questa determinazione sono state condizionate alcune sedie grezze fino alla stabilizzazione del peso (permanenza per circa un mese delle sedie nella cella climatica) seguendo la procedura precedentemente descritta. Le sedie sono state ricondizionate dopo la loro verniciatura.

Sulle sedie condizionate, è stata applicata una mano di fondo, con una grammatura inferiore rispetto a quella normalmente utilizzata.

La differenza fra i valori di peso iniziali e quelli finali (media di tre pesate delle sedie condizionate effettuate in tre giorni successivi) consentono di determinare la quantità di vernice solida depositata sulla sedia che è risultata pari a circa 11,6 g.

Le analisi chimiche eseguite presso il laboratorio chimico del CATAS hanno consentito di determinare il quantitativo di **residuo solido del prodotto verniciante all'acqua all'applicazione** utilizzato nel corso delle sperimentazioni che è risultato **pari a 29,8 %.**

Dalla conoscenza del valore del residuo secco all'applicazione si può determinare la quantità di prodotto verniciante liquido realmente depositato sul supporto dopo la fase di verniciatura nel modo seguente: $g \text{ PV liquido} = (g \text{ PS} \cdot 100) / \text{RS}$

Dove:

PV = quantità di prodotto verniciante (solventi ed acqua inclusi) depositato sulla sedia in g.

PS = quantità di vernice secca effettivamente depositata sul supporto in g.

RS = % di residuo secco della vernice utilizzata.

In questo caso vengono **depositati sul supporto circa 38,9 g di vernice liquida**.

Per il calcolo dell'efficienza di trasferimento si è reso necessario misurare la quantità di prodotto verniciante erogata dal sistema di applicazione per ciascuna sedia che è risultata pari a 125 g.

Tale determinazione è stata possibile collegando alla testa del sistema di applicazione un sacchetto in plastica, preventivamente pesato, all'interno del quale è stato orientato il getto per un identico intervallo temporale di quello impiegato per la verniciatura di una sedia.

Sulla base dei dati raccolti descritti è stato possibile calcolare **l'efficienza di trasferimento sperimentale** che è risultata pari a: **31,1%**.

La seconda sperimentazione ha previsto l'utilizzo di un **prodotto verniciante all'acqua** per l'applicazione del fondo su sedie non condizionate in questo caso tinte. La determinazione è stata eseguita direttamente in linea di produzione. In questo caso la grammatura del prodotto verniciante applicato è stata superiore.

Le prove sono state realizzate prendendo alcune sedie tinte, non condizionate che sono state pesate pochi secondi prima di essere verniciate e immediatamente dopo l'applicazione del fondo.

La sperimentazione ha evidenziato che **sulla sedia aderiscono circa 73,4 g di prodotto liquido**.

Per determinare la quantità spruzzata dalla pistola del robot utilizzato, sono state effettuate tre prove, applicando un sacchetto all'estremità della pistola, e pesando la quantità di prodotto verniciante erogata dal sistema di applicazione come descritto precedentemente.

Dal sistema di applicazione, per la verniciatura di ciascuna sedia, vengono mediamente erogati circa 226,9 g. È stata calcolata l'efficienza di trasferimento utilizzando la formula precedentemente riportata. In questo caso **l'efficienza di trasferimento è risultata pari al 32,4%**.

Si nota come il valore così determinato non sia molto diverso da quello riscontrato con la sperimentazione precedentemente descritta.

La terza sperimentazione ha previsto l'applicazione di una mano di **fondo all'acqua** su sedie condizionate non tinte. Il prodotto verniciante pronto all'uso utilizzato nel corso delle sperimentazioni è stato analizzato presso il laboratorio chimico del CATAS. **Il residuo secco**, determinato gravimetricamente **è risultato pari a 31,7%**.

Il secco applicato al supporto è pari a circa 10,4 g, la frazione di vernice liquida che aderisce al supporto, risulta pari a circa 32,8 g.

Per quantificare la vernice erogata dalla pistola del robot per sedia, sono stati confrontati i dati sperimentali ottenuti con due differenti prove la prima eseguita applicando un sacchetto all'estremità della pistola, e pesando la reale quantità di prodotto verniciante erogato dal sistema di applicazione come precedentemente descritto, la seconda determinando la quantità prelevata dal contenitore tramite pesata dello stesso prima e dopo la verniciatura del pezzo.

Dalla media dei risultati ottenuti la quantità spruzzata dalla pistola, risulta pari a 108,5 g.

L'efficienza di trasferimento è risultata pari a 30,23 %. La sperimentazione ripetuta utilizzando sedie condizionate ha confermato i dati sperimentali descritti.

La quarta sperimentazione ha previsto l'applicazione di una mano di **finitura poliuretanica a solvente** su sedie alle quali è stata precedentemente applicata una mano di fondo all'acqua.

La frazione di vernice liquida che aderisce al supporto, calcolata pesando le sedie immediatamente prima e dopo la fase di verniciatura, risulta pari a circa 32,57 g.

La vernice erogata dalla pistola del robot per sedia risulta pari a 110,5 g.

L'efficienza di trasferimento è risultata pari a 29,48 %.

6.4.9 Sperimentazione 6

Presso questa impresa ci si è concentrati sulla **determinazione sperimentale dell'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione per la verniciatura di sedie** e sulla determinazione delle quantità di prodotti all'acqua realmente applicati al supporto.

In questo caso è stata studiata l'applicazione di due diversi prodotti vernicianti per il fondo.

La prima sperimentazione è stata eseguita su sedie grezze condizionate con le modalità operative descritte precedentemente.

Le sedie sono state verniciate con una mano di fondo applicando una quantità di prodotto verniciante inferiore a quella generalmente applicata.

Dopo l'applicazione del prodotto verniciante le sedie sono state nuovamente condizionate in cella climatica e quindi ripesate.

La differenza fra i valori iniziali e quelli finali delle sedie condizionate prima e dopo la verniciatura consentono di determinare la quantità di vernice solida depositata sulla sedia che risulta pari a: 15,78 g.

Il **residuo secco sperimentale** del prodotto verniciante all'applicazione utilizzato risulta pari a **26,62 %**.

La quantità di prodotto verniciante liquido depositato sul supporto dopo la fase di verniciatura è risultato pari a 59,28 g

La quantità di prodotto verniciante erogata dal sistema di applicazione per ciascun manufatto determinata collegando un sacchetto all'estremità del sistema di applicazione come precedentemente descritto risulta pari a 214,6 g.

Sulla base dei dati raccolti è possibile calcolare **l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione che risulta pari al 27,62%**.

Per convalidare il dato ottenuto la sperimentazione è stata ripetuta utilizzando **un altro prodotto verniciante** avente un **residuo solido pari a 26,90%**.

Le analisi sono state ripetute con le stesse modalità precedentemente descritte.

La frazione di residuo secco spruzzato che aderisce sul pezzo risulta pari a 14,1g. La quantità di prodotto verniciante liquido applicato risulta pari a 52,42 g. La vernice spruzzata nel sacchetto è pari a 197,25 g. **L'efficienza di trasferimento sperimentale** è risultata quindi **uguale a 26,58 %**.

Il dato sperimentale ottenuto conferma il precedente.

La seconda sperimentazione ha avuto l'obiettivo di valutare l'efficienza di trasferimento per un identico ciclo di finitura al variare della tipologia di pistola utilizzata.

Utilizzando **una pistola a bassa pressione** la quantità media di vernice liquida applicata è pari a 78,58 g mentre la quantità media di vernice erogata dal sistema di applicazione è risultata pari a 194,0 g. **L'efficienza di trasferimento risulta pari al 40,51 %**.

La sperimentazione è stata ripetuta utilizzando **una pistola ad alta pressione**. In questo caso la quantità media di vernice applicata è pari a 79,53 g.

La quantità media di vernice erogata dal sistema di applicazione per ciascuna sedia è pari a 179,5g. **L'efficienza di trasferimento sperimentale risulta pari al 44,31%**.

Da notare il miglioramento dell'efficienza di trasferimento (del 3,8%), sostituendo il sistema a spruzzo a bassa pressione con un sistema a spruzzo ad alta pressione.

Con la nuova pistola il risparmio di prodotto verniciante di finitura sarebbe pari al 8,58%.

La terza sperimentazione ha avuto l'obiettivo di valutare l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione in relazione alla geometria dei pezzi da verniciare. A tal proposito è stata calcolata l'efficienza di trasferimento nella verniciatura di **poltroncine grezze** (quindi di manufatti aventi una superficie da verniciare superiore rispetto alle sedie) utilizzando **sia un sistema di applicazione a bassa pressione sia un sistema di applicazione ad alta pressione**.

I risultati sono di seguito descritti.

Applicazione del fondo con pistola ad alta pressione:

La quantità media di vernice liquida applicata è pari a 115 g mentre la quantità di vernice erogata è pari a 239,5 g. **L'efficienza di trasferimento sperimentale è risultata pari al 48,02%.**

Applicazione della finitura con pistola a bassa pressione:

La quantità media di vernice applicata risulta pari a 73,75 g. Quantità media di vernice erogata è risultata pari a 163,5 g. **L'efficienza di trasferimento determinata sperimentalmente è risultata del 45,11%.**

A conferma dei dati precedenti, anche in questo caso si riscontra un considerevole aumento (2,91%) dell'efficienza di trasferimento passando da un sistema a bassa pressione ad un sistema ad alta pressione.

Inoltre si nota un aumento dell'efficienza di trasferimento rispetto a quella riscontrata per le sedie correlabile all'aumento della superficie verniciata.

6.5 Sintesi dei risultati

La seguente tabella riassume i risultati ottenuti.

Sperimentazione	Tipologia di impianto	Manufatto verniciato	Prodotto verniciante utilizzato	Vernice erogata (g/m ²)	Efficienza di trasferimento calcolata
1	Prima Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - cioccolato	428	23,10%
1	Prima Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - moscato	390	25,40%
1	Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - seta	283	53,02%
1	Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - tortora	265	45,00%
1	Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - bianco	188	45,73%
1	Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	Poliuretano - bianco ghiaccio	176	51,18%
1	Robot cartesiano - sistema applicazione Misto - Aria	Pannelli	Poliuretano - bianco polare	360	30,65%
1	Robot cartesiano - sistema applicazione Misto - Aria	Pannelli	Poliuretano - bianco piuma	410	27,06%
1	Cabina manuale (valore medio)	Pannelli	Acqua - cioccolato	133	47,83%
1	Cabina manuale (pezzi grandi)	Pannelli	Acqua - cioccolato	133	55,52%
1	Cabina manuale (pezzi medi)	Pannelli	Acqua - cioccolato	133	34,66%
1	Cabina manuale (pezzi piccoli)	Pannelli	Acqua - cioccolato	133	da 29% a 31%
1	Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	Poliuretano - basalto	430	31,75%
1	Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	Acqua - verde	396	38,31%
1	Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	Acqua - cioccolato	396	32,75%
2	Impianto a carosello - pistola manuale Misto - Aria	Profili di legno	Poliuretano	148	51,00%
3	Impianto a carosello - pistola manuale Misto - Aria	Pezzi vari	Poliuretano - avorio	263	50,00%
3	Cabina - applicazione manuale a tazza	Pannelli	Poliuretano - rosso	288	40,00%
4	Impianto a carosello - pistola Airless	Pannelli	Poliuretano - bianco	149	51,00%
5	Robot antropomorfo	Sedie non tinte	Acqua trasparente - fondo	125 g per sedia	31,10%
5	Robot antropomorfo	Sedie tinte	Acqua trasparente - fondo	227 g per sedia	32,40%
5	Robot antropomorfo	Sedie non tinte	Acqua trasparente - fondo	109 g per sedia	30,23%
5	Robot antropomorfo	Sedie con fondo all'acqua	Poliuretano - Finitura trasparen	111 g per sedia	29,48%
6	Robot antropomorfo	Sedie grezze non tinte	Acqua - Fondo trasparente	215 g per sedia	27,62%
6	Robot antropomorfo	Sedie grezze non tinte	Acqua - Fondo trasparente	198 g per sedia	26,58%
6	Robot antropomorfo - Applicazione bassa pressione	Sedie con fondo all'acqua	Acqua - finitura trasparente	194 g per sedia	40,51%
6	Robot antropomorfo - Applicazione alta pressione	Sedie con fondo all'acqua	Acqua - finitura trasparente	180 g per sedia	44,31%
6	Robot antropomorfo - Applicazione bassa pressione	Poltroncine grezze non tinte	Acqua - finitura trasparente	239 g per sedia	48,02%
6	Robot antropomorfo - Applicazione alta pressione	Poltroncine con fondo	Acqua - fondo trasparente	164 g per sedia	45,11%

Soffermandosi su alcuni dei risultati ottenuti possono essere fatte le seguenti considerazioni:

Sistema di applicazione	Tipologia di manufatto	Efficienza di trasferimento
Prima Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	23,10%
Prima Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	25,40%
Cabina manuale (pezzi piccoli)	Pannelli	da 29% a 31%
Cabina manuale (pezzi medi)	Pannelli	34,66%
Cabina - applicazione manuale a tazza	Pannelli	40,00%
Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	45,00%
Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	45,73%
Cabina manuale (valore medio)	Pannelli	47,83%
Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	51,18%
Seconda Cabina - applicazione manuale a spruzzo (Misto Aria)	Pannelli	53,02%
Cabina manuale (pezzi grandi)	Pannelli	55,52%

L'efficienza di trasferimento dei sistemi manuali a spruzzo determinata sperimentalmente varia dal 23,10% al 55,52%, in relazione alle condizioni sperimentali e alle variabili precedentemente descritte.

Sistema di applicazione	Tipologia di manufatto	Efficienza di trasferimento
Robot antropomorfo	Sedie grezze non tinte	26,58%
Robot antropomorfo	Sedie grezze non tinte	27,62%
Robot antropomorfo	Sedie con fondo all'acqua	29,48%
Robot antropomorfo	Sedie non tinte	30,23%
Robot antropomorfo	Sedie non tinte	31,10%
Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	31,75%
Robot antropomorfo	Sedie tinte	32,40%
Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	32,75%
Robot antropomorfo - applicazione Misto - Aria	Pannelli	38,31%
Robot antropomorfo - Applicazione bassa pressione	Sedie con fondo all'acqua	40,51%
Robot antropomorfo - Applicazione alta pressione	Sedie con fondo all'acqua	44,31%
Robot antropomorfo - Applicazione alta pressione	Poltroncine con fondo	45,11%
Robot antropomorfo - Applicazione bassa pressione	Poltroncine grezze non tinte	48,02%

L'efficienza di trasferimento del sistema a spruzzo collegato ad un robot antropomorfo varia, in relazione alle condizioni sperimentali, dal 26,58% al 48,02%.

Ammettendo di applicare la stessa quantità di un prodotto verniciante e che il suo contenuto di SOV rimanga immutato, la riduzione dell'emissione di SOV in percentuale a seguito di un aumento dell'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione risulta pari a:

$$\% \text{ riduzione dell'emissione di SOV} = 100 * (ET (\%) \text{ dopo} - ET (\%) \text{ prima}) / (ET (\%) \text{ dopo})$$

Ciò significa che migliorando l'efficienza di trasferimento del sistema di applicazione di solo 5% (ad esempio da 30% a 35%) la % di riduzione di SOV è pari al 14,3%.

Oltre a ridurre le emissioni il miglioramento del parametro efficienza di trasferimento, consentirebbe all'impresa di sprecare una minore quantità di prodotto verniciante.

I dati sperimentali ottenuti dimostrano come questi miglioramenti siano effettivamente conseguibili.

Ringraziamenti:

Un particolare ringraziamento al dott. Mario Gionfini per la consulenza fornita e alle aziende che hanno collaborato attivamente rendendosi disponibili ad eseguire sperimentazioni che non vengono menzionate per garantirne la riservatezza dei dati.

7 – Il contenuto di solventi organici volatili nei prodotti vernicianti maggiormente utilizzati

7.1 - Introduzione

Lo scopo degli studi riportati in questo paragrafo è quello di evidenziare le proprietà chimiche e fisiche dei principali solventi organici contenuti nei prodotti vernicianti utilizzati nel settore legno arredo.

Saranno descritte le sperimentazioni condotte dai tecnici del CATAS presso alcuni siti aziendali volte ad evidenziare come le caratteristiche dei prodotti da applicare ai supporti differiscono in relazione alla tipologia di solvente contenuto e alle condizioni ambientali.

Particolare attenzione sarà dedicata alla descrizione di una procedura volta all'individuazione, presso le linee di applicazione, del reale contenuto di solventi organici volatili dei prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi e alla descrizione delle numerose determinazioni sperimentali condotte.

Questa procedura sperimentale risulta estremamente utile per consentire alle imprese una corretta compilazione del Piano di Gestione dei Solventi.

7.2 – La valutazione del contenuto di composti organici volatili nei prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi

7.2.1 - Introduzione

In questo paragrafo viene eseguita una valutazione del contenuto di composti organici volatili nei prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi e viene proposta una procedura per l'analisi del residuo secco dei prodotti vernicianti ad indurimento contenenti monomeri reattivi.

Ci sono alcune tipologie di prodotti vernicianti, ad esempio prodotti vernicianti ad indurimento fotochimico o prodotti vernicianti ad indurimento chimico contenenti solventi reattivi, per i quali la valutazione del reale contenuto di solventi organici volatili può risultare problematica e soggettiva.

In questi prodotti sono presenti dei monomeri reattivi che in parte evaporano e in parte reagiscono chimicamente con le resine durante la fase di essiccazione. Il residuo secco reale di questi prodotti dipende dalla quantità totale di solventi presenti e dalla quantità di monomeri che evapora durante il processo di essiccazione che, a sua volta, dipende dal tipo di processo e dalle condizioni operative utilizzate e soprattutto dalla grammatura del prodotto applicato.

Nella redazione del Piano di Gestione dei Solventi le aziende, che utilizzano prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi, si trovano spesso in difficoltà nell'individuare il reale valore di solventi organici volatili all'applicazione di questi prodotti.

I Piani di gestione dei Solventi predisposti molto spesso sottostimano il reale contenuto di solventi organici volatili di questi prodotti considerando il solvente reattivo come una parte che prende parte completamente alla reazione o comunque in percentuale superiore al 50%.

Le evidenze pratiche riscontrate, riportate nelle pagine seguenti, se pur limitate, dimostrano come tale interpretazione non sia sempre corretta in quanto, nella maggior parte dei casi esaminati il solvente reattivo può partecipare alla reazione in percentuale inferiore al 50%.

I dati forniti dai produttori di prodotti vernicianti agli utilizzatori solitamente fanno riferimento:

- i) al valore di residuo secco determinato sperimentalmente per evaporazione della parte volatile, trascurando l'eventuale contributo rappresentato dai solventi reattivi presenti nel preparato;
- ii) al valore di residuo secco comprensivo dei solventi reattivi (a meno di una loro piccola percentuale che tiene conto in modo molto approssimato della perdita in fase di appassimento e di essiccazione UV);
- iii) al residuo secco del materiale reattivo.

Nel caso i) il residuo secco viene largamente sottostimato, nel caso ii) risulta sovrastimato, infine nel caso iii) la valutazione seppur in principio più corretta, non tiene conto della perdita effettiva per evaporazione dei solventi reattivi più volatili.

I dati così come sono disponibili non permettono una valutazione rigorosa delle emissioni diffuse, né per il confronto delle emissioni totali con l'emissione bersaglio secondo il Piano di Gestione dei Solventi.

Solo prove dirette, personalizzate in ciascuna realtà aziendale, con un determinato prodotto verniciante applicato con un certo impianto, possono fornire dati attendibili per la determinazione del residuo secco di questi prodotti.

Per ottenere dei dati reali ed oggettivi, ciascuna delle aziende del settore legno arredo, utilizzatrici di prodotti vernicianti, dovrebbe provvedere internamente all'esecuzione di una serie di sperimentazioni volte all'acquisizione di dati concreti.

Lo studio, descritto nelle pagine seguenti, si propone di superare le approssimazioni e i limiti sopra evidenziati, e ha avuto l'obiettivo di determinare (in linea di produzione) il residuo secco effettivo e quindi il contenuto reale di solvente organico volatile per le varie tipologie di prodotti vernicianti dell'industria del mobile.

La linea guida predisposta per affrontare scientificamente tale problematica è stata redatta in collaborazione con aziende produttrici di prodotti vernicianti, e con consulenti esperti.

7.2.2 - Obiettivi dello studio

Redazione di una procedura sperimentale, utilizzabile dalle imprese del settore della verniciatura del legno per la determinazione del residuo secco applicativo di vernici a base di solventi reattivi e per il calcolo della percentuale di monomero reattivo tenendo conto delle reali condizioni applicative e di essiccazione.

Si riportano di seguito le procedure sperimentali che sono state seguite presso alcuni siti aziendali e presso i laboratori dai tecnici del CATAS e i risultati sperimentali conseguiti.

7.2.3 - Procedure di corretta gestione del prodotto verniciante poliestere all'interno del sito aziendale

Il deposito dei prodotti

Di seguito si elencano alcuni consigli per garantire un corretto deposito delle vernici:

Conservare le latte sigillate di prodotto verniciante in luogo confinato, fresco e ventilato in grado di garantire i ricambi d'aria necessari e lontano da fonti di calore (Deposito vernici).

Prevedere nel deposito vernici un sistema di riscaldamento (termostriscie a soffitto) per evitare, nei periodi freddi, temperature inferiori a 5°C (vedi temperatura minima di filmazione: TMF) sconsigliate per vernici a "base acqua".

Classificare i vari preparati in categorie e suddividerli in base alla loro pericolosità.

Prevedere aree separate delimitate e segnalate a seconda della pericolosità e soprattutto dell'incompatibilità (Esempio Perossidi e Acceleranti).

Il Deposito deve essere provvisto di vasca di contenimento o soglia rialzata (20 cm).

La modalità di stoccaggio a terra su pallets o a scaffale deve essere stabilita a seconda della natura dell'imballaggio.

Valutare l'altezza di impilaggio e garantire la sicurezza dello stesso.

Valutare la tenuta dell'imballaggio per caduta inferiore ad una determinata altezza.

Gestire i prodotti a scaffale secondo un criterio di utilizzo sistemando i prodotti nuovi dietro e prelevando i più vecchi davanti ("First in, First out").

Stoccare solamente contenitori di vernice con sigilli integri.

Evitare quanto più possibile le operazioni di travaso.

In caso di travaso di prodotti ad alta resistività i contenitori metallici vanno connessi a terra per evitare l'accumulo di cariche elettrostatiche e l'operazione deve essere eseguita lentamente.

Durante la movimentazione procedere alla verifica di:

1. Codice e denominazione dell'etichetta.
2. Data di scadenza.
3. Integrità contenitori.
4. Omologazione caratteristiche imballo.
5. Durata stoccaggio.
6. Rigonfiamento confezioni per fenomeni di decomposizione o sviluppo gas.
7. Eventuale impolmonimento per progressiva gelificazione del prodotto verniciante.
8. Pavimentazione e attenzione ai pozzetti di scarico dell'acqua piovana.

Le prassi di corretto utilizzo dei prodotti

Condizionare il prodotto verniciante, i vari additivi ed il supporto alla temperatura ambiente del locale di verniciatura (18-22°C).

In caso di impiego di paraffine, scegliere l'opportuna miscelazione in relazione alle temperature di lavorazione; si dovrà seguire il criterio di usare le tipologie a punto di fusione più alto in condizioni di lavorazione alle temperature più elevate (estate o forni), e viceversa nelle situazioni di più basse temperature (inverno). E' anche prevista la possibilità di utilizzare additivi a base di paraffina al momento dell'uso, per eventuali adattamenti ad impianti, o condizioni ambientali (estate).

Prima dell'utilizzo prendere visione della data di scadenza riportata nella latta.

Verificare prima dell'utilizzo la data di scadenza dello stirene.

Attenzione alle temperature di utilizzo del poliestere (non deve essere inferiore a 20 °C).

Attenzione al contatto diretto tra accelerante e perossido, possono dar luogo a violenta reazione chimica, pericolosa per l'operatore.

7.2.4 - Procedura sperimentale per la determinazione del residuo secco dei prodotti vernicianti, applicati su superfici piane, contenenti solventi reattivi

La procedura sperimentale di seguito descritta può essere facilmente utilizzata dai tecnici aziendali per la determinazione del residuo secco dei prodotti vernicianti all'applicazione.

Operazioni preliminari:

- A) Posizionare una bilancia digitale, avente una visualizzazione pari ad almeno 0,1 g e una precisione minima di 0,1 g, il più vicino possibile all'impianto di verniciatura, se possibile in una zona all'interno della "camera bianca" con ridotta circolazione di aria.
Valutare la disposizione e la localizzazione della stessa in relazione alle dimensioni dei pezzi che devono essere verniciati e quindi pesati.
- B) Fare in modo che la bilancia sia posizionata su di una superficie perfettamente orizzontale, se necessario portare a bolla la bilancia come indicato dal manuale dello strumento.
- C) I prodotti vernicianti devono essere miscelati quantificando rigorosamente i diversi componenti per tipologia e per quantità. Per la miscelazione devono essere seguite rigorosamente le specifiche indicate sul foglio di lavoro.

Procedura sperimentale da seguire in linea di produzione:

- Selezionare dei manufatti rappresentativi della produzione (ad esempio lotti di antine opportunamente selezionati in relazione alle dimensioni).
- Rivestire i supporti con una pellicola di alluminio preventivamente pesata (utilizzare preferibilmente per l'ancoraggio della pellicola di alluminio al supporto del nastro di alluminio che dovrà essere preventivamente pesato).
- Pesare i supporti di legno rivestiti con pellicola di alluminio e nastro di fissaggio.
- Inserire i supporti all'interno della linea di verniciatura nelle normali condizioni di lavorazione.
- Effettuare la verniciatura dei provini nelle normali condizioni di lavoro.
- Prelevare i manufatti verniciati subito dopo la verniciatura e provvedere alla loro pesata facendo intercorrere il minor tempo possibile.
- Riposizionare i manufatti all'interno della linea di verniciatura e provvedere alla loro completa essiccazione.
- Attendere la completa essiccazione del manufatto. Ad essiccazione completa rimuovere accuratamente l'alluminio e il nastro.
- Pesare la pellicola di alluminio contenente il prodotto verniciante il secco e il nastro (pesata unica).
- Per tenere conto dell'influenza della temperatura sulla tensione di vapore dei vari solventi, dovrebbero essere effettuate, all'interno del sito aziendale, più determinazioni per lo stesso ciclo di verniciatura, da ripetere in differenti periodi temporali, (esempio: in primavera, in estate e in inverno).

Calcoli che devono essere eseguiti

Per le formule di calcolo vengono considerate le seguenti sigle:

PA: peso pellicola di Alluminio (g);

PN: peso del nastro utilizzato per ancorare la pellicola di Alluminio al supporto (g);

PPPN: peso supporto con pellicola di Alluminio e nastro (g);

PPRV: peso supporto con pellicola appena verniciato (g);

PANS: peso pellicola di Alluminio con vernice secca e nastro (g).

Calcoli:

Vernice liquida applicata (g) = PPRV – PPPN

Vernice secca applicata (g) = PANS – PA – PN

*% Residuo secco reale del prodotto verniciante all'applicazione =
(Vernice secca applicata / Vernice liquida applicata) * 100*

7.2.5 - Procedura sperimentale eseguita presso i siti aziendali per la determinazione della % di monomero reattivo che prende parte alla reazione e della % di monomero che evapora

La procedura sperimentale precedentemente descritta deve essere integrata con le operazioni elencate al fine di determinare la percentuale di monomero reattivo che prende parte alla reazione. Oltre a tutte le operazioni precedentemente descritte, in questo caso è fondamentale poter determinare tempestivamente il residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione e provvedere a far eseguire una analisi gascromatografica sui prodotti tal quali per l'identificazione della composizione solvente.

Nel caso non sia possibile l'immediata determinazione analitica, devono essere tenuti in considerazione i dati riportati nelle schede tecniche e di sicurezza dei prodotti utilizzati e, per quantificare l'esatta composizione della miscela solvente, dovrà essere direttamente contattata l'azienda produttrice che fornisce i prodotti vernicianti.

Calcoli:

% SSr: percentuale di solvente reattivo contenuto nel prodotto verniciante all'applicazione (il dato, se non viene riportato nelle schede tecniche e di sicurezza del prodotto, può essere richiesto al produttore di prodotti vernicianti).

% So: percentuale di solventi (escluso il solvente reattivo) contenuti nei prodotti vernicianti all'applicazione (il dato, se non viene riportato nelle schede tecniche e di sicurezza del prodotto, può essere richiesto al produttore di prodotti vernicianti).

RSA: residuo secco reale del prodotto verniciante all'applicazione.

% di Stirene che partecipa alla reazione = RSA – (100 – SSr – So)

7.2.6 – Studio analitico del residuo secco dei prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi; le sperimentazioni eseguite presso le imprese e i risultati ottenuti

Nelle pagine seguenti sono riportate alcune determinazioni sperimentali eseguite presso alcuni siti aziendali.

Le determinazioni sperimentali descritte nelle pagine seguenti hanno avuto i seguenti obiettivi:

- determinazione analitica del reale residuo secco applicativo del prodotto verniciante utilizzato presso il sito aziendale;
- determinazione analitica, tramite prove presso il laboratorio chimico del CATAS, della composizione solventi dei prodotti vernicianti impiegati, con particolare attenzione ai prodotti vernicianti contenenti solventi reattivi;
- determinazione sperimentale della % di stirene che prende parte alla reazione e quindi della % di stirene che evapora.

Le pagine seguenti riassumono i risultati sperimentali ottenuti:

Sperimentazioni azienda 1

Manufatti lavorati: verniciatura per conto terzi di piani di tavolo, di piani per mobili e di basamenti.

Ciclo di verniciatura ed impianti utilizzati:

I locali dove avvengono le operazioni di verniciatura sono di seguito descritti:

- A. Cabina di verniciatura aperta con aspirazione frontale
Applicazione manuale a spruzzo fondo Poliestere (Poliesterino);
Verniciatura : bordi tavoli accatastati;
Essiccazione manufatti: in prossimità della cabina.
- B. Impianto di verniciatura in linea:
Applicazione meccanizzata a spruzzo della mano di finitura;
Prodotti vernicianti utilizzati: acrilici UV;
Essiccazione: appassimento con aria calda seguita e fotopolimerizzazione UV.

Le sperimentazioni sono state eseguite dai tecnici del CATAS presso le linee di verniciatura in quattro giornate successive.

Sperimentazione 1: Verniciatura manuale a spruzzo di bordi di piani tavolo impilati

Questa fase prevede l'applicazione manuale a spruzzo della mano di fondo ai bordi dei tavoli di prodotti vernicianti poliesteri. I manufatti da verniciare vengono impilati prima della verniciatura e vengono verniciati in prossimità della cabina (aperta con aspirazione frontale) da un operatore.

L'essiccazione dei manufatti verniciati avviene in prossimità della cabina.

Componenti del prodotto verniciante da miscelare:

Fondo poliestere denominato POA;

Iniziatore IN (perossido);

Accelerante AC (sale metallico);

Pasta pigmentata colorata.

Per parziale miscelazione vengono prima preparate:

Parte A): Legante POA + Accelerante AC all'1% + Pasta colorata al 2%;

Parte B): Legante POA + Iniziatore IN all'1%.

Successivamente in fase di applicazione le Parti A e B vengono miscelate e diluite come di seguito descritto: 50% di A + 20% di acetone aggiunto in fase di spruzzatura + 50% di B + 20% di acetone aggiunto in fase di spruzzatura.

Descrizione dei prodotti vernicianti impiegati riportata nelle schede tecniche e di sicurezza

POA: Poliesterino ad alta verticalità con ottima distensione e copertura sia in piano sia in verticale avente le seguenti caratteristiche: ottima trasparenza; buona elasticità; assenza di ritiro; ottima carteggiatura. Consigliata, nella stagione invernale, la catalisi al 2% con AC e al 2% con IN. Nella stagione estiva, per ridurre i problemi di stratificazione, ridurre la catalisi all'1%.

Caratteristiche tecniche applicative: Residuo solido: 92% (± 2), Peso specifico: 1,0 kg/l ($\pm 0,030$), Viscosità DIN 8 a 20°C: 23 (± 3) sec.

Sostanze contenute considerate pericolose: 25%-50% Stirene, 2,5%-10% Toluene, < 2,5% Acetone.

Classi di solventi secondo DM 12/luglio/90 (SOV – TABELLA D): Classe 3: 32,1%, Classe 4: 4,2%, Classe 5: 2,4%.

IN: Catalizzatore per poliesteri rapido

Sostanze contenute considerate pericolose: 25%-50% Metiletilchetone Perossido, < 2,5% Butanone, metiletilchetone.

Classi di solventi secondo DM 12/luglio/90 (SOV – TABELLA D): Classe 4: 1%

AC: Accelerante per poliesteri rapido

Sostanze contenute considerate pericolose: 50%-100% Acetato di etile, 10%-25% Acidi grassi C6-19 ramificati, sali di cobalto, 2,5%-10% Xilene, < 2,5% Acidi grassi C3-C24, < 2,5% Dietilenglicolemonobutilene.

Classi di solventi secondo DM 12/luglio/90 (SOV – TABELLA D): Classe 5: 80%, Classe 4: 3,4% Classe 3: 0,7%.

Determinazione analitica della composizione solventi dei prodotti vernicianti impiegati

Sui singoli prodotti vernicianti prelevati sono state eseguite, presso il laboratorio del CATAS, delle analisi gascromatografiche secondo la metodologia prescritta dalla norma ISO 11890 – 2 : 2007. I risultati sperimentali sono riassunti di seguito.

Risultati analisi gascromatografica prodotto verniciante fondo poliesteri:

Componenti	% in peso
Acetone	0,8
Etil acetato	0,2
Toluene	3,6
N Butil acetato	0,2
Xileni isomeri	0,2
TOTALE SOV	5,0
STIRENE	28,2

Risultati analisi gascromatografica parte B (Legante POA + Inziatore IN all'1%):

Componenti	% in peso
Acetone	21,4
MEK	0,3
Etil Acetato	0,3
Toluene	2,8
TOTALE SOV	24,8
STIRENE	22,8

Nota: questa analisi è stata eseguita sulla parte B quindi sul prodotto verniciante miscelato con il l'iniziatore di reazione, dopo 4 giorni dalla data di prelevamento del campione quindi a processo di catalisi già iniziato.

Essa è stata presa in considerazione solamente per verificare la % di acetone aggiunto in fase di spruzzatura.

I risultati dell'analisi confermano le dichiarazioni del verniciatore che asserisce che l'acetone aggiunto sia pari a circa il 20 %.

Risultati dell'analisi gascromatografica eseguita sulla Pasta colorata tal quale.

Componenti	% in peso
Acetone	0,1
MEK	1,1
Xileni isomeri	0,2
TOTALE SOV	1,4
STIRENE	10,4

Secondo dichiarazioni del verniciatore la pasta colorata viene aggiunta in concentrazione del 2% alla parte A per conferire una colorazione marrone scuro. Per la preparazione del fondo poliesterre trasparente non viene aggiunta la pasta colorata.

Sulla base dei dati precedentemente esposti (sia sperimentali sia dichiarati dal verniciatore) è possibile calcolare la composizione solventi dei prodotti vernicianti utilizzati nel corso delle sperimentazioni.

Calcolo della composizione solventi del prodotto verniciante *poliesterre trasparente* all'applicazione.

Per i calcoli è stata presa in considerazione la seguente composizione:

50% di parte A: 100 parti di Legante POA + 25 parti di acetone

50% di parte B: 100 parti di Legante POA + 25 parti di acetone

Nei calcoli sono stati trascurati l'iniziatore e l'accelerante.

Componenti	% in peso
Acetone	20,64
Etil Acetato	0,16
Toluene	2,88
N butil acetato	0,16
Xileni isomeri	0,16
TOTALE SOV	24,00
STIRENE	22,56

Calcolo della composizione solventi del prodotto verniciante *poliesterre marrone scuro* all'applicazione.

Per i calcoli è stata presa in considerazione la seguente composizione:

50% di parte A: 100 parti di Legante PU 342 + 2 parti di pasta colorata +25 parti di acetone

50% di parte B: 100 parti di Legante PU 342 + 25 parti di acetone

Nei calcoli sono stati trascurati l'iniziatore e l'accelerante.

Componenti	% in peso
Acetone	20,44
Etil Acetato	0,16
Toluene	2,85
N butil acetato	0,16
Xileni isomeri	0,16
TOTALE SOV	23,77

STIRENE	22,44
---------	-------

Determinazione analitica del residuo secco dei prodotti vernicianti poliesteri utilizzati per l'applicazione della mano di fondo ai bordi.

Per tale determinazione è stata utilizzata la procedura sperimentale precedentemente descritta; un film del prodotto verniciante è stato applicato su una pellicola di alluminio che è stata pesata prima dell'applicazione, subito dopo l'applicazione del prodotto verniciante e a completa essiccazione dello stesso.

Le sperimentazioni sono state eseguite utilizzando i prodotti vernicianti e i sistemi di applicazione in uso per la normale verniciatura dei manufatti e le stesse condizioni ambientali di lavoro.

I dati sperimentali ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti:

RESIDUO SECCO (fondo poliesteri di colore marrone scuro) Sperimentazione mattino				
Provino	Peso alluminio g	Peso prodotto verniciante g	Alluminio e secco vernice g	Calcolo Residuo Secco %
A	7	23,2	21,5	62,50
B	5,9	18,6	17,5	62,37
C	6,25	14,4	15,5	64,24
VALORE MEDIO				63,03

RESIDUO SECCO (fondo poliesteri trasparente) Sperimentazione mattino				
Provino	Peso alluminio g	Peso prodotto verniciante g	Alluminio e secco vernice g	Calcolo Residuo Secco %
A	9,7	13,5	18,8	67,41
B	9,1	17,3	21,0	68,79
VALORE MEDIO				68,10

RESIDUO SECCO (fondo poliesteri marrone chiaro) Sperimentazione pomeriggio				
Provino	Peso alluminio g	Peso prodotto verniciante g	Alluminio e secco vernice g	Calcolo Residuo Secco %
A	8,5	18,2	20,2	64,29
B	7,6	14,8	17,1	64,19
VALORE MEDIO				64,24

Nota: i valori dei residui secchi dei prodotti vernicianti utilizzati determinati sperimentalmente e riportati sono stati leggermente sovrastimati in quanto nel calcolo non è stato possibile tenere in considerazione l'acetone inevitabilmente perso nella fase di spruzzatura del prodotto verniciante.

Calcolo del residuo secco nell'ipotesi che il 50 % dell'acetone presente nel prodotto verniciante all'applicazione sia stato perso nella fase di spruzzatura.

Nell'esecuzione del calcolo è stata considerata la composizione solventi dei prodotti vernicianti calcolata precedentemente descritta. Per il prodotto verniciante marrone chiaro è stata considerata la stessa composizione solventi del prodotto poliesteri trasparente.

CALCOLO RESIDUO SECCO (fondo poliesteri di colore marrone scuro) Hp: 50% dell'acetone presente è stato perso in fase di spruzzatura					
Provino	Peso prodotto verniciante g	Composizione solvente g	Acetone perso in fase di spruzzatura	Peso prodotto verniciante con acetone perso	Calcolo Residuo Secco %
A	23,2	8,7	0,9	24,1	60,19
B	18,6	7,0	0,7	19,3	60,06
C	14,4	5,2	0,5	14,9	61,97
VALORE MEDIO					60,74

CALCOLO RESIDUO SECCO (fondo poliestere trasparente) Hp: 50% dell'acetone presente è stato perso in fase di spruzzatura					
Provino	Peso prodotto verniciante g	Composizione solvente g	Acetone perso in fase di spruzzatura	Peso prodotto verniciante con acetone perso	Calcolo Residuo Secco %
A	13,5	4,4	0,5	14,0	65,21
B	17,3	5,4	0,6	17,9	66,64
VALORE MEDIO					65,93

CALCOLO RESIDUO SECCO (fondo poliestere marrone chiaro) Hp: 50% dell'acetone presente è stato perso in fase di spruzzatura					
Provino	Peso prodotto verniciante g	Composizione solvente g	Acetone perso in fase di spruzzatura	Peso prodotto verniciante con acetone perso	Calcolo Residuo Secco %
A	18,2	6,5	0,7	18,9	62,00
B	14,8	5,3	0,5	15,3	61,90
VALORE MEDIO			0		61,95

Con questa ipotesi si nota una differenza dei residui secchi pari a circa il 2,2%. Tale valore non è molto elevato in quanto molto vicino all'incertezza che accompagna il dato relativo al residuo secco nelle schede tecniche dei prodotti vernicianti.

Un'ulteriore fonte di errore è la perdita di solvente del manufatto verniciato nell'intervallo temporale in cui questo manufatto viene posizionato sulla bilancia.

A questo proposito si è ritenuto estremamente importante effettuare una semplice prova di laboratorio per valutare la perdita in peso dei solventi organici nel tempo.

Alla temperatura di 19°C è stata valutata la cinetica di evaporazione del solvente di un prodotto poliestere pigmentato: una porzione di prodotto verniciante è stata applicata su di un supporto di alluminio ed è stata valutata la perdita di peso della vernice dopo gli intervalli di tempo evidenziati in tabella. La sperimentazione è stata eseguita presso i laboratori del CATAS.

I risultati sperimentali sono descritti nella seguente tabella:

	Primo	Secondo	Terzo
	Perdita di solvente in g	Perdita di solvente in g	Perdita di solvente in g
180 min	0,153	0,171	0,271
150 min	0,156	0,174	0,271
120 min	0,156	0,171	0,268
90 min	0,157	0,176	0,268
60 min	0,156	0,156	0,199
30 min	0,139		
10 min	0,081	0,099	0,144
9 min	0,076	0,096	0,133
8 min	0,071	0,093	0,119
7 min	0,064	0,087	0,108
6 min	0,057	0,077	0,099
5 min	0,051	0,071	0,088
4 min	0,041	0,054	0,076
3 min	0,034	0,046	0,062
2 min	0,025	0,027	0,046
1 min	0,013	0,015	0,032

Si può notare come l'evaporazione del solvente nei primi minuti dopo l'applicazione sia molto lenta e quindi ai fini di queste determinazioni sperimentali, può essere trascurata la frazione di solventi che evapora dal momento dell'applicazione alla pesata.

Determinazione della percentuale di stirene che reagisce chimicamente con la resina

I prodotti vernicianti poliesteri ad indurimento chimico, come quelli utilizzati nell'azienda, per la verniciatura dei bordi, sono costituiti da polimeri insaturi sciolti prevalentemente in stirene, che, durante la fase di essiccazione promossa da sostanze opportunamente aggiunte, in parte reagisce legandosi chimicamente alla resina andando a costituire il film solido mentre in parte evapora assieme agli altri solventi.

Sulla base delle determinazioni sperimentali eseguite e dei dati precedentemente esposti è possibile calcolare la percentuale di stirene che prende parte alla reazione chimica e la parte che evapora assieme ai solventi.

I calcoli sono stati eseguiti considerando i residui secchi sperimentali dei prodotti vernicianti e la composizione solventi calcolata.

Per il prodotto verniciante marrone chiaro è stata considerata un'identica composizione solventi del prodotto verniciante trasparente. In questo caso è stato trascurato l'acetone perso durante la fase di spruzzatura.

I dati sono descritti nelle tabelle seguenti:

	% Residuo Secco sperimentale	% SOV (tranne stirene) da analisi	% di stirene da analisi	% di stirene evaporato	% di stirene reagito	% di SOV reale
POLIESTERE TRASPARENTE	68,10	24,00	22,56	7,90	14,66	31,90
POLIESTERE MARRONE CHIARO	64,24	24,00	22,56	11,76	10,80	35,76
POLIESTERE MARRONE SCURO	63,03	23,77	22,44	13,20	9,24	36,97

I calcoli sono stati ripetuti tenendo in considerazione i residui secchi ricalcolati nell'ipotesi che il 50% dell'acetone presente venga perso durante la fase di spruzzatura dei prodotti vernicianti. Per il prodotto verniciante marrone chiaro è stata considerata un'identica composizione solventi del prodotto verniciante trasparente.

	% Residuo Secco calcolato (hp: 50% di acetone perso nella fase di spruzzatura)	% SOV (tranne stirene) da analisi	% di stirene da analisi	% di stirene evaporato	% di stirene reagito	% di SOV reale
POLIESTERE TRASPARENTE	65,93	24,00	22,56	10,07	12,49	34,07
POLIESTERE MARRONE CHIARO	61,95	24,00	22,56	14,05	8,51	38,05
POLIESTERE MARRONE SCURO	60,74	23,77	22,44	15,49	6,95	39,26

Si nota come in entrambi i casi la percentuale di stirene che reagisce sia superiore al 50% solo per il prodotto verniciante poliestere trasparente. Negli altri casi questa percentuale varia dal 48% al 31%. I dati ottenuti dimostrano come queste determinazioni siano arbitrarie e strettamente legate alle condizioni di prova. Solo prove dirette eseguibili con un determinato prodotto verniciante applicato con un certo impianto possono fornire dati attendibili per ciascun sistema considerato.

Considerazioni inerenti il Piano di Gestione dei Solventi dell'azienda

Nei calcoli per la compilazione del piano di gestione dei solventi l'azienda ha considerato che circa l'85% dello stirene contenuto nei prodotti prenda parte alla reazione chimica e non venga rilasciato in atmosfera.

Con questa approssimazione i dati sui consumi annui di solventi organici sono di seguito riportati:

Impianti	Tipologia prodotti	RS% prodotto pronto all'uso da schede	kg/giorno	giorni lavorati	kg/anno prodotti	kg/anno massa solida	kg/anno solventi
Cabina fondo	Tinta	5%	0,5	220	110	5,5	104,5
Cabina fondo	Fondo poliestere	83%	24	220	5280	4382,4	897,6
Cabina fondo	Fondo poliuretano	32,70%	5,5	220	1210	395,67	814,33
Cabina lucido	Primer	50,20%	5	220	1100	552,2	547,8
Cabina lucido	Finitura opaca	30,40%	5	220	1100	334,4	765,6
Cabina finitura	Finitura di base	93,90%	50	220	11000	10329	671
Cabina finitura	Finitura lucida	60,20%	45	220	9900	5959,8	3940,2
Cabina finitura	Stucco	95,90%	18	220	3960	3797,64	162,36
Cabina finitura	Finitura opaca	30,40%	12	220	2640	802,56	1837,44
Cabina finitura	Solvente	0%	18	220	3960	0	3960
Cabina finitura	Additivo fotochimico	50%	6	220	1320	660	660
TOTALE					41580	27219,17	14360,83

Se al posto del fondo poliestere con residuo secco pari all'83% (evidenziato in rosso) viene considerato un fondo poliestere con residuo secco pari a 62% (valore medio del residuo secco determinato sperimentalmente) si nota una considerevole differenza nel quantitativo dei solventi annui utilizzati pari a 1109 kg. Questo dato conferma l'importanza di eseguire determinazioni sperimentali rigorose.

Sperimentazione 2: Linea di verniciatura per l'applicazione della mano di finitura

Questa fase prevede l'applicazione a spruzzo della mano di finitura sulla superficie e sui bordi di pannelli. Sono utilizzati prodotti vernicianti acrilici che vengono successivamente essiccati prima con aria calda poi con lampade UV. Tutte le fasi (applicazione ed essiccazione) vengono eseguite all'interno di una linea di verniciatura completamente chiusa, aspirata e convogliata all'esterno.

La composizione del prodotto verniciante all'applicazione viene di seguito descritta:

- Prodotto verniciante finitura acrilica trasparente opaca FAO.
- Fotoiniziatore.
- Antischivante.

Descrizione dei prodotti vernicianti impiegati riportata nelle schede tecniche e di sicurezza

FAO Finitura acrilica trasparente opaca a spruzzo UV:

Sostanze contenute considerate pericolose: 25%-50% Acetato di etile, 10%-25% Butanone, 10%-25% Cilene, 10%-25% Oligo Acrilato, 2,5%-10% Acetato di n – butile, < 2,5% Etilbenzene, < 2,5% Acetato di isobutile, < 2,5% 2-idrossi-2- metilpropiofenone.

Classi di solventi secondo DM 12/luglio/90 (SOV – TABELLA D): Classe 4: 25%-50%, Classe 3: < 2,5%, Classe 5: 25%-50%.

Determinazione analitica della composizione solventi dei prodotti vernicianti impiegati

Sui singoli prodotti vernicianti utilizzati per le sperimentazioni e prelevati presso il sito aziendale sono state eseguite, presso il laboratorio del CATAS, delle analisi gas - cromatografiche secondo la metodologia prescritta dalla norma ISO 11890 - 2:2007.

I risultati sperimentali sono riassunti di seguito, i rapporti di prova sono allegati alle presente relazione.

Risultati analisi gas - cromatografica della finitura acrilica trasparente opaca FOA.

Componenti	% in peso
MEK	12,6
Etil Acetato	22,8
Isobutil Acetato	1,0
n Butil Acetato	5,4
Xileni isomeri	17,6
TOTALE SOV	23,77

Nota: l'analisi gas cromatografica non ha consentito di individuare i solventi: monoacrilati, diacrilati e triacrilati.

Risultati analisi gas - cromatografica della finitura acrilica trasparente opaca fotoiniziata.

Componenti	% in peso
Acetone	1,5
MEK	15,7
Etil Acetato	14,4
Isobutil Acetato	0,6
Toluene	9,2
n Butil Acetato	10,8
Xileni isomeri	15,0
Cicloesanone	0,7
TOTALE SOV	67,9

Nota: l'analisi gascromatografica non ha consentito di individuare i monomeri reattivi presenti a causa della scarsa volatilità di queste sostanze.

Determinazione analitica del residuo secco dei prodotti vernicianti utilizzati

Nei prodotti vernicianti ad indurimento fotochimico sono presenti dei monomeri reattivi che reagiscono chimicamente con le resine durante la fase di essiccazione. Anche in questo caso, il residuo secco reale di questi prodotti dipende dalla quantità totale di solventi presenti e dalla quantità di monomeri che evapora durante il processo di essiccazione che dipende dal tipo di processo utilizzato. Solo prove dirette, come quelle descritte nelle pagine precedenti, con un determinato prodotto verniciante applicato con un certo impianto possono fornire dati attendibili per la determinazione del residuo secco di questi prodotti.

Per tale determinazione tre manufatti sono stati completamente rivestiti con una pellicola di alluminio.

I manufatti sono stati normalmente inseriti all'interno della linea di verniciatura, subito dopo la verniciatura il pannello è stato estratto, pesato e quindi inserito nuovamente in linea per la completa essiccazione prima ad aria calda poi sotto le lampade UV.

Le sperimentazioni sono state eseguite utilizzando i prodotti vernicianti e i sistemi di applicazione in uso per la verniciatura dei manufatti e le stesse condizioni ambientali di lavoro.

I dati sperimentali ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

N° provino	Peso Alluminio g	Al con PV essiccato applicato g	Solo PV secco in g	PV umido applicato determinato sperimentalmente g	% Residuo Secco del PV
AI 1	12,2	20,3	8,1	19,1	42,41
AI2	10,4	18,7	8,3	18	46,11
AI3	9,7	18,1	8,4	19,3	43,52
Valore medio					44,01

Sperimentazioni eseguite presso il laboratorio chimico del CATAS

Sul prodotto verniciante poliestere descritto nel paragrafo precedente sono state eseguite, presso il laboratorio chimico del CATAS, diverse sperimentazioni allo scopo di evidenziare la variabilità del valore del residuo secco di questi prodotti in relazione alle diverse condizioni ambientali.

Le sperimentazioni sono state eseguite su una miscela di prodotto verniciante appositamente preparata come descritto di seguito:

- 100 parti di fondo poliestere POA;
- 2 parti di iniziatore (con residuo secco sperimentale = 0);
- 2 parti di sale metallico (con residuo secco sperimentale = 6.9%).

Il prodotto verniciante così formulato è stato analizzato tal quale senza subire diluizioni.

Le sperimentazioni sono state eseguite in differenti condizioni ambientali (temperatura ed umidità relativa). Le sperimentazioni sono state ripetute con differenti metodiche analitiche sia riponendo il prodotto verniciante all'interno di un contenitore completamente aperto sia all'interno di un contenitore chiuso sul quale è stato praticato un foro. I risultati sperimentali ottenuti sono descritti di seguito:

Sperimentazione A:

Condizioni: stufa ventilata T = 20 °C ed u.r. = 65 %

<i>Risultati sperimentali</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 20 °C ed u.r. = 65%</i>	<i>% di residuo secco dopo 4 ore T = 100 °C</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 100 °C</i>
<i>Contenitore aperto</i>	83,45%	79,09 %	
<i>Contenitore chiuso (con foro)</i>	93,94%	80,00%	78,60%

Sperimentazione B:

Condizioni: stufa ventilata T = 23 °C ed u.r. = 50 %

<i>Risultati sperimentali</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 23 °C ed u.r. = 50%</i>	<i>% di residuo secco dopo 4 ore T = 100 °C</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 100 °C</i>
<i>Contenitore aperto</i>	87,21%	82,30%	
<i>Contenitore chiuso (con foro)</i>	97,61%	88,50%	86,70%

Sperimentazione C:

Condizioni: stufa ventilata T = 50 °C

<i>Risultati sperimentali</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 50 °C</i>	<i>% di residuo secco dopo 4 ore T = 100 °C</i>	<i>% di residuo secco dopo 24 ore T = 100 °C</i>
<i>Contenitore aperto</i>	91,30%	88,22%	
<i>Contenitore chiuso (con foro)</i>	97,84%	94,14%	91,54%

I dati sperimentali dimostrano come il valore del residuo secco dei prodotti vernicianti poliestere sia strettamente dipendente dalle condizioni ambientali dettate, presso gli impianti di verniciatura, dalle condizioni di applicazione ed essiccazione e in laboratorio dalla temperatura ed umidità relativa e dalle modalità di preparazione del provino.

In questo caso particolare il prodotto verniciante non diluito si distribuisce meno nella capsula determinando una minor superficie di contatto con l'aria per l'evaporazione dei solventi. La superficie di contatto per l'evaporazione è notevolmente inferiore per il contenitore al quale è stato applicato solamente un foro, ciò determina un valore del residuo solido notevolmente superiore.

Da notare come, prove effettuate con temperature differenti, diano diversi risultati, questo risultato rappresenta un'ulteriore conferma che le sperimentazioni, presso i siti aziendali, devono essere ripetute in relazione alle differenti condizioni climatiche e con diverse stagionalità.

Sperimentazioni presso l'azienda 2

Le sperimentazioni descritte di seguito sono state eseguite presso un'azienda che produce mobili descritta dettagliatamente nelle pagine precedenti.

I locali dove avvengono le operazioni di verniciatura sono di seguito descritti:

- Linea semiautomatica UV per le lavorazioni in serie.
- Principali passaggi lungo la linea di verniciatura:
applicazione tinta con rullo; applicazione eventuale isolante con rullo; giostra per applicazione tinta sul classico; tunnel per asciugatura della tinta; stuccatrice; lampade UV; levigatrice; lampade UV; isolante; levigatrice (spazzolatura; cabina velatrice a due teste; forno di asciugatura a caldo; lampade UV; baby (solo per poro aperto); forno asciugatura utilizzato solo nella stagione invernale; scarico e stoccaggio a magazzino.

In particolare, le sperimentazioni sono state eseguite per la mano di finitura nella velatrice finale con, a seguire, tunnel di appassimento ad aria calda, prima, e lampade UV, dopo come schematizzato di seguito.

Caratteristiche Impianto	Modalità	Tipologia	Note
Sistema di applicazione	Linea automatica	Velatrice	
Sistema di essiccazione	Linea automatica	Tunnel di appassimento + tunnel di essiccazione	Primo appassimento: tunnel con forno ad aria calda; T = 40°C . Durata: t = 4' 33" Essiccazione: lampade appassimento + lampade UV. T = 55°C. Durata: t = 6' 51"

La sperimentazione è stata eseguita con le modalità operative descritte precedentemente verniciando solamente il fronte di una superficie piana con sistema di applicazione a velo.

Per la sperimentazione è stato utilizzato un prodotto di finitura opaco, poro aperto poliestere UV. Il prodotto verniciante all'applicazione utilizzato è costituito dai seguenti componenti: parte A (% SOV: 53% e % RS: 47%), diluente rapido (%SOV 100%), catalizzatore (%SOV 100%).

Il residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione utilizzato, è stato determinato sperimentalmente presso il laboratorio chimico del CATAS secondo la norma UNI EN ISO 3251:2005 ed è risultato pari a 35% (valore medio).

Il prodotto verniciante all'applicazione è stato analizzato con analisi gas cromatografia secondo la norma UNI EN ISO 11890-2:2007. I risultati sperimentali sono descritti di seguito.

Analisi gas cromatografia della composizione solventi del prodotto verniciante all'applicazione utilizzato nel corso delle sperimentazioni

Composizione (% di solventi da analisi)	% in peso
Acetone	1,4
Etil Acetato	44,8
Isobutil Acetato	6,3
Toluene	19,1
n - Butil Acetato	5,4
Xileni Isomeri	6,3
Totale solventi	83,2
Stirene	16,8

Sperimentazioni eseguite per la determinazione del residuo secco sperimentale

Le sperimentazioni sono state eseguite con metodologia descritta nelle pagine precedenti. I risultati sperimentali sono descritti di seguito:

Campioni verniciati_denominazione	Peso Al (g)	Peso Pannello + Al (g)	Peso Pannello + Al subito dopo velo (g)	Vernice liquida applicata (g)	Vernice liquida applicata per unità superficie (g/m²)
A	15,1	1535,8	1553,9	18,1	72,4
B	15,3	1560,2	1578,7	18,5	74
C	14,7	1600,5	1619,3	18,8	75,2
D	15,5	1539,4	1558,2	18,8	75,2
E	16,1	1584,3	1602,4	18,1	72,4
				media	73,84

La quantità media di prodotto verniciante applicata su m² di superficie è pari a 73,8 g (il valore dichiarato dall'operatore è pari a 64 g).

Denominaz. Campione	Dopo prima uscita solventi (g) Pannello + Al + film vernice	Al + film vernice essiccata (g)	Secco (g)	Secco per unità di superficie (g/m ²)	Calcolo RS sperimentale (%)
A	-	23	7,9	31,6	43,6
B	1566	22,8	7,5	30	40,5
C	1607	22,4	7,7	30,8	41,0
D	-	22,8	7,3	29,2	38,8
E	1590	23,5	7,4	29,6	40,9
				media RS	41,0

Sulla base dei dati raccolti si evince come il residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione ricavato da sperimentazioni in linea sia pari al 41% (valore medio).

Determinazione della percentuale di stirene che prende parte alla reazione

Su tre campioni è stato monitorato il rilascio dei solventi nel tempo lungo la linea di applicazione e di essiccazione.

Le fasi della sperimentazione sono di seguito descritte:

- Inserimento dei provini prima del velo (pannelli rivestiti con pellicola di alluminio prepesata).
- Applicazione della vernice tramite velo nelle normali condizioni di lavorazione.
- Pesata dei provini appena verniciati.
- Inserimento dei provini nel tunnel di appassimento (T = 40°C; durata passaggio 4 minuti e 33 secondi).
- Introduzione dei provini nel tunnel dove avviene l'essiccazione e la reazione fotochimica di polimerizzazione con lampade UV (durata passaggio in tunnel: 6' 51").
- Pesata finale dell'alluminio con il prodotto verniciante secco.

Il valore medio del residuo secco del prodotto verniciante all'applicazione, determinato in laboratorio secondo la norma UNI EN ISO 3251:2005, è risultato pari a 35,44% e quindi la percentuale di SOV corrispondente pari a 64,56%.

Dalle sperimentazioni in linea emerge come la percentuale media di solvente organico volatile contenuta nel prodotto verniciante all'applicazione sia pari a 59,03%.

Dalla differenza di questi valori (64,56 - 59,03) emerge come la parte di stirene che prende parte alla reazione e che non evapora come solvente è pari al 5,53%.

Dalla conoscenza della quantità di stirene contenuta nel prodotto verniciante (16,8%) è possibile calcolare che la percentuale di stirene che prende parte alla reazione è pari al 33%.

Anche in questo caso i consumi aziendali variano considerevolmente nell'ipotesi che venga considerato il reale residuo secco dei prodotti vernicianti all'applicazione, nel caso specifico l'azienda, per la redazione del Piano di Gestione dei Solventi, ha erroneamente considerato una percentuale di stirene reattivo pari al 100%.

Alcuni dati delle aziende produttrici di prodotti vernicianti

Presso laboratori chimici di aziende produttrici di prodotti vernicianti clienti del CATAS sono state eseguite le sperimentazioni di seguito descritte.

Altri dati sperimentali ricavati presso laboratori di aziende produttrici di prodotti vernicianti sono descritti nella tabella seguente.

<i>Tipi di prodotto</i>	<i>% solvente organico volatile da scheda di sicurezza</i>	<i>% di stirolo nel prodotto</i>	<i>% stirolo evaporato dal film</i>	<i>% solvente organico volatile reale</i>
<i>Poliesterino bianco a spruzzo</i>	24	17	3	10
<i>Poliesterino trasparente a spruzzo</i>	43	30	9	22
<i>Poliestere paraffinato a velo</i>	44	41	10	13
<i>Poliestere paraffinato a spruzzo</i>	56	49	17	24
<i>Stucco UV poliestere rullo reverse</i>	22	20	2	4
<i>Intermedio UV poliestere a velo</i>	38	34	15	19
<i>Lucido UV a velo</i>	40	39	20	21

7.3 - Conclusione

Si può notare come le aziende produttrici di prodotti vernicianti dichiarino una % di stirene che prende parte alla reazione superiore rispetto a quella determinata con le sperimentazioni, ciò porta spesso le aziende a sottostimare il solvente utilizzato nei cicli di lavorazione.

Per poter utilizzare un dato statistico sarebbe necessario acquisire un enorme numero di dati (al variare degli impianti, dei manufatti, dei prodotti e delle condizioni ambientali e climatiche).

Sperimentazioni dirette, facilmente eseguibili presso ciascun sito aziendale, possono consentire di ottenere dati certi, utilizzabili per la redazione del Piano di Gestione dei Solventi.

Come precedentemente evidenziato, si ribadisce che, conoscendo nei dettagli il percorso dei solventi organici utilizzati nei cicli di verniciatura implementati all'interno dei siti aziendali, sulla base di sperimentazione eseguibili dalle imprese presso le proprie linee di verniciatura, è potenzialmente possibile, per le aziende che adottano un piano di riduzione, calcolare, secondo le prescrizioni del Piano di Gestione dei solventi, l'emissione totale senza effettuare le misurazioni a camino nel modo seguente:

Emissione totale = I1 (solventi in ingresso) – O5 (solventi persi per reazioni) – O6 (solventi nei rifiuti) – O7 (solventi venduti) – O8 (solventi recuperati ma non riutilizzati nel processo).

Naturalmente questa metodologia di calcolo deve essere accettata dall'autorità competente.

Capitolo 8 – Studio di prodotti vernicianti alternativi. Le vernici a ridotto contenuto di solventi: gli aspetti pratici le prestazioni

8.1 - La normativa di riferimento

La norma UNI 11216 - Mobili domestici - Requisiti prestazionali delle superfici a base di legno verniciate, pubblicata nel 2006 dalla commissione mobili dell'UNI, recepisce integralmente il metodo Unichim 1880, che prescrive i "requisiti prestazionali delle superfici a base di legno verniciate" per uso domestico.

La norma stabilisce i requisiti minimi delle superfici verniciate di mobili in legno per uso in ambiente interno e specifica i criteri di valutazione per definire in modo univoco la qualità di un film di vernice sottoponendolo a diverse prove di resistenza.

Di seguito vengono descritte le prove di laboratorio specificate nella norma, i requisiti prestazionali richiesti e il confronto dei risultati sperimentali delle prove di laboratorio effettuate sui cicli di verniciatura alternativi.

8.2 - La "conformità" delle superfici dei mobili

La norma UNI 11216 ha avuto origine nella commissione Unichim sui prodotti vernicianti per il legno come metodo n° 1880 essendo stato successivamente adottato ufficialmente come norma UNI dalla commissione mobili di codesto ente. La definizione di un documento di questo tipo è stata sollecitata da una duplice esigenza espressa dal mercato:

- poter scegliere le prove più appropriate per caratterizzare la superficie verniciata di un mobile in funzione della sua destinazione d'uso;
- stabilire quando i risultati ottenuti possono essere considerati adeguati alle esigenze del consumatore.

Questa norma rappresenta una novità nel settore. Bisogna infatti rammentare che in passato la "filosofia" di molte norme UNI ed EN era soprattutto quella di definire dei metodi di prova che fossero ripetibili e riproducibili, ma senza individuare dei requisiti.

Le norme rappresentavano sostanzialmente degli "strumenti" che potevano essere utilizzati liberamente dal mercato a seconda delle esigenze.

Dato l'impiego abbastanza limitato e comunque relativamente schematizzato, come nel caso di capitoli o di contestazioni, il principio citato non creava particolari problemi. Le norme erano certamente inferiori come numero e per lo più utilizzate da "esperti" del settore.

Negli ultimi anni si è tuttavia osservata una notevole diffusione nell'impiego delle norme in conseguenza di vari fattori anche relativi alle esigenze di qualificazione interna ed esterna dei prodotti.

Il loro numero e la loro specializzazione è anche cresciuta.

Questa nuova situazione ha fatto indiscutibilmente accrescere l'esigenza di disporre, accanto ai metodi di prova, anche di parametri di riferimento per valutare i risultati ottenuti.

A livello europeo ci sono oramai diversi esempi di impostazioni normative di questo tipo. Basta considerare le norme che riguardano i pavimenti come la UNI EN 13329 Pavimenti di laminato e/o nobilitato - Specifiche, requisiti e metodi di prova. Anche per le caratteristiche dei pannelli rivestiti con carte melamminiche sono state recentemente pubblicate due norme che riguardano metodi di prova (EN 14323) e relativi requisiti (EN 14322). La filosofia "prova/requisito" si sta quindi rapidamente diffondendo e non a caso, in riferimento alle superfici dei mobili, il gruppo di lavoro 7 (superfici) del comitato tecnico 207 (mobili) è attualmente impegnato a ricercare delle possibili convergenze su requisiti da tradurre in un documento condiviso.

Frattanto è stata pubblicata la norma UNI 11216 che si propone di rappresentare un punto di riferimento italiano sui requisiti delle superfici verniciate di mobili domestici.

La norma è costituita fondamentalmente da tre tabelle in dipendenza dell'ambiente di utilizzo:

- cucina;
- bagno;
- soggiorni e camere.

Per ogni ambiente, le superfici dei mobili sono state quindi divise in superfici orizzontali e superfici verticali ipotizzando che le prime siano generalmente sollecitate più severamente delle seconde.

Per stabilire quali prove adottare è stato utilizzato il criterio di considerare la prevedibile sollecitazione dei mobili nell'uso reale.

Ad esempio la resistenza al calore, che simula l'apposizione di un corpo caldo sulla superficie di un mobile, è stata esclusa per le superfici verticali mentre è stata considerata, con diversi livelli di severità, per quelle orizzontali in funzione dei vari ambienti; più severa per la cucina dove le possibilità di contatto con corpi caldi sono numerose, più blanda per le camere da letto dove al massimo si può pensare all'effetto di una tazza di caffè caldo appoggiata sul comodino.

Oltre a rappresentare una novità nei suoi principi, la norma UNI 11216 è stata pubblicata in un momento delicato per il settore del mobile nel corso del quale molte aziende stanno ricercando e sperimentando nuovi cicli di verniciatura in risposta alla limitazione delle emissioni di solventi imposta dalle nuove leggi in materia ambientale.

Il presente capitolo può quindi essere considerato un importante punto di riferimento in questa delicata situazione nella quale adeguate valutazioni e opportune scelte sono certamente determinanti per il futuro di tutto il comparto.

8.3 – Le vernici per arredamento interno: la ricerca e le soluzioni delle aziende produttrici di prodotti vernicianti

In questo paragrafo viene descritta la “buona pratica” per la verniciatura all'acqua di manufatti in legno. Si tratta di considerazioni tecniche derivanti dalla conoscenza su questi prodotti e dalle esperienze pratiche desunte in particolare dai corsi organizzati dal CATAS su questi temi.

8.3.1 - Operazioni preliminari alla verniciatura

La verniciatura con prodotti a base acquosa deve tenere in particolare considerazione che alcune operazioni preliminari vengano svolte con procedure idonee al successivo contatto con l'acqua contenuta nelle vernici. In modo particolare si deve porre particolare attenzione alle seguenti operazioni:

L'incollaggio dei piallacci

L'acqua al contrario dei solventi organici è molto affine al legno che, in conseguenza del suo assorbimento, tende ad aumentare le proprie dimensioni. Se il piallaccio non è ben incollato al supporto questo aumento dimensionale si traduce nella formazione di vesciche e bolle.

Per questa ragione, prima di iniziare ad applicare prodotti vernicianti all'acqua, è bene verificare il processo di incollaggio controllando che:

- la miscelazione della colla ureica con l'acqua sia fatta nelle giuste proporzioni (la colla deve essere adeguatamente dispersa per bagnare bene sia il piallaccio sia il supporto);
- la spalmatura deve essere uniforme ed omogenea su tutta la superficie (controllare lo stato e la manutenzione dei rulli spalmatori);
- il tempo aperto deve essere rigorosamente rispettato;
- la superficie deve essere perfettamente piana (se c'è una leggera depressione il piallaccio non verrà pressato uniformemente ed in quel punto non si incollerà);
- la colla deve essere resistente all'acqua (le colle ureiche lo sono sempre);
- nel caso di utilizzo di colle ureiche la temperatura della pressa deve essere effettivamente adeguata a quella prescritta dal produttore (80°C).

Altro aspetto da tenere in considerazione riguarda la possibile formazione di punti bianchi sulla superficie verniciata. Tale problematica nasce dal fatto che spesso, per evitare eccessivi problemi di trasudamento, le colle ureiche vengono additivate con degli addensanti a base di farine vegetali. In alcuni casi queste farine formano nella miscela dei piccoli grumi che, rimanendo sotto il piallaccio, impediscono l'incollaggio in quel punto. Quando verrà poi verniciato ad acqua, in funzione delle dimensioni del grumo, si potrà determinare la formazione di una bolla o di un punto bianco sulla superficie.

Alcuni adesivi ureici vengono appositamente formulati proprio per evitare la formazione di grumi.

Un altro problema tipico dell'incollaggio è la trasudazione della colla attraverso i pori nei piallacci di latifoglia. Questo difetto è particolarmente visibile se il manufatto viene successivamente colorato e quando i pori sono molto grossi. La gravità estetica di questo problema è acuita dal fatto che non ci sono rimedi e quindi si deve procedere ad una ricostruzione del pezzo.

Nel caso di piallacci con pori grossi è utile tingere la colla con pigmenti nella colorazione simile a quella del supporto tinto.

Nel caso si vogliano utilizzare adesivi vinilici bisogna impiegare una colla resistente all'acqua che sia dunque almeno in classe D3 secondo la norma EN 204.

Carteggiatura del grezzo

La maggior parte dei problemi legati alla sostituzione delle vernici al solvente con vernici ad acqua è dovuta ad una cattiva preparazione del grezzo, che si evidenzia con una superficie ruvida con sollevamento del poro, del pelo o della venatura. La soluzione di questi problemi viene a volte ricercata applicando una mano in più di fondo o procedendo a carteggiature spinte. La soluzione di questi problemi spesso sta alla base del processo. E' quindi opportuno verificare attentamente la carteggiatura per evitare che il legno venga schiacciato, lucidato o ci sia una eccessiva sfibratura della superficie. Per evitare questi problemi è necessario:

- utilizzare abrasivi non consumati;
- finire con grane 150 -180 (non più grosse);
- applicare una pressione limitata.

In generale si ottengono migliori risultati nella carteggiatura del massello piuttosto che del piallaccio in quanto quest'ultimo spesso contiene delle microlesioni e sfibrature dovute alla sfogliatura, che vengono maggiormente evidenziate con la verniciatura ad acqua.

Le grane consigliate e la procedura per ottenere il miglior risultato, sono diverse a seconda si tratti di masselli o di piallacci. Quando si verniciano ad acqua dei legni di latifoglia, specialmente rovere e castagno, è facile notare un sollevamento del bordo del poro.

Per ridurre questo difetto le nuove levigatrici sono equipaggiate con un primo nastro per la levigatura trasversale.

La carteggiatura trasversale rispetto alla venatura riduce di molto il sollevamento del poro nelle latifoglie e della venatura nelle conifere. Un buon risultato si ottiene anche facendo un'ultima passata sul legno con una levigatrice roto-orbitale.

Nelle fresature o in mancanza di una macchina equipaggiata con nastro trasversale, per ottenere un buon risultato su legno massello, può essere utile umidificare leggermente il legno prima della carteggiatura finale.

A tal fine si può impiegare una spugna o una leggera nebulizzazione. Le fibre schiacciate tendono così a sollevarsi aumentando la "ruvidezza" superficiale. Dopo circa 20 minuti si può carteggiare passando con un unico nastro, della grana più sottile in appoggio senza asportare materiale.

La carteggiatura dei legni di conifera è più semplice ma vanno evitate le pressioni eccessive per evitare lo schiacciamento della superficie (asportazione max 0,2 mm per passata) che poi può manifestarsi come sollevamento non uniforme della venatura.

La scelta delle grane è diversa in funzione che si debba carteggiare un piallaccio o un massello:

- Sgrossatura: grana 80 – 100.
- Carteggiatura trasversale: grana 100 – 120.
- Carteggiatura longitudinale: grana 120 – 150.

Nel caso della laccatura di pannelli MDF è opportuno evidenziare che, quando i pannelli sono realizzati con fibre di alcune particolari tipologie di latifoglie, possono essere soggetti alla fuoriuscita di estrattivi colorati quando verniciati con prodotti a base acqua. Per limitare questo problema è opportuno scegliere cicli di verniciatura con prodotti all'acqua bicomponenti o fotoreticolabili.

I pannelli MDF "light" o "ultralight", a minor densità rispetto agli MDF, presentano generalmente un maggior potere assorbente e quindi sono meno adatti ad essere verniciati con prodotti all'acqua.

Nei manufatti di dimensioni maggiori, tipo porte o armadi, si tende ad utilizzare MDF "light" o "ultralight" per ridurre il peso. La verniciatura all'acqua su questi supporti è estremamente difficile perché necessita di numerose mani di fondo per poter ottenere un risultato soddisfacente. In questo caso è bene dunque considerare l'utilizzo di un ciclo misto con un fondo a solvente.

Normalmente i pannelli in MDF sono commercializzati calibrati con grana 150. È necessario prima di verniciarli, carteggiarli con grana 280, con particolare attenzione alle fresature.

Nella carteggiatura con macchine automatiche si devono usare i seguenti parametri:

- Velocità del tappeto: 10 metri / minuto.
- Velocità dei nastri: 15 metri / secondo.

La superficie esterna dei pannelli MDF è sempre più densa e coesa rispetto alla parte centrale e quindi meno soggetta al sollevamento delle fibre.

8.3.2 – Aspetti rilevanti della verniciatura all'acqua da tenere in considerazione

Tinteggiatura del legno

La tinteggiatura del legno ha lo scopo di mantenere nel tempo il suo colore originale. Utilizzando vernici ad acqua questa operazione diventa ancor più importante anche per ottenere un maggior ravvivamento del legno. I coloranti con cui viene tinto il legno devono però essere insolubili in acqua altrimenti, durante l'applicazione del fondo, potranno tendere a sciogliersi ed inglobarsi nella vernice. Questo problema comporta:

- perdita di trasparenza (superfici torbide e poco profonde);
- sanguinamenti, specie intorno ai pori;
- in caso di colature, la vernice trasparente, tonalizzata con il colorante creando delle cordonature più scure non più recuperabili.

Anche una successiva carteggiatura non sarà in grado di eliminare il difetto.

La scelta e la regolazione delle attrezzature e degli apparecchi per la spruzzatura

Le vernici ad acqua sono più viscosi delle vernici al solvente e quindi richiedono maggior pressione per una buona atomizzazione. In generale si preferisce utilizzare pompe ad alta pressione con pistole airless perché più maneggevoli e con una buona efficienza di trasferimento.

Per ottenere una buona spruzzatura con le vernici ad acqua è molto importante che il prodotto sia ad una temperatura di 20-30°C affinché risulti fluido. Nelle applicazioni industriali per avere sempre la temperatura adatta è quindi utile disporre di un pre-riscaldatore.

Tutte le attrezzature che vengono utilizzate devono essere in acciaio inox o in plastica. Sono da evitare l'ottone o alluminio che possono causare cambiamenti di colore, l'impolmonimento delle vernici e la precipitazione dei coloranti.

Parametri di essiccazione: temperatura ed umidità

Negli ambienti dove si applicano le vernici normalmente c'è un grande ricambio d'aria e le temperature in inverno possono risultare basse. Quando si utilizzano vernici ad acqua la temperatura e l'umidità devono essere attentamente controllate. I parametri da rispettare sono i seguenti:

l'umidità relativa nell'ambiente di essiccazione deve essere compresa tra il 40 e il 70%. Con umidità inferiori l'essiccazione è troppo rapida e può causare inglobamento d'aria e buccia superficiale. Con umidità maggiori si ha una essiccazione troppo lenta che contrasta con le esigenze di produttività potendo anche inglobare acqua nel film di vernice.

In generale modificare l'umidità dell'ambiente è molto difficile. Più facile è gestire la temperatura ricordando che l'umidità relativa si abbassa all'aumentare della temperatura.

La temperatura minima della vernice, del supporto e dell'ambiente deve essere superiore a 15°C.

Se la temperatura è troppo bassa le particelle di resina costituenti la dispersione non si fondono tra loro e nel film di vernice si assiste alla formazione di crepe e sbiancamenti. Per essiccare la vernice ad acqua è opportuna una adeguata ventilazione per allontanare rapidamente l'acqua in evaporazione dalla vernice.

Verniciando con prodotti ad acqua è dunque necessario tenere sempre in considerazione la ventilazione e creare sempre quando possibile un "ricambio d'aria" nella sala di essiccazione per favorire l'abbassamento dell'umidità.

Quando si depositano i pezzi ad essiccare sui normali carrelli per movimentazione si deve tenere in considerazione che l'aria deve circolare intorno ad ogni pezzo, per cui è bene saltare uno spazio tra uno strato e l'altro. Se non si usa questa attenzione, ad essiccazione avvenuta, si possono avere delle opacità diverse su di una faccia rispetto all'altra

I forni di essiccazione

Coloro che dispongono di forni di essiccazione potranno utilizzare le vernici ad acqua tenendo dei tempi di essiccazione molto simili a quelli che avevano per le vernici al solvente ed aumentando solo il flusso di aria.

In generale la temperatura massima nello stadio centrale deve essere attorno ai 40-45 °C.

Il comportamento delle miscele bicomponenti

Una caratteristica completamente diversa tra le vernici ad acqua e quelle tradizionali a solvente riguarda il comportamento delle miscele vernice con induritore. In taluni casi le vernici ad acqua, trascorso il pot - life

(periodo di vita utile della miscela) non aumentano la viscosità come capita invece alle vernici al solvente ma mantengono più o meno i valori di viscosità iniziali. Questo non significa che possono essere comunque utilizzate poiché l'induritore, dopo un certo tempo, tende a perdere di efficacia magari reagendo con l'acqua (isocianati) e producendo eventualmente dei piccoli grumi che si noteranno nel film asciutto. Trascorso quindi il tempo utile, come riportato nella scheda tecnica, il prodotto rimasto deve comunque essere eliminato; è dunque necessario preparare solo la quantità di prodotto che si può applicare rispettando il tempo utile.

La carteggiatura del fondo

Le vernici ad acqua sono generalmente più plastiche delle vernici al solvente per cui, per carteggiarle bene, è necessario utilizzare una specifica carta abrasiva. Normalmente si ottengono buoni risultati con carte al carburo di silicio, con cosparsione aperta, e, se possibile, antistatiche e stearate.

In generale il mobiliere deve ricordarsi di chiedere sempre al fornitore una carta specifica per vernici ad acqua. Se la carta non è adatta (non spaziata e non stearata) può intasarsi facilmente, la carteggiatura diventa difficile, si "lucida" il supporto con difficoltà di aggrappaggio della mano di finitura e si ha un maggior dispendio di energia e di tempo.

Le grane

Per la carteggiatura manuale del fondo se deve usare una grana 280-320; è necessario applicare sempre un supporto all'abrasivo che altrimenti lavora solo sotto i polpastrelli, con una superficie di contatto limitata.

In questo modo si asporta poco materiale e si rovina subito la carta. Per la carteggiatura con macchine portatili si devono usare solo apparecchiature dotate di aspirazione possibilmente specifiche per vernici termoplastiche. Appartengono a questa categoria le macchine che lavorano con basse velocità ed orbite grandi. In questo modo associano ad una elevata asportazione un basso sviluppo di calore e quindi la carta rimane più a lungo pulita. Per la carteggiatura con macchine automatiche le apparecchiature possono essere impiegate senza pericolo di sfondamento del film solo se dotate di tampone sezionale elettronico e rullo finale in gomma tenera.

In generale ricordarsi sempre di lavorare con basse pressioni e basse velocità per non scaldare la polvere di carteggiatura e non intasare la carta.

Dal punto di vista pratico si procede nel seguente modo:

- misurare lo spessore del pannello,
- regolare la macchina esattamente su quello spessore e verificare che non ci sia asportazione di materiale,
- in funzione della verifica abbassare l'altezza del rullo di un decimo di millimetro.

Per avere una lunga durata del nastro è importantissimo che venga soffiato per evitare intasamenti da polvere di carteggiatura.

In generale la carteggiatura fatta dopo 24 ore dall'applicazione è quella che da i migliori risultati perché la vernice è perfettamente essiccata e quindi più facile da asportare senza intasamento della carta e perché non si ha il calo fisico successivo alla carteggiatura che rovina la planarità delle superfici.

L'accatastamento

L'accatastamento delle superfici verniciate ad acqua (specie se di tipo monocomponente) è normalmente più problematico rispetto alle vernici al solvente a causa della termoplasticità delle resine utilizzate.

In pratica le superfici se sottoposte ad alte pressioni, in concomitanza con una essiccazione non perfetta e/o alte temperature, possono incollarsi reciprocamente.

In generale sono utili le seguenti precauzioni:

- prima di sovrapporre le superfici controllare che siano ben essiccate,
- nelle produzioni industriali usare vernici specifiche anti-blocking,
- inserire tra le superfici una striscia di polietilene.

È utile ricordare che oltre al problema del blocking, le superfici dei manufatti verniciati ad acqua possono segnarsi se vengono a contatto con il PVC.

Il PVC potrebbe infatti rammollire la superficie e segnare anche su vernici perfettamente essiccate. Per evitare difetti fare attenzione che il PVC non sia presente come protezione sui nastri trasportatori e sulle rastrelliere se i pezzi vi rimangono in appoggio per più di 24 ore.

Pulizia delle attrezzature

Le vernici ad acqua allo stato liquido sono incompatibili con i solventi organici. Se vengono inavvertitamente miscelati (ad esempio durante le operazioni di pulizia) la vernice ad acqua si raggruma e forma un residuo vischioso e appiccaticcio difficile da rimuovere.

Per la pulizia delle apparecchiature si usa normalmente acqua.

Per una pulizia più approfondita è necessario usare un solvente a base d'alcool.

Nel passaggio da solvente ad acqua, la procedura di pulizia consigliata è la seguente:

- pulire prima con diluente di pulizia,
- lavare successivamente con acetone,
- risciacquare con acqua normale.

Nel passaggio da acqua a solvente, la procedura di pulizia consigliata è inversa:

- prima pulire con acqua normale,
- successivamente si lava con acetone,
- risciacquare quindi con diluente di pulizia.

Dopo le operazioni di pulizia nasce il problema del trattamento delle acque di lavaggio. Per i cicli di verniciatura interamente a solvente, i solventi di pulizia possono essere recuperati tramite distillazione, mentre ciò non è possibile quando viene utilizzata anche acqua.

In caso di mancato recupero delle acque di lavaggio, queste devono essere trattate come rifiuto e conferite ad uno smaltitore.

Le ricerche condotte nell'ambito della ricerca hanno consentito di approfondire anche questi aspetti.

L'imballaggio dei pezzi verniciati

Di norma non ci sono problemi per l'imballaggio ma è comunque da evitare il contatto diretto con i film in pluriball e le pellicole ed i materiali contenenti PVC. Il PVC infatti può provocare dei segni lucidi sulla superficie specie nelle vernici che non sono perfettamente essiccate e se la permanenza è lunga.

Non presenta alcun problema invece l'imballaggio fatto con il polietilene espanso.

Si utilizza dunque questo materiale a diretto contatto con la superficie e si impiegano i film estensibili per bloccare meglio i pezzi.

8.3.3 – I difetti di verniciatura

L'ingrigimento del legno

L'ingrigimento del legno è un fenomeno che tende a manifestarsi con l'esposizione alla luce ed è abbastanza tipico delle vernici ad acqua. Il colore naturale del legno, se verniciato con prodotti all'acqua tende a sbiadire.

Questo fenomeno è dovuto al fatto che le vernici ad acqua sono tipicamente composte da dispersioni su base acrilica. Ne consegue che la protezione del legno al cambiamento di colore dovuto all'esposizione alla luce, è tendenzialmente inferiore rispetto alle normali vernici al solvente anche aggiungendo filtri UV. Per questa ragione quando si utilizzano prodotti a base acquosa è opportuno tingere il supporto.

La condizione minima è quella di aggiungere un colorante nella vernice di fondo e di finitura scegliendo una tonalità simile a quella del legno.

Estrattivi idrosolubili e supporti problematici

Oltre a cellulosa e lignina il legno contiene anche piccole quantità di sostanze particolari di diverso tipo, comunemente indicate con il nome di "estrattivi". Alla categoria degli estrattivi appartengono sostanze quali: le resine, i grassi, i tannini ed altre sostanze caratterizzate a volte da particolari colorazioni. Queste sostanze, che normalmente non interferiscono con le vernici a solvente, sono invece in grado di influenzare la filmazione o l'aspetto estetico delle vernici all'acqua. I problemi principali legati alla presenza di estrattivi sono i seguenti:

- problemi di essiccazione per cui nel film si notano delle piccole crepe (legni tipo Iroko);
- viraggio di colore per cui ad esempio il rovere assume tonalità tendenti al verde;
- formazione di macchie colorate particolarmente evidenti nell'applicazione di cicli trasparenti su rovere e sul larice dove, in particolare, è possibile notare la formazione di macchie puntiformi nere;
- problemi di macchie colorate nella laccatura chiara.

Questi fenomeni avvengono in seguito a reazioni chimiche degli estrattivi con i componenti delle vernici oppure perché gli estrattivi vengono disciolti dall'acqua e portati in superficie. Appartengono alla categoria dei legni che hanno estrattivi in grado di interferire con la verniciatura ad acqua le seguenti specie legnose: Frassino, Rovere, Castagno, Larice, Tulipier e Iroko.

La maggior parte dei problemi si manifestano tuttavia nelle colorazioni chiare o naturali. Se invece si tinge il legno con coloranti scuri o se viene applicata una laccatura in tinta scura, eventuali problemi estetici relativi a macchie, puntini, viraggi di colore ecc, sono tendenzialmente poco evidenti.

Volendo verniciare questi legni con prodotti ad acqua è opportuno applicare una prima mano di fondo isolante.

Scelta del prodotto verniciante (mono o bicomponente) a seconda delle situazioni di utilizzo

Le vernici ad acqua possono produrre film con prestazioni accettabili anche se monocomponenti, in dipendenza del tipo di impiego. I vantaggi di utilizzare un prodotto monocomponente sono schematizzabili nel seguente modo:

- non si deve miscelare i componenti;
- si può riutilizzare il prodotto non applicato;
- non esiste un tempo limite per l'utilizzo del prodotto (pot – life);
- l'overspray può essere recuperato.

Sulle superfici verticali che sono meno sollecitate in uso si può quindi valutare l'impiego di prodotti monocomponenti. Solo nelle parti orizzontali, come nel caso dei mobili e delle porte, dove i liquidi che aggrediscono le superfici possono fermarsi più a lungo e dove è maggiore il problema del graffio e dell'abrasione è utile dare una mano di finitura bicomponente o di tipo fotoreticolabile.

Nella pratica, considerando ad esempio il caso di una cucina, si ottengono i migliori risultati dando una mano di fondo e una di finitura monocomponente su tutte le superfici mentre la mano di finitura bicomponente può essere applicata solo sulle antine e sulle superfici orizzontali.

I legni scuri

Le vernici ad acqua, soprattutto quelle ad alta opacità, sono meno ravvivanti rispetto alle vernici al solvente. Questo effetto è meno evidente sui legni chiari mentre sui legni scuri tende a conferire un aspetto poco trasparente e profondo.

Per ottenere superfici adeguate su legni scuri anche con basse opacità, è opportuno usare una vernice con Gloss medio (Gloss 50) come fondo ed usare la vernice opaca (Gloss 10) solo come finitura.

Quando si usa una finitura opaca, per mantenere una buona trasparenza, non eccedere con i quantitativi (max 70-90 grammi) e non applicare mai 2 mani di vernice ad acqua altamente opaca (Gloss 10).

I punti di spillo

Le vernici ad acqua bagnano meno il legno rispetto alle vernici al solvente in conseguenza della maggior tensione superficiale di questa sostanza. Per questo motivo le vernici all'acqua "faticano" a penetrare nei pori di media dimensione particolarmente frequenti su legni di Noce, Tanganica, Rovere Castagno e Mogano.

In questi casi, è bene usare vernici specifiche di fondo-finitura appositamente formulate; in caso contrario è facile riscontrare, dopo l'essiccazione del fondo, la presenza di punti di spillo.

Per evitare questo fastidioso problema, particolarmente frequente se si usano fondi ad acqua tixotropici si deve applicare la vernice in uno strato molto sottile.

Un'alternativa ancor più valida per aumentare la bagnabilità ed evitare la formazione di punti di spillo anche con fondi tissotropici è quella di aggiungere alla vernice il 20-25% di un additivo specifico che diminuisce la tensione superficiale del prodotto.

La laccatura dell'MDF

La laccatura dell'MDF con prodotti ad acqua va considerata con molta attenzione.

L'MDF dovrebbe esser composto solo da legno completamente sfibrato. Succede però talvolta che si trovino anche dei mazzetti di fibre non scomposte che nella preparazione del pannello vengono compresse. Quando si applicano su tali supporti dei prodotti ad acqua, questi punti si sollevano e la superficie diventa scabrosa. Per pareggiarla si devono applicare più mani di fondo con varie carteggiature intermedie.

Per evitare la formazione di macchie derivante da estrattivi del legno, è opportuno impiegare fondi bicomponenti (od UV) se non addirittura ricorrere a cicli misti con applicazione di isolanti o fondi a solvente.

Il panno antistatico

Quando si carteggia il legno è facile indurre al supporto una carica elettrostatica. Di conseguenza si crea sul pannello un debole campo elettrico in grado di attrarre eventuali piccole particelle di polvere presenti nell'aria.

Per togliere questa carica elettrica dai pannelli prima dell'applicazione della mano di finitura, è sufficiente passarli con un panno antistatico che oltre ad eliminare il problema elettrico pulisce la superficie.

8.4 - Le prove di laboratorio eseguite dal CATAS

Presso il laboratorio chimico del CATAS sono state eseguite numerose prove su superfici verniciate con differenti cicli di verniciatura alternativi, all'acqua e a solvente, per confrontare le prestazioni delle superfici.

I campioni sono stati forniti da aziende produttrici di manufatti di legno.

I risultati sperimentali sono descritti di seguito.

Si riportano, i risultati delle prove effettuare relativi alle coppie di campioni tra loro confrontati.

Campiona A: Supporto MDF, due mani di laccato poliesterino a spruzzo per l'applicazione del fondo, carteggiatura, finitura laccato lucido poliuretano a spruzzo.

Campione B: Identico supporto, identico fondo, finitura a spruzzo pigmentata all'acqua.

	Camp.A	Camp.B
16 ORE		
H2O	5	5
1 ORA		
AMMONIACA	5	4
CAFFE'	5	2
ALCOOL	5	3
SODA	5	5
10SEC		
ACETONE	5	5
MATITA	F	B
QUADRETTATURA	0-0-0	0-0-0
CALORE UMIDO 55°	5	5
CALORE UMIDO 70°	5	4
LUCE	/	5

Commento: Il campione B è risultato particolarmente sensibile all'ammoniaca e all'alcool rispetto al campione A. Si nota anche lo scarsissimo risultato del caffè ricorrente in superfici laccate bianche.

Ottima la resistenza alla luce del campione B. Mentre scarsa la durezza superficiale del campione con finitura all'acqua (matita). Il ciclo all'acqua può comunque essere utilizzato per superfici verticali (esempio antine).

Campione C: Supporto carta imitazione frassino, isolante, fondo UV, finitura opaca UV.

Campione D: Identico supporto, identico fondo, finitura UV all'acqua opaca.

	Camp.C	Camp.D
16 ORE		
H2O	5	5
1 ORA		
AMMONIACA	5	2
CAFFE'	5	5
ALCOOL	5	5
SODA	5	1
10SEC		
ACETONE	5	3
MATITA	3H	F
QUADRETTATURA	0-0-0	1-0-0
CALORE UMIDO 55°	5	5
CALORE UMIDO 70°	5	5
LUCE	/	/

Commento: Il campione all'acqua presenta una migliore adesione rispetto a quello a solvente anche se la reazione alla soda e all'ammoniaca è critica. La matita presenta buoni risultati (paragonabili ai prodotti poliuretanic). Si nota come la finitura opaca all'acqua consenta di ottenere risultati prestazionali migliori rispetto alla finitura lucida (caso precedente).

Campione E: Campione impiallacciato rovere tinto wengè, poro aperto, fondo UV, finitura opaca all'acqua (con silice nanocomposito).

Campione F: Campione impiallacciato rovere tinto wengè, poro aperto, fondo UV, finitura opaca UV tradizionale, fondo UV.

	Camp.E	Camp.F
16 ORE		
H2O	2	5
1 ORA		
AMMONIACA	2	5
CAFFE'	5	5
ALCOOL	2	3
SODA	3	5
10SEC		
ACETONE	1	1
MATITA	B	F
QUADRETTATURA	1-0-0	2-1-0
CALORE UMIDO 55°	2	5
CALORE UMIDO 70°	2	4
LUCE	/	/

Commento: il supporto verniciato con ciclo all'acqua ha dato risultati scadenti.

Campione G: Pannello truciolare rivestito melamminico, tinta laccato caffè, isolante a rullo, fondo UV, finitura pigmentata a solvente.

Campione H: Pannello truciolare rivestito melamminico, tinta laccato caffè, isolante a rullo, fondo UV, finitura bicomponente all'acqua a spruzzo.

	Camp.G	Camp.H
16 ORE		
H2O	5	4
1 ORA		
AMMONIACA	5	4
CAFFE'	5	5
ALCOOL	5	3
SODA	5	3
10SEC		
ACETONE	3	3
MATITA	H	F
QUADRETTATURA	0-1-1	0-1-1
CALORE UMIDO 55°	4	4
CALORE UMIDO 70°	3	3
LUCE	/	/

Commento: In questo caso la resistenza al calore umido a 70 °C è scarsa per entrambi i cicli di verniciatura.

Campione I: Pannello truciolare rivestito melamminico, isolante a rullo, tinta, fondo UV, finitura bicomponente all'acqua a spruzzo laccato bianco.

Campione L: Pannello truciolare rivestito melamminico, isolante a rullo, tinta, fondo UV, finitura poliuretanica a spruzzo laccata bianco.

	Camp.I	Camp.L
16 ORE		
H2O	5	5
1 ORA		
AMMONIACA	4	5
CAFFE'	2	5
ALCOOL	4	5
SODA	5	5
10SEC		
ACETONE	4	3
MATITA	F	H
QUADRETTATURA	0-2-1	0-1-0
CALORE UMIDO 55°	4	4
CALORE UMIDO 70°	4	3
LUCE	5	5

Commento: La finitura a solvente evidenzia risultati prestazionali superiori rispetto alla finitura all'acqua. Tuttavia per la finitura all'acqua la prova del calore umido a 70°C risulta migliore.

Anche in questo caso il campione I ha buone prestazioni se utilizzato per superfici verticali.

Di seguito si riporta il confronto delle prestazioni di altri tre cicli di verniciatura. I pannelli verniciati sono stati forniti da un'azienda che effettua esclusivamente la verniciatura di manufatti di legno.

Campione M: Tinta fronte retro all'acqua, fondo all'acqua, levigatura, finitura trasparente opaca all'acqua UV. Impianti utilizzati: tinteggiatrice a giostra a 8 pistole convenzionali, asciugatura forzata a 40°C per 1 minuto, applicazione del fondo con sistema a spruzzo robotizzato (10 pistole Airmix), asciugatura forzata a 35°C in forno a tre stadi (30 minuti), passaggio sotto lampade UV.

Campione N: Tinta fronte a solvente e retro resinata all'acqua, fondo all'acqua, levigatura. Finitura trasparente opaca UV all'acqua. Le prove sono state eseguite sul fronte. Impianti utilizzati: tinteggiatrice a giostra. Per l'applicazione del fondo e della finitura vengono utilizzate tinteggiatrici con bracci alternativi con recupero del prodotto, l'essiccazione avviene all'interno di un forno a quattro stadi (90 minuti), le ante curve e sagomate vengono verniciate in bilancelle da carosello con spruzzatura manuale utilizzando il sistema Airmix.

Campione O: Applicazione del fondo fronte retro all'acqua laccato, decapè all'acqua sul fronte, applicazione della finitura opaca catalizzata sul fronte.

Impianti utilizzati: a carosello con spruzzatura manuale Airmix e asciugatura forzata a 30°C per 60 minuti.

Le prove di seguito descritte sono state effettuate sul fronte dei pannelli.

	Camp.M	Camp.N	Camp.O
16 ORE			
H2O	5	5	5
1 ORA			
AMMONIACA	5	5	4
CAFFE'	5	5	5
ALCOOL	5	5	3
SODA	5	5	5
10SEC			
ACETONE	4	5	3
MATITA	F	F	F
QUADRETTATURA	0-0-0	1-1-1	0-0-0
CALORE UMIDO 55°	5	4	4
CALORE UMIDO 70°	5	3	4
LUCE	3/4	4	5

Commento: I tre cicli descritti presentano prestazioni elevate soprattutto in relazione alla destinazione d'uso di questi pannelli (superfici verticali – antine). In particolare il campione M complessivamente è il migliore mentre il campione N si distingue per l'ottima resistenza alle macchie.

8.5 - Conclusioni

Le prove di laboratorio eseguite su supporti prelevati direttamente dalla produzione evidenziano come oggi esistono prodotti vernicianti all'acqua che possono, dal punto di vista prestazionale, sostituire quelli a solvente. Nonostante la prova di resistenza alle macchie e la prova della matita rimangano ancora punti deboli, tutti i campioni descritti nel paragrafo precedente, possono essere utilizzati in superfici verticali.

Non è stato possibile valutare gli aspetti estetici in quanto legati a criteri di valutazione troppo soggettivi.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento al dott. Paolo Ambrosi del colorificio Straudi – Divisione Adler per la documentazione fornita dalla quale è stato tratto il paragrafo inerente la preparazione dei supporti e alle aziende che hanno fornito i pannelli verniciati per l'esecuzione delle prove sulle superfici.

Capitolo 9 - Le emissioni a camino e le emissioni diffuse. La stima dell'incertezza delle misure analitiche

9.1 - Premessa

Al fine di dimostrare la conformità, la legislazione prescrive al produttore di elaborare, almeno una volta all'anno, un piano di gestione dei solventi o "bilancio di massa", redatto secondo delle particolari linee guida.

Il piano di gestione dei solventi prevede un costante monitoraggio di tutti gli elementi che concorrono alle "entrate" ed alle "uscite" di solventi nell'impianto.

Gli obiettivi del piano sono i seguenti:

- verificare e dimostrare la conformità ai valori limite delle emissioni;
- individuare le future opzioni di riduzione delle emissioni;
- mettere a disposizione del pubblico informazioni riguardanti consumi ed attività.

Il Piano Gestione Solventi prevede di monitorare sia le emissioni diffuse sia quelle convogliate.

Ciascuna realtà aziendale deve elaborare annualmente un bilancio di massa contemplando tutti gli "input" e gli "output" per un ciclo di verniciatura effettuando delle opportune determinazioni analitiche.

Gli "input" di solventi organici sono definiti come:

I1. la quantità in kg di solventi organici o la loro quantità nei preparati acquistati che sono immessi nel processo in un determinato intervallo di tempo (l'intervallo di tempo deve valere per tutte le variabili ed essere lo stesso); volendo considerare separatamente le vernici a solvente da quelle all'acqua, è possibile esprimere I1 come:

$$I_1 = Q1_s \left(\frac{100 - RS_s}{100} \right) + Q1_a \left(\frac{100 - RS_a}{100} \right)$$

dove Q1s è la quantità di vernici al solvente acquistata, RSs il residuo secco corrispondente, mentre Q1a è la quantità di vernici all'acqua acquistata, RSa il residuo secco corrispondente.

I2. la quantità di solventi organici recuperati e reimmessi come solvente nel processo.

Tutti gli "output" di solventi organici contemplati dal decreto sono descritti di seguito:

01. Emissioni negli scarichi gassosi;

02. Solventi organici scaricati nell'acqua, tenendo conto, se del caso, del trattamento delle acque reflue nel calcolare O5;

03. La quantità di solventi organici che rimane come contaminante o residuo nei prodotti all'uscita del processo;

04. Emissioni diffuse di solventi organici nell'aria. Ciò comprende la ventilazione generale dei locali nei quali l'aria è scaricata all'esterno attraverso finestre, porte, sfiati e aperture simili;

05. Solventi organici e composti organici persi a causa di reazioni chimiche o fisiche (inclusi ad esempio quelli distrutti mediante incenerimento o altri trattamenti di scarichi gassosi o acque reflue, o catturati, ad esempio mediante assorbimento, se non sono registrati ai punti O6, O7 o O8;

06. Solventi organici contenuti nei rifiuti raccolti; O6 è dato dalla quantità di rifiuti in kg (Q6) conferita allo smaltitore moltiplicata per la percentuale di solvente presente nel rifiuto (S6%):

$$O6 = Q6 \cdot \frac{S6}{100}$$

07. Solventi organici da soli o solventi organici contenuti in preparati che sono o saranno venduti come prodotto a validità commerciale;

08. Solventi organici contenuti nei preparati recuperati per riuso, ma non per riutilizzo nel processo, se non sono registrati al punto 07. 09. Solventi organici scaricati in altro modo.

Il piano di gestione dei solventi viene utilizzato per la verifica di conformità.

Le formule di calcolo previste dal Decreto sono descritte di seguito:

a) L'emissione diffusa è calcolata secondo la seguente formula:

$$F = I1 - O1 - O5 - O6 - O7 - O8 \quad \text{oppure} \quad F = O2 + O3 + O4 + O9$$

La determinazione delle emissioni diffuse, secondo il decreto, può essere eseguita mediante una serie breve, ma completa, di misurazioni e non deve essere ripetuta sino all'eventuale modifica dell'impianto, tuttavia il decreto non indica il metodo analitico per poter effettuare queste determinazioni.

La metodologia utilizzata dalle imprese prevede il calcolo delle emissioni diffuse per differenza, utilizzando i dati delle analisi chimiche effettuate a camino e sui rifiuti di raccolta.

Questo studio vuole evidenziare come queste determinazioni siano affette da grande incertezza.

9.2 - Metodologia

Si vuole stimare l'incertezza della misura delle emissioni di SOV diffuse in atmosfera da una azienda che utilizza impianti di verniciatura e di essiccazione per legno. Sulla base delle formule riportate nel Piano di Gestione dei solventi, il calcolo dell'emissione diffusa viene espressa dalla seguente formula:

$$F = I1 - O1 - O5 - O6$$

Sono stati trascurati i termini O 7 e O 8 in quanto nulli per il settore della verniciatura del legno.

Dove:

F è il totale delle emissioni diffuse relativamente a un fissato processo produttivo in un arco di tempo prestabilito.

I1 è la quantità di solventi in ingresso nel processo di verniciatura in kg calcolata considerando la quantità di prodotto verniciante a solvente acquistato (dato dichiarato dall'azienda), diminuita della parte di residuo secco. Per la redazione del Piano di Gestione dei Solventi questo dato può essere desunto dalla lettura delle schede tecniche e di sicurezza dei prodotti vernicianti.

Per la determinazione dell'incertezza si considera che il residuo secco dei prodotti vernicianti a solvente venga misurato con il metodo prescritto nella norma UNI EN ISO 3251:2005 - Pitture, vernici e materie plastiche - Determinazione del contenuto delle sostanze non volati mentre che il totale dei solventi contenuti nelle vernici all'acqua in ingresso nel processo di verniciatura vengano misurati con metodo prescritto nella norma UNI EN ISO 11890-2 : 2007 - Pitture e vernici - Determinazione del contenuto di composti organici volatili (VOC) - Parte 2: Metodo gascromatografico.

Quindi le misure che sono state considerate nel computo di I1, affette da incertezza, che incidono nel calcolo complessivo, sono:

- la quantità di vernice a solvente e all'acqua acquistata; l'incertezza delle misure di queste quantità sono state poste pari all'incertezza di misura della bilancia utilizzata dal fornitore del prodotto verniciante. Quest'ultimo dichiara che l'incertezza di misura della bilancia è pari alla sua incertezza di lettura (1g). Allora, considerando che la distribuzione di probabilità dell'errore sia rettangolare all'interno dell'intervallo di 1g di risoluzione della bilancia si ha:

$$u(Q1_s) = u(Q1_a) = \frac{1}{2\sqrt{3}} g \approx 0.29 g$$

- il residuo secco del prodotto a solvente; l'incertezza della misura di questa quantità è quella dichiarata nella UNI EN ISO 3251:2005 paragrafo 9 (Precisione). Inoltre secondo la "legge di propagazione dell'incertezza" (norma UNI CEI ENV 13005: 2000; guida all'espressione dell'incertezza di misura) il dato utilizzato è la somma in quadratura del dato di ripetibilità e di riproducibilità dichiarati nei punti 9.1 e 9.2 della norma UNI EN ISO 3251: 2005 come di seguito rappresentato.

$$u(RS_s) = \sqrt{r^2 + R^2} \approx 2\%$$

- Il residuo secco del prodotto all'acqua; la norma di riferimento ISO 11890-2 : 2000 al punto 12 definisce un limite di ripetibilità e un limite di riproducibilità. Il coefficiente di variazione della ripetibilità, dichiarato è compreso tra 1% e 8%, mentre per la riproducibilità è compreso tra 2% e 11%. Vista la grande variabilità suggerita da questi intervalli si è ritenuto opportuno fare riferimento alla tabella 1 (risultati di prove interlaboratorio). In particolare è stata considerata

la colonna "Dispersione" di seguito riportata:

Parametri	Dispersione
Numero di laboratori	5
Numero di misure ripetute	5
% in massa, valore medio	0,36
Deviazione standard alla riproducibilità	0,04
Coefficiente di variazione della riproducibilità	10,4
Deviazione standard della ripetibilità	0,01
Coefficiente di variazione della ripetibilità	2,6

- Si sono considerate le seguenti voci:
coefficiente di variazione della riproducibilità pari a 10,4 % e coefficiente di variazione della ripetibilità pari a 2,6 %. In accordo con quanto prescritto dalla norma UNI ISO 5725-6:2004 : Accuratezza dei risultati e dei metodi di misurazione. Si è considerato che tali coefficienti di variazione fossero espressi ad un livello di fiducia del 95%, e quindi con corrispondente fattore di copertura pari a 2. Il dato utilizzato è espresso dalla formula riportata:

$$u(RS_a) = \sqrt{\left(\frac{10,4 \cdot RS_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{2,6 \cdot RS_a}{2}\right)^2}$$

O1 rappresenta le emissioni negli scarichi gassosi. Tale quantità espressa in kg, è la sommatoria delle sostanze organiche volatili rilasciate da tutti i camini dell'azienda nell'arco di tempo in cui viene calcolato il Piano di gestione dei Solventi.

Nella formula di calcolo dell'incertezza, è stato considerato, un numero arbitrario di camini (nel file allegato ne sono stati considerati 20) in modo da poter rappresentare la situazione reale della maggior parte delle aziende di verniciatura che convogliano le emissioni degli impianti in più punti di emissione.

Quindi O1 è la somma algebrica delle quantità di solventi espresse in kg rilasciate da tutti camini, dove l'emissione del singolo camino i-esimo è espressa come:

$$O1_i = C_i \cdot P_i \cdot T_i \quad i = 1,..n$$

Dove:

C_i sono le concentrazioni a camino dei solventi organici volatili espressa in mg/Nm³ vengono determinate analiticamente secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 13649:2002 Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di singoli composti organici in forma gassosa - Metodo mediante carboni attivi e desorbimento con solvente.

P_i la portata normalizzata del camino espressa in m³ che viene misurata nel corso dell'analisi con metodo analitico secondo le prescrizioni della norma UNI 10169:2001 Misure alle emissioni - Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo del tubo di Pitot.

T_i è il tempo di lavorazione in ore, tale valore dovrà essere rigorosamente registrato dall'impresa.

Quindi per ogni camino, le grandezze affette da incertezza di misura considerate sono di seguito descritte.

Per la concentrazione delle emissioni a camino; l'incertezza di misura è quella dichiarata nell'appendice A della EN 13649:2002.

La norma suggerisce tre differenti valori di scarto tipo medio di ripetibilità (prospetto A.1) e di riproducibilità (prospetto A.2) in relazione alla tipologia di solventi misurati come riportato di seguito:

<i>Composto</i>	<i>Scarto tipo medio SR mg/m3</i>	<i>Scarto tipo medio Sr mg/m3</i>
Metil isobutil chetone	2,3	2,0
Butil acetato	4,6	4,0
xileni	3,5	5,0

Non conoscendo la precisa composizione solventi delle emissioni si è ritenuto opportuno tenere in considerazione il valore più elevato di queste grandezze.

La formula considerata per il calcolo viene di seguito riportata:

$$u(C_i) = \sqrt{3,5^2 + 5^2} \approx 6,1 \text{ mg} / \text{Nm}^3$$

Nel caso di completa assenza di prove interlaboratorio la letteratura (IUPAC - Harmonized guidelines for single laboratory validation of methods of analysis) suggerisce l'utilizzo della funzione di Horwitz che fornisce una stima dello scarto tipo di riproducibilità ad una concentrazione dell'analita fissata.

Tale funzione esponenziale lega il coefficiente di variazione alla concentrazione dell'analita.

Dal momento che, alle concentrazioni di nostro interesse, il coefficiente di variazione assume valori prossimi a zero, si è ritenuto concettualmente più corretto considerare i dati riportati nella norma precedentemente esposti.

Per la misura della portata del camino secondo la norma UNI 10169:2001, al paragrafo 12 viene riportato come valore limite dell'errore associato alla misurazione della velocità dell'aria il 5%.

Dal momento che la misura della portata è soggetta a grande variabilità ed è correlata a molti fattori che dipendono anche dalle condizioni ambientali, si è ritenuto opportuno utilizzare un valore dedotto da un laboratorio sulla base di un'analisi statistica di un considerevole numero di misurazioni ripetute.

Il dato incide nella formula della valutazione dell'incertezza in maniera preponderante su tutti gli altri contributi sia per il suo valore elevato ma soprattutto in quanto esso appare in ciascuno dei camini presenti e viene ripetutamente sommato.

Per quanto riguarda il tempo di utilizzo dichiarato dal produttore; abbiamo imposto pari a 0 l'incertezza di questa misura.

Tale determinazione è fondamentale per il calcolo della quantità di emissione convogliata e quindi di emissione diffusa e deve essere quantificata con estremo rigore da parte dell'azienda.

05. sono i Solventi organici persi a causa di reazioni chimiche o fisiche.

Nel caso specifico con il termine O5 è stata considerata la quantità espressa in kg di stirene che ha reagito nel processo. Essa viene considerata come una percentuale sulla quantità di stirene che è stata utilizzata per la verniciatura.

L'incertezza della misura di questa quantità è pari all'incertezza di misura della bilancia utilizzata dal fornitore della vernice quindi pari a 1 g.

06. sono i solventi organici contenuti nei rifiuti raccolti.

Nel caso specifico viene considerata la quantità di solvente espressa in kg contenuta in alcuni rifiuti derivanti dall'utilizzo di prodotti vernicianti (codici CER 08 "Rifiuti della produzione, formulazione, fornitura ed uso di rivestimenti (pitture, vernici e smalti vetrati), adesivi, sigillanti, e inchiostri per stampa" e codici CER 14 "solventi organici, refrigeranti e propellenti di scarto (tranne 07 e 08)") al momento in cui il rifiuto stesso viene conferito allo smaltitore.

Essa è espressa come una percentuale sulla quantità di rifiuto dichiarato.

La determinazione analitica di tale quantità viene effettuata con metodologia prescritta dalla norma

UNI EN ISO 3251:2005 nel caso vengano utilizzate esclusivamente vernici a solvente (vedi sopra), nel caso vengano utilizzate le vernici idrodiluibili deve essere utilizzata la metodologia prescritta dalla norma UNI EN ISO 11890-2:2007.

Quindi per la misura di O6 le fonti di incertezza sono date da:

La quantità di rifiuti conferiti allo smaltitore, espressa in kg, dichiarata dal produttore; essa è affetta dall'incertezza della bilancia con cui sono stati pesati tali rifiuti. Nel caso specifico l'incertezza è stata posta pari a 1 g in relazione alla tipologia di bilancia generalmente utilizzata dall'impresa per pesare i rifiuti.

La percentuale di solvente presente nei rifiuti, misurata con la ISO 11890-2; anche in questo caso per la valutazione dell'incertezza è stata tenuta in considerazione la tabella 1.

Per il calcolo dell'incertezza cui è affetta la misura finale delle emissioni diffuse, si sono utilizzate le indicazioni della ENV 13005 – GUM (Guide to the expression of the uncertainty in measurement), pur con qualche semplificazione.

In particolare nella matrice di varianza e covarianza sono stati considerati tutti i contributi sopra indicati, salvo alcuni termini misti perché ritenuti non influenti sul risultato finale (sono state fatte parecchie simulazioni che hanno consentito queste riflessioni).

Simulazioni effettuate con dati reali hanno consentito di evidenziare la trascurabilità di questi contributi.

L'incertezza legata alla misura della portata risulta preponderante.

9.3 – La formula di calcolo

Dalla formula generale per l'incertezza composta:

$$u_C(F(x_1, \dots, x_n)) = \left(u(x_i) \right)_{i=1, \dots, n} \left(\left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right) \right)_{i=1, \dots, n}^{j=1, \dots, n} \left(u(x_j) \right)_{j=1, \dots, n}$$

si ricava nel nostro caso, con le sostituzioni precedentemente illustrate:

$$\begin{aligned} u_C(F) = & (0,29)^2 \cdot \left(\frac{100 - RS_s}{100} \right)^2 + (0,29)^2 \cdot \left(\frac{100 - RS_a - H_2O}{100} \right)^2 + (0,02)^2 \cdot \left(\frac{Q1_s}{100} \right)^2 + \\ & + \left(\frac{Q1_a}{100} \right)^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{10,4 \cdot RS_a}{100} \right)^2 + \left(\frac{2,6 \cdot RS_a}{100} \right)^2} + \sum_{i=1}^n P_i^2 T_i^2 (6,1)^2 + \sum_{i=1}^n C_i^2 T_i^2 (0,05 \cdot P_i)^2 + \\ & + (0,29)^2 \cdot \left(\frac{100 - RS_6}{100} \right)^2 + (0,02)^2 \cdot \left(\frac{Q6}{100} \right)^2 + \dots \end{aligned}$$

espressa in g, a meno di trasformazioni di unità di misura. Abbiamo tralasciato i termini misti per semplicità. Dalla formula emerge la preponderanza del termine relativo alla portata.

$$\sum_{i=1}^n C_i^2 T_i^2 (0,05 \cdot P_i)^2$$

9.4 - Conclusioni

Sulla base di quanto descritto si nota come, per il calcolo dell'incertezza sulle emissioni diffuse, sia preponderante il contributo legato alla portata e al tempo.

Per poter utilizzare un dato statistico sarebbe opportuno raccogliere, per ciascun sito produttivo, il maggior numero di dati utilizzando la metodologia descritta.

Ringraziamenti:

Per la consulenza si rivolge un particolare ringraziamento al Prof. Franco Di Valentin.

Capitolo 10 - Procedura per la gestione dei solventi all'interno del ciclo di lavorazione con particolare attenzione alla gestione e al contenimento delle emissioni diffuse.

10.1 – Introduzione

La procedura descritta di seguito viene utilizzata per il controllo e la gestione delle attività che consumano COV, allo scopo di:

- favorire la riduzione della quantità e pericolosità delle emissioni in atmosfera;
- favorire la corretta gestione dei rifiuti;
- ridurre i rischi di dispersione non controllata dei COV;
- monitorare i dati quantitativi del bilancio di massa sui COV;
- garantire una adeguata formazione agli addetti che operano utilizzando COV.

10.2 – Gestione, controllo ed utilizzo dei prodotti a base di COV

Le emissioni generate nel corso delle operazioni si distinguono in emissioni diffuse e convogliate (scarichi gassosi), secondo le definizioni precedentemente riportate.

10.2.1 – Gestione e controllo emissione convogliate

Le emissioni convogliate di COV sono regolate da un decreto di autorizzazione rilasciato dall'organo competente (dal 1 gennaio 2007 tale organo è la provincia).

La corretta gestione di queste emissioni deve essere fatta a partire dalle prescrizioni contenute nel decreto di autorizzazione e/o nelle linee guida definite per il settore dalla normativa vigente.

Con cadenza almeno pari a quella prescritta nel decreto/linee guida devono essere effettuate le analisi al camino per verificare il rispetto dei limiti di emissione.

Per l'esecuzione delle analisi dovrà essere scelto un laboratorio chimico preferibilmente in possesso dell'accreditamento SINAL per la specifica analisi.

All'atto dell'incarico affidato dall'azienda al Laboratorio di analisi, l'addetto fornisce al tecnico i seguenti dati:

1. Planimetria riportante i punti di emissione da analizzare o le aree di lavoro da monitorare (evidenziare sulla Planimetria i camini relativi alle emissioni convogliate da analizzare e le aree di lavoro da monitorare).

2. Informazioni relative alle analisi da effettuare su ciascun punto di emissione.

3. Condizioni operative in cui deve essere fatta l'analisi. Tali condizioni devono essere tali da rappresentare la condizione operativa di massimo carico di COV dell'impianto.

Durante il sopralluogo, l'addetto provvede a fornire l'assistenza necessaria agli operatori del Laboratorio incaricato dell'effettuazione dei campionamenti.

Terminate le analisi sui campioni prelevati, il Laboratorio analisi incaricato deve inviare all'azienda una relazione riportante:

- data ed ora effettuazione dei campionamenti;
- condizioni operative degli impianti;
- metodi di campionamento ed analisi utilizzati;
- metodologia taratura strumentazione (allegare copia ultimo Certificato di taratura);
- generalità personale che ha effettuato le analisi;
- valori medi riscontrati e l'incertezza estesa;

- conclusioni e valutazioni finali (in riferimento soprattutto alle normative vigenti).

I rapporti analitici sono registrati e archiviati dall'azienda per compilare il piano gestione solventi. A questo proposito sarà necessario poter disporre delle analisi al camino, delle portate e delle ore di funzionamento delle linee collegate ad ogni punto di emissione che dovranno essere conteggiate e registrate dal responsabile di ciascuna linea di lavorazione .

In caso dall'analisi risulti un superamento dei limiti di emissione è necessario operare nel seguente modo:

- La Direzione aziendale, ordina l'arresto della lavorazione/attività generatrice dell'emissione eccedente i limiti di legge e né da comunicazione all'autorità competente per il controllo;
- Un gruppo di lavoro costituito dai tecnici esperti interni e/o esterni individua la causa del superamento dei valori limite, e l'azione correttiva da intraprendere per il ripristino delle condizioni standard di emissione;
- Successivamente all'attivazione di interventi correttivi, il Laboratorio di analisi esterno viene incaricato per la effettuazione di un campionamento ed analisi di verifica del ripristino delle condizioni operative standard.

In caso di modifica sostanziale degli impianti che utilizzano prodotti a base COV o delle materie prime a base COV utilizzate, l'azienda deve, secondo le prescrizioni del comma 8 dell'articolo 269 del D.Lgs. 152/06 inviare, all'autorità competente, preventivamente all'effettuazione della modifica, il progetto di modifica dettagliato. L'autorità competente deve quindi rilasciare una nuova autorizzazione. Anche la modifica non sostanziale dovrà essere comunicata all'autorità competente.

10.2.2 – Gestione e controllo degli scarti e dei rifiuti

Gli scarti di lavorazione / rifiuti provenienti dalle linee dove vengono utilizzati COV, devono essere gestiti correttamente contenendo, compatibilmente con le prescrizione della sicurezza (normativa atmosfere esplosive) e della normativa antincendio, le emissioni diffuse dei COV.

A tal fine è opportuno che i rifiuti siano:

- posizionati in contenitori chiusi;
- localizzati in area coperta da tettoia;
- dotati di bacino di contenimento;
- smaltiti con frequenza elevata compatibilmente con i costi del servizio.

E' necessario che l'azienda conosca il contenuto di solventi del rifiuto, soprattutto per la compilazione del Piano di Gestione dei Solventi. Pertanto, periodicamente, oppure quando in ragione di modifiche di processo ci sia ragione di ritenere che le caratteristiche di un rifiuto siano cambiate, l'azienda aggiorna le informazioni sulla composizione dei rifiuti a base COV, commissionando l'analisi ad un laboratorio esterno opportunamente selezionato.

L'azienda tiene sotto controllo la quantità di rifiuti derivanti dalle operazioni che utilizzano COV secondo le prescrizioni di legge.

La registrazione sul registro di carico e scarico deve essere fatta, come per tutti i rifiuti prodotti, secondo quanto previsto dalla legislazione, entro una settimana dalla produzione.

10.3 – Formazione degli operatori

L'azienda, in collaborazione con altri responsabili dei reparti che utilizzano COV, predispone moduli di formazione relativamente ai seguenti temi:

- Consapevolezza delle problematiche ambientali legate all'uso dei COV.
- Consapevolezza dei rischi per la salute legati all'uso dei prodotti a base COV.

- Corrette modalità di esecuzione delle operazioni che utilizzano COV.
- Utilizzo di schede di registrazione per la raccolta dei dati inerenti il Piano Gestione Solventi.
- Modalità di risposta ad eventuali emergenze nell'uso dei COV.

Per la formazione in generale potranno essere utilmente utilizzate simulazioni in reparto, e potranno essere distribuite ed esposte le specifiche istruzioni di lavoro per ogni singola attività.

10.4 – Gestione e riduzione delle emissioni diffuse

10.4.1 – Premessa

L'azienda deve predisporre delle istruzioni di lavoro per il contenimento delle emissioni diffuse personalizzate in relazione all'attività e alle esigenze.

L'allegato III alla parte Quinta del Testo Unico Ambientale si propone di prevenire e ridurre gli effetti diretti ed indiretti delle emissioni di Composti Organici Volatili nell'ambiente di talune attività industriali, rispettando i valori limite di emissione negli scarichi gassosi ed i valori limite delle emissioni diffuse e/o il valore limite dei solventi utilizzabili calcolati sulla base di un piano di riduzione.

La legislazione riserva una particolare attenzione al controllo e alla riduzione delle emissioni diffuse dai cicli di verniciatura.

In quest'ottica e a completamento del lavoro sperimentale e teorico effettuato, si propone una serie di prescrizioni di natura essenzialmente pratica per la gestione nelle varie fasi di lavorazione delle emissioni diffuse in modo da minimizzare l'impatto ambientale da esse determinato.

10.4.2 - Gestione del magazzino e gestione del deposito dei prodotti vernicianti

- Individuare per il deposito di vernici un locale esterno idoneo.
- Quantitativi ridotti, corrispondenti al consumo giornaliero, possono essere stoccati all'interno in armadi chiusi resistenti al fuoco (REI 160) e ventilati.
- L'ambiente di deposito deve risultare fresco e ventilato in modo da garantire i ricambi d'aria necessari.
- Per lo stoccaggio di vernici all'acqua prevedere un sistema di riscaldamento (a termostriscie installate a soffitto) per evitare nei periodi freddi temperature inferiori a 5°C (Temperatura minima di filmazione).
- Evitare di esporre i prodotti a temperature troppo elevate.
- Il deposito deve essere provvisto di vasca di contenimento (esempio: vasca con soglia rialzata 20 cm).
- All'interno del deposito i vari preparati vanno stoccati in aree separate delimitate e segnalate a seconda della loro pericolosità ed incompatibilità (ad esempio separare i perossidi dagli acceleranti).
- Posizionare le latte sigillate di prodotto verniciante lontano da fonti di calore.
- Valutare la natura dell'imballaggio per stabilire la modalità di stoccaggio a terra su pallets o a scaffale in particolare valutare l'altezza di impilaggio che non deve superare il valore di 2-3 latte sovrapposte e valutare la tenuta dell'imballaggio in base all'altezza di caduta.
- Gestire i prodotti a scaffale secondo il criterio di utilizzo "First in, First out" sistemando i prodotti nuovi dietro e prelevando i più vecchi davanti:
 - Stoccare solamente contenitori di vernice con sigilli integri;
 - I composti infiammabili devono essere conservati nel contenitore originale;
 - Evitare quanto più possibile le operazioni di travaso; in caso di necessità effettuare le operazioni di travaso in corrispondenza a zona ventilata, lentamente dopo aver collegato i contenitori metallici a terra per evitare accumulo di cariche elettrostatiche;
 - Per la movimentazione impiegare carrelli elevatori idonei all'utilizzo in presenza di sostanze infiammabili;
 - Disporre di idoneo materiale assorbente (esempio segatura) per il trattamento di eventuali sversamenti accidentali.

- Nella gestione del deposito procedere alla verifica:
 - Codice e denominazione dell'etichetta;
 - Data scadenza e integrità dei contenitori;
 - Omologazione e caratteristiche dell'imballo;
 - Durata dello stoccaggio (evitare stoccaggi troppo prolungati);
 - Condizioni di conservazione (Limiti di T ed umidità);
 - Rigonfiamento confezioni conseguenti a fenomeni di decomposizione o sviluppo dei gas;
 - Eventuale impolmonimento per progressiva gelificazione del prodotto verniciante;
 - Disponibilità delle schede di sicurezza;
 - Segnaletica della zona di deposito;
 - Quantità in deposito;
 - Stabilità del carico e degli scaffali;
 - Integrità della pavimentazione e di eventuali sistemi fognari;
 - Divieto di stoccare recipienti vuoti contaminati da sostanze pericolose, contenenti residui di vernice, liquidi di lavaggio e materiale di scarto.

10.4.3 - Emissioni in fase di applicazione ed essiccazione delle vernici

- Predisporre opportuna cappa di aspirazione del tipo avvolgente ed apribile in corrispondenza di Laccatrici, Spalmatrici a rullo, Stuccatrici, Reverse e Baby e di una camera bianca per le velatrici.
 - L'aspirazione deve garantire una idonea velocità di captazione in corrispondenza delle superfici di emissione dei rulli.
 - Cappe aspiranti di piccole dimensioni sospese e sistemate a distanza eccessiva rispetto alla superficie dei rulli non garantiscono una sufficiente velocità di cattura.
 - Provvedere a misurare la velocità di aspirazione in corrispondenza dell'emissione.
 - In presenza di insufficiente aspirazione provvedere ad avvicinare le cappe, eventualmente a potenziarne l'aspirazione ed a sostituirle.
 - Evitare correnti d'aria che possono disperdere i vapori di COV nell'ambiente di lavoro.
 - Devono essere predisposte in vicinanza degli operatori idonee pareti aspiranti in caso sia prevista l'operazione di stracciatura manuale in linea della tinta.
 - Anche se l'ambiente della camera bianca risulta chiuso e dotato di specifico sistema di aspirazione, esso può rappresentare un rischio per la salute dei lavoratori addetti, rendendo obbligatorio l'uso di idoneo DPI, soprattutto quando si lavora con massimo riempimento del nastro trasportatore. In questi casi si rende necessario un controllo periodico delle condizioni di esposizione mediante campionamento personale.
-
- Tenere controllata la chiusura con coperchio dei contenitori di raccolta della vernice e della tinta utilizzati per il recupero della vernice in eccesso.
 - Evitare un eccessivo riscaldamento delle vernice o della tinta che determina un aumento esponenziale della tensione di vapore in funzione della temperatura.
 - Utilizzare il prodotto verniciante, i vari additivi ed il supporto alla temperatura ambiente del locale di verniciatura (18-22°C) – eventuale riscaldamento prodotto verniciante prima dell'applicazione a bagnomaria;
 - Utilizzare i diluenti tenendo conto della loro volatilità relativa e della presenza di componenti pericolosi;

10.4.4 - Riduzione delle emissioni diffuse dalla linea di verniciatura piana

- Per la preparazione di tinte e vernici individuare e segnalare le zone per il deposito del materiale in corrispondenza ai vari macchinari.
- Segregare la zona dove viene effettuata la miscelazione.

- Prevedere adeguata aspirazione a parete (cappe catturanti provviste di filtro per polveri e/o filtri a carbone attivo) in corrispondenza delle zone utilizzate per le operazioni di miscelazione tinte (a solvente e polveri per tinte all'acqua), localizzata quanto più vicina possibile al punto di emissione.
- Realizzare una sufficiente velocità di captazione e provvedere ad un suo controllo periodico per la sostituzione dei filtri.
- Stoccare una quantità di vernice corrispondente al prevedibile consumo giornaliero.
- Dopo l'uso richiudere i contenitori usati evitando perdite di componenti volatili, riporli lontano da fonti di calore (possibilmente in armadio di sicurezza per materiale infiammabile provvisto di ventilazione).
- In caso di spargimento di materiale, assorbire il liquido con assorbente idoneo e poi raccoglierlo in recipiente chiuso per lo smaltimento.
- Organizzare la raccolta dei rifiuti di preparazione tinte e vernici (contenitori - stracci - materiale assorbente - imballaggi ecc.) utilizzando contenitori con indicazione del codice CER, provvisti di coperchio e di vasca di contenimento.
- Prevedere una procedura operativa che regola il comportamento degli operatori addetti anche in riferimento all'utilizzo ed alla manutenzione dei DPI.
- Predisporre il lavaggio delle attrezzature in zona aspirata evitando l'eccessivo utilizzo di solventi di lavaggio eccessivamente volatili (acetone).
- Valutare la possibilità di effettuare lavaggi con acqua e detersivi e solo il lavaggio finale con solventi volatili (in questo caso prevedere anche le modalità di smaltimento di questi composti).
- Provvedere alla raccolta dei liquidi di lavaggio in contenitori con idonea chiusura e trasferirli all'esterno nella zona di deposito temporaneo.
- Controllare frequentemente la grammatura del prodotto applicato.

10.4.5 - Riduzione delle emissioni diffuse nella linea di verniciatura con spruzzatrice automatica, robot di spruzzatura e tinteggiatrice automatica

In questa linea di verniciatura vengono utilizzate sia tinte all'acqua sia a solvente, prodotti UV all'acqua, prodotti a "base acqua" monocomponenti e bicomponenti ad essiccazione convenzionale e prodotti UV ad alto secco. Le accortezze gestionali sono di seguito individuate:

- Verificare la reale efficienza di trasferimento delle attrezzature come precedentemente indicato.
- Tenere controllata, all'interno della cabina pressurizzata, la Temperatura e la velocità dell'aria.
- Tenere sotto controllo il sistema di recupero dell'"overspray" del nastro trasportatore.
- Verificare il sistema di lavaggio del nastro di trasporto.
- Verificare il Sistema di abbattimento dell'"overspray" ed in particolare l'efficienza dei filtri a secco (qualora il ΔP superi i valori riportati nel libretto di istruzioni provvedere alla loro sostituzione) e l'efficienza del sistema a velo d'acqua disposto lungo il perimetro del nastro trasportatore e dello "scrubber" di lavaggio.
- Tenere sotto controllo il sistema di trattamento con flocculanti delle acqua di lavaggio ed il sistema di filtrazione nonché la raccolta ed il deposito dei residui acquosi da smaltire.
- Provvedere a far eseguire da laboratorio certificato l'analisi del rifiuto da utilizzare per uno corretto smaltimento e per il bilancio solventi secondo il piano di gestione.
- Verificare l'efficienza dei flocculanti aggiunti mediante prove di sedimentazione soprattutto per vernici all'acqua come descritto di seguito. In particolare fare attenzione alle difficoltà di flocculazione se si alterna l'uso di vernici a solvente con vernici all'acqua.
 - Utilizzare aerografi ad alta capacità di trasferimento.

10.4.6 - Riduzione delle emissioni diffuse nella verniciatura meccanizzata con impianto a bilancelle, cabina di verniciatura manuale a spruzzo

- Prima di iniziare qualsiasi operazione all'interno delle cabine provvedere ad attivare l'impianto di pressurizzazione e di aspirazione dell'aria e le pompe di circolazione acqua dell'impianto di abbattimento se presenti.
- La miscelazione dei componenti delle vernici, compresa l'aggiunta del diluente deve essere effettuata in corrispondenza di una zona ventilata utilizzando idoneo DPI.
- Nel maneggiare vernici e liquidi infiammabili devono essere usate le seguenti cautele:
 - Richiudere i contenitori usati sistemandoli lontani da fonti di calore e dalle porte di accesso.
 - Non aprire più contenitori contemporaneamente.
 - In caso di spargimento assorbire il liquido con materiale assorbente idoneo, come da scheda di sicurezza, asportarlo e raccogliarlo in recipiente a chiusura.
 - In caso di travaso collegare i recipienti a terra, sversare lentamente da distanza ridotta (<30 cm), far scorrere il prodotto lungo le pareti e non riempire completamente il contenitore.
 - Evitare di disperdere sostanze etichettate come pericolose per l'ambiente.
 - Divieto di stoccare all'interno della cabina ed in vicinanza alla porta di materiale infiammabile, contenitori vuoti destinati alla bonifica o con residui di vernice, stracci, e carta sporchi di vernice soggetti ad autocombustione.
 - Stoccare la quantità minima di vernice necessaria per una giornata lavorativa in armadi di sicurezza ventilati sistemati all'esterno della cabina.
 - Verificare la pressione di esercizio delle pistole e la regolare atomizzazione.
 - Predisporre le pistole con opportuni ugelli ed evitare nella fase preparativa di spruzzare vernice sul pavimento e sulle pareti.
 - Determinare sperimentalmente l'efficienza di trasferimento dei sistemi di applicazione.
 - Controllare la viscosità del prodotto applicato che influisce sulle dimensioni delle particelle e sulla perdita di solvente in fase di spruzzatura.
 - Misurare periodicamente la velocità di circolazione dell'aria all'interno della cabina per confrontarla con i valori previsti dalla Norma UNI EN 12215/2005 differenti a seconda del tipo di cabina aperta o chiusa e di sistema di ventilazione.
 - Utilizzando la ventilazione forzata, provvedere al lavaggio delle apparecchiature raccogliendo il liquido esausto in un contenitore a chiusura ermetica, ed trasportare il rifiuto nel luogo previsto per il deposito temporaneo, controllando le quantità in deposito.
- Bonificare e compattare le latte raccogliendole in big – bag impermeabilizzati da sistemare su base pavimentata impermeabile e provvista di bacino di contenimento.
- Se la cabina è corredata di sistema di abbattimento a velo d'acqua tenere sotto controllo la temperatura della vasca di raccolta ed il livello di liquido della vasca stessa.
- Per le cabine a velo d'acqua ed a secco valgono le stesse considerazioni effettuate per le cabine pressurizzate dei robot di verniciatura.
- Riciclare l'acqua fino a saturazione per evitare lo "stripping" dei solventi disciolti.
- Per il deposito dell'acqua come rifiuto liquido utilizzare idoneo serbatoio e provvedere ad analisi chimica dei COV.
- Morchie e croste di vernice devono essere raccolte in contenitori chiusi evitando la dispersione di solventi nell'ambiente e per il piano gestione solventi si deve provvedere a determinare il contenuto di COV.
- Evitare che il manufatto verniciato stazioni nella cabina di spruzzo per la fase iniziale di appassimento poiché questa fase deve essere realizzata in essiccatore.
- Eseguire operazioni di anticatura e sfumatura in corrispondenza di pareti aspirate.

10.4.7 - Emissioni residue dal manufatto

Le emissioni più significative derivanti dal processo di essiccazione di tinte e vernici sono emissioni normalmente canalizzate e come tali non danno alcun contributo alle emissioni diffuse. Alle emissioni diffuse contribuiscono, però, i solventi residui trattenuti dal prodotto essiccato che successivamente si disperdono nell'aria e soprattutto nell'ambiente di vita.

Il contenuto di tali solventi residui può essere messo in relazione alla temperatura di essiccazione dei forni che, se non opportunamente impostata e controllata, può determinare effetti significativi.

In particolare:

- Prevedere nei tunnel di appassimento e di essiccazione idoneo profilo di temperatura ed adeguata ventilazione, variabili a seconda del preparato utilizzato, in modo da realizzare un graduale riscaldamento ed un efficiente raffreddamento finale (una ventilazione eccessiva determina un aumento dell'evaporazione dello stirene).
- Raggiungere nel forno di essiccazione una T massima superiore alla temperatura di transizione vetrosa (TG) della vernice utilizzata, allo scopo di ridurre il contenuto di COV residuo nel prodotto finito.
- Tenere controllata l'emissione delle lampade UV, mediante misure radiometriche, o utilizzando un misuratore UV in continuo.
- Utilizzare specchi riflettenti che eliminano la componente infrarossa delle radiazioni UV emesse.
- Evitare di Accatastare il prodotto essiccato ancora caldo.

10.5 - Gestione dei rifiuti

Per limitare le emissioni diffuse i rifiuti di verniciatura dovranno essere adeguatamente gestiti in particolare si raccomanda di:

- Conservare i bidoni, le latte di vernice non perfettamente chiuse, i rifiuti liquidi in vasche di contenimento differenziate per tipologia di prodotto.
- Stoccare i rifiuti sopra pavimentazione impermeabile.
- Movimentare i rifiuti con massima attenzione per evitare rotture e sversamenti accidentali.
- Predisporre in ogni area adeguata quantità di materiale assorbente (segatura o altro).
- Pressatura con raccolta di eventuale liquido sgocciolato e raccolta in big-bag impermeabilizzati.

10.6 – Conclusioni

Nei paragrafi precedenti sono state riportate alcune raccomandazioni inerenti la limitazione delle emissioni diffuse dai cicli di verniciatura, ovviamente ciascuna azienda dovrà, in relazione ai propri cicli di lavorazione, provvedere alla redazione di opportune procedure gestionali.

Al fine di un migliore utilizzo dei prodotti vernicianti nel settore legno – arredo possono essere, in sintesi, verificati dai gestori degli impianti, i macro aspetti elencati.

Valutazione e miglioramento dell'efficienza di trasferimento degli impianti di applicazione:

- sostituzione impianti (es. elettro assistiti)
- utilizzo pistole che, se opportunamente impiegate, consentano maggiori E.T.
- ottimizzazione delle regolazioni
- provvedere alla frequente pulizia e manutenzione degli impianti e delle apparecchiature

Recupero del prodotto verniciante:

- verificare la possibilità dell'impiego di sistemi per il recupero dell'"overspray"

Recupero dei solventi:

- verificare la possibilità di distillare i solventi di pulizia e quelli presenti nelle morchie

Ottimizzare la viscosità del prodotto verniciante all'applicazione

- possibilità di impiegare diluenti maggiormente efficienti nella riduzione della viscosità; prevedere l'impiego di riscaldatori

Valutare la possibilità di utilizzare prodotti vernicianti ad alto residuo secco

- verificare la possibilità di impiegare prodotti ad alto residuo secco (es. prodotti poliuretanici ad alto solido o prodotti poliesteri)

Prodotti l'utilizzo di prodotti vernicianti alternativi

- verificare la possibilità di impiegare PV a minor contenuto di VOC (PV all'acqua, PV fotoreticolabili e PV ad alto solido) anche con l'impiego di cicli "misti".

Capitolo 11 – Le migliori tecnologie: gli impianti di applicazione e di essiccazione

11.1 – Introduzione

Il Gruppo tecnico ristretto “trattamento di superfici con solvente” coordinato dall'APAT (agenzia per la protezione dell'ambiente) ed al quale hanno attivamente partecipato i tecnici del CATAS nell'ambito di questa ricerca, ha concluso nel mese di novembre 2006 la sua attività avendo definito un'impostazione relativa all'analisi costi e benefici delle Migliori Tecnologie Disponibili (per brevità viene indicato l'acronimo inglese BAT).

La ricerca è stata rivolta alla seguente attività: “Impianti per il trattamento di superficie di materie, oggetti o prodotti utilizzando solventi organici, in particolare per apprettare, stampare, spalmare, sgrassare, impermeabilizzare, incollare, verniciare, pulire o impregnare, con una capacità di consumo di solvente superiore a 150 kg all'ora o a 200 tonnellate all'anno”.

La definizione riportata nel D.Lgs. 59/05 di “migliore tecnica disponibile” è la seguente: la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso.

Si intende per:

- 1) tecniche: sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- 2) disponibili: le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte in ambito nazionale, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;
- 3) migliori: le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Per il settore dei trattamenti superficiali con utilizzo di solventi è oggi disponibile il Draft europeo del documento “Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) – Draft Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents - Final Draft - November 2006” disponibile sul sito dell'ufficio IPPC di Siviglia (all'indirizzo <http://eippcb.jrc.es>).

11.2 – I prodotti vernicianti all'acqua: elementi di innovazione

11.2.1 – Introduzione

Nel corso dell'indagine sono stati contattati i principali produttori di prodotti vernicianti all'acqua a livello nazionale ed è stato chiesto loro, nell'ambito di un corso tecnico di formazione svolto nei mesi di giugno e luglio 2007, presso la sede del CATAS, di esporre lo stato dell'arte di queste tecnologie, evidenziando anche eventuali criticità.

L'obiettivo è stato quello di fornire ai tecnici aziendali utili indicazioni volte alla scelta dei prodotti vernicianti alternativi attualmente in commercio, in relazione alle esigenze di lavorazione, alla tipologia di prodotto finito, alla qualità estetica desiderata ed alle prestazioni ed alla qualità estetica desiderata.

Il materiale didattico degli incontri è allegato al presente lavoro.

Di seguito si riportano i principali elementi innovativi emersi.

Le strategie per la riduzione del consumo di solventi sono di seguito riassumibili:

- riduzione impiego di solventi;
- utilizzo di prodotti vernicianti ad alto solido;
- riduzione della viscosità mediante riscaldamento dei prodotti vernicianti;
- sostituzione dei solventi organici con prodotti vernicianti all'acqua.

11.2.2 – I prodotti vernicianti all'acqua

Tali prodotti sono opportunamente formulati in modo tale da poter utilizzare l'acqua quale mezzo principale per l'ottenimento di un prodotto liquido sostituendo quasi completamente i solventi organici solitamente impiegati per tale scopo.

Si tratta generalmente di dispersioni di resine solide in acqua.

La composizione di un prodotto verniciante all'acqua è generalmente la seguente:

- Resina (40%); si tratta di resine funzionalizzate con opportuni gruppi idrofilici per renderle almeno parzialmente affini all'acqua.
- Acqua (superiore al 50%); costituisce il mezzo disperdente.
- Coalescenti (dal 3% al 10%); solventi ad alto punto di ebollizione necessari per una corretta filmazione del prodotto.
- Tensioattivi; facilitano la formazione dell'emulsione resina-acqua.
- Regolatori di pH; utilizzati al fine di bilanciare la dispersione;
- Additivi; sostanze aggiunte in piccole quantità con varie funzioni (es. antivegetativi, antibolla, filtri UV, ecc.).

Per quanto riguarda l'applicazione è bene evidenziare che i prodotti vernicianti all'acqua hanno viscosità tendenzialmente elevate e la loro diluizione modifica tale parametro in modo non lineare. L'essiccazione e la formazione di un film solido dalle dispersioni costruisce una fase estremamente delicata.

Nella preparazione di prodotti vernicianti a base acquosa è possibile utilizzare polimeri ad elevato peso molecolare (ad elevata temperatura di transizione vetrosa T_g) che, una volta essiccati per semplice evaporazione dell'acqua, conferiscono alla superficie trattata elevate prestazioni.

Tuttavia se la T_g del polimero è maggiore della temperatura alla quale viene essiccato, le catene polimeriche in dispersione rimarranno rigide senza fondersi alle altre durante questo processo causando una filmazione discontinua con rotture e sbiancamenti del film.

All'utilizzo di leganti costituiti da polimeri di piccole dimensioni potrebbero conseguire scarse caratteristiche chimico fisiche del film secco a causa della plasticità dei polimeri a temperatura ambiente.

La formulazione di prodotti all'acqua in dipendenza del meccanismo di indurimento (sia impiego di coalescenti sia di altri accorgimenti di seguito descritti) consente di affrontare la problematica.

I coalescenti non sono altro che solventi ad elevato punto di ebollizione, la cui funzione è quella di "plastificare" le resine dopo l'evaporazione dell'acqua in modo tale da consentire un'adeguata filmazione. La loro funzione è quella di ridurre la temperatura minima alla quale un prodotto verniciante a base acquosa può produrre un film continuo (temperatura minima di filmazione (TMF)). La coalescenza è quindi un passaggio fondamentale che richiede particolari attenzioni in quanto i solventi possono evaporare prima che la compenetrazione dei leganti abbia raggiunto un livello ottimale.

La presenza di gruppi affini all'acqua (idrofilici) nelle catene polimeriche facilita la compenetrazione delle catene polimeriche che costituiscono il legante, tuttavia il film essiccato rimarrebbe estremamente sensibile all'acqua e deve essere necessariamente previsto un meccanismo di reticolazione chimica o fotochimica del sistema.

Sono state anche sviluppate delle particolari resine a struttura complessa ottenute mediante processi di polimerizzazione "sequenziale" congiungendo spezzoni (oligomeri) di resine con caratteristiche diverse e non vicendevolmente "affini".

Possano essere quindi alternate regioni di polimero "vetrose" e "gommosi". A temperatura ambiente alcuni spezzoni di catena sono quindi al di sotto della temperatura di transizione vetrosa mentre altri si trovano al di sopra di essa.

La morfologia della particella di resina derivante abbina caratteristiche di "morbidezza" nel guscio più esterno, con strutture più dure localizzate nel nucleo centrale della particella.

Infine, mediante reticolazione chimica delle resine durante l'essiccazione del prodotto è possibile partire da leganti lineari a basso peso molecolare (e quindi bassa T_g) ottenendo infine, attraverso reazioni chimiche, un aumento del peso molecolare e la reticolazione del sistema.

11.2.3 – Le vernici nanotecnologiche

Le nanotecnologie sono spesso considerate come una sorta di rivoluzione scientifica e tecnologica in tutti i settori produttivi “fondata sulla recente acquisizione della capacità di manipolare e organizzare la materia a livello di miliardesimi di metro”.

Le proprietà innovative di queste tecnologie sono basate sul fatto che materie prime di dimensioni nanometriche assumono un comportamento differente che può essere utilizzato al fine di ottenere prodotti con caratteristiche inconsuete per la tipologia di materiale considerato.

L'obiettivo nella ricerca di vernici nanotecnologiche è quello di realizzare prodotti vernicianti che conferiscano ai manufatti elevate proprietà meccaniche di durezza, resistenza a graffi, urti, scalfitture e abrasione, non ottenibili con le odierne tecnologie, lasciando inalterate le proprietà estetiche del manufatto trattato.

La ricerca si è indirizzata verso composti nanotecnologici della chimica inorganica quali silici, silicati ed ossidi metallici.

Particelle di dimensioni nanometriche delle suddette sostanze vengono introdotte nella matrice polimerica del film di vernice alterando le sue proprietà chimico-fisiche.

Per fare un esempio, il biossido di titanio aggiunto normalmente ai prodotti vernicianti appare di colore bianco e quindi se utilizzato tal quale condiziona la trasparenza del prodotto verniciante, mentre a livello nanometrico è il biossido di titanio è trasparente.

Questi prodotti vernicianti sono ancora in fase di studio ed ottimizzazione anche se oggi sono in commercio alcuni prodotti vernicianti nanotecnologici all'acqua per cicli industriali sui quali vengono indicati i seguenti vantaggi rispetto ai prodotti all'acqua tradizionali:

- miglioramento della velocità di essiccazione;
- miglioramento della qualità estetica;
- miglioramento della carteggiabilità;
- miglioramento della resistenze chimiche;
- miglioramento della resistenza al blocking.

11.2.4 – La tecnologia dell'alto solido

La tecnologia dell'alto solido è stata da tempo sviluppata.

Si tratta di prodotti vernicianti tradizionali formulati tuttavia in modo tale da presentare all'applicazione residui secchi molto più elevati (oltre il 60 %) rispetto ai prodotti tradizionali.

La tecnologia dell'alto solido non ha mai avuto tuttavia molto successo a causa dei costi più elevati e delle consistenti differenze rilevabili nell'applicazione di questi prodotti con produzione di spessori secchi nettamente maggiori.

In questa categoria si inseriscono anche i poliesteri poliallilici. Si tratta di prodotti vernicianti formulati a base di polimeri allilici, con un ridotto contenuto di solventi e caratterizzati dall'assenza di stirene. Viene indicata dai produttori una compatibilità di queste resine con finiture all'acqua.

I produttori indicano inoltre prestazioni chimico fisiche in linea se non superiori a quelle di prodotti tradizionali..

11.2.5 – Cicli di verniciatura a solvente non ancora convertibili con cicli all'acqua

Esiste ancora una serie di cicli di verniciatura non facilmente sostituibili con cicli alternativi.

Vengono infatti indicate sia delle problematiche con alcuni supporti come ad esempio la verniciatura di sedie in rovere massiccio sia in relazione all'ottenimento di particolari effetti (lucido o poro aperto). Malgrado esistano indubbiamente dei notevoli progressi nella ricerca, nella sperimentazione e nella proposizione di cicli alternativi, esistono tuttavia ancora dei considerevoli problemi che per alcune aziende specializzate rappresentano tutt'oggi degli ostacoli notevoli.

11.3 – Gli impianti di applicazione: le novità da parte dei produttori

11.3.1 - Introduzione

Di seguito si riportano alcune tecnologie, attualmente proposte dal mercato per ottimizzare l'applicazione a spruzzo razionalizzando il consumo di solventi organici.

Si riportano queste informazioni a scopo conoscitivo evidenziando che su queste tecnologie, CATAS, non ha condotto nessuna sperimentazione.

11.3.2 – Sistemi di alimentazione e trattamento aria per la verniciatura

Esistono alcuni sistemi che propongono del trattamento dell'aria impiegata per la verniciatura a spruzzo (purificazione, ionizzazione, ecc.) .

Uno di questi sistemi prevede anche la sostituzione dell'aria compressa essiccata e filtrata (costituita da circa il 78% di azoto) con aria arricchita di azoto (concentrazione N₂ circa 99,5%) pulita, ionizzata ed essiccata con contemporaneo utilizzo di un riscaldatore del prodotto verniciante.

L'impiego di queste tecnologie, secondo i produttori, sta riscontrando i risultati positivi di seguito menzionati:

- L'anidricità del sistema consente di evitare qualsiasi trattamento preliminare del supporto eliminandone l'umidità residua (si evita il problema del "blistering").
- Il riscaldamento del prodotto verniciante ne consente l'abbassamento della viscosità e la fluidificazione dei prodotti richiedendo minori diluizioni e quindi minor utilizzo di solvente.
- Il basso peso specifico dell'azoto consentirebbe una omogeneità dell'atomizzazione e una riduzione dell'overspray dovuto a fenomeni di rimbalzo.
- Altri vantaggi sempre derivanti dalle caratteristiche chimico fisiche dell'azoto sono: riduzione delle colature, effetto più coprente, riduzione del numero delle mani da applicare
- La riduzione delle quantità di solvente impiegato consentirebbe di ridurre l'effetto "a buccia d'arancia" .
- La minimizzazione, in genere di difetti di verniciatura grazie alla nebulizzazione del prodotto con un flusso di gas perfettamente depurato.

Su queste tecnologie non ci sono delle evidenze sperimentali dirette da parte del CATAS. Ferme restando comunque le specificità dei sistemi proposti dal mercato e sui quali sarebbero opportune delle sperimentazioni dirette, è bene ricordare che un miglioramento delle prestazioni dei sistemi di applicazione può essere ottenuto ottimizzando i sistemi di applicazione tradizionali.

Dalle indagini effettuate all'interno delle aziende ci si è infatti accorti che manca spesso una conoscenza approfondita sui sistemi di applicazione e sulla loro gestione.

11.4 – Gli impianti di essiccazione; le novità da parte dei produttori

Le filmazione delle vernici all'acqua richiede che parametri fisici, quali temperatura, umidità relativa e ventilazione siano tenuti sotto controllo.

L'acqua, infatti, possiede una velocità di evaporazione decisamente più bassa rispetto ai solventi comunemente utilizzati nella formulazione delle vernici tradizionali.

Se l'umidità relativa dell'aria dell'ambiente di essiccazione è troppo elevata, l'evaporazione dell'acqua dal film umido di vernice viene considerevolmente rallentata, con la possibilità che la pellicola presenti sbiancamenti ed imperfezioni. Temperature troppo basse (inferiori a 15°C) ostacolano la corretta formazione del film, mentre temperature troppo elevate possono condurre alla formazione di micropuntature o lasciare residui d'acqua nel film.

E' bene sottolineare che anche un'evaporazione troppo repentina dell'acqua può essere controproducente in quanto possono verificarsi:

- difetti superficiali (buccia d'arancia, capocchie, perdita di opacità)
- non corretta formazione del film con conseguente scarsa durezza e resistenza chimica della pellicola.

Temperatura, umidità relativa e ventilazione possono essere gestite abbastanza agevolmente nei forni di essiccazione, mentre sono difficilmente modificabili in ambienti meno controllati, quali quelli che si trovano normalmente nelle realtà artigianali o nelle piccole imprese.

In sintesi, è possibile affermare che l'essiccazione delle vernici all'acqua deve essere controllata in modo da garantire una temperatura minima superiore ai 10°-15°C, un'umidità relativa inferiore al 65% ed un'opportuna ventilazione.

I problemi legati ad un'essiccazione non corretta possono essere:

- una scarsa adesione fra le mani;
- la diminuzione delle resistenze chimico-fisiche;
- l'insorgenza di sbiancamenti;
- la formazione di screpolature nel film.

Nel corso della ricerca è stata quindi condotta un'attenta indagine sui sistemi proposti dal mercato per una rapida essiccazione di questi prodotti.

Nelle pagine che seguono si riportano i risultati di tale lavoro.

11.4.1 – Il processo di essiccazione

L'essiccazione è un processo continuo in cui il prodotto verniciante passa dallo stato liquido allo stato solido aumentando via via la propria viscosità.

A seconda del tipo di reazione con cui avviene tale processo, i meccanismi di essiccazione dei prodotti vernicianti possono essere fondamentalmente distinti nelle seguenti tipologie:

- Essiccazione fisica: il processo avviene o tramite l'evaporazione di solventi - caso di prodotti vernicianti monocomponenti, quali nitrocellulosi o a base acqua - o per coalescenza (processo di deformazione e fusione tra loro delle particelle di resina)
- Essiccazione chimica: il processo avviene tramite la reazione delle resine con l'ossigeno presente in atmosfera o con l'umidità dell'aria o tramite autoreticolazione (e cioè per reazione chimica di gruppi presenti nelle catene polimeriche) – caso di prodotti vernicianti monocomponenti – oppure il processo avviene a seguito della reazione chimica innescata dalla miscelazione di differenti componenti – caso di prodotti vernicianti a più componenti, quali poliuretanic, poliesteri ad indurimento chimico e gli ureici.
- Essiccazione per fotoreticolazione: il processo avviene a seguito della presenza di fotoiniziatori che, sottoposti all'azione di luce ultravioletta (UV), si trasformano in specie reattive ed innescano la fase di polimerizzazione. In alternativa la fase di iniziazione può avvenire anche tramite l'impiego di fasci di elettroni ad elevata energia (Electron Beam).

Tipicamente l'essiccazione di manufatti verniciati avviene all'interno di forni, in cui la fonte di calore/energia trasmessi al prodotto verniciante può essere costituita da:

- aria calda, riscaldata in modo diretto (su fiamma o con resistenze elettriche) o in modo indiretto, tramite scambiatori di calore e flussi d'aria in circolazione forzata all'interno del forno. I forni ad aria calda sono i sistemi più diffusi all'interno delle aziende in quanto adatti sia per tutti i tipi di prodotti vernicianti che per manufatti di tutte le geometrie.
- irraggiamento ad infrarossi o microonde. I primi adatti per applicazioni su superfici piane, i secondi impiegati soprattutto nel caso di prodotti vernicianti a base acqua.
- radiazioni UV, trasmesse da lampade a vapori metallici che determinano processi di essiccazione per fotoreticolazione. Tali sistemi, impiegati principalmente nell'ambito di verniciatura di superfici piane, sono caratterizzati da elevate produttività e diminuzione delle emissioni.
- Nel caso di prodotti all'acqua può anche essere previsto un sistema di deumidificazione dell'aria.

Dal punto di vista impiantistico, un processo di essiccazione può essere implementato secondo differenti modalità, tenendo, ad esempio, conto della continuità o discontinuità di tale processo rispetto a tutto il ciclo di verniciatura interno di un'azienda e del tipo di prodotto verniciante applicato.

Nel caso di applicazioni su superfici piane o sagomate in continuo, risultano adatti i tunnel orizzontali, sistemi automatici continui costituiti da un nastro trasportatore che trascina i pezzi all'interno del forno.

Se il prodotto applicato è una tinta a solvente, la fonte di calore può essere rappresentata da aria calda (in controcorrente rispetto al senso di marcia dei manufatti su nastro) combinata, eventualmente, con lampade IR.

Se il prodotto applicato è una tinta all'acqua, il tunnel può essere dotato di tutta una serie di ugelli attraverso i quali viene "sparata" aria calda ad elevata velocità sui manufatti. Questa tipologia di soluzione prende il nome di tunnel a percussione. Una alternativa, per questa particolare tipologia di prodotti vernicianti, può essere rappresentata dai tunnel a microonde.

Se il prodotto applicato è a base poliuretanica o poliesteri, la tipologia di impianto maggiormente utilizzata è costituita dalla combinazione di tre blocchi in successione: una prima zona per l'appassimento (fase in cui evaporano i solventi ed il film si distende naturalmente sulla superficie,

senza alcun apporto di calore); una zona intermedia di riscaldamento vero e proprio (fase in cui avviene il completamento dell'evaporazione dei solventi e l'indurimento del film, attraverso aria calda e lampade IR); un'ultima zona di raffreddamento (fase in cui risulta necessario smaltire il calore ancora presente per evitare fenomeni di rammollimento del film).

Il principale parametro di progetto per i tunnel di essiccazione riguarda la sua lunghezza, variabile che deve essere dimensionata in funzione della tipologia del prodotto verniciante, del tempo di permanenza all'interno del forno e della produttività richiesta.

Per ovviare al problema di eccessive lunghezze e conseguenti ingombri all'interno dello stabilimento, l'alternativa ai processi di essiccazione in tunnel può essere rappresentata dai forni verticali. Anche questa tipologia di soluzione risulta adatta per applicazioni sia su superfici piane che sagomate. Tali impianti risultano costituiti da moduli di una o più camere che si sviluppano in altezza dove l'essiccazione avviene per circolazione d'aria calda mentre i pannelli, caricati su vassoi, seguono percorsi ascendenti e discendenti.

Se l'essiccazione deve avvenire in parallelo alla fase di applicazione del prodotto verniciante, si possono impiegare i forni a tunnel per caroselli, dove ciascun pezzo, una volta verniciato, viene caricato su carrelli che, partendo quindi dalla zona di applicazione, entrano nel tunnel di essiccazione e, dopo lo scarico finale, ritornano automaticamente nella zona di essiccazione.

Nel caso specifico di manufatti tridimensionali (es. sedie) si impiegano forni a tunnel per elementi 3D, ossia con dimensioni in grado di contenere elementi montati. Sono sistemi in continuo in cui gli elementi vengono agganciati ad opportuni sistemi di trasporto verticale per l'attraversamento del forno.

Infine, è possibile citare anche un sistema di essiccazione discontinuo (i pezzi, una volta verniciati, devono essere trasportati ed inseriti all'interno del forno): si tratta della camera di essiccazione, ambienti riscaldati dove i pezzi (pannelli o mobili montati) vengono disposti su carrelli. Tale sistema risulta adatto soprattutto per applicazioni di prodotti vernicianti a base acqua in quanto è possibile ridurre e controllare la velocità dell'aria, oltre che introdurre opportuni sistemi di deumidificazione, il tutto per rendere più uniforme la finitura superficiale.

11.4.2 – I sistemi di essiccazione ad irraggiamento; un approfondimento sulle tecnologie dei raggi IR e delle microonde

La trasmissione dell'energia tramite irraggiamento si basa sul meccanismo di trasporto di onde elettromagnetiche che, una volta entrate in contatto con corpi assorbenti, trasformano la loro energia in calore. Vengono quindi riscaldati solo i corpi che assorbono tali onde e non anche l'ambiente circostante.

I sistemi di essiccazione ad irraggiamento offrono, rispetto ai tradizionali forni ad aria calda, i vantaggi di:

- tempi più ridotti (il calore penetra istantaneamente ed uniformemente all'interno dello spessore del film di vernice, consentendo da subito il raggiungimento di elevate temperature). Si parla in questi casi anche di sistemi di essiccazione rapida.
- minore ingombro all'interno del layout dello stabilimento.

11.4.2.1 - La tecnologia dei raggi IR

La tecnologia IR prevede l'impiego di corpi caldi che emettono radiazioni elettromagnetiche nel campo dell'infrarosso (0,78 – 1000 micron) e, più in particolare, nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 2 e 15 micron (che significa lunghezza d'onda in risonanza con quella dei composti del prodotto verniciante).

L'efficacia di un sistema di essiccazione IR dipende dal tipo di corpo riscaldante (lampade o altro) impiegato. In particolare, le principali tipologie di dispositivi utilizzati per questi sistemi sono:

- lampade alogene con filamento in tungsteno: emissione di IR fino a 2 micron; percentuale di trasferimento di energia al PV pari al 10%; trasferimento – e di conseguenza essiccazione – principalmente alle molecole più interne del film di vernice; risultano adatte in particolare per l'indurimento di prodotti all'acqua applicati in elevati spessori

- lampade elettriche con filamento in acciaio: emissione di IR tra 4 e 6 micron; percentuale di trasferimento della propria energia compresa tra 40% e 50%; trasferimento di energia

principalmente agli strati superficiali più esterni; processo di essiccazione più omogeneo ma comunque lento;

- piastre e pannelli radianti riscaldati elettricamente: emissione di IR con lunghezza d'onda > 4 micron. Si parla in questo caso di energia infrarossa ad onda lunga.

I prodotti industriali presenti sul mercato che si basano su questa tecnologia sono i cosiddetti pannelli catalitici radianti, che consentono: energie di attivazione minori grazie all'impiego di particolari catalizzatori, combustione in assenza di fiamma (applicazioni sicure nei casi di essiccazione di PV a base solvente), intervallo di lunghezze d'onda radianti differenti – emissione di uno spettro IR - attraverso opportuna modulazione della pressione del gas di alimentazione.

La tecnologia protetta ed i brevetti depositati.

Nell'ambito dei sistemi di essiccazione ad irraggiamento IR si segnala il fatto che alcune tecnologie impiegate nel settore risultano protette da brevetti. Per una visione completa dei principali produttori (i proprietari dei brevetti) e dei contenuti tecnici innovativi protetti, si riporta di seguito una sintesi delle informazioni desumibili dai brevetti di modello di utilità, ossia di un "trovato che fornisce a macchine o parti di esse, a strumenti, utensili od oggetti di uso in genere, particolare efficacia o comodità di applicazione o d'impiego" reperiti sull'argomento:

Brevetto per Modello Industriale d'Utilità

N° Brevetto: IT TO96U000170

Titolo: "Apparecchio per il riscaldamento a gas ad emissione di raggi infrarossi"

Il brevetto riguarda un dispositivo costituito da una vasca di supporto in metallo, fibra di vetro o altro materiale comunque resistente alle temperature di esercizio, su cui viene riposto un corpo riscaldante di materiale ceramico. Tra il supporto ed il corpo riscaldante viene interposto un cordoncino morbido a base di fibre di ceramica intrecciate. Nella camera che si crea tra l'elemento di supporto ed il corpo riscaldante viene diffuso il gas combustibile, alimentato attraverso un ugello posto nella vasca di supporto. Attraverso delle perforazioni o delle microporosità presenti sul corpo riscaldante il gas raggiunge la superficie esterna dove avviene la combustione che riscalda il materiale ceramico che, a sua volta, emette calore sotto forma di irraggiamento di radiazioni infrarosse.

Normalmente il problema dovuto alla tenuta tra corpo riscaldante e supporto (provocato da dilatazioni termiche differenziate) viene ovviato utilizzando mastici a base di silicone o cemento refrattario, materiali che però tendono ad invecchiare se sottoposti a ripetuti riscaldamenti, perdendo in tal modo le loro caratteristiche di elasticità e tenuta.

L'oggetto dell'invenzione descritta in questo brevetto riguarda l'impiego di una speciale guarnizione costituita da fibre di ceramica intrecciate che, da un lato non risentono di fenomeni di invecchiamento, dall'altro garantiscono la tenuta anche in presenza di forti dilatazioni termiche.

Brevetto per Modello Industriale d'Utilità

N° Brevetto: IT TO93U000278

Titolo: "Pannello riscaldante a gas a generazione di raggi infrarossi"

Il brevetto riguarda un sistema costituito da una base portante metallica, due o più lastre di materiale ceramico (o altro materiale resistente al calore) che presentano microperforazioni ortogonali alla superficie piana della lastra e che vengono posizionate secondo piani tra loro incidenti per ottenere una distribuzione uniforme dell'energia termica irradiata. Gli spazi fra la base e le lastre e le lastre tra loro adiacenti vengono chiusi da un materiale sigillante resistente al calore.

Se nel caso di pannelli riscaldanti "tradizionali" le lastre perforate sono in posizione di complanarità determinando una distribuzione poco uniforme dell'energia radiante (lo spettro di distribuzione presenta un picco in direzione ortogonale alla superficie, mentre ai lati delle lastre l'irraggiamento è pressoché nullo); il dispositivo protetto dal presente brevetto vede disposte le lastre perforate secondo piani incidenti con il vantaggio di ottenere una distribuzione uniforme dell'energia termica senza picchi di temperatura, con una maggiore estensione del volume riscaldato e senza aggravio di ulteriori costi rispetto alle soluzioni tradizionali. Per migliorare ancora di più la distribuzione

dell'energia irradiata è utile che le lastre siano disposte in modo da approssimare una superficie cilindrica.

11.4.2.2 - La tecnologia delle microonde

Le microonde sono onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 300 MHz e 400 GHz e corrispondenti lunghezza d'onda comprese tra 1m e 1mm. La principale proprietà che caratterizza questa tipologia di radiazioni è costituita dalla capacità di sviluppare fenomeni di risonanza in spazi ridotti confinati da pareti riflettenti.

Tra i materiali con il più alto assorbimento di energia da microonde si cita, ovviamente, l'acqua; tra quelli con elevata trasmissione (trasparenza a questo tipo di onde) ricordiamo invece: il legno, il sughero, la ceramica, le materie plastiche; infine, i metalli ed in particolare l'acciaio inox sono i materiali con più alta riflessione di questo tipo di onde.

Il principale problema legato all'impiego della tecnologia delle microonde nell'ambito dei trattamenti industriali è legato alla difficoltà di distribuire in maniera omogenea la potenza all'interno delle camere di trattamento. Nel settore del mobile essa viene al momento impiegata per l'essiccazione di prodotti vernicianti all'acqua. Per applicazioni industriali le microonde vengono prodotte da speciali tubi elettronici detti magnetron e convogliate in direzione del materiale da trattare attraverso l'impiego di particolari guide d'onda che permettono di ottenere un riscaldamento omogeneo, sia con cicli di lavoro continui che discontinui.

Principali vantaggi dichiarati:

- rapida evaporazione dell'acqua (le microonde vengono assorbite dall'acqua, mentre il legno risulta esserne trasparente); minor rigonfiamento delle fibre legnose;
- penetrazione completa all'interno del film di vernice; la reticolazione parte dall'interfaccia supporto-vernice e non dalla superficie esterna; capacità di essiccare qualsiasi spessore di vernice;
- riduzione degli spazi di ingombro (questi sistemi richiedono l'installazione di linee piane più compatte rispetto ai tradizionali forni);
- ridotti consumi energetici.
-

Principali svantaggi dichiarati:

- per applicazioni di spessori di prodotto verniciante medio-alti bisogna prestare attenzione a determinati parametri operativi del processo al fine di evitare un eccessivo riscaldamento del prodotto verniciante e del supporto stesso;
- l'evaporazione dei coalescenti (solventi organici) deve avvenire con sistemi tradizionali in quanto gli stessi non sono sensibili alle microonde;
- costi di investimento elevati.

Sul fronte della sicurezza, infine, va sottolineato il fatto che le microonde, trattandosi di radiazioni con alto contenuto energetico, sono nocive per l'uomo in quanto, se esposto alla loro azione, comportano un riscaldamento dei tessuti. Ciò comporta la necessità schermare opportunamente tali sistemi per salvaguardare la sicurezza degli operatori.

Inoltre, nel caso di assenza di pezzi, è obbligatorio lo spegnimento del generatore per evitare fenomeni di surriscaldamento o di riflessioni di radiazioni. Alcuni impianti presenti sul mercato sono comunque dotati di sistemi automatici di accensione e spegnimento del magnetron a base di fotocellule consentendo in tal modo anche notevoli risparmi energetici.

La tecnologia protetta ed i brevetti depositati.

Questi i brevetti reperiti sull'argomento:

European Patent Application

N° Brevetto: EP 1 396 695 A2

Il brevetto riguarda un dispositivo per essiccare vernici a base acqua su elementi in legno massiccio o prodotti da esso derivati (MDF, HDF, impiallacciato,).

Fino ad oggi sono state più frequentemente utilizzate soprattutto le vernici a solvente, le quali garantiscono brevi tempi di essiccazione ma, di contro, hanno un forte impatto ambientale in termini di emissioni nell'ambiente. Nell'ottica di ridurre l'impatto ambientale dovuto all'attività di verniciatura, la conversione verso prodotti vernicianti a base acqua risulta essere una delle alternative maggiormente prese in considerazione. A parità di condizioni operative, però, tali prodotti richiedono tempi di essiccazione considerevolmente più lunghi. Prima della presente invenzione ci sono già stati alcuni tentativi di realizzazione impianti di essiccazione – non specifici per il settore legno - tramite l'utilizzo di radiazioni elettromagnetiche con frequenze dell'ordine dei 27 MHz. I primi risultati hanno fatto emergere alcuni punti critici di tali sistemi quali la difficoltà di controllo della penetrazione delle onde e la formazione di bolle sulla superficie del film di materiale trattato.

Partendo da questi risultati preliminari si è giunti ad una prima soluzione, individuando come generatore di frequenze di radiazioni elettromagnetiche per forni in applicazioni industriali, un magnetron (ossia un dispositivo del tipo tubo a vuoto ad alta potenza in grado di generare microonde).

Di seguito si riporta in breve la descrizione tecnica dell'impianto oggetto del presente brevetto:

- rulliera di ingresso pezzi
- una camera di ingresso, dotata di sensore per l'apertura/chiusura automatica
- un nastro trasportatore per la movimentazione dei pezzi all'interno della macchina, realizzato in materiale speciale, poliestere rivestito in superficie da Mylar®, in modo da garantire elevate resistenze elastiche e meccaniche (spessore totale del nastro: 1,5cm)
- prima camera di attenuazione, con pannelli radio assorbenti per impedire la fuori uscita delle microonde emesse
- camera di trattamento (il corpo centrale del forno a microonde), costituita da:
 - cavità di risonanza, ciascuna contenente almeno due dispositivi di emissioni di onde elettromagnetiche, magnetron, che emettono radiazioni nello spettro compreso tra 2.400 e 2.500 MHz di frequenza con dispositivi per la propagazione guidata delle onde. Tali dispositivi sono costituiti da tubi metallici di sezione rettangolare di dimensioni 86mm x 43 mm c.ca, alla cui estremità viene fissato il magnetron e dotati di aperture (slots) disposte sul lato della parete rivolto al materiale da trattare. Essi consentono di distribuire sul pezzo rese di irraggiamento (potere radiante) comprese tra 4,746 e 11,074 kW/m² un tubi sono. A seguito di test di laboratorio, la lunghezza del tubo è stata individuata nell'intervallo di 1400 – 1500 mm.
 - zone di ventilazione: la camera viene attraversata da flussi di aria che consentono la rimozione di umidità e di altre sostanze volatili, oltre al raffreddamento della camera e del pezzo una volta terminato il trattamento.La camera di trattamento è strutturata in modo che ciascun pezzo entra in passaggi successivi nelle diverse cavità di risonanza, consentendo in tal modo un'essiccazione completa del film di prodotto verniciante applicato.
- seconda camera di attenuazione, per la schermatura delle microonde.

Nelle camere di attenuazione vengono inseriti dei pannelli radio assorbenti, costituiti da due strati di cui uno in plexiglas (trasparente alle radiazioni) mentre gli altri possono essere di materiale metallico. Tali camere svolgono la funzione di abbattimento delle emissioni elettromagnetiche prodotte dal sistema.

11.4.3 – L'adeguamento degli impianti di essiccazione esistenti (tunnel di essiccazione)

Per adeguare gli impianti di essiccazione utilizzati per i prodotti a solvente si pensò inizialmente di innalzare semplicemente la temperatura interna ai tunnel. Tale accorgimento non risultò sufficiente in quanto l'alta temperatura causava problemi alla vernice.

Un secondo passo fu quello di potenziare la ventilazione all'interno degli impianti di essiccazione, ma anche questo accorgimento risultò insufficiente.

Si è quindi pensato di agire sull'umidità relativa dell'aria.

Moderne camere di essiccazione prevedono quindi la deumidificazione dell'aria ambiente attraverso apparecchiature appositamente progettate in relazione alla tipologia di impianto, alla tipologia di manufatto e prodotto verniciante impiegato.

Questi sistemi consentono di ottenere ottimi risultati (rapidità di essiccazione e ottimi requisiti prestazionali) consentendo di contenere notevolmente i costi impiantistici.

11.5 - Conclusioni

Lo stato dell'arte degli impianti di applicazione e di essiccazione utilizzabili per le vernici all'acqua sono stati oggetto di un corso di formazione organizzato dal CATAS. I lucidi sono allegati al presente lavoro.

La scelta del sistema di applicazione e di essiccazione deve essere accuratamente studiata e progettata in relazione alla tipologia di manufatto e alla tipologia di prodotto verniciante impiegato.

Capitolo 12 - Valutazione impianti di abbattimento presenti nelle aziende del settore della verniciatura del legno in relazione alla tipologia di prodotto finito e alle materie prime utilizzate

12.1 - Introduzione

Negli impianti che prevedono un ampio utilizzo di solventi, deve essere previsto un impianto di aspirazione o captazione dei vapori di questi solventi, in modo tale da rimuoverli dall'ambiente di lavoro. La funzione di un dispositivo di depurazione è quella di trasferire i vapori delle sostanze dall'interno dell'impianto in cui si sviluppano, all'esterno dell'ambiente di lavoro. A seconda del tipo di sostanza e dei quantitativi evacuati, questo trasferimento deve essere accompagnato da un processo di contenimento (abbattimento) più o meno spinto dei vapori presenti nell'aeriforme, affinché l'aria espulsa in atmosfera sia quanto più possibile priva di inquinanti comunque presenti concentrazioni inferiori ai limiti di legge. Diverse sono le tecnologie che possono essere utilizzate per l'abbattimento dei solventi, ciascuna basata su differenti principi chimici e fisici e ciascuna con propri vantaggi e limiti.

12.2 – Le tecnologie di abbattimento

I sistemi di riduzione e abbattimento delle COV possono essere suddivisi in due macro classi: quelli utilizzando il metodo non distruttivo e quello distruttivo.

Risulta di fondamentale importanza una valutazione preliminare dell'insediamento produttivo, nel quale si ipotizza un recupero del composto organico prima di ipotizzare un intervento.

Utilizzando un metodo non distruttivo, l'inquinante, inizialmente in fase di vapore, viene recuperato, con la medesima struttura chimica in fase liquida.

La sua estrazione dall'aria può avvenire per condensazione diretta in una miscela liquida di lavaggio in contatto con il flusso gassoso (per esempio si può operare un assorbimento in soluzione chimicamente omogenea al composto organico inquinante) oppure mediante adsorbimento su carboni attivi o zeoliti e relativo stripping con fluido inerte.

L'applicazione di tale sistema, ove l'inquinante COV non è monosolvente, può diventare non conveniente, in quanto, talvolta, il riutilizzo diretto dei solventi recuperati non risulta fattibile.

Utilizzando un metodo distruttivo l'inquinante inizialmente in fase vapore, viene ossidato chimicamente generando i sottoprodotti di combustione in relazione delle tecnologie impiegate.

La trasformazione chimica dei composti organici può avvenire utilizzando i seguenti sistemi:

- Biofiltrazione a temperatura ambiente.
- Combustione catalitica.
- Combustione termica.

12.3 – La combustione

Si tratta di un processo ossidativo esotermico durante il quale i COV sono trasformati in acqua e anidride carbonica; può produrre anche inquinanti da combustione, quali monossido di carbonio, ossidi di azoto, di cloro, acido cloridrico e aldeidi.

Il trattamento termico consiste nel portare il flusso gassoso a temperature elevate (800-900 °C) per un tempo sufficiente a realizzare la trasformazione delle sostanze inquinanti che funzionano da combustibile, è comunque necessario il sostentamento del sistema mediante combustibile ausiliario e l'ossigeno presente nel flusso da trattare funziona da comburente.

Il processo avviene in una camera di ossidazione nella quale vengono introdotti i gas che devono essere purificati da un bruciatore con il combustibile (gas naturale, GPL, gasolio) con determinate condizioni di turbolenza ed opportune velocità del flusso: affinché le reazioni vengano completate sarà necessario che il flusso inquinante rimanga nella camera di ossidazione in un lasso di tempo che sta tra i 0,6 ed i 2 secondi.

Affinché la reazione vada a completano devono essere ottimizzati i seguenti parametri fondamentali:

- tempo di permanenza, ovvero durata del processo di combustione;
- temperatura di combustione, che è strettamente legata alla sostanze che deve essere ossidata e all'efficienza di abbattimento desiderata;
- turbolenza del flusso all'interno della camera di combustione che permette di favorire un intimo contatto tra COV ed aria, inoltre incrementa la velocità di combustione, grazie al ricircolo dei radicali liberi, estremamente attivi nell'innesco rapido delle reazioni di agnizione e di ossidazione.

Il processo di combustione avviene immettendo l'effluente aeriforme da trattare in un volume confinato (camera di combustione), dopo averlo precedentemente riscaldato.

Il bruciatore presente nella camera di combustione porta la temperatura all'interno della camera al valore stabilito in modo da innescare il processo di ossidazione. Il consumo di combustibile ausiliario dipende dalla concentrazione di COV nell'effluente aeriforme.

Esiste una zona di recupero termico che permette di preriscaldare l'aria in ingresso o altri fluidi utili al processo (acqua, olio diatermico) al fine di ottimizzare i consumi di combustibile ausiliario: le condizioni ottimali si raggiungono portando l'aria da trattare alla temperatura di ossidazione senza utilizzare combustibile esterno ottenibile solo con elevate concentrazioni di sostanze inquinanti.

Le reazioni ossidative possono avvenire mediante ossidazione termica oppure ossidazione catalitica. Tramite ossidazione termica è possibile ossidare qualsiasi tipo di sostanza organica. La temperatura è tra i 750 ed i 1250 °C.

L'ossidazione catalitica avviene a basse temperature ed in un'area limitata con uno o più letti catalitici. Il gas che deve essere depurato viene portato alla corretta temperatura grazie ad un bruciatore dopodiché il flusso entra in contatto con letti di catalizzatore, a base di metalli nobili o ossidi metallici.

La scelta del catalizzatore dipende dalla presenza nell'inquinante, di sostanze che possono agire da veleni diminuendo l'attività catalitica.

Solitamente il catalizzatore è un materiale composto da una base ceramica con un'alta superficie specifica ed un'elevata porosità, attivata da metalli nobili: la distruzione degli inquinanti avviene attorno i 200-400 °C.

Gli impianti di ossidazione in relazione ai diversi sistemi per il recupero del calore sono classificabili in impianti recuperativi, sia termici che catalitici, con "recuperatore" di calore che usa i gas di scarico caldi dell'ossidazione che arrivano dalla camera di combustione/catalizzazione per preriscaldare l'aria in entrata, ed impianti rigenerativi che sfruttano la capacità di accumulare calore da una massa di materiale inerte per poi restituirlo in una fase successiva.

Strutturalmente questi impianti sono essenzialmente costituiti da due masse inerti che sono usate alternativamente come "preriscaldatori" o come "recuperatori" di calore in conformità all'aria emessa. Risulta evidente che ad eguali concentrazioni di COV, il consumo di carburante sarà più basso per il sistema rigenerativo piuttosto che per uno recuperativo.

Riassumendo la classificazione degli impianti di combustione per l'abbattimento dei COV si basa sul tipo di processo utilizzato distinguendo tra:

- combustore termico recuperativi;
- combustore termico rigenerativo;
- combustore catalitico recuperativi;
- combustore catalitico rigenerativo.

12.3.1 – Il combustore termico recuperativo

La struttura comprende una camera di combustione, un preriscaldatore per recuperare parzialmente il calore prodotto dalla combustione e reimpiegarlo per il preriscaldamento dell'effluente aeriforme.

Il calore in eccesso, ancora presente nei fumi al camino, può essere recuperato mediante uno scambiatore di calore e utilizzato per scopi esterni al processo. Recuperi di energia termica del 40-60% sono realizzati comunemente.

Il principio di lavoro è abbastanza semplice: l'aria inquinata che arriva dalla produzione viene aspirata dalla ventola centrifuga installata prima dell'ossidatore ed attraverso un tubo orizzontale viene fatta convogliare nei tubi dello scambiatore di calore nel quale viene preriscaldata.

All'uscita del recuperatore l'aria inquinata viene convogliata nella linea di bruciatori nella quale la temperatura è aumentata dalla temperatura di lavoro iniziale.

Nella camera di ossidazione la temperatura è mantenuta costante per mezzo di un ciclo di controllo che lavora con la valvola di modulazione dello sviluppo dei gas.

I prodotti della combustione andranno ad abbandonare la camera di ossidazione attraverso la cavità, provvista di speciali deflettori, tra le due camere e passa oltre il fascio tubiero dello scambiatore di calore diminuendo la propria temperatura e rilasciando energia termica.

Il calore dei prodotti di ossidazione potrà venire recuperato da una batteria aria/aria o aria/acqua. Il flusso così purificato andrà in atmosfera attraverso un camino.

12.3.2 – Il combustore termico rigenerativo

Nel combustore termico rigenerativo, al posto del preriscaldatore ci sono due o più letti di riempimento di materiale ad elevata capacità termica, che permettono un recupero più spinto del calore prodotto dalla combustione.

Il combustore termico rigenerativo è costituito da camera principale di combustione con un bruciatore e due camere di recupero che possono fungere da preriscaldatore o da recuperatore del calore.

Comunque il sistema di camera sarà sempre in numero dispari per alternare le fasi di preriscaldamento, scambio e purga.

La camera principale di ossidazione è fatta di acciaio ed un rivestimento di fibre di ceramica per garantire la temperatura minima di lavoro di 760 °C; tale unità è progettata per un tempo di residenza del flusso da trattare per almeno 0,6 secondi durante l'ossidazione dei COV.

Le camere di recupero di preriscaldamento/riscaldamento contengono dei letti di ceramica e funzionano alternativamente una come preriscaldatore dei gas in entrata che devono essere trattati e l'altra come un recuperatore termico dei gas purificati.

I gas derivanti dal processo vengono aspirati dall'azione della ventola e attraversano vicendevolmente l'unità di ossidazione rigenerativa termica a seconda dei cicli che durano all'incirca 90-120 secondi e che sono controllati dall'apertura e la chiusura delle valvole installate nell'unità medesima.

I vantaggi rispetto agli altri tipi di combustori sono:

- una minore quantità di combustibile ausiliario, in quanto il recupero di energia è elevato;
- la possibilità di operare a temperature più elevate che permette di raggiungere una maggiore efficienza di abbattimento rispetto ai combustibili recuperativi,
- minori problemi nel caso di trattamento dei composti clorurati,
- emissioni ridotte di NOx.

Gli svantaggi sono i seguenti:

- costi elevati di investimento, installazione difficile e costosa;
- grosse dimensioni e peso elevato;
- manutenzione elevata per i letti di riempimento.
-

12.3.3 – Il combustore catalitico recuperativo

Costituito da una camera di combustione e da materiale catalitico, che consente l'innesco e il completamento della combustione a temperature minori di quelle di autocombustione proprie dei COV presenti nell'effluente gassoso da trattare.

12.3.4 – Il combustore catalitico rigenerativo

Nel combustore catalitico rigenerativo, il preriscaldatore è sostituito da due o più letti di riempimento in materiale ad elevata capacità termica, al di sopra dei quali vengono posizionati i letti di catalizzatore.

I vantaggi sono legati a:

- Minore apporto di combustibile ausiliario.
- Abbattimento anche della CO presente nel flusso da trattare.

Gli svantaggi sono dovuti a:

- Costi d'investimento elevati.
- Installazione difficile e costosa.
- Grosse dimensioni e peso elevato.
- Pericolo di avvelenamento del catalizzatore
- Catalizzatori esausti devono essere sostituiti.

12.3.5 – Il catalizzatore

Il catalizzatore costituisce la parte più delicata dei processi di combustione catalitica. Per il dimensionamento dell'impianto il parametro più importante è la velocità spaziale definita come il rapporto tra la portata oraria dell'effluente e il volume del catalizzatore: questo parametro permette di calcolare, in fase progettuale, il volume del catalizzatore necessario per avere una determinata efficienza di conversione ad una temperatura prefissata.

La funzione di catalizzatore viene svolta da metalli nobili come platino e palladio o da altri metalli come cobalto, rame, nichel, cromo e manganese: qualora nell'effluente ci fossero dei composti alogenati verrebbero utilizzati ossidi di rame, cromo e manganese.

Tali metalli sono disposti su supporti inerti aventi una struttura caratterizzata da alta superficie specifica, che favorisce la diffusione del gas.

12.3.6 – I costi di gestione

I costi di gestione di un combustore sono imputabili a più voci:

- consumo di combustibile;
- sostituzione più o meno programmata di alcune componenti
- consumo di energia elettrica e di aria compressa.

Il consumo di combustibile è la voce che assume maggiore rilevanza nella conduzione di un impianto industriale.

Dal punto di vista impiantistico il problema principale nel trattamento di un effluente da COV è quello di trovare una soluzione tecnologica opportuna che possa consentire il maggior recupero di calore di combustione contemporaneamente al raggiungimento delle condizioni di autosostentamento del sistema.

Ove non sia possibile operare nelle condizioni accennate, il calore mancante al raggiungimento della temperatura di combustione prefissata dovrebbe essere fornito da un opportuno bruciatore che utilizza un combustibile ausiliario.

12.4 - L'adsorbimento

È un fenomeno chimico-fisico che regola l'interazione tra le molecole contenute in un certo fluido e la superficie con cui tale fluido viene a contatto.

Tale interazione consiste nella formazione di legami chimici di intensità variabile, tra una parte delle molecole presenti nel fluido e gli atomi costituenti la superficie del solido: tali legami possono essere deboli e quindi reversibili al mutare delle condizioni fisiche del sistema oppure forti caratterizzati dal fatto di non essere reversibili.

I materiali adsorbenti di utilizzo tecnologico sono di diversa natura in funzione delle caratteristiche delle sostanze con cui vengono fatte interagire, gel di silice, allumina, zeoliti, carbone attivo.

I più utilizzati per l'abbattimento di composti organici volatili nei cicli di verniciatura del mobile sono le zeoliti e i carboni attivi.

Il carbone attivo è un materiale microporoso di origine vegetale o minerale, caratterizzato da un'elevata superficie specifica, in grado di trattenere nei propri siti attivi ed in modo selettivo, una vasta tipologia di molecole.

Le zeoliti sono minerali naturali, di forma cristallina, presenti nelle rocce vulcaniche e nelle formazioni sedimentarie di antichi mari.

Sono costituite da idrati allumino-silicati di sodio, di calcio, potassio e bario. In virtù della loro composizione naturale, esse sono altamente idrofile e possiedono un'elevata capacità di adsorbire e desorbire l'acqua.

12.5 - Il rotoconcentratore

Questa tecnologia è la soluzione ideale per il trattamento di flussi ad elevate potate con basse concentrazioni di inquinanti che se trattati normalmente, hanno bisogno di grossi impianti con grandi costi di manutenzione ed investimento.

Il cuore dell'impianto è costituito da un cilindro rotante fatto di materiale adsorbente su un asse orizzontale (o verticale, in dipendenza del tipo di impianto), il materiale adsorbente è composto da un supporto in struttura di ceramica, impregnato di zeoliti idrofobici sul quale vengono adsorbiti i solventi.

Ognuno dei settori viene ermeticamente tenuto separato dagli altri per evitare possibili interferenze che ne pregiudicherebbero il corretto funzionamento; le dimensioni, le caratteristiche del cilindro, l'altezza del letto ed il tipo di materiale adsorbente variano in funzione delle sostanze da abbattere e della portata d'aria da trattare.

12.6 – La biofiltrazione

La biofiltrazione consiste nell'ossidazione biochimica di alcune sostanze organiche volatili per mezzo di particolari microrganismi (batteri) opportunamente confinati in un substrato a letto fisso.

La degradazione biochimica dell'inquinante avviene in condizioni aerobiche, cioè in presenza di ossigeno, fornendo acqua e anidride carbonica come prodotti secondari.

L'elemento principale di un biofiltro è la biomassa, costituita da appositi microrganismi e da un substrato su cui possono insediarsi per la loro crescita e riproduzione.

I microrganismi sono batteri opportunamente selezionati in funzione delle sostanze da trattare che operano la digestione delle sostanze inquinanti che costituiscono il loro alimento. Il resto dell'alimento viene fornito attraverso un liquido biologico, dato da soluzioni di acidi, sali e basi che vanno aggiunti alla biomassa.

Deve essere eseguito un rigoroso controllo delle variabili di processo:

- la temperatura deve essere mantenuta costante ai valori compatibili per la vitalità dei microrganismi;
- l'umidità deve essere tenuta sotto controllo e mantenuta nelle condizioni ottimali;
- la portata dell'aria di processo attraverso il biofiltro non deve essere alta;
- i tempi di contatto devono essere tali da rispettare le cinetiche del processo;
- i carichi di inquinante devono essere qualitativamente e quantitativamente limitati, in relazione alle caratteristiche dei microrganismi.

Dal punto di vista impiantistico un biofiltro è costituito da un reattore in muratura a sviluppo orizzontale, contenente una massa filtrante molto porosa (torba); il gas da depurare viene distribuito da appositi ugelli disposti in un letto di ghiaia e sale attraversando il letto di minerale organico.

Il materiale filtrante, di spessore compreso in genere tra 1 e 2 metri, è mantenuto umido mediante irrorazione di acqua; il tempo di permanenza del gas nel biofiltro varia molto in funzione della biodegradabilità degli inquinanti ed è compreso tra 20 e 90 secondi.

Il controllo dell'umidità, della temperatura, del pH, delle polveri e del tempo di residenza viene effettuato generalmente in continuo attraverso un sistema di rilevazione automatico.

I ventilatori permettono di controllare le portate, variandole in funzione della risposta del sistema e quindi dell'efficienza di abbattimento.

La massa filtrante può essere disposta in due unità sovrapposte, con un dispositivo di controllo automatico di pressione, temperatura ed umidità.

Una tecnologia più recente è costituita da un supporto di materiale ceramico, inerte, igroscopico, macroporoso e fortemente adsorbente, su cui crescono i microrganismi.

Tale sistema è applicabile per portate elevate e basse concentrazioni, dove a causa dei bassi costi di gestione diventa competitivo con altre soluzioni.

La durata dei letti è legata al mantenimento delle caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente che li circonda; se i microrganismi non sono sottoposti a variazioni significative, il reintegro della biomassa può anche non avvenire.

Nel caso in cui a causa di fermate dell'impianto, venga interrotta l'alimentazione di aria da trattare sul letto di microrganismi, il sistema biologico ha una certa resistenza, purchè siano mantenute stabili le altre condizioni chimiche e chimico-fisiche.

La biofiltrazione rappresenta un'affascinante alternativa ai sistemi termici classici.

Prove su impianti pilota con "atmosfere inquinanti controllate" dimostrano la capacità di ottenere alte prestazioni di abbattimento, relativamente ai carichi di inquinante da abbattere.

Tuttavia i limiti sono ancora molti, soprattutto nella chimica stessa della reazione di abbattimento: la reazione può procedere solo attraverso la presenza di condizioni biologiche favorevoli, in quanto sono dei microrganismi a rompere e ossidare la molecola organica inquinante.

Di conseguenza il "pasto" dei microrganismi può avvenire solo se il "cibo" è compatibile ovvero "digeribile".

In pratica più le molecole inquinanti sono "biorganiche" (affini cioè alla chimica degli esseri viventi, tipo gli alcoli) maggiore è il rendimento di abbattimento. Temperatura, condizioni di umidità e acidità del substrato dove sono presenti i microrganismi, rappresentano le condizioni al contorno da controllare al fine di rendere attiva la reazione di disinquinamento.

Ecco che alla luce dell'esperienza attuale in tale campo e delle conoscenze presenti tale sistema di depurazione manca, ancora, di affidabilità tecnica intesa come mantenimento delle prestazioni di eliminazione dei COV nel tempo o al cambiamento dei parametri chimico-fisici delle correnti gassose da trattare.

12.6.1 - La biofiltrazione per la riduzione dei composti organici nell'industria del legno

Alcune ricerche condotte dall'Università degli studi di Udine mostrano come i biofiltri possano essere efficaci per ridurre la concentrazione di COV delle miscele di solventi simulanti le caratteristiche medie del settore legno – arredo.

Con biofiltro pilota si sono ottenuti rendimenti in laboratorio sufficientemente buoni (prossimi al 65%) tali da far considerare questa metodologia idonea ad essere applicata diffusamente in questo settore.

La giusta scelta del supporto microbico insieme ad una corretta gestione dei parametri condizionanti il processo di biofiltrazione, possono rendere questa tecnologia idonea anche per aziende molto piccole con concentrazioni medio basse di COV.

12.7 - Conclusioni

Gli impianti di abbattimento delle emissioni (End of pipe technology) risolvono i problemi a valle dei processi di verniciatura comportando solitamente un problema di consumo di energia e risorse. Essi sono considerabili quali sistemi "correttivi" in quanto agiscono su un carico inquinante esistente. La prevenzione dell'inquinamento potenziale, a monte del processo quindi, è spesso considerato il processo globalmente più efficace se ovviamente ottenibile implementando tecnologie migliorative come precedentemente esposto.

L'ossidazione catalitica rappresenta sicuramente una soluzione abbordabile per contenere i costi di gestione grazie alla bassa temperatura del sistema. Con tale tecnologia potrebbe tuttavia sussistere il problema dell'"avvelenamento" del catalizzatore (costituito da metalli nobili) con determinati inquinanti che comporterebbe una onerosa sostituzione.

La postcombustione termica potrebbe ancora oggi rappresentare un'ottima scelta nel campo della depurazione per aziende con elevati consumi di solventi, tuttavia l'elevata temperatura di reazione, correlata all'utilizzo di combustibile ausiliario per il sostentamento del processo, potrebbe causare la produzione inquinanti secondari dannosi.

Sicuramente, la biofiltrazione risulta una tecnologia estremamente interessante per le aziende del settore legno - arredo.

Anche se i rendimenti specifici sono inferiori rispetto ad altre tecnologie, i bassi costi di gestione e di investimento fanno sì che tale tecnologia possa essere potenzialmente diffusa su larga scala anche ai più piccoli artigiani andando a coprire gran parte delle emissioni puntiformi.

Ringraziamenti

Si rivolge un particolare ringraziamento all'ing. Sara Zanchiello dell'Area Scienze Park e all'ing. Massimo Martini per l'indagine svolta inerente queste tematiche.

Capitolo 13 - Ricerche e valutazioni sui sistemi di abbattimento "Overspray" di impianti di verniciatura a spruzzo robotizzati e tradizionali e di sistemi di depurazione e recupero delle acque contenenti vernici idrodiluibili di lavaggio degli impianti

13.1 - Introduzione

Nei cicli di verniciatura viene impiegata l'acqua sia come sistema di abbattimento all'interno delle cabine (di residui solidi di prodotto verniciante e, solo in minima e trascurabile parte, di solventi organici volatili) che come sistema di lavaggio di apparecchiature ed impianti qualora vengano utilizzati prodotti idrodiluibili.

Tali acque richiedono processi e trattamenti di depurazione per eventuali loro riutilizzi (quali, ad esempio, nuovi cicli di lavaggio).

La ricerca è stata condotta tenendo in considerazione il fatto che l'impiego di prodotti vernicianti a base acquosa (prodotti non adesivi per loro natura e contenenti resine e pigmenti altamente compatibili con l'acqua) richiede necessariamente opportuni sistemi di trattamento delle acque impiegate nel processo allo scopo di prima catturare e quindi raccogliere, dopo loro agglomerazione, le particelle solide.

La difficoltà nel realizzare un'analisi accurata delle tecnologie disponibili risiede nel fatto che allo stato attuale i produttori di impianti di trattamento delle acque industriali non hanno delle soluzioni specifiche per questo tipo di problema, in quanto solo in tempi molto recenti alcune aziende del settore legno - arredo stanno riconvertendo parte degli impianti per l'utilizzo di vernici idrodiluibili.

Al fine di avere uno stato dell'arte identificativo dello stato attuale riguardante l'offerta di mercato in merito a queste tecnologie, nell'ambito del progetto commissionato al CATAS da Federlegno Arredo, è stata effettuata una ricerca brevettuale per mezzo dell'Ufficio Studi e Patlib sulle tecnologie esistenti, ed è stata realizzata una ricerca documentale relativa all'analisi del mercato per queste tecnologie contattando e visitando alcune aziende produttrici di impianti presenti nella zona.

13.2 - Esigenze delle aziende del settore

Nei processi di verniciatura a spruzzo di manufatti sagomati vengono diffusamente utilizzati sistemi robotizzati di applicazione di vernice sia di tipo a solvente che ad acqua.

Per recuperare e riutilizzare parte della vernice ed abbattere l'overspray gli impianti robotizzati sono corredati di un dispositivo di raschiamento del nastro trasportatore (racla), di sistema di lavaggio del nastro stesso e di un sistema a velo d'acqua per l'abbattimento delle particelle di vernice contenute nel flusso d'aria che lo attraversa.

Nei cambi di lavorazione, oggigiorno piuttosto frequenti, si deve provvedere, inoltre, al lavaggio delle apparecchiature utilizzate per spruzzare le vernici.

Oltre al velo d'acqua è previsto un ulteriore sistema di abbattimento realizzato in controcorrente in sistema di lavaggio denominati a "Scrubber" mediante spruzzo di acqua nebulizzata.

Prima dello scarico in atmosfera dell'aria depurata è previsto un sistema di filtrazione per eliminare le gocce d'acqua trascinate.

Le acque di processo, raccolte in un'unica vasca, vengono successivamente trattate per separare le particelle di vernice e riutilizzare l'acqua; si utilizza una apparecchiatura denominata "Skimmer" che permette la separazione mediante raschiatura del materiale solido che galleggia in superficie e che si è formato dopo l'aggiunta nella parte iniziale dell'alimentazione e sotto pressione di agenti di coagulazione e flocculazione.

È possibile il recupero del materiale flocculato, anche per sedimentazione, soprattutto per cabine a velo d'acqua.

Mentre le acque depurate vengono riciclate, il residuo della separazione (flottazione o sedimentazione) deve essere filtrato per eliminare l'eccesso d'acqua per poi essere smaltito come residuo pericoloso.

Per il lavaggio del nastro, realizzato o in lamiera di acciaio o in gomma, non si utilizza normalmente acqua ma solventi a base di acetone e glicoli.

Per il lavaggio di aerografi si utilizza acqua in piccola quantità; in questo caso sussistono alcune difficoltà per il trattamento dei flocculi se il residuo secco dell'acqua da trattare risulta alto mediamente oltre 7-8 % come per questi lavaggi.

Di seguito si elencano le problematiche relative a questi sistemi di trattamento:

- Trattamento continuo o trattamento cosiddetto "batch";
- Difficoltà di trattamento chimico-fisico di acque ad alto Residuo Solido;
- Problematiche per acque con elevato contenuto di sostanze in soluzione;
- Difficoltà nel passaggio da vernici a solvente a vernici all'acqua;
- Problemi di progressivo intasamento pompe per formazione prodotti insolubili;
- Stabilità delle dispersioni e difficoltà di flocculazione;
- Scelta tipo flocculante primario e secondario;
- Dosaggio del flocculante;
- Scelta polielettrolita;
- Scelta correttore di acidità e controllo strumentale del pH;
- Integrazione acqua persa (20%) con aria di depurazione;
- Sviluppo di odori per fermentazione;
- Formazione di schiume e scelta tipo antischiuma;
- Frequenza di smaltimento del rifiuto liquido "acqua di abbattimento";
- Composizione in COV del rifiuto "acqua di abbattimento";
- Possibile emissione di vapori di COV come azeotropi con acqua a minima tensione di vapore.

Nel corso di questa relazione vengono riportate separatamente le tecnologie maggiormente utilizzate in ambito industriale e per ogni soluzione vengono individuati vantaggi e svantaggi.

La valutazione comparativa è stata effettuata sulla base di un'esigenza specifica di un'azienda del settore legno – arredo schematizzata nella seguente tabella:

<i>Volumi di acqua da trattare</i>	<i>100-200 litri/giorno</i>
<i>Sostanze inquinanti</i>	<i>Vernici all'acqua, Stirene.</i>
<i>Vincoli di layout dell'impianto</i>	<i>No</i>

13.3 - La ricerca brevettuale e documentale

La ricerca brevettuale è stata condotta tenendo in considerazione il fatto che l'impiego di prodotti vernicianti a base acquosa (prodotti non adesivi per loro natura e contenenti resine e pigmenti altamente compatibili con l'acqua) richiede necessariamente opportuni sistemi di trattamento delle acque impiegate nel processo allo scopo di prima catturare e quindi raccogliere, dopo loro agglomerazione, le particelle solide.

Da una prima analisi dei brevetti individuati dall' Ufficio Studi e PatLib dell'Area di ricerca di Trieste pare di poter affermare che i sistemi più utilizzati siano trattamenti di tipo chimico - attraverso il controllo del grado alcalino dell'acqua (regolato con aggiunta di carbonato di calcio o sali di alluminio) - e l'impiego di flocculanti polimerici per la separazione di fase solido-liquido, cui seguono successivi sistemi di separazione (raschiatori e filtri) della parte solida da quella liquida.

13.4 – Il trattamento delle acque

13.4.1 - Premessa

Parallelamente alla ricerca brevettuale e documentale, il personale del Centro di Competenza Legno e Arredo dell'area di ricerca Science Park, ha condotto una ricerca via web, da cataloghi e contatti raccolti in occasione di alcune importanti e recenti fiere di settore, allo scopo di individuare riferimenti e caratteristiche tecniche di alcuni prodotti di aziende potenziali fornitrici di sistemi di trattamento e recupero delle acque industriali. Per quanto possibile si è cercato di circoscrivere la ricerca ad aziende specializzate in trattamento acque di scarico e lavaggio da impianti di verniciatura.

Si ribadisce che le informazioni che seguono sono state desunte dalle fonti citate e non devono essere considerate esaustive riguardo il tema trattato della presenza sul mercato di potenziali fornitori di tecnologie analoghe.

Di seguito vengono riportati i risultati della ricerca svolta.

Nel settore del trattamento delle acque si distingue tra acque primarie e acque secondarie.

Le acque primarie sono destinate ad utenze civili e per questo necessitano di appositi trattamenti per la destinazione d'uso; devono infatti avere un basso contenuto di particelle potenzialmente pericolose, come ossidi metallici, sali, etc. Per abbattere la presenza di queste sostanze nell'acqua vengono realizzati processi di trattamento come la demineralizzazione (per eliminare i metalli) e il trattamento per scambio ionico (per eliminare i sali in soluzione).

Le acque secondarie, invece, sono quelle utilizzate da utenze industriali per i loro processi produttivi. Per il tipo di applicazione, non necessitano dei trattamenti descritti in precedenza, ma è sufficiente effettuare altri tipi di trattamenti per l'abbattimento delle sostanze inquinanti, come evaporatori e/o concentratori, osmosi inversa, microfiltrazione, filtrazione e trattamenti chimico – fisici.

Le tecnologie che appaiono adatte alle esigenze delle aziende del settore precedentemente descritte sono le seguenti:

Evaporatori e/o Concentratori: in particolare evaporatori sotto vuoto;

Microfiltrazione (in particolare filtri a membrana);

Trattamenti chimico – fisici;

Nei paragrafi che seguono vengono descritte in dettaglio queste tecnologie.

13.4 - Evaporatori sotto vuoto



Figura 1 - Evaporatore sotto vuoto

a passare allo stato gassoso, impedendo in tal modo separare i solventi dall'acqua.

Questo tipo di impianto viene comunemente utilizzato in vari settori industriali, ed ha la caratteristica di essere adatto a trattare una vasta gamma di sostanze inquinanti e di poter trattare dei volumi d'acqua molto variabili.

Vediamo nel seguito una tabella riassuntiva riguardo le caratteristiche di questa tecnologia:

<i>Volumi trattabili</i>	<i>100 – 10.000 litri/giorno</i>
<i>Sostanze inquinanti trattabili</i>	<i>Ampia gamma di sostanze inquinanti, dalle particelle alle sostanze liquide disciolte in acqua. Non adatti per le sostanze volatili.</i>
<i>Separazione delle sostanze richieste</i>	<i>Si, escluse le componenti volatili (solventi)</i>
<i>Costi di installazione dell'impianto</i>	<i>Piuttosto elevati</i>
<i>Costi di esercizio dell'impianto</i>	<i>Costi dovuti alla corrente elettrica e alla manutenzione.</i>
<i>Layout impianto</i>	<i>Impianto di discrete dimensioni.</i>

Per l'alto costo energetico e le possibili incrostazione dell'evaporatore la tecnica non risulta conveniente.

Questa tecnica può essere eventualmente abbinata con tecnica a membrana.

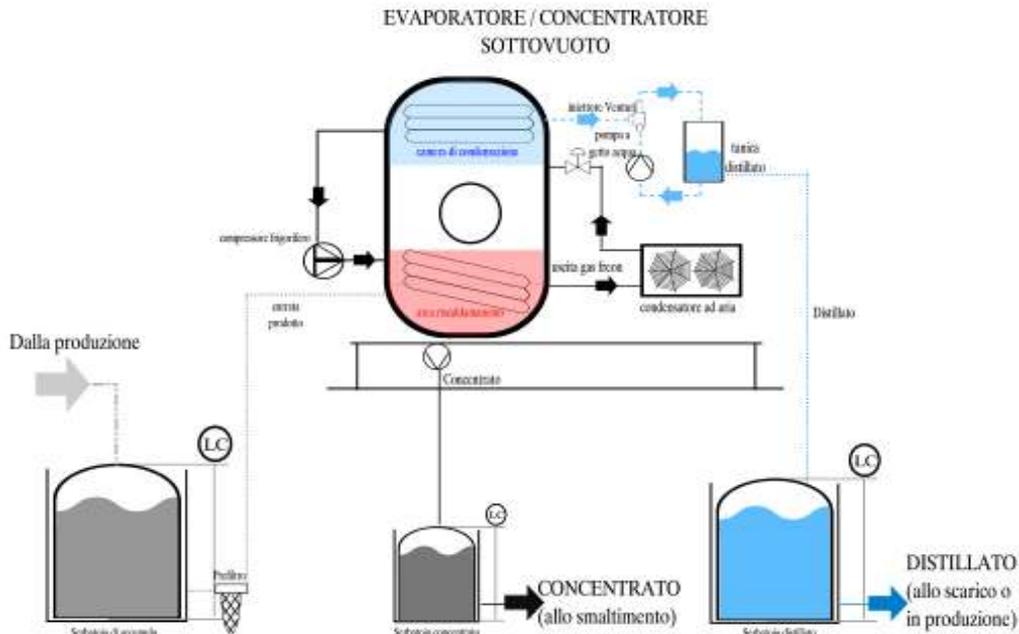


Figura 2 - Schema di funzionamento di un evaporatore sotto vuoto

13.5 – I filtri a membrana



In questo metodo vengono utilizzati dei filtri formati da particolari membrane adatte alla filtrazione; queste permettono di separare delle sostanze micromolecolari di dimensioni inferiori a $0,001 \mu\text{m}$.

I filtri a membrana vengono ampiamente utilizzati in ambito industriale; in particolare vengono utilizzati da soli o in accoppiamento ad altre tecnologie.

I filtri a membrana possono venire utilizzati da soli quando le sostanze inquinanti sono costituite da particelle solide disperse nell'acqua; è questo il caso tipico dell'industria siderurgica.

In alternativa, i filtri a membrana possono venire utilizzati a monte del processo di depurazione per eliminare le

particelle inquinanti più grosse; questa soluzione è particolarmente valida quando le sostanze inquinanti sono costituite sia da particelle solide sia da sostanze disciolte in acqua.

Vediamo nel seguito una tabella riassuntiva riguardo le caratteristiche di questa tecnologia:

Volumi trattabili	4.000 – 12.000 litri/giorno
Sostanze inquinanti trattabili	Particolarmente adatti per la separazione delle particelle solide disperse in acqua.
Separazione delle sostanze richieste	Non ideale; la tecnologia può essere utilizzata per eliminare le particelle in sospensione a monte del processo.
Costi di installazione dell'impianto	Variabili
Costi di esercizio dell'impianto	Manutenzione.
Layout impianto	Dimensioni ridotte dell'impianto.

Riassumendo i filtri a membrana utilizzano, mediante membrane ceramiche monolitiche multi-canale, la tecnica di microfiltrazione, ultrafiltrazione a seconda delle dimensioni delle particelle da separare

Cut – offs per Microfiltrazione: 0,1-0,8 µm

Cut – offs per ultrafiltrazione: 3*10³ –50 10³ Dalton

Applicazione: Trattamento acque di abbattimento di vernici ad acqua nell'industria meccanica

Vantaggi: Consumo energetico basso

Svantaggi: Costo elevato apparecchiatura e Cambio frequente membrane.

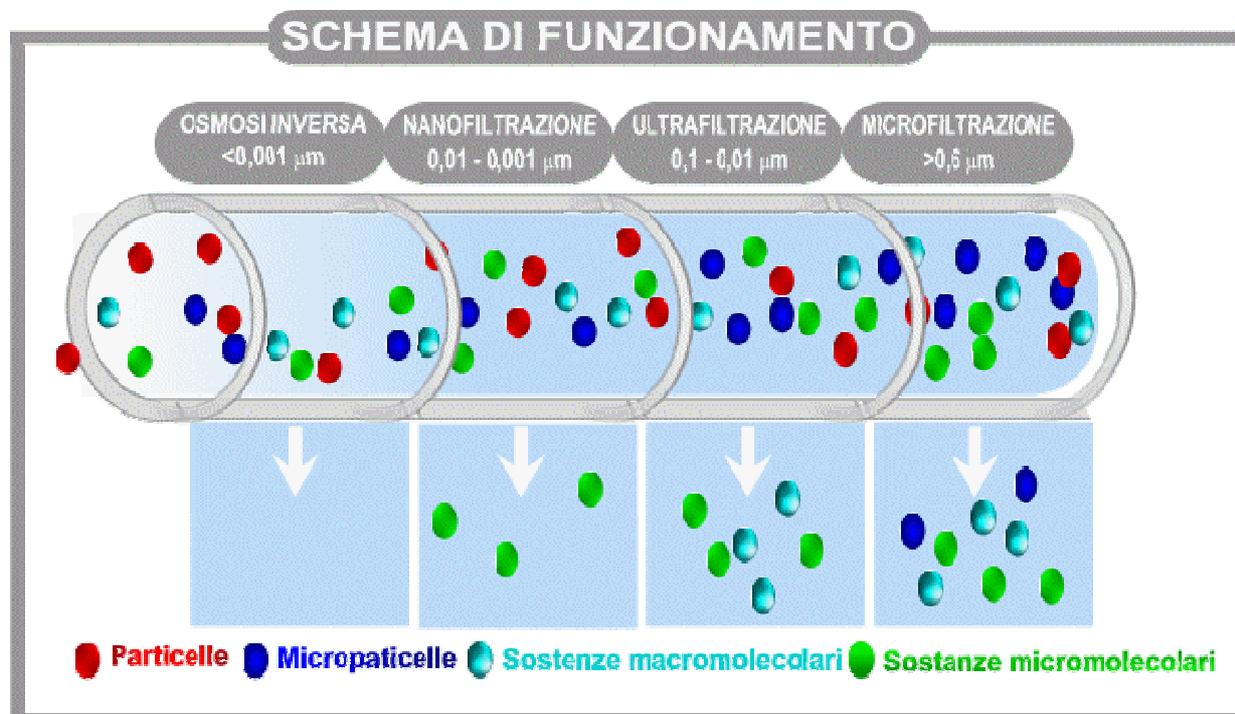


Figura 3 - Schema di funzionamento di un impianto a membrana

13.6 – La separazione chimico - fisica



Figura 4 - Separazione chimico - fisica

In questo tipo di trattamento si aggiungono all'acqua da trattare dei composti chimici; questi, reagendo con le sostanze presenti nelle vernici idrodiluibili, formano degli agglomerati che sono più pesanti dell'acqua e che possono essere separati per gravitazione. Il processo chimico si compone di quattro fasi: quando vengono aggiunti i composti chimici si ha inizialmente una fase di ossidazione che permette di annullare le cariche elettromagnetiche che legano le molecole di vernice a quelle di acqua; segue una fase di coagulazione nella quale vengono

regolate le cariche elettriche superficiali; nella terza fase si ha la

neutralizzazione, che permette di regolare il pH dell'acqua, nella quarta fase infine si ha la flocculazione che permette l'aggregazione delle micro-particelle coagulate in precedenza. A queste fasi di processo chimico, segue un processo di tipo fisico: una volta che le vernici sono agglomerate, il loro peso specifico è superiore a quello dell'acqua, pertanto, per mezzo di una sedimentazione gravitazionale è possibile separare l'acqua dai fanghi.

Vediamo nel seguito una tabella riassuntiva riguardo le caratteristiche di questa tecnologia:

<i>Volumi trattabili</i>	Variabili (da 100 a 1000 litri/giorno)
<i>Sostanze inquinanti trattabili</i>	Possibilità di trattare un buon numero di sostanze inquinanti variando i composti chimici utilizzati
<i>Separazione delle sostanze richieste</i>	Si
<i>Costi di installazione dell'impianto</i>	Bassi
<i>Costi di esercizio dell'impianto</i>	Manutenzione, ripristino delle sostanze chimiche.
<i>Layout impianto</i>	Dimensioni ridotte dell'impianto.

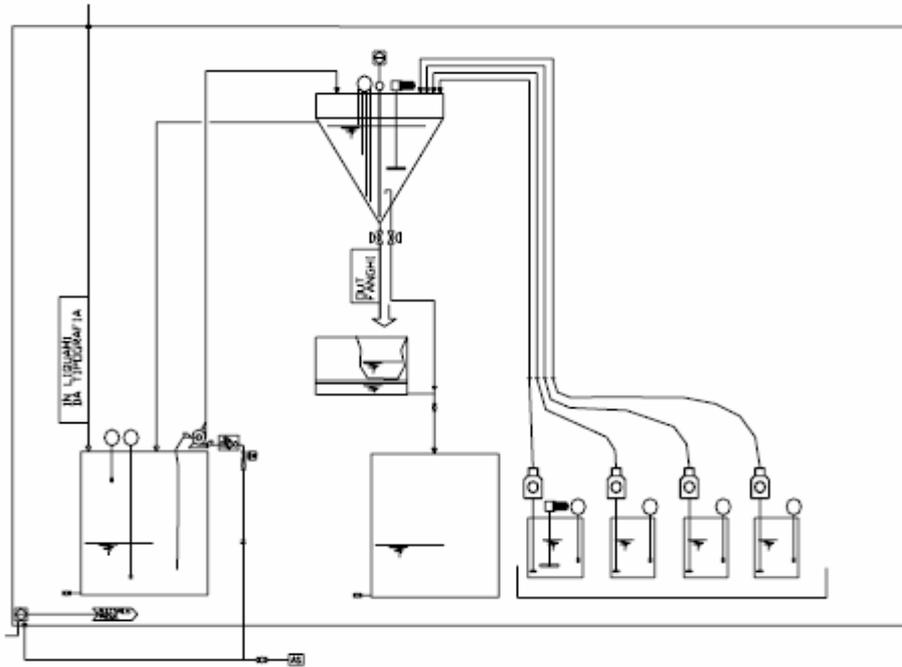


Figura 5 - Schema di un impianto chimico-fisico

Per comprendere a fondo la tecnica più utilizzata in questo settore si riportano le seguenti definizioni.

I colloidali sono particelle di piccole dimensioni, da 1 nm a 10 μm , disperse in un mezzo continuo, soggette a moto Browniano e ad un urto continuo con il mezzo disperdente che ne impediscono la sedimentazione; inoltre sono difficilmente separabili per filtrazione.

Per la loro separazione normalmente si fa ricorso ad un processo di aggregazione delle particelle mediante coagulazione e alla successiva flocculazione per la separazione. Molto spesso l'elevata stabilità dei colloidali stessi rende difficile il processo.

Essi si suddividono in:

- Colloidali Idrofili: macromolecole con alta affinità per l'acqua ma di dimensioni tali che non si formano vere e proprie soluzioni ma restano in dispersione costituendo un sistema colloidale.
- Colloidali idrofobi: particelle insolubili disperse che si presentano allo stato finemente suddiviso; se disperse in acqua si chiamano anche lattici.

Come accennato precedentemente il meccanismo prevede le seguenti fasi:

Stabilizzazione

Il meccanismo di stabilizzazione prevede la repulsione di cariche superficiali per sovrapposizione del doppio strato elettrico delle particelle (Esempio: polimero+ tensioattivo anionico adsorbito in superficie + controione = Doppio strato elettrico);

Coagulazione particelle

Poiché l'estensione del doppio strato elettrico viene in genere messo in relazione alla forza ionica della fase continua, l'aggiunta di sali con elevata carica (Al^{3+} - Fe^{3+}) determina l'aumento della forza ionica e la riduzione del doppio strato con la possibilità che le forze di attrazione di Van Der Waal prevalgano su quelle repulsive; in tal caso si verifica l'aggregazione delle particelle denominata coagulazione.

Per la fase di flocculazione possono essere utilizzati i flocculanti descritti di seguito:

Flocculanti Primari acidi: Soluzione acida pH 4 di sali di Al e/o Fe.

Utilizzati possibilmente a pH tra 7 e 10 determinano oltre ad un aumento della forza ionica del mezzo anche la formazione di fiocchi di idrossidi di $\text{Me}(\text{OH})_3$ che inglobano particelle in dispersione favorendo il processo di depurazione dell'acqua.

Utilizzati per la depurazione continua di quantità notevoli di vernice spruzzata.

Flocculanti Primari neutri: A base di bentoniti organofile (silico alluminati naturali) che rigonfiando incapsulano nelle cavità delle loro struttura le microparticelle di vernice. Essi sono indicati per la depurazione di acque provenienti da impianti di spruzzatura ridotti.

Producono un aumento della quantità di fanghi.

Sono utilizzabili anche per vernici a solvente.

Polielettroliti

Definiti anche coadiuvanti di flocculazione vengono aggiunti perché migliorano la chiarificazione dell'acqua agglomerando i fiocchi di vernice prodotti dalla flocculazione primaria.

Sono prodotti a base di Poliacrilamide variamente modificate e suddivisi in polielettroliti anionici e cationici.

Determinante il tipo e la % di prodotto – Importante l'aggiunta nella tubazione di mandata dello skimmer in quantità pari allo 0,1-1%.

Correttori di Acidità

Aggiunti per mantenere il pH ai valori consigliati. Pompa di alimentazione corredata di sonda di Misura di pH.

Antischiuma

Prodotto non siliconico da aggiungere per abbattere le schiume prodotte dalle vernici all'acqua a causa della presenza di tensioattivi che stabilizzano la dispersione acquosa della vernice stessa.

Battericida

Additivo per eliminare la carica batterica responsabile di cattivi odori.

13.7 – Il confronto tra le tecnologie

Facciamo ora un confronto tra le tecnologie illustrate a partire dalle caratteristiche riportate nelle tabelle precedenti; riportiamo in sintesi i dati nella seguente tabella:

Caratteristiche	Evaporatori sotto vuoto	Filtri a membrana	Separazione chimico - fisica
Volumi trattabili (litri/giorno)	100 – 10.000	4.000 – 12.000	100 – 1.000
Sostanze inquinanti trattabili	Escluse le sostanze volatili	Particelle solide in sospensione	Ampia gamma
Separazione delle sostanze richieste	Si, esclusi i solventi	No	Si
Costi di installazione dell'impianto	Piuttosto elevati	Variabili	Bassi
Costi di esercizio dell'impianto	Corrente elettrica + manutenzione	Manutenzione	Manutenzione + ripristino delle sostanze chimiche
Layout impianto	Impianto di discrete dimensioni	Non vincolante	Non vincolante

La caratteristica più importante riportata è quella che riguarda la possibilità di separare le sostanze inquinanti richieste da questo tipo di applicazione; in tal senso possiamo dire subito che i filtri a membrana sembrano non rappresentare una soluzione ottimale per la tipologia delle sostanze presenti nell'acqua.

Per quanto riguarda le altre due tecnologie si può notare che gli evaporatori non riescono a separare le sostanze volatili presenti nelle acque (solventi). La presenza dei solventi nell'acqua trattata non è tuttavia vincolante: se l'acqua infatti viene riutilizzata all'interno del ciclo produttivo, una certa percentuale di solventi può essere tollerata o eventualmente abbattuta con altre tecnologie qualora ve ne sia in eccesso.

Come si nota poi analizzando le altre caratteristiche tecniche, un'altra differenza tra un impianto con evaporatore ed uno chimico – fisico risiede nei costi. L'installazione di un evaporatore prevede infatti una spesa iniziale maggiore per l'acquisto dell'impianto e per le spese di corrente elettrica per la manutenzione durante il normale utilizzo. Un impianto chimico – fisico, invece ha dei costi di installazione più bassi, cui seguono dei costi variabili per il ripristino delle sostanze chimiche e per la manutenzione.

Vediamo nel seguito un commento relativo alla possibilità di utilizzo di queste tecnologie per il tipo di processo in esame:

- Ambito applicativo degli evaporatori sotto vuoto

Da quanto analizzato in precedenza, questo tipo di impianto sembrerebbe non rappresentare una soluzione idonea per le caratteristiche richieste dall'azienda, tuttavia questa soluzione può risultare interessante qualora:

- Sia necessario trattare grandi volumi d'acqua.
- Si intenda realizzare un impianto di trattamento per acque inquinate da sostanze diverse: ad esempio vernici all'acqua, vernici a solvente, particelle, etc.
- Si realizzi un processo addizionale che permetta di abbattere i solventi in eccesso: ad esempio un metodo di semplice realizzazione può essere quello di far passare l'acqua da trattare su un letto in grado di assorbire i solventi (ad esempio formato da trucioli di legno) e che può essere smaltito in seguito mediante combustione.

- Ambito applicativo dei filtri a membrana

Da quanto analizzato in precedenza, anche questo tipo di impianto sembrerebbe non rappresentare una soluzione idonea per le caratteristiche richieste dall'azienda, tuttavia questa soluzione può essere utilizzata in accoppiamento ad un'altra nel caso in cui nelle acque da trattare sia presente una quantità rilevante di articolato.

- Ambito applicativo del trattamento chimico – fisico

Questo tipo di trattamento sembra rappresentare la soluzione idonea sia in termini di sostanze abbattute sia in termini di costi di investimento e di esercizio.

La variazione delle sostanze utilizzate permette infatti di abbattere un vasto numero di composti inquinanti. I costi di installazione sono bassi, in quanto è possibile realizzare un tipo di impianto molto semplice avvalendosi di un serbatoio per l'acqua da trattare, delle pompe per l'acqua e alcune vasche per le sostanze chimiche. I costi di manutenzione inoltre sono bassi, essendo dovuti al ripristino delle sostanze chimiche e all'energia elettrica necessaria per l'alimentazione delle pompe.

- Soluzioni già adottate

Nell'ambito delle attività svolte è stato possibile visitare alcune aziende del settore presenti in regione. In particolare, presso alcune di queste, sono stati visionati gli impianti chimico – fisici già installati per il trattamento delle acque. Come detto in precedenza, infatti, questa soluzione permette di abbattere le sostanze presenti e può essere realizzata in modo semplice (dal punto di vista impiantistico) ed economico.

Ringraziamenti

Si rivolge un particolare ringraziamento ai tecnici dell'Area Scienze Park per la ricerca documentale e brevettale svolta riportata nelle pagine precedenti.

Capitolo 14 – Riferimenti

14.1 - Normativa di riferimento

Le norme di seguito descritte sono state acquistate e considerate come materiale bibliografico per la realizzazione della ricerca.

- UNI EN ISO 11890-2:2007 Pitture e vernici - Determinazione del contenuto di composti organici volatili (VOC) - Parte 2: Metodo gascromatografico
- Norma UNI 9941:1992 - Cabine di verniciatura a spruzzo. Requisiti di sicurezza per la progettazione e la costruzione.
- UNI EN 13966-1: 2006 Determinazione dell'efficienza di trasferimento di apparecchi atomizzati e spruzzatori di prodotti vernicianti liquidi. Parte 1: Pannelli piani
- UNI 11216: 2006 Mobili domestici. Requisiti prestazionali delle superfici a base di legno verniciate
- UNI CEI ENV 13005:2000; Guida all'espressione dell'incertezza di misura
- UNI EN ISO 3251:2005 - Pitture, vernici e materie plastiche - Determinazione del contenuto delle sostanze non volati.
- Norma UNI ISO 5725-6:2004 : Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione
- UNI EN 13649:2002 - Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di singoli composti organici in forma gassosa - Metodo mediante carboni attivi e desorbimento con solvente.
- UNI 10169:2001 - Misure alle emissioni - Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo del tubo di Pitot.
- ISO 2431 - Determinazione del tempo di efflusso per mezzo di coppe di efflusso.

14.2 - Bibliografia

- "Verniciare il legno", Franco Bulian, Edizione CATAS 2004
- Distretto della Sedia: Gli aspetti ambientali e le migliori tecnologie. Fase 1: il censimento. Edizione Catas 2002.
- Impatto della Direttiva Solventi sulle aziende industriali della filiera del legno nelle province di Pordenone e Udine. Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia, Dipartimento di scienze economiche Università di Udine, CATAS - Giugno 2002.
- Distretto della Sedia: Gli aspetti ambientali e le migliori tecnologie. Fase 2: l'adeguamento alla Direttiva Solventi. Edizione Catas 2003.
- "Studio sull'applicazione alle aziende del Distretto della Sedia friulano del Decreto Ministeriale n°44 riguardante la limitazione delle emissioni di composti organici volatili in atmosfera", Margherita Tiberio, Serena Petaccia, 2006, CATAS, pp.14-16, 28

- Le Direttive VOC e il “triangolo della sedia” in Friuli; edito da PITTURE E VERNICI – European Coatings 2/2003, da pag. 31 a pag. 40.
- Impatto della direttiva solventi sulle aziende industriali della filiera del legno nelle province di Pordenone e Udine; edito da PITTURE E VERNICI – European Coatings 11/2003, da pag. 41 a pag. 49.
- Solvent Emission Directive in the European countries; edito da Datalignum – Febbraio 2005, da pag. 30 a pag. 33.
- La direttiva solventi e le attività di rivestimento di superfici in legno: diversità e problemi di recepimento nei paesi europei; edito da PITTURE E VERNICI – European Coatings 15/2005, da pag. 19 a pag. 29.
- Il CATAS e la ricerca: un’opportunità per le imprese; edito da PITTURE E VERNICI – European Coatings 6-7/2006, da pag. 37 a pag. 40.
- Studio sull’applicazione alle aziende del Distretto della Sedia friulano del Decreto Ministeriale n° 44 riguardante la limitazione delle emissioni di composti organici volatili in atmosfera. Provincia di Udine – CATAS - Anno 2006
- “Attività di raccolta dati e definizione schemi di consultazione dati del progetto SMS Vosless” ENEA – CATAS - Anno 2006
- Amministrazione Provinciale di Treviso, Assessorato all'ambiente e all'ecologia. Ambiente Italia S.r.l. Ecogestione nel settore legno, "Linee guida per l'applicazione di un sistema di gestione ambientale nelle imprese della produzione del mobile e lavorazione del legno nel distretto trevigiano" – Anno 2000
- “Rassegna delle tecnologie e dei prodotti per la riduzione delle emissioni di COV applicabili ai principali settori produttivi interessati della Provincia di Forlì-Cesena” ERVET Anno 2003
- Indagine sulla Gestione Ambientale d'impresa nel Veneto, Friuli Venezia - Giulia e Trentino Alto Adige, Rapporto della Fondazione Eni Enrico Mattei, Borghini S. Cibirri M. (1999),
- “Sistemi di essiccazione rapida: IR e microonde”, Professione verniciatore del legno, Torsello M. numero 68 – Marzo 2006.
- Federlegno-Arredo, Guida alla normativa tecnica Legno-Sughero-Arredamento, Ed. Federlegno-Arredo srl, Milano, 2003
- B. Caravita, Il diritto dell’ambiente, Il Mulino, Bologna, 2001
- Bi.Elle s.r.l. Microwave Engineering Company – MODENA
- S. Rivilli, A. Soldati, Analisi di sistemi per la riduzione delle emissioni e tecnologie per l’abbattimento dei COV, 2002
- European Coatings Handbok di Brack, Groteklaes e Mischke
- William Horwitz “Protocol for the design, conduct and interpretation of method-performance studies” Pure & Appl. Chem. Vol. 67 pp. 331-343

- W. Horwitz Evaluation of analytical methods used for regulation of food and drugs. Analytical Chemistry, Vol. 54 n. 1 January 1982
- IUPAC Technical report "Harmonized guidelines for single laboratory validation of methods of analysis. Pure & Appl. Chem. Vol. 74 pp. 835-855, 2002.
- SINAL "Dall'incertezza alla certezza – Un passaggio necessario per la comparazione delle misure).
- Ufficio Italiano Brevetti e Marchi – Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività, Ministero delle Attività Produttive, La tutela della proprietà industriale, Settima Edizione, Marzo 2002
- A. Harvey – Paint Finishing in Industry- 1958
- William Horwitz "Protocol for the design, conduct and interpretation of method-performance studies" Pure & Appl. Chem. Vol. 67 pp. 331-343
- W. Horwitz Evaluation of analytical methods used for regulation of food and drugs. Analytical Chemistry, Vol. 54 n. 1 January 1982
- IUPAC Technical report "Harmonized guidelines for single laboratory validation of methods of analysis. Pure & Appl. Chem. Vol. 74 pp. 835-855, 2002.
- SINAL "Dall'incertezza alla certezza – Un passaggio necessario per la comparazione delle misure
- "Trattamenti biologici per la riduzione dei composti organici volatili in emissioni gassose dell'industria del legno" Marcello Civilini – Agribusiness Paesaggio& Ambiente – Vol. VIII (2004) n. 2, Marzo 2005
- "Air pollution control – A design approach"; C. David Cooper, F.C. Alley; Wave Land Press, Inc; Prospect Heights, Illinois.
- "Cost – benefit analysis of the different municipal solid Waste management System: objectives and instruments for the Year 2000"; European Commission.
- "Struttura ed energia della material"; Persio, Falchi; Editore Bulgarini Firenze
- "Chimica"; O. Cafiero, A. Pagliarone; Minerva Italica Bergamo.
- "Studio su alcune tecnologie di trattamento delle emissioni di composti organici volatili da attività produttive" svolto dalla Provincia di Treviso; Indagine 2001/2002.
- "Indagine sugli impianti di abbattimento dei solventi (nei processi di verniciatura e di pulizia delle superfici)" svolto da Ambiente Italia; Ottobre 2001.
- "Linee guida per la gestione ambientale nel settore legno e arredamento" svolto da Federlegno-Arredo coordinamento Triveneto anno 2006.
- "Il D.M. n° 44/2004: il decreto COV Prove pratiche di applicazione (guida alla consultazione della modulistica predisposta, esempi numerici)"; dipartimento provinciale di Chieti, ARTA agenzia regionale per la tutela dell'ambiente.
- "Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys"; Josè Figueira, Salvatore

Greco, Matthias Ehrgott; Springer International Series.

- “Economia per ingegneri”; Gerald J. Thuesen, Wolter J. Fabrycky; il Mulino Prentice Hall International.
- “Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simo’s procedure”; Josè Figueria, Beranard Roy; European Journal of Operational Research 139 (2002) 317-326.
- “Fuzzy weighted average: The linear programming approach via Charnes and Cooper’s rule”; Yuh-Yuan Guh, Cheng-Chuang Hon, E. Stanley Lee; Fuzzy Sets and Systems 117 (2001) 157-160.
- “Fuzzy weighted average: An improved algorithm”; Tian-Shy Liou, Mao-Jiun J. Wang; Fuzzy Sets and Systems 49 (1992) 307-315.
- “Fuzzy weighted averages revisited”; Sy-Ming Guu; Fuzzy Sets and Systems 126 (2002) 411-414.