



FEDERCHIMICA
AVISA
GRUPPO ADESIVI E SIGILLANTI

CATAS
Testing Certification Research



MANUALE

IL RIVESTIMENTO DI PROFILI E PANNELLI NELL'INDUSTRIA DEL MOBILE E ARREDAMENTO

Avisa è una delle 17 Associazioni di Settore di Federchimica, la Federazione Nazionale dell'Industria Chimica, facente parte di Confindustria e aderente al CEFIC (European Chemical Industry Council).

Avisa rappresenta le imprese produttrici di adesivi e sigillanti, inchiostri da stampa, pitture e vernici. All'Associazione è affidata, in forma esclusiva, la rappresentanza e la salvaguardia degli interessi delle imprese associate, la competenza e la trattazione dei problemi di specifico interesse del settore, l'assistenza sul piano tecnico-economico delle imprese aderenti e la tutela dell'immagine.

CATAS è il più importante laboratorio italiano per le prove, la certificazione e la ricerca nel settore del legno e dell'arredo.

Con oltre cinquant'anni di esperienza CATAS si pone a fianco delle aziende nello sviluppo dei prodotti, nel controllo della loro sicurezza e nella verifica che le loro prestazioni soddisfino le esigenze del mercato e quelle imposte dalla normativa tecnica. La formazione delle aziende su questi temi, perseguita con una propria sezione dedicata, la CATAS Academy, unita alle attività di analisi e di prova formano la mission del CATAS ovvero contribuire a rendere più sicuri e durevoli i prodotti di questo settore.

PREFAZIONE

L'Associazione è l'ambito ideale in cui generare valore. Le imprese associate al settore adesivi per legno e arredamento del Gruppo adesivi e sigillanti di Avis-Federchimica hanno compreso da anni che uno dei pilastri fondamentali per il successo aziendale non può prescindere dall'interazione attiva con tutti gli attori della filiera: dal fabbricante di substrati e decorativi sino agli esperti dei trattamenti di superficie, attraverso l'ente di eccellenza italiano per la ricerca e certificazione – CATAS – e i produttori di macchine impiegate per la realizzazione dei pannelli e profili rivestiti. In tale ottica hanno proposto agli attori della filiera, dopo la prima esperienza sulla bordatura dei pannelli, un nuovo manuale che trattasse tutti gli aspetti del rivestimento di profili e pannelli in legno. Questo volume rappresenta il lavoro intenso di molti professionisti che, ciascuno per la propria area di specializzazione, hanno messo le loro competenze al servizio dell'industria del mobile e dell'arredamento. La discussione dei vari temi che troverete nel manuale è stata ampia, accesa e a volte difficile da districare, ma ha consentito la condivisione di esperienze reali che ha generato un approccio innovativo alla descrizione dei vari processi. Il risultato è di fatto un manuale che sistematizza le conoscenze tecniche necessarie per ottenere un trattamento delle superfici eseguito secondo le buone pratiche di fabbricazione e non dimentica di affrontare le esigenze pratiche relative alle innovazioni in termini di sostenibilità. Rappresenta, pertanto, un esempio emblematico del “fare sistema” per valorizzare il grande patrimonio di competenze di uno dei settori d'eccellenza del Made in Italy.

Fabio Chiozza
Coordinatore del settore adesivi per legno e arredamento
Gruppo adesivi e sigillanti
Avis-Federchimica

La collaborazione tra Avis-Federchimica, CATAS e le aziende della filiera, in continuità con quanto già realizzato in passato, ha favorito la condivisione di conoscenze, competenze ed esperienze multidisciplinari. Questo patrimonio è stato raccolto e organizzato in modo organico nel presente manuale dedicato al tema del rivestimento di profili e pannelli nell'industria del legno-arredo. Questa pubblicazione non ha la pretesa di fornire tutte le risposte, ma intende offrire un contributo concreto e qualificato al comparto di riferimento, fornendo strumenti utili alla comprensione dei processi, dei materiali e delle tecnologie coinvolte. Se, anche solo per un momento, immaginassimo i contributi degli esperti che hanno partecipato alla stesura del manuale come gli anelli di una catena, potremmo affermare che questo lavoro costituisce proprio quella catena capace di unire l'intera filiera, partendo dalle competenze e le conoscenze sulle materie prime attraversando quelle sui semilavorati, per arrivare all'esperienza applicativa e le competenze tecniche dei produttori.

In questa prospettiva, il manuale rappresenta un punto di sintesi e di raccordo per l'intera filiera frutto di una collaborazione aperta e di un intenso programma di lavoro che ha visto coinvolti vari mondi con l'obiettivo di mettere a disposizione uno strumento utile ed accessibile a tutti gli operatori del settore, per supportarne la crescita, promuovere la diffusione delle buone pratiche e contribuire allo sviluppo del nostro sistema industriale.

Paolo Tirelli
Direttore CATAS

SOMMARIO

Introduzione	1	2.2.3.5 Il Polistirene (PS)	34
1 I processi di rivestimento nell'industria dell'arredo	4	2.2.3.6 I materiali polimerici derivati da riciclo	35
1.1 Il processo 1D	4	2.2.4 Altri materiali di rivestimento (metalli, vetri, specchi e lapidei)	36
1.2 Il processo 2D	5	2.3. Adesivi	36
1.3 Il processo 3D	7	2.3.1 Adesivi Termofusibili (EVA-PO-PUR)	39
2 I materiali impiegati per il rivestimento	8	2.3.1.1 EVA	39
2.1 I supporti	8	2.3.1.2 PO (Poliiolefinici)	39
2.1.1 I pannelli di legno massiccio	9	2.3.1.3 PUR (Poliuretanic reattivi)	39
2.1.2 I pannelli di particelle (truciolari)	9	2.3.1.4 Caratteristiche degli adesivi termofusibili	40
2.1.3 I pannelli di fibre (MDF)	11	2.3.1.5 Parametri applicativi e criteri di scelta	44
2.1.4 I pannelli melamminici	12	2.3.2 Adesivi in dispersione acquosa (PVAc -VAE- PU)	48
2.1.5 I pannelli tamburati	12	2.3.2.1 Caratteristiche degli adesivi in dispersione acquosa	48
2.1.6 I pannelli compensati	13	2.3.2.2 Adesivi polivinilici in dispersione acquosa	51
2.1.7 I pannelli e i profili di materiale plastico	14	2.3.2.3 Adesivi Poliuretanic in dispersione acquosa per processo 3D	55
2.1.8 I compositi legno-plastica (Wood Plastic Composite - WPC)	14	2.3.2.4 Trasporto e stoccaggio degli adesivi in dispersione acquosa	59
2.1.9 I supporti di alluminio	15	2.3.3 Adesivi urea-formaldeide	60
2.1.10 I supporti di vetro	17	2.3.3.1 Trasporto e stoccaggio adesivi urea-formaldeide	62
2.2 I rivestimenti decorativi	17	3 Le basi teoriche dell'adesione	63
2.2.1 I piallacci di legno	18	3.1 L'adesione e la coesione	63
2.2.1.1 I piallacci di legno massiccio	18	3.2 Le interazioni adesive e coesive	64
2.2.1.2 I piallacci di legno multilaminare	19	3.2.1 La zona di adesione	64
2.2.2 I rivestimenti derivati da carte decorative	22	3.2.2 La zona di transizione	64
2.2.2.1 I laminati HPL	25	3.2.3 La zona di coesione dell'adesivo	65
2.2.2.2 I laminati CPL	26	3.3 La bagnabilità: una condizione preliminare per l'incollaggio	66
2.2.2.3 Le carte finish	27	3.4 La reologia	67
2.2.3 I rivestimenti polimerici (film plastici)	30		
2.2.3.1 Il Polivinil cloruro (PVC)	33		
2.2.3.2 Il Polietilene tereftalato (PET)	34		
2.2.3.3 Il Polipropilene (PP)	34		
2.2.3.4 L'Acrilobutile-Butadiene-Stirene (ABS) con il Polimetil Metacrilato (PMMA)	34		

3.5 L'influenza dei fattori esterni sull'incollaggio	69	5.2.1 Preparazione del supporto	130
4 Preparazione delle superfici	70	5.2.1.1 Sistemi per l'applicazione del primer	131
4.1 Trattamenti meccanici	70	5.2.1.2 Preparazione dei rivestimenti	132
4.1.1 Carte e tele abrasive	72	5.2.2 Sistemi e processi di applicazione degli adesivi	133
4.1.2 Calibratura dei pannelli	74	5.2.3 Sistemi di applicazione del decorativo	134
4.1.3 Levigatura dei pannelli 1D	75	5.2.3.1 Sistemi per il rivestimento dei profili	134
4.1.4 Levigatura dei profili 2D	75	5.2.3.2 Sistemi per la postformatura (Postforming)	138
4.1.5 Levigatura dei pannelli 3D	77	5.2.3.3 Presse a membrana per la formatura 2 D	144
4.2 Trattamenti chimico-fisici	78	5.3 Processo 3D	146
4.2.1 Energia di superficie e adesione	79	5.3.1 Preparazione dei supporti	147
4.2.2 Trattamento tramite promotori di adesione (Primer)	82	5.3.2 Sistemi e processi di applicazione degli adesivi	147
4.2.3 Trattamento Corona	84	5.3.2.1 Spruzzatura	147
4.2.4 Trattamento con Plasma Atmosferico	85	5.3.2.2 Asciugatura dell'adesivo	152
4.2.5 Trattamento con dispositivi antistatici	91	5.3.3 Sistemi e processi per il rivestimento 3D	153
5 Processi di incollaggio	95	5.3.3.1 Presse oleodinamiche	153
5.1 Processo 1D	96	5.3.3.2 Presse ad aria senza membrana	154
5.1.1 Preparazione del supporto	97	5.3.3.3 Presse a membrana a caldo ad aria compressa	154
5.1.1.1 Spazzolatura	98	5.3.4 Operazioni finali post pressatura	159
5.1.1.2 Pre-riscaldamento	99	5.3.4.1 Ribaltatore	159
5.1.2 Sistemi e processi di applicazione	99	5.3.4.2 Taglio e rifilatura	160
5.1.2.1 Applicazione con spalmatrici a rulli	99	5.3.4.3 Spazzolatura	161
5.1.2.2 Applicazione con teste piane (Slot Nozzle)	108	5.3.4.4 Recupero sfridi	161
5.1.2.3 Applicazione dell'adesivo su decorativi (foglie presalmate)	109	6 Controllo qualità	163
5.1.2.4 Accessori complementari e sistemi ausiliari per le linee di rivestimento 1D	109	6.1 Controllo qualità in accettazione	163
5.1.3 Calandratura e pressatura	114	6.2 Controllo qualità a fine linea	163
5.1.3.1 Calandre per l'applicazione del decorativo 1D, impianti e processi	116	6.2.1 Controllo qualità di processi 1D	164
5.1.3.2 Presse statiche	118	6.2.2 Controllo qualità di processi 2D con piallacci o foglie polimeriche	165
5.2 Processo 2D	127	6.2.3 Controllo qualità di processi 2D con derivati da carte decorative	166
		6.2.4 Controllo qualità di processi 3D	166

6.2.4.1	Controllo qualità a fine linea	166
6.2.4.2	Controllo qualità dopo completamento della reticolazione dell'adesivo	166
6.3	Controllo qualità per qualificazione del prodotto finito	168
6.4	Metodi di prova	168
6.4.1	Controllo qualità per processi di rivestimento 1D e 2D	169
6.4.1.1	Prova di adesione (UNI 9240)	169
6.4.1.2	Prova di adesione (UNI 9240) dopo invecchiamento artificiale (UNI 9429)	169
6.4.1.3	Prova di adesione a umido per ambienti umidi bagni o cucine (UNI CEN/TS 927-9)	169
6.4.2	Controllo qualità per processi di rivestimento 3D	170
6.4.2.1	Prova di peeling (EN 28510)	170
6.4.2.2	Resistenza al calore (AMK MB-001)	170
6.4.2.3	Resistenza al vapore acqueo (AMK-MB-005 mod.1)	171
6.4.2.4	Resistenza ai climi severi - simulazione di trasporti e climi estremi i(AMK-MB-005 mod.2)	171
6.4.2.5	Resistenza a cicli di temperatura e umidità (AMK-MB-005 mod. 3)	171
6.4.2.6	Resistenza climatica a lungo termine (Regolamento RAL 434)	172
6.5	Metodi di prova per la selezione degli adesivi	173
6.5.1	Valutazione della resistenza al carico statico dell'incollaggio PVC/LEGNO a 23°C mediante peeling a 90°	173
6.5.2	Determinazione della tenuta a freddo dell'incollaggio PVC/truciolare mediante prova di delaminazione a temperature decrescenti (da 23°C a - 20°C) - ex metodo Unichim 757:1987	174

6.5.3	Valutazione della resistenza a caldo (75 - 85°C) dell'incollaggio PVC/LEGNO mediante peeling a 135°. (EX METODO UNI 9591:1990)	175
-------	--	-----

Appendice 178

Gestione Strategica della Sostenibilità Ambientale 178

1. Introduzione 178

2. Il quadro normativo UE 178

2.1 Il Regolamento sulla progettazione ecocompatibile di prodotti sostenibili (ESPR) 180

2.1.1	I requisiti di progettazione ecocompatibile	181
-------	---	-----

2.1.2	Il Passaporto Digitale del Prodotto	183
-------	-------------------------------------	-----

2.1.3	Le regole sulla distruzione dei prodotti invenduti	184
-------	--	-----

2.1.4	Green Public Procurement	184
-------	--------------------------	-----

2.2 Safe and Sustainable by Design 185

2.3 Misurare e comunicare la sostenibilità ambientale 186

2.3.1	Life Cycle Thinking e Life Cycle Assessment	187
-------	---	-----

2.3.1.1	Casi studio LCA	192
---------	-----------------	-----

2.3.2	Metriche di circolarità	195
-------	-------------------------	-----

2.3.3	Gli strumenti di comunicazione ambientale	197
-------	---	-----

2.3.4	Ecolabel e EPD	200
-------	----------------	-----

Bibliografia 203

Note legali

Il presente manuale non è stato redatto allo scopo di esaminare e risolvere tutte le criticità che le imprese possono incontrare durante le attività relative all'incollaggio di profili e pannelli, ma si prefigge di fornire indicazioni operative di supporto.

È stato redatto sulla base delle attuali conoscenze, pertanto potrà essere oggetto di revisione.

I contenuti della presente pubblicazione hanno uno scopo meramente informativo; pertanto, forniscono indicazioni di carattere generale che dovranno, poi, essere contestualizzate nella singola realtà aziendale.

Introduzione

Il manuale è lo strumento ideato dalle imprese produttrici di adesivi per legno e arredamento aderenti a Avisa-Federchimica, insieme al CATAS e alle aziende della filiera, a beneficio di tutto il mondo produttivo e dei consumatori finali.

Lo scopo di questo manuale è contribuire al miglioramento dei processi produttivi e, conseguentemente, della qualità finale dei prodotti realizzati dal settore legno-arredo in riferimento ai processi di rivestimento dei pannelli e delle altre tipologie di supporti più comunemente impiegate.

La produzione dei mobili e di molti altri prodotti d'arredo vede, infatti, nei pannelli a base legno (pannelli di particelle e MDF in primis) i materiali fondamentali che li costituiscono.

Le superfici di questi e delle altre tipologie di supporti devono essere necessariamente rivestite per poter fornire al prodotto finito sia le adeguate resistenze superficiali, sia un aspetto estetico piacevole e durevole nel tempo.

Oltre che con processi di verniciatura che impiegano normalmente prodotti coprenti (laccatura), i supporti possono essere anche rivestiti con fogli sottili di vari materiali che vengono fatti aderire alle loro superfici con vari sistemi.

Le superfici così prodotte possono essere soggette ad un ulteriore trattamento di finitura con prodotti vernicianti. In alcuni casi la verniciatura finale è necessaria, mentre in altri può servire soprattutto a migliorare le caratteristiche estetiche delle superfici rivestite. Nella Tabella 1 sono schematicamente riportate le principali tipologie di materiali impiegati per il rivestimento dei pannelli con alcune brevi annotazioni che saranno, comunque, ampliate nei paragrafi successivi di questo manuale.

Tabella 1 • Principali tipologie di materiali impiegati per il rivestimento dei pannelli

Tipologia di materiale di rivestimento	Composizione	Applicazione del rivestimento sul pannello	Note
Prodotti vernicianti coprenti (pitture)	Prodotti vernicianti liquidi ricchi di pigmenti	L'applicazione del prodotto liquido è effettuata direttamente sul pannello con vari sistemi. All'applicazione segue l'indurimento del prodotto liquido con la formazione di un film solido sulla superficie del pannello	
Carte melamminiche	Fogli sottili costituiti da carte impregnate e spalmate di resine ureiche/melamminiche	L'applicazione del foglio al pannello è effettuata direttamente dai produttori di pannelli che, oltre ai pannelli grezzi, sono quindi in grado di fornire al mercato anche pannelli già rivestiti (pannelli melamminici)	La verniciatura del pannello melamminico non è necessaria. Può essere comunque eseguita adottando opportuni accorgimenti
Piallacci di legno	Fogli sottili di legno	L'applicazione del foglio al pannello è effettuata con adesivi di varia natura	La verniciatura è un'operazione necessaria a completamento dell'operazione di rivestimento
Piallacci di legno multilaminare	Fogli sottili che derivano da elementi di legno multilaminare	L'applicazione del foglio al pannello è effettuata con adesivi di varia natura	La verniciatura è un'operazione necessaria a completamento dell'operazione di rivestimento
Carte finish	Fogli sottili costituiti da carte impregnate e spalmate di resine	L'applicazione del foglio al pannello è effettuata con adesivi di varia natura	La verniciatura del pannello rivestito può essere eseguita solo nel caso di carte adatte a tale operazione.
Laminati	Rivestimenti derivanti dal processo di laminazione di uno o più fogli sottili costituiti da carte impregnate. Per alcune tipologie di laminati (HPL) lo strato esterno può essere costituito anche da altri materiali	L'applicazione del laminato al pannello è effettuata con adesivi di varia natura	La verniciatura del pannello rivestito può essere eseguita in funzione della tipologia di materiale che costituisce lo strato più esterno del laminato
Foglie polimeriche	Fogli sottili costituiti da materiali polimerici	L'applicazione del foglio al pannello è effettuata con adesivi di varia natura	La verniciatura del pannello rivestito può essere eseguita solo nel caso di foglie adatte a tale operazione
Altri materiali (vetro, metallo, ecc.)	Materiali nella forma di foglie sottili o di lastre di varia composizione	Il materiale è applicato al pannello con adesivi di varia natura	La verniciatura del pannello rivestito può o deve essere eseguita in dipendenza della composizione del materiale

Come già ricordato, in questo manuale sono trattati tutti i processi di rivestimento dei pannelli e delle altre tipologie di supporti che coinvolgono i processi di incollaggio. Pertanto, nelle descrizioni che seguiranno sono esclusi sia i processi di verniciatura, sia quelli che riguardano la produzione dei pannelli melamminici. Infatti, come riportato nella Tabella 1, il rivestimento con carte melamminiche viene, di norma, effettuato direttamente dai produttori di pannelli che applicano sugli stessi dei sottili fogli di carta impregnata, spalmati su entrambi i lati da uno strato ulteriore di resina. Lo strato interno funge da adesivo, venendo riattivato a caldo durante la pressatura sulla superficie del pannello.

1 I processi di rivestimento nell'industria dell'arredo

Nel settore dell'arredo, i processi di rivestimento dei supporti grezzi sono normalmente classificati in tre differenti tipologie che dipendono sostanzialmente dalla morfologia della superficie che viene rivestita.

Laddove il rivestimento riguarda una superficie piana, il processo viene definito come 1D, dove la lettera D è l'acronimo del termine dimensione. Il rivestimento in una dimensione significa, quindi, che il materiale di rivestimento viene steso e incollato sulla superficie piana del supporto, seguendone la lunghezza.

Il processo 2D indica invece che il materiale di rivestimento (decorativo) è applicato sempre lungo il senso della lunghezza del supporto, ma anche piegato su di esso seguendone il profilo.

Il terzo processo è chiamato 3D, in quanto il materiale di rivestimento deve essere deformato nelle tre dimensioni spaziali per poter essere applicato su supporti che presentano delle cavità interne come, ad esempio, il caso di alcune tipologie di antine per cucine.

I tre processi sopra menzionati presentano evidentemente delle specificità in relazione ai materiali di rivestimento, agli adesivi, ai sistemi di applicazione e a quelli di pressatura che possono essere utilizzati.

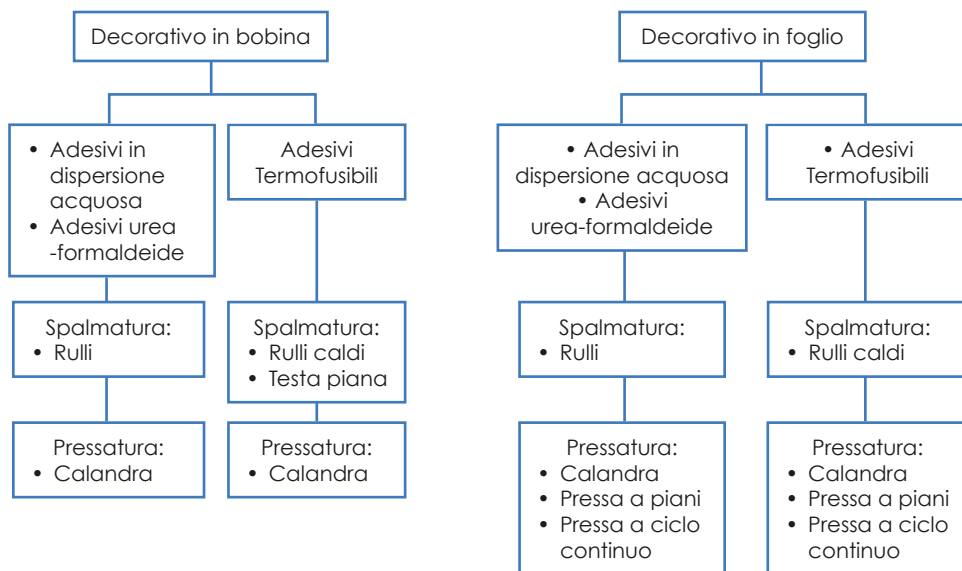
Questi temi saranno oggetto di approfondimento nei prossimi capitoli e, comunque, in questa parte iniziale del manuale si ritiene opportuno riportare sinteticamente una descrizione di questi tre processi, al fine di definire fin dall'inizio queste tematiche che sono determinanti per un inquadramento generale di questa materia.

1.1 Il processo 1D

Il processo 1D viene realizzato su supporti piani di tutte le tipologie di seguito presentate e può impiegare qualsiasi materiale di rivestimento. Gli impianti di applicazione possono, invece, differire a seconda delle caratteristiche del materiale di rivestimento ed in particolare della forma di fornitura, in bobina o in fogli.

- a. Decorativo in bobina: il processo applicativo viene normalmente realizzato “in continuo” con l'applicazione dell'adesivo effettuata sul retro del decorativo mediante una testa di spalmatura (Slot Nozzle). In alternativa, l'adesivo può essere spalmato sul pannello, applicando successivamente su di esso il decorativo.
- b. Decorativo in fogli: il processo applicativo è in questo caso discontinuo. L'adesivo viene normalmente applicato sulla superficie del pannello tramite una spalmatrice a rulli (riscaldati nel caso dei termofusibili, e non riscaldati per adesivi ureici o in dispersione acquosa), applicando successivamente il decorativo tramite presse a piani o a rulli.

Schema 1 • 1D Rivestimento Pannelli Piani



1.2 Il processo 2D

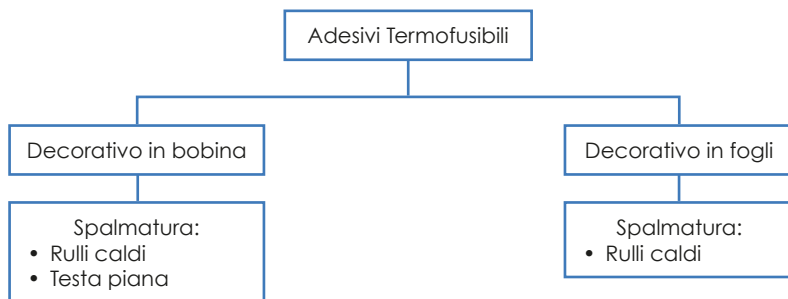
Il processo 2D riguarda sia i pannelli che i profili. Di seguito vengono sinteticamente descritti i processi di rivestimento che coinvolgono queste tipologie di supporti.

- a. Rivestimento di profili:** i profili sono elementi lunghi e sottili che possono presentare diverse geometrie. In questo caso si utilizzano solo rivestimenti di adeguata flessibilità, compresi i piallacci di legno che possono essere forniti sia in bobina (in prevalenza), sia in fogli (strisce). L'adesivo viene normalmente applicato sul retro del decorativo. Nel caso del materiale in bobina si impiegano solitamente teste di spalmatura (Slot Nozzle) mentre, nel caso dei fogli, l'applicazione dell'adesivo viene effettuata con sistemi a rulli.



Figura 1 – Esempi di profili

Schema 2 • 2D Rivestimento Profili



- b. Pannelli postformati:** per pannelli postformati si intendono quei manufatti che presentano una o due superfici laterali stondate sulle quali è applicato il materiale decorativo, in continuità con la superficie. I materiali decorativi devono essere flessibili per loro natura o diventarlo per effetto di un riscaldamento preliminare all'incollaggio. Il processo può seguire varie strategie, a seconda della tipologia di prodotto finito che viene realizzata e del materiale di rivestimento impiegato.

In alcuni casi l'adesivo è spalmato sul retro del decorativo, venendo poi opportunamente pressato sulla faccia e sulle superfici laterali dei pannelli con appositi sistemi.

In altri casi, come ad esempio i piani di lavoro delle cucine, il processo è eseguito in più fasi, applicando prima il rivestimento sulle facce dei pannelli e poi procedendo a curvarlo sulla parte da postformare e incollandolo, secondo particolari procedure, con adesivi in dispersione acquosa. Le altre superfici laterali che non sono interessate dal processo di postformatura (2 o 3), vengono rivestite mediante normali processi di bordatura.

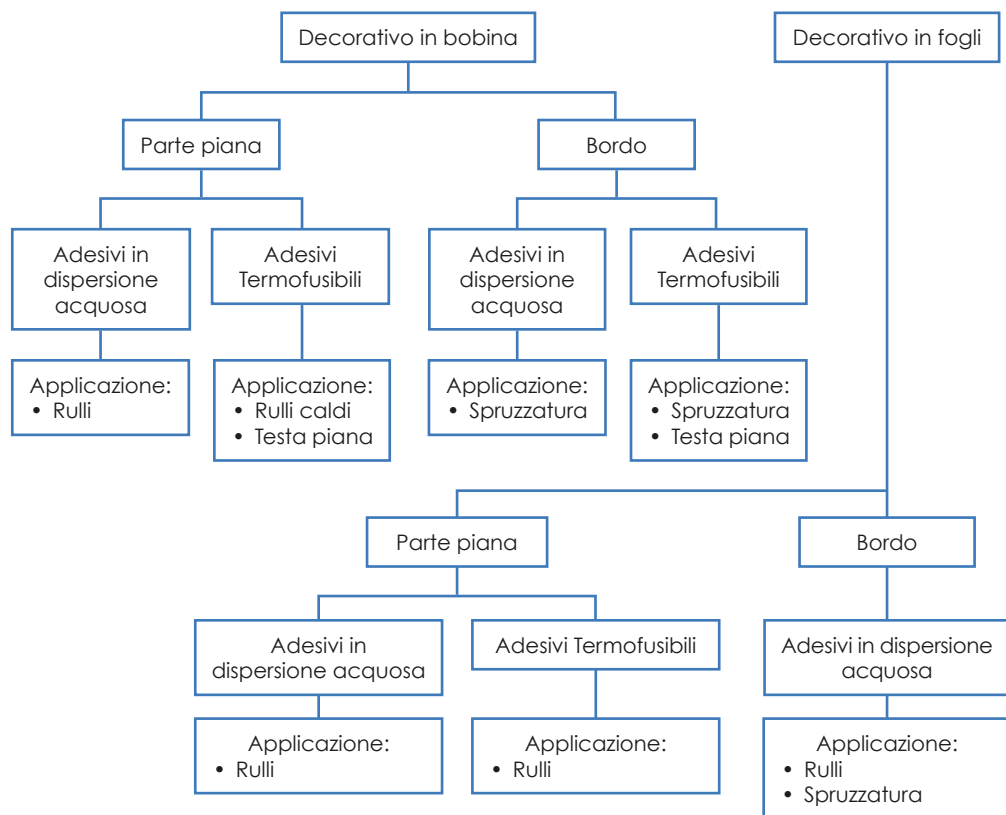


Figura 2 – Esempio di pannello postformato

- c. Pannelli avvolti su quattro lati:** per pannelli avvolti si intendono i pannelli che vengono rivestiti con un unico passaggio su quattro lati.

Anche per questa applicazione si possono utilizzare solo materiali di rivestimento dotati di adeguata flessibilità, con l'applicazione dell'adesivo che viene effettuata sul retro del decorativo. L'avvolgimento viene normalmente effettuato in macchine che mantengono il pannello in posizione verticale, in modo che l'incollaggio inizi da una delle superfici laterali più strette, terminando sul medesimo spigolo. Tipiche applicazioni di questo sistema di rivestimento sono, ad esempio, le sponde dei cassetti, le mensole e i fianchi degli armadi.

Schema 3 • 2D Pannelli Postformati



1.3 Il processo 3D

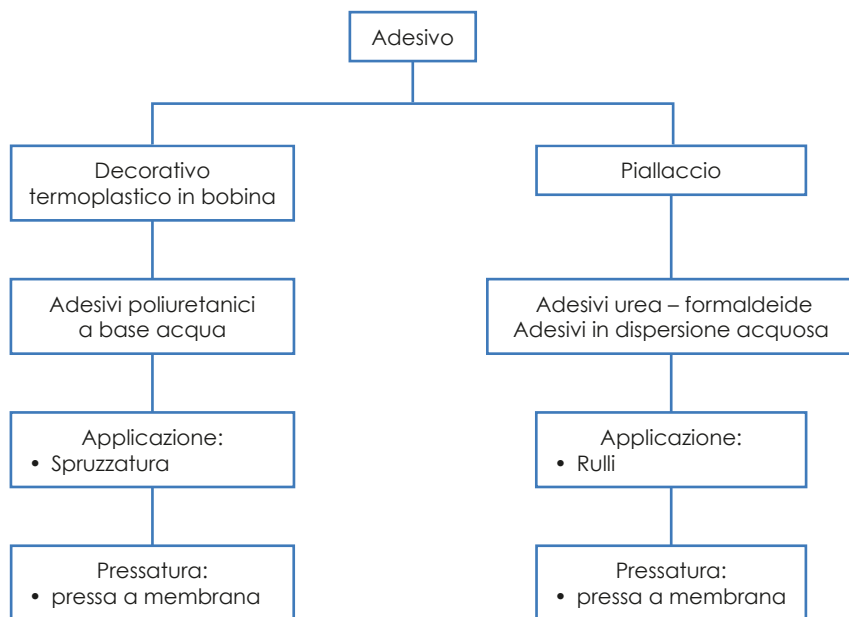
Il processo di rivestimento 3D riguarda quasi esclusivamente i pannelli MDF in quanto gli stessi possono essere opportunamente lavorati al pantografo per produrre sagomature e zone cave interne a fini decorativi.

Questi pannelli ben si abbinano alle foglie polimeriche che si distinguono per l'elevata flessibilità e per la possibilità, di alcune di esse, di essere formate (stirate) su superfici tridimensionali.

Il processo 3D può essere effettuato anche con altri materiali tenendo conto della possibilità degli stessi di subire processi di deformazione tridimensionale come, ad esempio, alcune particolari tipologie di piallacci di legno o carte finish e CPL, previa umidificazione preliminare.

Gli adesivi normalmente impiegati in abbinamento con le foglie polimeriche sono le dispersioni a base poliuretanica.

Schema 4 • 3D Pannello Avvolto Tridimensionale



2 I materiali impiegati per il rivestimento

In questo capitolo sono descritti tutti i materiali coinvolti nei processi di rivestimento di elementi d'arredo.

Saranno quindi presentati dapprima i supporti, in successione i materiali di rivestimento e, infine, gli adesivi che hanno la funzione di unire insieme i primi due.

2.1 I supporti

I pannelli a base legno (pannelli di particelle e MDF in primis) sono i supporti prevalentemente impiegati nella produzione di elementi d'arredo che, come già ricordato nell'introduzione, devono essere rivestiti per renderli esteticamente accettabili e per conferire alle loro superfici le caratteristiche adeguate all'impiego del prodotto finito.

In questo paragrafo sono, pertanto, presentate in successione le varie tipologie di pannelli, cercando di rimarcare le loro caratteristiche rilevanti ai fini dei processi di rivestimento.

Al fine di offrire un panorama completo sui supporti, sono stati inseriti anche altri materiali che, seppur meno rilevanti, vengono anch'essi utilizzati a tale scopo nel settore dell'arredo.

2.1.1 I pannelli di legno massiccio

I pannelli di legno massiccio presentano una superficie che di per sé è una tavola composta da elementi di legno segato, incollati assieme. Questo tipo di pannello, oltre a mantenere l'aspetto visivo rappresentato dai naturali e caratteristici disegni del legno (che variano in funzione della specie e della direzione di taglio del legno), offre diverse opportunità.

La composizione dei pannelli, normalmente monostrato, permette infatti di raggiungere notevoli dimensioni, sia in larghezza che in lunghezza. Gli spessori variano normalmente dai 3 mm fino a spessori importanti che possono superare anche i 50 mm. Al fine di ottenere un pannello che non presenti difetti e che possa rimanere sufficientemente stabile dimensionalmente nel corso del tempo, bisogna considerare alcuni fattori fondamentali che riguardano, innanzitutto, la selezione e la preparazione delle lamelle che andranno a comporre il pannello; che siano intere o giuntate nella loro lunghezza, è essenziale che siano perfettamente squadrate e parallele. Inoltre la loro umidità deve essere compresa negli intervalli riportati nella Tabella che segue, in funzione della destinazione d'uso del pannello finito.

Per ciò che riguarda invece la produzione del pannello, è importante considerare che l'incollaggio deve essere effettuato in maniera adeguata rispettando i requisiti della norma di riferimento (EN 13353) in relazione, anche in questo caso, alla destinazione d'uso del pannello stesso (interno secco, interno umido o esterno).

Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la Tabella 2.

Tabella 2 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Pannelli legno massiccio

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Umidità - uso in condizioni secche	EN 322	$(8 \pm 2) \%$
Umidità - uso in condizioni umide		$(10 \pm 3) \%$
Umidità - uso in esterni		$(12 \pm 3) \%$
Tolleranza spessore	EN 324-2	$\pm 0,5 \text{ mm/m}$
Ortogonalità	EN 324-2	$\pm 1,0 \text{ mm/m}$

2.1.2 I pannelli di particelle (truciolari)

I pannelli di particelle sono ottenuti mediante pressatura a caldo di particelle di legno a diversa granulometria, utilizzando prevalentemente resine urea-formaldeide (UF), o resine melammina urea-formaldeide (MUF).

Solitamente per i pannelli impiegati nel settore del mobile, le particelle di dimensioni maggiori sono concentrate nella parte centrale, mentre quelle più fini vanno a costi-

tuire gli strati esterni (cosiddetta “distribuzione a strati”). Lo strato centrale consente di migliorare le resistenze meccaniche e di ridurre la densità del pannello. Gli strati esterni creano invece una superficie omogenea e liscia, adeguata all’incollaggio di rivestimenti. In relazione alla loro umidità, risulta di fondamentale importanza l’immagazzinamento in condizioni climatiche adeguate. Una caratteristica importante dei pannelli di particelle è la loro marcata tendenza a rigonfiarsi in modo irreversibile quando vengono a contatto con l’acqua o con liquidi a base acquosa. Nel caso di un prodotto finito, come ad esempio un mobile, il contatto del pannello con acqua può avvenire per effetto della anomala permeabilità del materiale di rivestimento applicato, oppure in seguito alla presenza di fessurazioni tra pannello e bordo generate da una bordatura imperfetta o per la presenza di “scheggiature” del materiale di rivestimento lungo gli spigoli del pannello.

È utile segnalare che esistono pannelli specificatamente prodotti per ambienti umidi e classificati come P3 rispetto a quelli classificati P2, destinati ad ambienti secchi. Per tali pannelli l’entità del rigonfiamento indotto dall’assorbimento d’acqua è inferiore rispetto ai pannelli per ambienti secchi.

Le caratteristiche minime prestazionali sono definite nello standard EN 312.

La fase di levigatura con grane finali di levigatura $\geq P\ 80$ è necessaria per rendere idoneo il pannello alle fasi successive, salvo diversi accordi specifici con i fornitori.

Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la seguente Tabella 3.

Tabella 3 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Pannelli truciolari

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Massa volumica	UNI EN 323	$\pm 10\%$ rispetto al dato medio della scheda tecnica
Tolleranza spessore	UNI EN 342-1	$\pm 0,3\text{ mm}$ UNI EN 312 tab. 1
Ortogonalità	UNI EN 342-2	$\pm 2\text{ mm/m}$ UNI EN 312 tab. 1
Umidità	UNI EN 322	$5 \div 13\%$ UNI EN 312 tab. 1
Resistenza alla trazione (coesione)	UNI EN 319	UNI EN 312 tab. 3 (P2)
Resistenza al distacco degli strati esterni	UNI EN 311	$0,8\text{ N/mm}^2$ UNI EN 312 tab. 3
Assorbimento toluene	UNI EN 382-1	$\geq 80\text{ mm}$

2.1.3 I pannelli di fibre (MDF)

I pannelli di fibre sono ottenuti mediante pressatura a caldo di fibre di legno. Per la produzione dei pannelli di fibra vengono utilizzate sia conifere, sia latifoglie.

Il processo produttivo più utilizzato per la produzione di pannelli di fibre è quello per via secca, nel quale il legno viene separato nei suoi costituenti fondamentali e le fibre di diametro di 20-40 micron e di lunghezze di 1-3 millimetri vengono addizionate con resine urea-formaldeide (UF) o melammina urea-formaldeide (MUF), producendo pannelli di differenti spessori e densità. Questi pannelli sono chiamati MDF (Medium Density Fiberboard) e rappresentano la classe di pannelli di fibra più impiegata nel settore del mobile. Per ciò che riguarda il rigonfiamento provocato dall'acqua, per i pannelli MDF valgono le stesse considerazioni già espresse per i pannelli di particelle. Le caratteristiche minime prestazionali sono definite nella norma UNI EN 622-5.

La densità dei pannelli MDF non è omogenea nello spessore, risultando maggiore per gli strati superficiali e inferiore per quelli interni. Un profilo simmetrico con elevata densità superficiale è rappresentativo di un pannello idoneo alle lavorazioni successive.

La levigatura delle superfici con grane finali maggiori di P120 (salvo diversi accordi con il fornitore) è necessaria per rendere idoneo il pannello alle successive lavorazioni (nobilitazione).

Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la seguente Tabella 4.

Tabella 4 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Pannelli di fibre

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Massa volumica	UNI EN 323	$\pm 10\%$ rispetto al dato medio della scheda tecnica
Tolleranza spessore	UNI EN 342-1	$\pm 0,2$ mm UNI EN 622-1 tab.2
Ortogonalità	UNI EN 342-2	± 2 mm/m UNI EN 622-1 tab.2
Umidità	UNI EN 322	$4 \div 14\%$ UNI EN 622-1 tab.2
Resistenza alla trazione (coesione)	UNI EN 319	Vedi norma EN 622-5 tab. 3
Resistenza al distacco degli strati esterni	UNI EN 311	Spessori ≥ 8 mm $1,2$ N/mm ² Spessori < 8 mm $0,9$ N/mm ²
Assorbimento toluene	UNI EN 382-1	Spessori ≥ 8 mm, ≥ 150 mm Spessori < 8 mm ≥ 100 mm

2.1.4 I pannelli melamminici

I pannelli di particelle e MDF utilizzati per il rivestimento possono essere anche nobilitati su uno o entrambi i lati, attraverso il rivestimento con carte decorative melamminiche, ovvero carte impregnate con resine termoidurenti con effetti monocolori, di imitazione del legno o altri effetti decorativi.

Nel caso in cui i pannelli vengano nobilitati sui due lati con due carte equivalenti in termini di grammatura, di formulazione e di parametri produttivi, il pannello risulta normalmente planare (la norma EN 14322 stabilisce una tolleranza massima per la planarità pari a 2 mm al metro). In tutti gli altri casi ovvero con nobilitazione sui due lati con carte differenti o con nobilitazione su un solo lato, i pannelli possono risultare facilmente non planari.

A seconda della tipologia di rivestimento e della tecnologia applicativa, in taluni casi, per riportare il prodotto finale a una condizione di planarità, viene richiesto ai fornitori di produrre pannelli con un certo effetto di imbarcamento sul lato opposto rispetto a quello su cui verrà applicato il rivestimento, in modo tale da contrastare e bilanciare l'imbarcamento che viene prodotto dalla foglia applicata.

La carta nobilitata, essendo polimerizzata, tende ad avere delle caratteristiche di impermeabilità e durezza che possono essere in contrasto con un eventuale sovra incolaggio. Pertanto, l'applicazione di un rivestimento su una superficie nobilitata deve essere valutata preventivamente, anche in termini di eventuali pretrattamenti necessari.

2.1.5 I pannelli tamburati

La caratteristica principale dei pannelli tamburati è la particolare leggerezza, pur presentando elevati spessori.

Essi sono costituiti da due copertine o facce, normalmente di basso spessore (con spessore ≤ 8 mm), un telaio e un materiale da riempimento, reciprocamente incollati. Le due copertine sono costituite da pannelli sottili a base di legno (normalmente truciolari o MDF).

Il telaio è realizzato con elementi di legno massiccio, pannelli truciolari o MDF. Il riempimento è quasi sempre realizzato con del cartoncino a nido d'ape (alveolare), schiume poliuretaniche, polistirolo o alluminio. Per ciò che riguarda le caratteristiche di questi pannelli in relazione al rivestimento superficiale, si rimanda alle specifiche caratteristiche dei materiali che costituiscono le copertine.

La levigatura delle superfici è necessaria per rendere idoneo il pannello alle fasi successive. La grana di levigatura dipende dalla superficie che viene utilizzata per il rivestimento. Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la seguente Tabella 5.

Tabella 5 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Pannelli tamburati

Copertine	Decorativo e tipo di finitura	Grana abrasiva
Pannelli di particelle	Tranciato/carta decorativa	$\geq P80$
MDF	Foglia termoplastica lucida	$\geq P500$
MDF	Foglia termoplastica opaca	$\geq P320$

2.1.6 I pannelli compensati

I pannelli compensati sono una famiglia di pannelli costituita da più strati. Quelli maggiormente impiegati sono ottenuti mediante pressatura a caldo di strati di sfogliato di legno in numero dispari, utilizzando generalmente adesivi urea-formaldeide. Le fibre del legno degli strati adiacenti sono solitamente incrociate influenzando positivamente sia le caratteristiche meccaniche che la stabilità dimensionale di questi pannelli. La possibilità di accoppiare specie legnose differenti nel medesimo pannello permette di ottenere un'estesa gamma di proprietà fisiche e meccaniche, rendendo il pannello compensato un supporto estremamente versatile.



Figura 3 – Pannelli compensati

La levigatura è necessaria per rendere idoneo il pannello alle lavorazioni successive. La levigatura viene effettuata mediante carte abrasive, con grane di levigatura finale maggiori a P100, salvo accordi specifici tra produttore e cliente. Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la seguente Tabella 6.

Tabella 6 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Pannelli compensati

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Umidità	EN 322	8 ÷ 12 % (EN 315)
Ortogonalità	EN 324-2	Max 1 mm/m (EN 315)
Tolleranza di spessore	EN 324-1	Vedi UNI EN 315:2002

Trasporto e stoccaggio dei supporti a base legno

Il legno è un materiale particolarmente sensibile alle variazioni climatiche ed in particolare a quelle dell'umidità relativa dell'aria. I pannelli realizzati con questo materiale devono essere, pertanto, conservati in modo tale che la loro umidità sia sempre compresa entro gli intervalli specificati dalle relative norme di riferimento, i cui valori in questo manuale sono riportati nelle relative tabelle presenti in ciascun paragrafo dedicato a tali materiali. Queste condizioni si possono raggiungere mantenendo i pannelli in un intervallo di temperatura compreso tra 15°C e 35°C con un'umidità relativa dell'aria compresa tra 40% e 65%. Per mantenere la planarità dei pannelli ed evitare l'insorgere di deformazioni, in fase di stoccaggio risulta necessario evitare il decentramento dei traversini interposti ai singoli pacchi, non accatastare pacchi di pannelli con formati differenti e non posizionare i pacchi su pavimentazioni non planari.

2.1.7 I pannelli e i profili di materiale plastico

Come già ricordato, il mercato dell'arredamento non utilizza solo materiali a base legno, ma anche altre tipologie di supporti realizzati con altri materiali come le plastiche. Questi supporti che sono spesso costituiti da mescole a base di polipropilene (PP) o di cloruro di polivinile (PVC), vengono spesso utilizzati nella produzione di zoccoli ed alzatine soprattutto per il mercato delle cucine. Questi elementi vengono normalmente rivestiti con carte impregnate, foglie di alluminio o di materiali plastici. Allo stesso modo, pannelli costituiti da materiale plastico vengono rivestiti e utilizzati anche nella produzione degli specchietti di alcune tipologie di antine per i mobili. I materiali plastici, a seconda della composizione, prima di essere sottoposti a processi di incollaggio devono essere opportunamente trattati con promotori di adesione (primer) o con processi fisici come il trattamento al plasma o corona, in modo da incrementare un parametro fondamentale per l'adesione, rappresentato dall'energia superficiale. Normalmente i materiali a base PVC vengono trattati in linea con primer, mentre i supporti in PP sono trattati con i sistemi plasma o corona.

2.1.8 I compositi legno-plastica (Wood Plastic Composite - WPC)

Nel mercato del mobile e dell'arredamento sono presenti anche materiali a base cellulosa, diversi dai pannelli tradizionali.

Si tratta, in particolare, di materiali compositi costituiti prevalentemente da legno, ma anche da derivati cellulosici di varia natura (carta, bamboo, canapa, ecc.) e materiali plastici come il polipropilene, il polietilene e il PVC. Sono spesso contraddistinti dalla sigla WPC (wood plastic composite) venendo prodotti in formato di pannelli, di profili o di sagome di forma predefinita (ad esempio i sedili per sedie). A seconda della composizione ovvero del tipo/percentuale di materiale plastico e del tipo/percentuale di materiale cellulosico, questi compositi evidenziano caratteristiche molto eterogenee anche per ciò che riguarda l'incollaggio di rivestimenti sulla loro superficie.

Essendo questi materiali molto variabili per composizione, i parametri critici associabili all'incollaggio di rivestimenti sulla loro superficie possono essere assai differenti a seconda del tipo di WPC considerato.

È quindi fondamentale, in primo luogo, accertarsi della composizione del materiale valutando, di conseguenza, sia l'eventuale necessità di trattamenti preliminari fisici (ad esempio corona e plasma) o chimici (applicazione di un primer), sia il tipo di adesivo da impiegare.

Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, relativamente alla loro variabilità di composizione, si raccomanda l'esecuzione di verifiche preliminari nella fase di messa a punto del processo di incollaggio, facendo riferimento alle specifiche caratteristiche dei singoli materiali come evidenziato dalle seguenti Tabelle 7 e 8.

Tabella 7 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – WPC

Parametro	Norma di riferimento	Requisito	Percentuale
Tipo di materiale cellulosico	EN 15534-5	Simbolo corrispondente alla tipologia del materiale (tipo: W=legno, F=lino, H= canapa, etc.)	dichiarata
Tipo di materiale polimerico	ISO 1043-1	Simbolo corrispondente alla tipologia del materiale (tipo: PE, PP, PVC, etc.)	dichiarata

Tabella 8 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – WPC

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Massa volumica	ISO 1183	Valore dichiarato
Contenuto di umidità	ISO 16979	Valore dichiarato

2.1.9 I supporti di alluminio

L'alluminio è un metallo che richiede specifici trattamenti per ottenere un'adeguata adesione. La superficie dell'alluminio grezzo, infatti, a contatto con l'ossigeno atmosferico, forma uno strato superficiale di ossido, noto anche come allumina. Sebbene questo strato rappresenti una sorta di protezione all'ulteriore ossidazione del metallo, le sue caratteristiche mal si adattano con l'adesione di molti prodotti organici come vernici o adesivi.

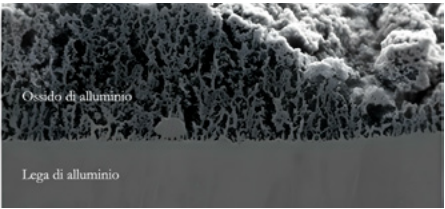


Figura 4 – Superficie dell'alluminio grezzo
Con formula Al_2O_3 il triossido di alluminio, (allumina), ha ottime qualità meccaniche, chimiche e di isolamento termico. Tuttavia, la sua superficie presenta difficoltà di adesione

Per tale motivo, prima dell'applicazione di un adesivo, la superficie di un supporto di alluminio viene normalmente carteggiata, per rimuovere lo strato di ossido. Questa operazione è quindi seguita dalla pulizia dei residui con solventi a basso punto di ebollizione come acetati, acetone o alcool etilico.

Infine, si procede all'immediata applicazione dell'adesivo.

Al fine di migliorare l'adesione e per una gestione più efficace di tutto il processo, può essere opportuno l'impiego di adeguati primer o il trattamento della superficie con sistemi al plasma.

Preparazione della superficie con primer

I più comuni primer per alluminio sono a base epossidica, in grado di sviluppare adeguate proprietà adesive. La loro formulazione prevede l'impiego di specifici promotori d'adesione affini ai metalli. Lo spessore applicato non deve essere troppo elevato poiché una sovra-applicazione con altro prodotto potrebbe comportare una rottura coesiva del primer e vanificare quindi il suo effetto. Questo tipo di primer viene usato soprattutto per elementi sandwich (multistrato). È opportuno precisare che il primer è efficace per un limitato periodo temporale, normalmente indicato dal produttore.

Preparazione della superficie con sistemi al plasma

Come alternativa ai primer, l'adesione su alluminio può anche essere conseguita con metodi di preparazione meno impattanti dal punto di vista ambientale e dei costi. Lo sgrassaggio e il lavaggio preliminare dei profili grezzi sono sempre necessari. Tuttavia, se effettuati in linea di processo, può risultare efficace l'uso di vapore rispetto al metodo tradizionale con prodotti chimici e solventi. Inoltre, l'introduzione del trattamento al plasma concorre alla rimozione di eventuali contaminazioni residue rimaste in superficie (umidità e microparticelle) e alla funzionalizzazione chimica dello strato di ossido. Questo procedimento non prevede la rimozione dell'ossido protettivo (allumina), bensì la sua attivazione tramite gruppi chimici a base ossigeno, rendendolo compatibile con l'applicazione di adesivi.

Nel rivestimento di profili di alluminio con adesivi termofusibili bisogna considerare che la natura altamente conduttiva di questo metallo porta ad un rapido dissipamento del calore proveniente dal film di adesivo appena applicato. Tale dispersione termica riduce significativamente il tempo aperto dell'adesivo, con il rischio di difetti nell'incollaggio. Pertanto, per assicurare un'adesione ottimale, è fondamentale gestire adeguatamente il riscaldamento del materiale durante il processo con opportuni sistemi, in modo da mantenere l'adesivo nelle adeguate condizioni di temperatura per il tempo necessario.

2.1.10 I supporti di vetro

Il vetro è un materiale che normalmente non viene utilizzato nei processi di incollaggio. Ad ogni modo, nel caso in cui questo materiale sia utilizzato come supporto in processi di rivestimento, si consiglia di utilizzare adesivi appositamente formulati per il vetro. Può essere anche opportuno valutare l'impiego di pretrattamenti con combinazione delle seguenti tecniche:

- abrasione superficiale (poco raccomandata);
- pulizia con solventi organici;
- applicazione di specifici primer;
- trattamenti di superficie (es. deposizione chimica da vapore potenziata dal plasma - PECVD).

Trasporto e stoccaggio dei materiali di supporto non a base legnosa

I materiali diversi da quelli a base legno non presentano particolari problemi nel trasporto, in relazione all'umidità relativa dell'aria, in quanto non sono normalmente materiali sensibili a tale parametro.

Il discorso è, invece, diverso per ciò che riguarda la temperatura, sia nel caso dei materiali metallici, sia di quelli a base polimerica (plastiche) che potrebbero subire delle variazioni dimensionali per effetto di variazioni significative delle temperature. È pertanto importante che questi materiali vengano stoccati su bancali piani, per evitare che possano assumere forme diverse dall'originale soprattutto se esposti a temperature superiori ai 30°C. Tali condizioni si possono verificare specie d'estate e più facilmente negli scaffali posti in posizione più elevata all'interno dei magazzini, se non condizionati. I materiali a base polimerica sono, inoltre, sensibili anche alle basse temperature che potrebbero provocare irrigidimenti e conseguenti rotture.

Un discorso a parte va fatto per compositi a base legno (WPC) che, contenendo sia una frazione legnosa, sia una frazione polimerica assommano in sé le precauzioni che devono essere considerate per ciascuna di queste due famiglie di materiali.

2.2 I rivestimenti decorativi

Come riportato nel precedente paragrafo, i pannelli a base legno rappresentano la principale tipologia di supporti utilizzata dall'industria del mobile. La superficie dei pannelli non possiede tuttavia le necessarie qualità estetiche e prestazionali confacenti la destinazione d'uso dei prodotti finiti. I pannelli a base legno devono perciò essere necessariamente rivestiti con altri materiali aventi la capacità di valorizzare il prodotto finito, sia dal punto di vista estetico, sia per ciò che riguarda le prestazioni offerte. Non a caso quest'operazione è spesso chiamata "nobilitazione" dei pannelli.

I materiali di rivestimento impiegati dal settore del mobile sono costituiti da sottili fogli di varia natura: legno, carte e plastiche, i quali vengono applicati ai pannelli mediante processi di incollaggio.

2.2.1 I piallacci di legno

I piallacci sono sottili fogli di legno di spessore costante fino a un massimo di 6 mm. Questa definizione è tratta dalla norma ISO 18775 che rappresenta il documento di riferimento a livello internazionale per questi materiali.

Oltre che dal legno massiccio, i piallacci possono derivare anche dal legno multilaminare, come illustrato nei paragrafi che seguono.

2.2.1.1 I piallacci di legno massiccio

Il sistema più comune per la produzione dei piallacci impiegati come rivestimenti è la tranciatura. Con questo sistema di taglio è, infatti, possibile ottenere fogli di legno di spessore molto ridotto (normalmente intorno a 0,5 mm) con disegni variegati in funzione della specie legnosa sottoposta a tranciatura e della disposizione dell'elemento (toppo) nella macchina tranciatrice.

Il piallaccio può avere anche caratteristiche estetiche particolari, chiamate "figure", quando è ricavato da parti speciali del tronco anche associate a certe anomalie del legno, le quali si ripercuotono in effetti estetici spesso graditi e ricercati. In questi casi i piallacci assumono denominazioni specifiche come ad esempio le radiche.

Per migliorarne la flessibilità, specie per applicazioni su superfici sagomate, alcuni piallacci vengono accoppiati sul retro con un tessuto-non tessuto o con carte impregnate. Quest'applicazione rinforza il piallaccio contrastando la possibile formazione di fessure per effetto della piegatura cui sono sottoposti durante l'applicazione.

I fogli di tranciato sono normalmente giuntati insieme, tramite vari sistemi, per produrre superfici di ampiezza adeguata.

Esistono inoltre piallacci speciali per applicazioni 3D. Questi ultimi sono soggetti a particolari trattamenti preliminari di flessibilizzazione che li rendono adatti a queste applicazioni, come specificato nella Tabella 9.

Tabella 9 • Tipologia di piallacci e applicazioni

		Piallacci	Piallacci supportati	Piallacci speciali per 3D
Tipologia di applicazione	1D	✓	✓	✓
	2D Laminazione + softforming	✓ ✗	✓	✓
	2D Rivestimento profili	✓ ✗	✓	✓
	2D Postforming	✓ ✗	✓	✓
	3D	✓ ✗	✓ ✗	✓

Per ottenere un adeguato processo di rivestimento è innanzitutto importante conoscere la specie legnosa che costituisce il piallaccio, al fine di evitare eventuali problemi di incompatibilità con l'adesivo impiegato. È altresì opportuno considerare che l'impiego di piallacci sottili di specie molto porose può facilitare il trasudamento dell'adesivo dal lato incollato verso la superficie a vista, con possibili ripercussioni negative sull'estetica del prodotto finito.

Per quanto riguarda i più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la Tabella 10.

Tabella 10 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Piallacci di legno massiccio

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Spessore nominale fino a 1,5 mm incluso	ISO 18775	$\pm 0,05$ mm (singolo piallaccio) $\pm 0,1$ mm (tra più piallacci)
Spessore nominale da 1,5 mm a 6 mm	ISO 18775	± 4 % (singolo piallaccio) ± 8 % mm (tra più piallacci)
Umidità	ISO 18775	8 ± 2 %

2.2.1.2 I piallacci di legno multilaminare

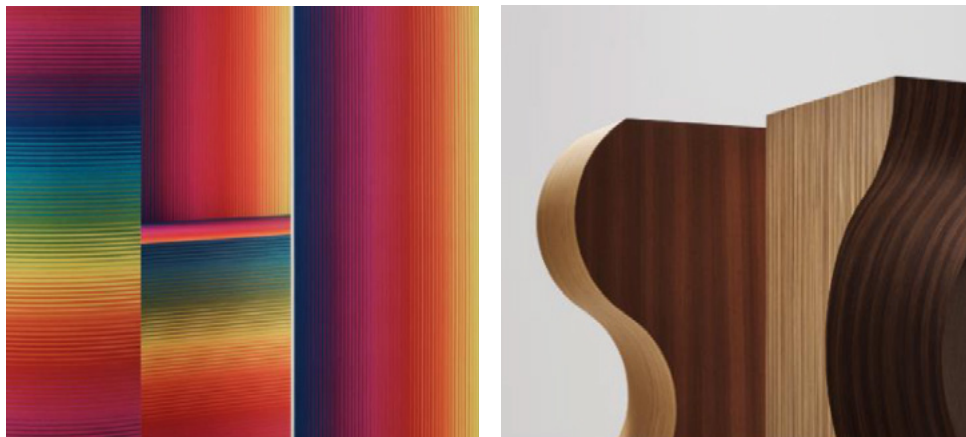
Il legno multilaminare è un materiale decorativo, realizzato industrialmente mediante la scomposizione di un tronco di legno e la sua successiva ricostruzione, con lo scopo di ottenere superfici di design non stampate e progettabili a seconda dell'effetto estetico desiderato.

Il legno multilaminare è definito dalla norma *UNI 10396:1994 Legno multilaminare. Termini e definizioni* e dalla norma *ISO 18775:2008 Venneers – Terms and definitions, determination of physical characteristics and tolerances*: “materiale costituito da lamine di legno (sia di conifere, sia di latifoglie) sovrapposte e unite tra loro previa spalmatura di adesivo e pressate in modo tale da formare un blocco o una tavola da cui, mediante successiva lavorazione, possono ricavarsi tranciati o segati destinati a scopo prevalentemente decorativo”.

La lamina di legno è l'“unità elementare, con spessore non maggiore di 5mm, che concorre alla formazione del blocco”. In genere è costituita da legno naturale o trattato, ad esempio colorato al fine di migliorarne l'estetica o altre caratteristiche, legno già multilaminare o combinazioni di queste.

L'aspetto estetico che si ottiene è la “combinazione di disegni e/o colori visibili sulle singole facce delle lamine” che compongono il blocco e può essere:

- Rigato
- Fiammato
- Figurato (per esempio a radica, ecc.)
- Altro (per esempio: disegni geometrici regolari o irregolari)



■ Figura 5 – Legno multilaminare - esempio di tipologia rigato

Il processo di produzione inizia con la scortecciatura e la sfogliatura dei tronchi di legno, come ad esempio il Pioppo a crescita rapida proveniente da piantagioni o l'Ayous ed il Tiglio provenienti da foreste.

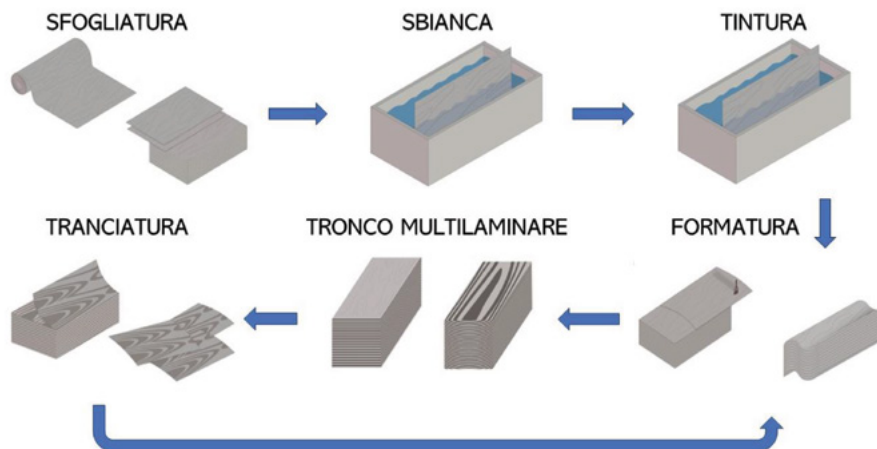
I fogli di legno ottenuti dalla sfogliatura vengono generalmente sottoposti a pretrattamento di purga e sbiancatura, immergendoli in vasche contenenti acqua ossigenata e soda per uniformare la colorazione iniziale ed eliminare le impurità presenti nel legno. In seguito, vengono tinti, per immersione, per ottenere il colore desiderato.

I fogli colorati vengono poi selezionati e opportunamente combinati secondo un ordine predefinito e successivamente incollati tra loro.

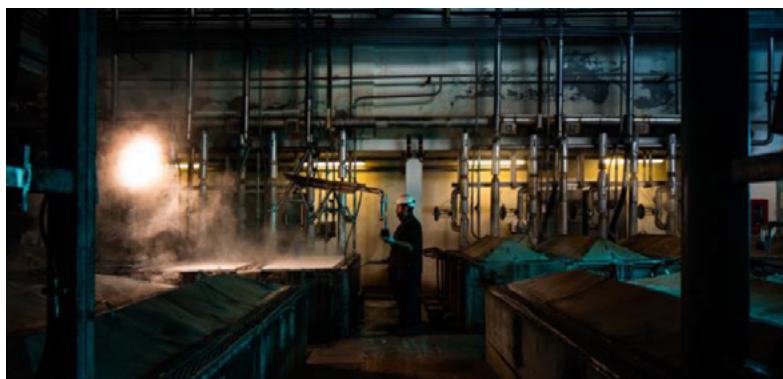
La pila dei fogli incollati viene posizionata in un apposito stampo e mantenuta sotto pressione, in pressa, per un determinato periodo di tempo, per consentire all'adesivo di indurire e per permettere la formatura (varie tipologie di curvature), fino all'ottenimento di un blocco solido.

Il blocco così ottenuto viene, quindi, lavorato per formare un parallelepipedo pronto per la tranciatura. È possibile riprodurre molteplici disegni, variando anche l'angolo di taglio con cui viene eseguita la tranciatura. Se si desidera, inoltre, un disegno finale particolarmente complesso, si può realizzare un nuovo blocco utilizzando i fogli ottenuti da una prima tranciatura, o alternando questi con altri ottenuti da blocchi di colore diverso. L'iter di incollaggio e tranciatura prosegue come descritto in precedenza. Il prodotto finale, tranciato, viene essiccato ad una umidità generalmente compresa tra l'8% ed il 12%. Il prodotto poi viene collaudato, foglio a foglio, per verificarne la rispondenza ed eventualmente corretto nelle imperfezioni.

Il tranciato multilaminare presenta ora un aspetto decorativo omogeneo, per figura e per colore, con una riproduzione costante nel tempo.



■ Figura 6 – Le fasi del processo produttivo del tranciato multilaminare



■ Figura 7 – Esempio di tintura nel processo produttivo del legno multilaminare



■ Figura 8 – Esempio di tranciatura nel processo produttivo del legno multilaminare

Per quanto riguarda i parametri rilevanti ai fini dei processi di rivestimento, si rimanda alla Tabella 10 nel paragrafo dei piallacci e alla relativa norma ISO 18775 che contempla anche questi materiali.

Il trasporto e lo stoccaggio dei piallacci

I piallacci, essendo costituiti da legno, sono soggetti a variazione del proprio contenuto di umidità in equilibrio con l'ambiente in cui vengono immagazzinati e lavorati. È necessario, pertanto, mantenere nell'ambiente un intervallo di umidità relativa compresa tra il 40% ed il 70% ed una temperatura tra 15 e 35°C. Sono da evitare contatti, anche solo temporanei con acqua o altre sostanze liquide. Si devono evitare tassativamente condense e gocciolamenti sulla superficie. L'immagazzinamento del prodotto si deve effettuare in piano, ad una quota di almeno 20 cm da terra. Inoltre, si deve proteggere il prodotto dalla radiazione luminosa, anche se indiretta.

2.2.2 I rivestimenti derivati da carte decorative

I primi rivestimenti a base di carte decorative sono stati realizzati oltre un secolo fa, ma hanno cominciato a diventare popolari dal secondo dopoguerra in poi. I decorativi a base carta offrono una vasta gamma di applicazioni grazie alle numerose tecnologie di trasformazione, stampa, impregnazione, stratificazione, verniciatura e laminazione che sono state messe a punto nel corso della loro lunga storia.

Le carte decorative grezze, infatti, non possiedono intrinseche caratteristiche di resistenza adatte all'impiego nel campo dell'arredo, dovendo quindi essere opportunamente trattate.

Il primo trattamento a cui sono soggette, dopo l'eventuale stampa, è l'impregnazione, durante il quale la porosità della carta decorativa viene saturata con resine melamminiche. A seconda dell'applicazione, le resine melamminiche possono essere miscelate con resine ureiche o resine acriliche.

Le carte finish, come suggerisce il nome, sono finite, ovvero possiedono già le caratteristiche di resistenza superficiale adeguate al prodotto finale. Queste caratteristiche vengono ottenute durante il processo di impregnazione reticolando totalmente le resine e proteggendo la superficie con una vernice.

Invece, nel caso dei laminati HPL, CPL e CPL sottili ad alta flessibilità, durante il primo passaggio la resina con cui sono impregnate le carte decorative non viene completamente reticolata. Ciò avviene solo durante il successivo processo di laminazione, per effetto del calore e della pressione, con un ulteriore passaggio in pressa.

Tipologie di presse impiegate nella produzione di rivestimenti derivati da carte decorative

PRESSE MULTIVANO: usate solo per la produzione di laminati HPL. Queste presse hanno caricamento manuale dei diversi strati di carta (decorativo, overlay, carte kraft), producono diverse decine di laminati per ogni ciclo, ed un ciclo può durare dai 40 minuti ad un'ora. Ogni singolo laminato è a contatto con la sua lamiera che ne determina la finitura superficiale (liscia, goffrata). Producono solo laminati a foglio il cui formato è fisso, stabilito dalla dimensione del piano della pressa.

PRESSE MONOVANO: sempre per i laminati HPL, sono un'alternativa alle presse multivano. Rispetto a queste hanno dei cicli di pressatura molto più veloci; quindi, la reattività delle resine deve essere regolata di conseguenza. Anche nelle presse monovano si possono produrre solo laminati in foglio.

PRESSE CONTINUE: di sviluppo più recente, con questi impianti si possono produrre tutti i laminati, HPL (fino a 1,2mm), CPL e CPL sottili ad alta flessibilità. Nelle presse continue, i vari strati di carta sono inseriti in bobina continua. Il prodotto finale può essere un laminato in foglio per gli spessori più alti e un laminato in bobina per quelli più sottili.

A seconda delle esigenze legate all'applicazione finale, il mercato dei rivestimenti a base di carte decorative è quindi in grado di offrire materiali dalle prestazioni e dai costi molto differenziati.

Spaziando dai pavimenti destinati ad ambienti ad alta frequentazione (Heavy duty), a pannelli per esterni, a materiali ignifughi, a superfici per piani di lavoro e a rivestimenti per uso verticale, le richieste prestazionali in termini di resistenza all'usura, al graffio, alla luce, all'acqua e al fuoco sono le più ampie.

Oltre che per le prestazioni, questi rivestimenti si differenziano anche per spessore e quindi per flessibilità. I laminati HPL per rivestimenti, grazie alla stratificazione di più strati a base carta, possono arrivare a spessori fino a 2 mm, i laminati CPL hanno uno spessore tipicamente compreso tra 0,2 e 0,4 mm, i laminati flessibili e le carte finish possono avere spessori anche inferiori a 0,1 mm (100 micron.) In funzione delle loro caratteristiche prestazionali e di flessibilità a freddo e a caldo, i rivestimenti derivati da carte decorative possono essere utilizzati per varie tipologie di applicazioni secondo lo schema generale riportato nella Tabella 11.

Tabella 11 • Tipologie di applicazioni dei rivestimenti derivati da carte decorative

		HPL	CPL	CPL flessibili	Finish
Tecnologia di applicazione	1D Flat lamination	✓	✓	✓	✓
	2D Lamination + soft (J pull)	✗	✓	✓	✓
	2D Wrapping	✗	✓	✓	✓
	3D Termoformatura (pressa membrana)	✗	✗	✗	✗
Prodotto finale	Frontali	✓	✓	✓	✓
	Retri	✓	✓	✓	✓
Caratteristiche del materiale	Disponibile in bobina	✓	✓	✓	✓
	Disponibile in lastra	✓	✗	✗	✗
	Spessori sottili (0,1 - 0,3 mm)	✗	✓	✓	✓
	Spessori elevati (0,4 - 1,2 mm)	✓	✗	✗	✗

Per quanto riguarda i più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la Tabella 12.

Tabella 12 • Parametri rilevanti per i processi di rivestimento – Rivestimenti da carte decorative

Parametro	Metodo di prova	Valore tipico	Tolleranza
Grammatura (g/mq)	DIN EN ISO 536	60-120 g/mq	± 2g/mq
Contenuto di umidità (%)	DIN EN 20287	3%	± 0.3 %
Spessore nominale (mm)	ISO 534	0.08-0.20 mm	± 0.02 mm
Dimensioni carta	//	120-220 cm	± 3 mm

2.2.2.1 I laminati HPL

Con la sigla HPL si intende “High Pressure Laminate” (Laminato ad Alta Pressione) e si fa riferimento ad uno stratificato ad alta densità ($\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$) costituito da strati di supporto e da un rivestimento decorativo superficiale. Gli HPL sono ottenuti con cicli di laminazione a caldo con parametri tipici di temperatura $\geq 120^\circ\text{C}$ e pressione $\geq 5 \text{ MPa}$. Gli strati di supporto sono costituiti da uno o più fogli di materiale fibroso (in genere carta kraft) impregnati con resine termoindurenti (comunemente a base di fenolo-formaldeide) o resine di altro tipo o, addirittura, non trattati. Gli strati decorativi superficiali (presenti su una o su entrambe le facce dei laminati) sono costituiti da uno o più fogli di materiale fibroso (in genere carta) impregnati con resine amminoplastiche termoindurenti (comunemente a base di melammina-formaldeide) o resine di altro tipo; possono venire impiegate anche altre tipologie di materiali, come fogli di metallo, impiallacciatore di legno, tessuti, ecc., non necessariamente trattati con resine.

La norma EN 438 classifica i laminati HPL in base alla composizione e alle proprietà legate al loro campo di applicazione.

I laminati interessati alla nobilitazione dei pannelli sono quelli “sottili < 2mm”, trattati nella parte EN438-3 e quelli “di design o con supporto alternativo” trattati nelle parti EN438-8 e EN438-9.

I laminati HPL sono classificati secondo sigle a tre caratteri come da Tabella 13.

Tabella 13 • Classificazione laminati HPL

Sigla		Composizione
VGS	V: Per applicazioni verticali G: Scopi generici S: Standard	I laminati HPL per applicazioni verticali hanno una resistenza all'abrasione inferiore rispetto a quelli per applicazioni orizzontali. La postformabilità e le eventuali caratteristiche di resistenza al fuoco sono conseguite attraverso speciale formulazione delle carte kraft impregnate di supporto
VGP	V: Per applicazioni verticali G: Scopi generici P: Postformabile	
VGF	V: Per applicazioni verticali G: Scopi generici F: Ritardante di fiamma	
HGS	H: Anche per applicazioni orizzontali G: Scopi generici S: Standard	I laminati HPL per applicazioni orizzontali hanno una resistenza superiore all'abrasione rispetto a quelli per applicazioni orizzontali grazie ad uno strato ulteriore di resina (overlay) che protegge la parte decorativa stampata. Gli HPL unicolori generalmente non hanno overlay. Postformabilità e resistenza al fuoco come i verticali
HGF	H: Anche per applicazioni orizzontali G: Scopi generici F: Ritardante di fiamma	
HGP	H: Anche per applicazioni orizzontali G: Scopi generici P: Postformabile	
MTS	M: Superficie metallica T: Sottile (<2mm) S: Standard	I laminati HPL con superficie metallica sono ottenuti stratificando un film metallico direttamente in pressa durante la reticolazione delle resine
MTP	M: Superficie metallica T: Sottile (<2mm) P: Postformabile	
BTS	B: Interno colorato T: Sottile (<2mm) S: Standard	Questi laminati si ottengono impiegando carte kraft colorate

2.2.2.2 I laminati CPL

Con la sigla CPL si intende “Continuous Pressure Laminated” (Laminato a Pressione in Continuo) e si fa riferimento ad uno o più strati di materiale, generalmente fibroso, cellulosico. I CPL sono ottenuti con cicli di laminazione a caldo in continuo, in presse a doppio nastro, con parametri tipici di temperatura $\geq 150^\circ\text{C}$ e pressione $< 5\text{ Mpa}$. Come gli HPL si compongono di un layer decorativo (più comunemente carta impregnata con resine amminoplastiche), in questo caso su un solo lato, e, ove presenti, uno o più strati di supporto (più comunemente carta e/o pergamena vegetale impregnata con resine a base di fenolo-formaldeide). Anche in questo caso possono esistere materiali e impregnazioni di altro tipo per l'interno o il decorativo.

La norma UNI 11771:2020 classifica i laminati CPL in base alla composizione e alle proprietà legate al loro campo di applicazione come indicato nella Tabella 14.

Tabella 14 • Tipologie di CPL e applicazioni

Tipologia	Applicazioni tipiche
Bordo	Rivestimento di bordi di pannelli
Ad alta flessibilità	Rivestimento con forme complesse e con raggi minimi di curvatura
Verticale	Ad esempio: antine, pareti, porte. Anche con postforming*
Orizzontale	Ad esempio: piani di cucina, tavoli, scrivanie. Anche con postforming*
Pavimento	Ad esempio: pavimenti, anche con postforming*

** Il CLP che può prevedere la postformatura viene identificato aggiungendo la sigla PF alla tipologia*

Fra le categorie di CPL è utile approfondire la tipologia ad alta flessibilità. Si tratta di laminati da ciclo in continuo, formati da uno strato decorativo e da un solo strato di supporto, se non addirittura solo da quello decorativo. Il CPL ad alta flessibilità risulta quindi la tipologia di laminato più fine, con spessori generalmente inferiori agli 0,2 mm. Lo strato decorativo è costituito comunemente da materiale fibroso cellulosico impregnato con resine ad alta flessibilità (ad esempio con frazioni di resina acrilica). Lo strato di supporto, se previsto, è in genere una carta/pergamena vegetale oppure un TNT in poliestere (oppure altri materiali), molto spesso non impregnato o alternativamente trattato con resine ad alta flessibilità.

La caratteristica principale di questo laminato è l'elevata formabilità, anche a temperatura ambiente, che consente il rivestimento di superfici con raggi di curvatura anche inferiori ai 2 mm, come nel caso di profili e altre forme complesse.

Dal momento che sono impiegate generalmente resine piuttosto morbide, risulta un laminato per rivestire esclusivamente superfici verticali.

La Tabella 15 riporta le caratteristiche utili all'incollaggio per i laminati CPL descritti in questo paragrafo e per i laminati HPL descritti nel paragrafo 2.2.2.1

Tabella 15 • Proprietà per l'incollaggio di laminati HPL e CPL

Materiale	Norma del metodo di prova	Norma di requisito	Formabilità (Raggio in mm)	Resistenza alla formazione di bolle (Tempo fino al rigonfiamento in spessore)
Laminato HPL di Tipo P	EN438-2/31 o 32 EN 438-2/33 o 34	EN438-3	≥ 10 x spessore nominale ^a ≥ 20 x spessore nominale ^b	≥ 10 ^c ≥ 15 ^d
Laminato CPL di Tipo PF	UNI 11771-2/22 o 23 UNI 11771-2/24	UNI 11771-3	≥ 10 x spessore nominale	≥ 10
Laminato CPL ad alta flessibilità	UNI 11771-2/22	UNI 11771-3	2	/

- a. Raggio di formatura in condizione di test con asse di piegatura parallelo alla direzione delle fibre (parallelo alla direzione di levigatura);
- b. Raggio di formatura in condizione di test con asse di piegatura perpendicolare alla direzione delle fibre;
- c. Per spessore nominale < 0,8 mm;
- d. Per spessore nominale ≥ 0,8 mm.

2.2.2.3 Le carte finish

Le carte decorative finish, come si intuisce dal nome, sono carte già pronte all'uso all'uscita dalla linea d'impregnazione/laccatura, ovvero non necessitano di alcun trattamento di reticolazione delle resine/lacche, successivo alla fase di laccatura. L'unica modifica della superficie post-laccatura può essere la sovra-vernicatura.

Le carte decorative finish possono essere stampate o a tinta unita.

Il mercato offre due tipologie di carte finish che si differenziano sulla base del processo produttivo e per le relative prestazioni:

Carte pre-impregnate

Le carte pre-impregnate sono additivate di resina direttamente nell'impasto durante la produzione della carta stessa. Tale resina chiude i pori della carta e la flessibilizza. Queste carte possono essere stampate e poi rifinite con lacche.

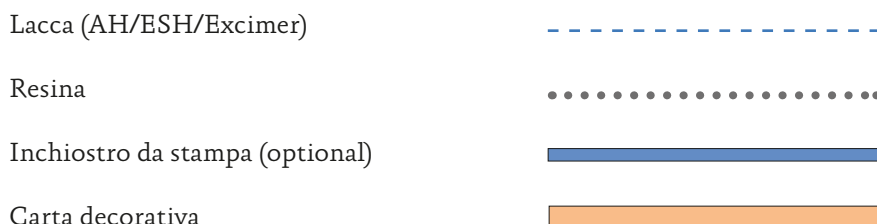


■ Figura 9 – Stratificazione carte finish pre-impregnate

Carte post-impregnate

Le carte grezze possono essere stampate e poi necessitano di due steps in linea d'impregnazione:

- impregnazione della carta con resine particolari (per la maggior parte ureiche, melaminiche eterificate e acriliche) che chiudono i pori della carta e garantiscono vari gradi di flessibilità alla stessa, in base al rapporto delle resine utilizzate;
- rifinitura con lacche.



■ Figura 10 – Stratificazione carte finish post-impregnate

In entrambi i casi, in base alle lacche utilizzate, si determinano le resistenze superficiali, il grado di gloss, effetti tattili particolari (es: antimacchia, soft touch, ecc...) ed eventualmente la tridimensionalità (anche a registro).

Le lacche utilizzate possono essere a reticolazione acida/termica o fotoreticolabili (UV, UV-LED, fasci di elettroni).

Il prodotto viene fornito in bobine, pronto ad essere incollato su vari supporti.

Le carte finish possono essere fornite anche pre-incollate, ovvero con un termoadesivo spalmato sul retro del prodotto.

Nella Tabella 16 sono esposti i principali vantaggi e svantaggi nell'utilizzo delle due famiglie.

Tabella 16 • Confronto fra carte pre e post-impregnate

Famiglia	Vantaggi	Svantaggi
Carta pre-impregnata	• Disponibile formaldeide-free • Prezzi più contenuti • Può essere applicata con tutti i sistemi di adesivi comuni	• Generalmente sono sottili e con resistenza meccanica non elevata quindi, se il substrato su cui sono applicate non è omogeneo, si possono intravedere le sue imperfezioni in superficie • Resistenza alla delaminazione bassa
Carta post-impregnata	• Stabilità e rigidità del foglio • Buona resistenza alla delaminazione • Migliore resistenza meccanica e spessori più elevati. Si possono accoppiare anche a substrati di omogeneità superficiale non elevata • Può essere applicata con tutti gli adesivi più comuni	• Emettono formaldeide • Prezzo più alto

Come indicazione generale i due materiali sono intercambiabili e il loro utilizzo dipende principalmente dal supporto su cui si applicano e dai costi.

Le carte pre-impregnate vengono solitamente impiegate per rivestire arredi, mentre quelle post-impregnate nel mercato dei caravan e delle porte.

Trattamenti sul retro dei rivestimenti derivati da carte decorative

I rivestimenti derivati da carte decorative solitamente non vengono trattati con primer. Il processo di incollaggio deve essere modulato a seconda della natura dello strato che costituisce il retro. I laminati con supporto fenolico (HPL e CPL >0,3mm) vengono forniti con un passaggio di "ruvidatura" con il quale il fornitore prepara il retro all'incollaggio. I laminati CPL o ad alta flessibilità con retro di pergamena vegetale o TNT hanno buone compatibilità con gli adesivi. I rivestimenti flessibili monostrato con alto contenuto di resine plastificanti necessitano di prove di incollaggio preliminari per escludere eventuali incompatibilità.

Trasporto e stoccaggio dei rivestimenti base carta

Si suggerisce di mantenere i manufatti in ambiente areato ed asciutto (umidità relativa dell'aria 30%-70%), in condizioni di temperatura comprese tra 15°C-35°C, e in ogni caso condizionarli per almeno 24 ore prima della loro lavorazione alle condizioni indicate. L'eccessiva umidità del laminato può comprometterne le fasi di lavorazione, comportandone un incollaggio errato e/o il suo restringimento, con conseguenti sviluppi di crepe e deformazioni.

Se esposto direttamente ai raggi del sole il laminato può degradarsi e perdere le sue caratteristiche di formabilità.

Si suggerisce di impiegare il laminato entro un anno dal suo immagazzinamento. Il protrarsi dello stoccaggio in condizioni non idonee può accelerare il decadimento delle proprietà di incollaggio e formabilità del materiale

2.2.3 I rivestimenti polimerici (film plastici)

Grazie alla loro versatilità, i film plastici decorativi nella nobilitazione dei pannelli a base legno si sono affermati quale alternativa ai rivestimenti melamminici.

Questi film sono disponibili sul mercato con una grande varietà di effetti (tinta unita, stampe legno o fantasia, colori metallizzati e perlescenti), finiture (lucide, opache, lisce o con texture), spessori e qualità.

Come sarà specificato in seguito, esistono diverse tipologie di polimeri che possono essere utilizzati per la produzione delle foglie utilizzate per il rivestimento di elementi d'arredo.

A seconda delle caratteristiche chimico-fisiche del polimero impiegato, della specifica formulazione e dello spessore i fogli così ottenuti possono essere adatti a varie applicazioni come riportato nella Tabella 17.

Tabella 17 • Le applicazioni dei film plastici decorativi

		PVC	PET	PP	ABS-PMMA	PS
Tecnologia di applicazione	1D Flat lamination	✓	✓	✓	✓	✓
	2D Lamination + soft (J pull)	✓	✓	✓	✗	✗
	2D Wrapping	✓	✓	✓	✗	✗
	3D Termoformatura (pressa membrana)	✓	✓	✗	✗	✗
Prodotto finale	Frontali	✓	✓	✓	✓	✗
	Retri	✓	✓	✓	✗	✓
Caratteristiche del materiale	Disponibile in bobina	✓	✓	✓	✓	✓
	Disponibile in lastra	✗	✗	✗	✓	✓
	Spessori sottili (0,1 - 0,4 mm)	✓	✓	✓	✓	✗
	Spessori elevati (0,5 - 1,5 mm)	✗	✗	✗	✓	✓

Osservando in sezione un film decorativo, si distinguono diverse componenti. L'aspetto finale dei film è dato dalla combinazione tra il colore del film di base (ed eventualmente dalla stampa) e dal trattamento superficiale che determina la lucentezza e il tatto. A seconda dell'applicazione dell'adesivo che verrà usato per l'incollaggio su pannello e della natura del polimero usato per realizzare il film, il retro può avere o meno un trattamento per favorire il processo di incollaggio.

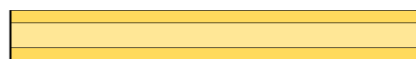


Superficie eventuale vernice protettiva e/o goffatura
Film termoplastico
Retro: eventuale trattamento

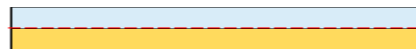
A sua volta, il film termoplastico può essere composto da più strati, laminati o coestrusi:



Nella versione più semplice, il film decorativo è prodotto monostrato



Esiste la possibilità di realizzare un film accoppiando strati diversi oppure, in coestruzione, usando diverse composizioni



Normalmente i film stampati sono prodotti laminando a caldo la base stampata con un film trasparente, solitamente della stessa natura, a protezione della stampa

■ **Figura 11 – Stratificazioni tipiche dei rivestimenti polimerici**

La superficie dei film decorativi determina non solo l'aspetto estetico, ma anche quello funzionale. Esistono molteplici possibilità per finire un film, la texture o finitura può essere liscia o strutturata, può presentare decorazioni tridimensionali o effetti a contrasto con la lucentezza, può essere liscia con gloss diverso, da molto lucido (high gloss) a molto opaco (super matt).

A seconda della finitura e dell'impiego finale del film decorativo, può essere presente una vernice protettiva che aumenta le caratteristiche di resistenza chimica e meccanica, nonché stabilizza il valore della lucentezza. Con speciali vernici, possono essere aggiunte altre proprietà, quali antibatteriche, anti-impronta ecc.

Il processo di produzione delle foglie polimeriche per rivestimenti

Produzione del film polimerico

I film plastici vengono in genere prodotti mediante processo di calandratura o estrusione. Nel primo caso si tratta di un processo attraverso il quale la miscela di base costituita dal granulo/polvere del polimero, pigmenti e additivi, dopo una prima pre-lavorazione termica e meccanica, passa tra una serie di cilindri in acciaio (in genere 4) per essere spianata allo spessore e larghezza desiderati. Nel caso dell'estrusione, la miscela

di base viene invece miscelata con le viti all'interno del cilindro di estrusione, per passare direttamente nella calandra nella quale viene regolato il profilo di spessore del film.

Stampa

Avviene per mezzo di uno o più cilindri sui quali è inciso il disegno da stampare sulla foglia. I cilindri "pescano" gli inchiostri da stampa e li riportano sulla foglia, andando a determinare l'aspetto estetico del film

Laminazione

Avviene per fusione superficiale dei singoli film che vengono uniti insieme. In genere i film singoli da laminare vengono riscaldati e convogliati insieme su un cilindro che li pressa assieme. Subito dopo il film ottenuto dalla laminazione viene rapidamente raffreddato per assicurare l'adeguata adesione tra i vari strati.

Goffratura e verniciatura

Il processo di goffratura permette di produrre sulla superficie del film la struttura desiderata; avviene per mezzo di particolari cilindri, in genere in acciaio, sui quali è incisa la struttura, che viene impressa a caldo sul film. Il film può, in alcuni casi, essere verniciato superficialmente specie se viene utilizzato per produrre pezzi per mobili che necessitano di una particolare resistenza superficiale. La vernice permette anche di regolare la brillantezza della superficie. Si possono utilizzare a tale scopo diversi tipi di vernici, a seconda della resistenza superficiale e dell'effetto finale che si vuole ottenere.

Applicazione del primer (primerizzazione)

Ai film plastici viene normalmente applicato un primer sul retro, che facilita l'incollaggio del film stesso al supporto utilizzato.

Per evitare danneggiamenti della superficie nelle fasi di lavorazione e trasporto dei semilavorati, spesso i film decorativi sono forniti con una pellicola protettiva che verrà poi rimossa al momento dell'installazione.

Dal punto di vista dell'installatore, la pellicola deve essere velocemente e facilmente asportabile, senza lasciare residui sulla superficie.

D'altra parte, dal punto di vista delle operazioni di incollaggio e lavorazione del film decorativo sul pannello, la pellicola deve aderire perfettamente alla superficie senza arricciamenti, pieghe o distacchi che potrebbero creare problemi non indifferenti e rallentare la produzione. Nelle fasi dove è prevista una post-formatura del decorativo, il film deve anche seguire la lavorazione resistendo alla temperatura e alle deformazioni. Quindi, pur non rappresentando parte integrante del prodotto (viene infatti rimossa una volta che il pannello è installato) la pellicola è un elemento critico che va considerato nella scelta del giusto rivestimento, costituita generalmente da un sottile film in polietilene (30-80 micron), con uno strato adesivo sul retro. La forza adesiva dell'adesivo sul retro deve essere modulata alla superficie da proteggere; infatti, lo stesso film potrebbe essere poco adesivo o troppo adesivo se applicato su superfici diverse. Tipicamente, le superfici lucide necessitano di collanti poco adesivi, mentre

per superfici opache o goffrate, si deve optare per prodotti ad alta adesività. Si raccomanda di evitare esposizione diretta ai raggi solari dei pezzi prodotti, anche se presente ancora il film protettivo, per evitare di compromettere la facile rimozione del film.

I film termoplastici decorativi sono impiegati nel rivestimento di pannelli. Pertanto, devono essere idonei all'impiego con le tecnologie di accoppiamento ed incollaggio tipiche del settore del mobile.

In funzione delle caratteristiche fisico-chimiche del polimero, ad esempio la texture del retro o la tensione superficiale, i film termoplastici possono necessitare o meno di trattamenti sul retro per migliorare la compatibilità con gli adesivi.

I principali trattamenti disponibili per il retro dei film sono:

- Primer: Vedere § 4.2.3
- Trattamento corona: Vedere § 4.2.4
- Trattamento al plasma: Vedere § 4.2.5

Per quanto riguarda i parametri più rilevanti di questi materiali ai fini dei processi di rivestimento, si riporta la Tabella 18.

Tabella 18 • Parametri più rilevanti per i processi di rivestimento

Parametro	Metodo di prova	Requisito per applicazioni 1D e 2D	Requisito per applicazioni 3D
Spessore	ISO 2286-3	0.30 – 0.50 mm, Tolleranza: $\pm 7.5 \%$	0.30 – 0.50 mm, Tolleranza: $\pm 7.5 \%$
Stabilità dimensionale	DIN 53377 100°C per 10 minuti	non necessario	Max: -5% longitudinalmente Max: +3% trasversalmente

2.2.3.1 Il polivinil cloruro (PVC)

Grazie alle sue ottime caratteristiche di lavorabilità, il PVC è uno dei polimeri più noti e apprezzati. Il monomero, cloruro di vinile, è prodotto dal cloro che proviene dal sale marino (57%) e dall'etilene, di provenienza fossile (43%). Nel settore del mobile si utilizza solitamente il PVC rigido, che si differenzia da quello plastificato in quanto non contiene plastificanti. Per poter essere processato, il PVC necessita tuttavia di vari additivi di processo, di lubrificanti, agenti tenacizzanti e stabilizzanti. I film decorativi in PVC rigido possono venire prodotti attraverso due tecnologie principali, la calandra e l'estrusione. Gli spessori più sottili possono poi essere laminati a caldo per ottenere il film dalle caratteristiche e dallo spessore desiderato.

2.2.3.2 Il Polietilene tereftalato (PET)

Il PET, o polietilentereftalato, è uno dei polimeri più usati a livello mondiale grazie alla produzione di bottiglie per bevande. Il PET tradizionale, ottenuto dall'esterificazione tra acido tereftalico e glicole etilenico, è un polimero semi cristallino, noto anche come APET. Molto noto è anche il BOPET, o PET bi-orientato; attraverso processi di stiratura longitudinale e trasversale si conferiscono al BOPET caratteristiche molto superiori in termini di trasparenza, caratteristiche meccaniche e resistenza al calore. Questi film sono solitamente disponibili in spessori sottili (inferiori a 150 micron) e in versione trasparente. Nel settore del mobile sono apprezzati i PETG, particolari versioni di PET ottenuti con l'additivazione di speciali glicoli. I PETG sono tendenzialmente amorfi, hanno migliori caratteristiche di trasparenza, resistenza chimica e termoformabilità 3D rispetto all'APET.

2.2.3.3 Il Polipropilene (PP)

Il PP, polipropilene, è un polimero derivato dalla polimerizzazione del propilene, idrocarburo alifatico. I film plastici in polipropilene vengono normalmente prodotti per calandratura o estrusione della miscela di base, costituita dal granulo plastico e diversi additivi che ne facilitano la lavorazione in calandra/estrusione. Nella maggior parte dei casi si tratta di film polimerici ad uno strato, con spessori che possono variare, nei casi più tipici, da 120 µm a 180 µm. L'utilizzo tipico nel settore del mobile è quello della laminazione in piano o in 2D (avvolgimento, post-formatura). La 3D termoformatura è invece possibile solo a livelli minimi, a causa della memoria plastica del materiale.

2.2.3.4 L'Acrilobutile-Butadiene-Stirene (ABS) con il Polimetil Metacrilato (PMMA)

Questi rivestimenti plastici sono forniti in lastra o in bobina venendo realizzati tramite co-estrusione di due materiali plastici diversi, l'ABS e il PMMA. I due polimeri hanno temperature di fusione simili e sono compatibili chimicamente, quindi sono idonei alla coestrusione. Grazie alle ottime caratteristiche del PMMA, che garantisce le migliori proprietà di durezza e di trasparenza tra i polimeri termoplastici, questi film decorativi sono usati soprattutto nella versione high gloss, in spessori medio alti, da 0,3 a 1,5 mm.

2.2.3.5 Il Polistirene (PS)

Il polistirene (o polistirolo) esiste nelle tipologie polistirene cristallo (PS) o polistirene antiurto (HIPS). La versione antiurto è ottenuta additivando il PS con gomma stirene butadiene. Il polistirene antiurto, estruso in spessori tra i 250 ed i 500 micron ha trovato importanti applicazioni nel settore del mobile come controbilanciante nel retro dei pannelli che usano la foglia ABS-PMMA. Predisposto con un trattamento "Corona", il materiale garantisce facilità all'incollaggio e tenuta nel tempo.

2.2.3.6 I materiali polimerici derivati da riciclo

In risposta alla crescente richiesta di mercato, negli ultimi anni i produttori sono in grado di fornire foglie polimeriche ottenute con differenti percentuali di polimero riciclato, meccanicamente o chimicamente, unitamente al polimero vergine. I film contenenti polimeri riciclati, nel caso non siano primerizzati, possono avere caratteristiche di incollaggio differenti da quelli costituiti esclusivamente da polimeri vergini. Si raccomanda quindi di effettuare le verifiche opportune secondo le indicazioni del produttore.

Trasporto e stoccaggio dei rivestimenti polimerici

I rivestimenti polimerici vengono in genere forniti in bobine di diverse centinaia di metri (a seconda dello spessore della foglia), del peso di alcune centinaia di chilogrammi. Soprattutto per le finiture più delicate, quali quelle lucide e lisce è quindi indispensabile stoccare le bobine appese o in verticale, come normalmente vengono fornite dal produttore, per evitare ammaccature e danneggiamenti dovuti al peso delle bobine stesse. Se non fosse possibile stoccare le bobine appese o in verticale, frapporre del materiale morbido tra la bobina e la base dove viene stoccata, e verificare che la modalità di stoccaggio non provochi danneggiamenti superficiali. Evitare in ogni caso di sovrapporre le bobine una sull'altra. Stoccare in ambiente pulito a temperatura ambiente e a moderata umidità. Evitare stoccaggio a diretto contatto con raggi del sole o altre fonti di calore. Climatizzare le bobine all'interno dell'ambiente di lavoro almeno 72 ore prima dell'utilizzo.

Le medesime accortezze sopra descritte per lo stoccaggio vanno tenute anche durante il trasporto interno delle bobine, dal magazzino agli impianti.

Normalmente le bobine vengono garantite per un anno dopo la consegna, ma se stoccate correttamente non ci sono problemi ad utilizzarle anche trascorso tale periodo.

Fanno eccezione le bobine fornite con rivestimento pelabile, che normalmente vanno utilizzate in tempi inferiori (3-6 mesi) per evitare possibili trasferimenti di adesivo dal rivestimento pelabile alla superficie della foglia (verificare sempre i tempi di utilizzo consigliati sulle schede tecniche). Qualora il tempo di utilizzo massimo consigliato non venisse rispettato, verificare preventivamente che il rivestimento pelabile protettivo possa essere rimosso senza problemi (rilascio di adesivo o allungamenti anomali del rivestimento pelabile stesso in fase di rimozione).

2.2.4 Altri materiali di rivestimento (metalli, vetri, specchi e lapidei)

Nel caso di particolari materiali quali vetri, specchi, metalli o lapidei, devono essere adottati specifici accorgimenti prima dell'incollaggio al supporto (ad esempio un pannello a base legno).

Oltre alla scelta di adeguati adesivi compatibili con i materiali da incollare, è necessaria soprattutto una accurata preparazione delle superfici.

Per questa tipologia di materiali, infatti, è necessario preliminarmente eliminare l'eventuale presenza di polvere, grassi e ossidi con solventi come alcol isopropilico o acetone.

È consigliabile effettuare, inoltre, una leggera sabbiatura o carteggiatura (soprattutto su metalli e pietre) per favorire, di conseguenza, l'adesione meccanica.

Su superfici difficili, ad esempio vetro, alluminio o acciaio inox si possono usare primer specifici o trattamenti preliminari con sistemi al plasma.

Inoltre, per materiali fragili, come vetro e pietre, è necessario porre attenzione alle condizioni di pressatura per evitarne la rottura.

2.3. Adesivi

La scelta dell'adesivo impiegato per l'incollaggio di pannelli piani (applicazione 1D) e soft-formati (applicazione 2D) per il rivestimento di profili (applicazione 2D) e di quello per il rivestimento di pannelli sagomati attraverso l'impiego di pressa a membrana (3D), non può prescindere dal tipo di processo, impianto e decorativo impiegati durante la fase del rivestimento della superficie.

Di seguito vengono indicate le tipologie di adesivi che possono essere impiegate a seconda del processo (1D, 2D o 3D) utilizzato per il rivestimento della superficie, in relazione alla tipologia di supporto (pannello o profilo):

Processo 1D:

- Adesivi termofusibili, in dispersione acquosa e urea-formaldeide.

Processo 2D:

- Profili: adesivi termofusibili
- Pannelli post-formati: adesivi termofusibili e in dispersione acquosa
- Pannello avvolto: adesivi termofusibili

Processo 3D:

- Pannello sagomato con pressa a membrana: adesivi in dispersione acquosa

La Tabella 19 illustra in modo sintetico le tipologie di adesivi che possono essere impiegati nell'applicazione specifica. In corrispondenza dei simboli in verde la scelta

dell'adesivo è consolidata dall'esperienza della filiera del settore che ha elaborato il presente manuale, mentre i simboli in rosso scoraggiano vivamente l'impiego dello specifico adesivo per l'applicazione corrispondente. I simboli in giallo rappresentano specifiche applicazioni con materiali indicati nelle note.

Tabella 19 • Tipologie di adesivi utilizzati nei vari processi

Tipologia di adesivo Applicazione	Urea-formaldeide	Dispersione a base acquosa			Termofondenti		
		PVAc	VAE	PU	EVA	PO	HM PUR
1D incollaggio di pannelli	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
2D incollaggio di pannelli piani e postformati	✗	2	✗	✗	✓	✓	✓
2D Rivestimento di profili	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
3D Pressa a membrana	1	✗	✗	✓	✗	✗	✗

1 Per incollaggio di impiallacciatura

2 Per la parte post-formata dei tops per cucine + piani PVAc e bordi sagomati con termofusibili

La Tabella 20 è utile per orientare la scelta dell'adesivo specifico (indicato con numeri corrispondenti alla natura dell'adesivo nella legenda) non solo in riferimento alla tecnologia di applicazione (processo e tipo di substrato) ma anche alla tipologia di rivestimento (polimerico o derivati da carte decorative). Anche in tal caso le indicazioni scaturiscono dalle conoscenze della filiera che ha contribuito alla preparazione del presente manuale. Il simbolo in rosso indica invece di evitare l'impiego dello specifico rivestimento nella tecnologia di applicazione corrispondente.

Tabella 20 • Guida alla scelta dell'adesivo

		Rivestimenti Polimerici			Termofondenti		Rivestimenti derivati da Carte decorative			Legno
		PVC	PET	PP	ABS-PMMA	PS	HPL	CPL	Carta finish	Piallaccio
Tecnologia di applicazione	1D Incollaggio di pannelli	1,5	1	1, 3, 5	1	1	1, 2, 4, 5, 7	1, 2, 4, 7	1, 2, 3, 4, 7	1, 4, 7
	2D Incollaggio di pannelli piani e postformati	1	1	1, 3	✗	✗	1	1, 2	1, 2, 3	1, 3
	2D Rivestimento di profili	1, 2	1	1, 2, 3	✗	✗	✗	1	1, 2, 3	1, 2, 3
	3D Pressa a membrana	6	6	✗	✗	✗	✗	✗	✗	7

Legenda

TERMOFUSIBILI			DISPERSIONI ACQUOSE			DISPERSIONI ACQUOSE/ IN POLVERE
PUR	EVA	PO	PVAc	VAE	PU	UF
1	2	3	4	5	6	7

2.3.1 Adesivi Termofusibili (EVA-PO-HMPUR)

Gli adesivi termofusibili hanno come caratteristica principale di essere forniti in forma solida, sono cioè privi di solventi o di acqua. Come si può facilmente intuire dal nome della categoria indicata (termofusibili), questi adesivi, per essere impiegati, devono essere fusi ed applicati a caldo. Il successivo raffreddamento comporta la loro solidificazione. Per una particolare tipologia di adesivi termofusibili (chiamati isocianici o poliuretanici) l'indurimento fisico è accompagnato da quello chimico.

L'adesivo termofusibile viene applicato mediante rulli o ugelli e testa di spalmatura ("Slot Nozzle") e l'accoppiamento dei materiali (decorativo e substrato) viene eseguito attraverso:

- rulli pressori nel rivestimento di profili
- calandre nel caso di pannelli

2.3.1.1 EVA

I copolimeri EVA derivano dalla polimerizzazione di due monomeri, l'etilene ed il vinile acetato.

Le caratteristiche principali di questa tipologia di adesivi (adesione, tempo aperto, temperatura di rammollimento) dipendono prevalentemente dal diverso rapporto dei due monomeri che viene impiegato nella sintesi dei copolimeri impiegati per la loro produzione.

Gli adesivi termofusibili a base EVA sono quindi una famiglia di prodotti con differenti caratteristiche che possono essere selezionati in funzione delle esigenze applicative o delle prestazioni richieste dal prodotto finito. In ogni caso, gli adesivi termofusibili a base EVA hanno natura termoplastica e caratteristiche meccaniche e chimiche tali da non essere particolarmente resistenti a sollecitazioni provocate da solventi, calore, vapore o umidità.

2.3.1.2 PO (poliolefinici)

Costituiscono la base polimerica dei collanti a base poliolefinica. Questi polimeri sono prodotti con vari monomeri quali l'etilene, il propilene, il butene ed omologhi. Rispetto a quelli a base EVA, gli adesivi poliolefinici sono caratterizzati da un intervallo di fusione più stretto e presentano, inoltre, un buon potere collante iniziale. Inoltre, sono generalmente più resistenti al calore, all'umidità ed ai solventi rispetto a quelli a base EVA.

2.3.1.3 PUR (Poliuretanici reattivi)

Gli adesivi termofusibili isocianici (detti anche poliuretanici reattivi o HMPUR) si differenziano dai precedenti in quanto il loro indurimento dipende sia da un processo fisico (raffreddamento del collante) che avviene in macchina, sia chimico (reticolazione) che si sviluppa in magazzino.

La reazione chimica è innescata dall'umidità. Dal momento che l'indurimento di tipo fisico è relativamente veloce e che la forza adesiva iniziale viene attivata rapidamente,

i substrati possono essere fissati velocemente. Lo sviluppo della forza adesiva finale viene invece raggiunto successivamente, per effetto della progressiva reticolazione. La reticolazione chimica dell'adesivo permette di raggiungere elevate resistenze all'acqua, all'umidità, ai solventi ed al calore, superiori alle altre famiglie di adesivi sopra citate.

2.3.1.4 Caratteristiche degli adesivi termofusibili

Viscosità

La viscosità è una grandezza fisica che indica la resistenza di un fluido allo scorrimento e si può intendere come la forza di attrito che si esercita tra due lamine di fluido che scorrono l'una sull'altra.

La viscosità è misurata attraverso uno specifico strumento (viscosimetro Brookfield) a cui viene associata un'apparecchiatura in grado di fondere il prodotto e di mantenerlo stabilmente ad una determinata temperatura (ad esempio 200°C per EVA e PO e 140°C per HMPUR).

La sua misura fa riferimento al metodo *UNI EN ISO 2555 "Materie plastiche – Resine allo stato liquido o in emulsioni o in dispersioni – Determinazione della viscosità apparente secondo il metodo Brookfield"*.

Tale grandezza fornisce un'indicazione di come il prodotto fluisce in macchina, di come viene applicato dal rullo spalmatore (quantità), di come si spalma e penetra nel pannello in funzione della pressione esercitata.

In generale gli adesivi caratterizzati da elevati valori di viscosità sono più adatti per pannelli poco compatti (minore penetrazione tra le scaglie grossolane del pannello).

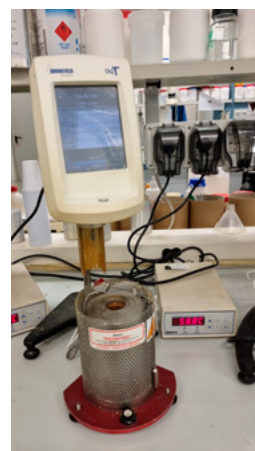


Figura 12 – Viscosimetro rotazionale Brookfield con unità riscaldante

Tabella 21 • Parametri critici per l'incollaggio

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Viscosità	UNI EN ISO 2555	Valore dichiarato $\pm 25\%^*$

* Salvo differenti indicazioni riportate nella scheda tecnica del produttore

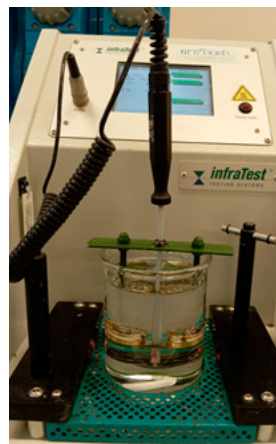
Temperatura di rammollimento (Ring & Ball)

La temperatura di rammollimento è la temperatura alla quale un adesivo termofusibile sottoposto a riscaldamento, nelle condizioni specificate, raggiunge un punto critico di fluidità.

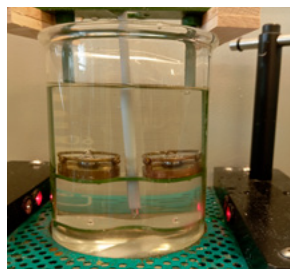
Per misurarla, una biglia d'acciaio di massa specificata viene posizionata su un campione di adesivo solido contenuto in un anello metallico di dimensioni specificate. La temperatura alla quale il campione è sufficientemente rammollito da permettere alla biglia di passare attraverso l'anello e raggiungere una distanza prefissata è indicata come "punto di rammollimento". Il metodo di riferimento è descritto dalla norma EN 1238 "Adesivi – Determinazione del punto di rammollimento di adesivi termoplastici (metodo biglia e anello)".

La temperatura di rammollimento è correlata al tempo aperto dell'adesivo e alla resistenza alla temperatura della linea collante.

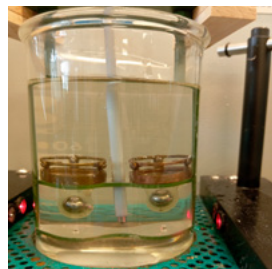
In generale gli adesivi caratterizzati da valori di Ring & Ball elevati presentano tempo aperto corto e maggiore resistenza alla temperatura, mentre quelli con valori di Ring & Ball bassi presentano tempo aperto lungo e minore resistenza alla temperatura.



■ Figura 13 – Dispositivo per la prova della temperatura di rammollimento (Ring & Ball)



Fase 1



Fase 2



Fase 3

■ Figura 14 – Esecuzione della prova per la determinazione della temperatura di rammollimento

Fase 1: inizio della prova. Le due biglie di acciaio sono appoggiate sui dischi di adesivo solido.
Fase 2: fase intermedia. Il riscaldamento provoca il rammollimento dell'adesivo e le biglie iniziano a passare attraverso i dischi.

Fase 3: termine della prova. Entrambe le biglie toccano la piastra sottostante; a questo punto si registra la temperatura raggiunta.

PARAMETRI CRITICI PER L'INCOLLAGGIO

Tabella 22 • Parametri critici per l'incollaggio

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Temperatura di rammollimento	EN 1238	Valore dichiarato $\pm 5^{\circ}\text{C}$ * *Verificare TDS del fornitore di adesivo

Densità

La densità è definita come massa volumica: massa per unità di volume.

È misurata a 23°C , calcolando il rapporto tra la massa di un determinato volume di adesivo e la massa dello stesso volume di un liquido di riferimento, di densità nota, moltiplicato per la sua massa volumica. Il metodo di riferimento è la norma *UNI EN 542 "Adesivi – Determinazione della massa volumica"*.

La densità è indice della composizione dell'adesivo: polimeri di diversa natura hanno densità diverse ed i rispettivi adesivi formulati con cariche minerali hanno densità maggiore rispetto a quelli che non le contengono.

Gli adesivi formulati con l'aggiunta di cariche minerali sono caratterizzati da migliori proprietà riempitive che risultano utili soprattutto nel caso del rivestimento di pannelli particolarmente sgranati.

Un'eccessiva presenza di cariche minerali, resa normalmente evidente da un elevato valore di densità, può tuttavia compromettere le caratteristiche adesive e coesive del prodotto.

Infine, è opportuno segnalare che la presenza di cariche minerali tende a ridurre il valore economico dell'adesivo.

Tabella 23 • Parametri critici per l'incollaggio

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Densità	EN 542	Valore dichiarato $\pm 10\%$

Tempo aperto

Il tempo aperto di un adesivo è il tempo di lavorazione massimo dell'adesivo stesso. In particolare, è il tempo che intercorre tra il momento in cui si spalma l'adesivo e quello in cui, applicando la pressione, si riesce ad incollare.

Negli adesivi termofusibili normalmente il tempo aperto è legato alla temperatura. Sotto riportiamo un esempio del tempo aperto su una macchina da rivestimento profili, dove il tempo aperto viene calcolato tra la spalmatura e la parte in cui è eseguita la pressatura.

Se ci sono più punti da pressare, il tempo aperto deve essere ancora buono fino all'ultimo punto

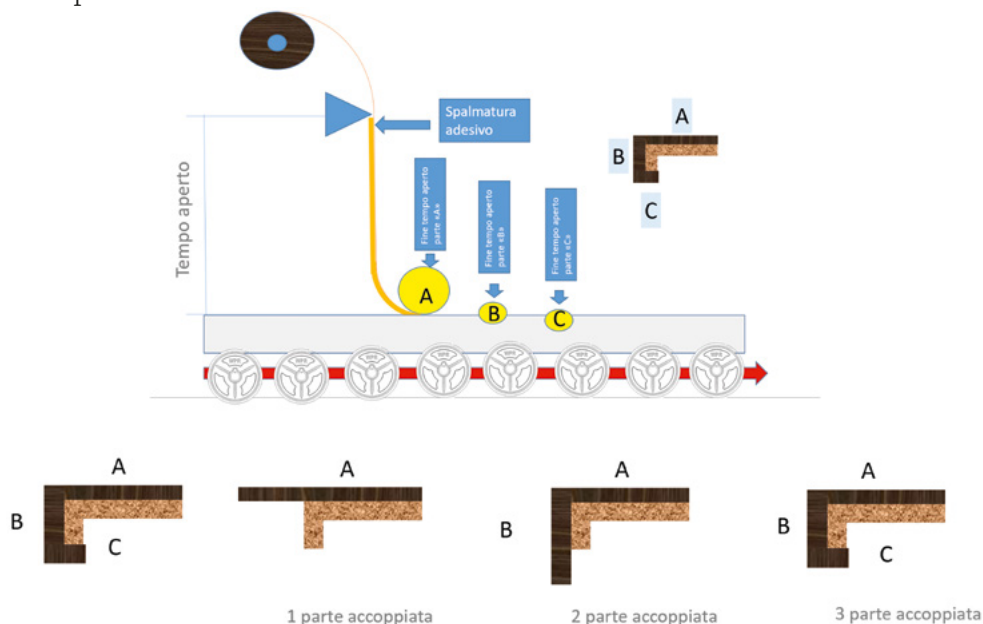


Figura 15 – Tempo aperto sulla macchina di rivestimento profili

Nel caso di un adesivo termofusibile, il tempo aperto dipende dal raffreddamento dell'adesivo e dal conseguente incremento della sua viscosità fino a valori tali da non riuscire più a “bagnare” adeguatamente le superfici da incollare.

Gli adesivi termofusibili con un tempo aperto lungo sono pertanto quelli per i quali il raffreddamento provoca un lento aumento della loro viscosità, consentendo pertanto di effettuare l'incollaggio in un intervallo temporale relativamente ampio. Gli adesivi termofusibili con un tempo aperto corto sono, invece, caratterizzati da un rapido incremento della viscosità conseguente al loro progressivo raffreddamento dopo l'applicazione. L'intervallo temporale entro il quale poter eseguire l'incollaggio sarà, pertanto, ridotto.

Non esiste attualmente un criterio per oggettivare tale parametro e, pertanto, in questo manuale si possono solamente esprimere concetti molto generali, basati sull'esperienza dei formulatori. Gli adesivi termofusibili poliuretanici che vengono applicati con la Roll Coater (v. capitolo 5) normalmente sono formulati con tempi aperti molto lunghi (oltre i 2-3 minuti fino a 15 minuti) dovuto al lungo tempo di assemblaggio dopo la spalmatura dell'adesivo.

I produttori italiani di adesivi termofusibili, a fronte della riconosciuta necessità del mercato europeo del settore dell'arredamento, in collaborazione con altri colleghi europei nel 2025 hanno sviluppato uno standard di riferimento per la determinazione del Tempo aperto - UNI 11982 "Adesivi per Legno - Determinazione del tempo aperto per adesivi termofusibili per legno per applicazioni non strutturali".

Tabella 24 • Parametri critici per l'incollaggio – Tempo aperto

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Tempo aperto	UNI 11982	Vedi scheda tecnica del fornitore

Tabella 25 • Valori indicativi dei tempi aperti degli adesivi termofusibili

Applicazione	EVA	PO	HMPUR
Applicazione con testa piana (Slot Nozzle)	<90"	<90"	< 90"
Applicazione con Roll coater	Non applicabile	Non applicabile	2-15 minuti

2.3.1.5 Parametri applicativi e criteri di scelta

Temperatura di applicazione

Si suggerisce di fare riferimento alla scheda tecnica del produttore di adesivo per capire la corretta temperatura di applicazione. È opportuno verificare nel tempo la corrispondenza della temperatura dell'adesivo sul rullo spalmatore con quella misurata dalla macchina. Qualora i due valori differissero più di 10°C, si suggerisce la taratura della macchina. Per la misurazione della temperatura dell'adesivo sul rullo spalmatore, fare riferimento alla figura 11.

In generale i valori letti per l'adesivo presente nella vasca, nel fusore e nell'applicatore (rullo/slot) dovrebbero variare all'interno dei seguenti intervalli, in funzione della tipologia di adesivo impiegato:

Tabella 26 • Temperature di applicazione per gli adesivi termofusibili

PUR	100-150°C *
PO	190-210°C
EVA	140-210°C

*Alcuni adesivi PUR hanno una temperatura di applicazione anche più bassa di quella indicata in tabella, formulati appositamente per foglie polimeriche termosensibili

Temperatura di accoppiamento

È la temperatura che deve avere l'adesivo prima dell'accoppiamento con il decorativo al primo rullo pressore (primo punto di contatto). La temperatura viene misurata sia sul film collante che sul pannello. Nel caso del rivestimento di pannelli e profili sagomati corrisponde alla temperatura che deve avere l'adesivo prima dell'accoppiamento con il decorativo; tale temperatura deve essere mantenuta in ogni porzione delle parti curve.

Per esempio, nel caso di adesivi PUR è normalmente compresa tra i 45 e i 55 °C.

Si consiglia di consultare la scheda tecnica dell'adesivo impiegato o consultare il fornitore dello stesso



■ Figura 16 – Misurazione della temperatura dell'adesivo sul supporto

Destinazione d'uso

La scelta dell'adesivo dipende anche dalla destinazione d'uso del manufatto rivestito. Come si può vedere nella Tabella 27, le varie tipologie di adesivo possono influenzare le caratteristiche richieste dal manufatto in termini, ad esempio, di resistenza all'acqua, al calore, al freddo o ai solventi. Non bisogna dimenticare che una buona resistenza all'acqua e al calore risulta determinante, nel caso di prodotti finiti destinati ad ambienti quali bagni e cucine. La resistenza al freddo, invece, può rappresentare un criterio di scelta, soprattutto laddove si prevedano delle lavorazioni su manufatti rivestiti, effettuate in climi rigidi. La resistenza ai solventi è una caratteristica rilevante, laddove il prodotto rivestito sia eventualmente soggetto a verniciatura o la destinazione d'uso preveda un contatto con tali sostanze (ad esempio banchi da laboratorio o per centri estetici). La tabella 28 riporta, invece, le resistenze al calore dei vari adesivi termofusibili in funzione del tipo di manufatto (pannello piano, pannello sagomato e profilo).

Tabella 27 • Parametri di scelta dell'adesivo

Tipo di adesivo	Resistenza all'acqua	Resistenza al calore	Resistenza al freddo	Resistenza ai solventi
PUR	Alta	Alta	Alta	Alta
PO	Media	Medio-alta	Media	Medio-alta
EVA	Bassa	Medio-bassa	Alta	Medio-bassa

Tabella 28 • Resistenza al calore degli adesivi termofusibili

Tipo di adesivo	Tipo di prodotto finito		
	Pannello piano	Pannello sagomato	Profilo
	Resistenza al calore		
PUR	Alta	Alta	Alta
PO	Alta	Medio-alta	Medio-alta
EVA	Medio-bassa	Bassa	bassa

Trasporto e stoccaggio

In questa sezione, per ciascun tipo di adesivo termofusibile si riportano indicazioni in merito alle condizioni di trasporto, stoccaggio, scadenza del prodotto e suggerimenti sui controlli da effettuare prima dell'impiego dell'adesivo nel processo di rivestimento specifico. Si suggerisce di trasferire tali informazioni a chi si occupa in azienda di acquisti, logistica e controllo qualità.

Tabella 29 • Adesivi Etilene Vinil Acetato (EVA)

Trasporto	Scadenza	Stoccaggio	Controlli prima dell'uso
Evitare l'esposizione a condizioni di elevata umidità	Riferirsi alla Scheda Tecnica	Luogo fresco e asciutto	Assenza di impaccamento e/o condensa



Figura 17 – Adesivi Termofusibili EVA

Tabella 30 • Adesivi Poliiolefinici (PO)

Trasporto	Scadenza	Stoccaggio	Controlli prima dell'uso
Evitare l'esposizione a condizioni di elevata umidità	Riferirsi alla Scheda Tecnica	Luogo fresco e asciutto	Assenza di impaccamento e/o condensa



Figura 18 – Adesivi Termofusibili Poliiolefinici

Tabella 31 • Adesivi Poliuretanic Reattivi (PUR)

Trasporto	Scadenza	Stoccaggio	Controlli prima dell'uso
Evitare l'esposizione in condizioni di elevata umidità; la confezione deve essere a tenuta ermetica	Riferirsi a Scheda Tecnica	Luogo fresco e asciutto	Integrità della confezione



Figura 19 – Adesivi Termofusibili Poliuretanic Reattivi

2.3.2 Adesivi in dispersione acquosa (PVAc –VAE- PU)

Una dispersione è un sistema eterogeneo costituito da due fasi: il polimero (la fase solida) e l'acqua (la fase liquida).

Nelle dispersioni bisogna considerare che resina e solvente non sono affini, ma anzi tenderebbero a separarsi spontaneamente l'una dall'altro come fanno, ad esempio, l'olio e l'acqua. Per questo motivo si impiegano particolari sostanze, chiamate tensioattivi, che consentono alle molecole polimeriche che costituiscono la resina di formare delle minuscole particelle “disperse” all'interno del mezzo acquoso.

Alla famiglia degli adesivi in dispersione appartengono due importanti tipologie di prodotti impiegati nel settore del mobile: gli adesivi polivinilici (PVAc e VAE) e gli adesivi poliuretanic.

2.3.2.1 Caratteristiche degli adesivi in dispersione acquosa

Viscosità

La viscosità è un parametro rilevante sia ai fini dell'applicazione, sia in relazione alle caratteristiche dei materiali da incollare. Un prodotto eccessivamente fluido può tendere a penetrare eccessivamente nelle porosità del supporto senza lasciare sufficiente spessore per il successivo incollaggio. Per contro, un adesivo eccessivamente viscoso è invece più difficile da stendere con possibile insufficiente bagnatura del supporto. La viscosità è fortemente dipendente dalla temperatura e pertanto i valori di riferimento vengono espressi alle temperature di applicazione previste. Una norma utilizzabile per tali scopi è la EN 12092 che descrive al suo interno vari metodi per la determinazione di questo parametro. Il dato di viscosità viene solitamente espresso secondo il viscosimetro di Brookfield il quale prevede di far ruotare un cilindro metallico (girante) all'interno dell'adesivo. Lo strumento misura la resistenza che oppone il liquido alla rotazione della girante trasformando quindi il dato in una misura di viscosità.

Tabella 32 • Parametri critici per l'incollaggio – Viscosità

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Viscosità	EN 12092	Vedi scheda tecnica del fornitore

Residuo secco

Il residuo secco è dato dalla percentuale di adesivo che rimane effettivamente sull'elemento dopo che tutta la fase volatile, costituita da solventi o acqua, si è allontanata per evaporazione o diffusione all'interno dei supporti. Il residuo secco può rappresentare quindi una sorta di “resa” del prodotto.

La norma EN 827 prevede di riscaldare una certa quantità di adesivo per un tempo prefissato in modo da far evaporare le sostanze volatili presenti pesando il campione prima e dopo tale riscaldamento.

Tabella 33 • Parametri critici per l'incollaggio – Residuo secco

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Residuo secco	EN 827	Vedi scheda tecnica del fornitore

Massa volumica

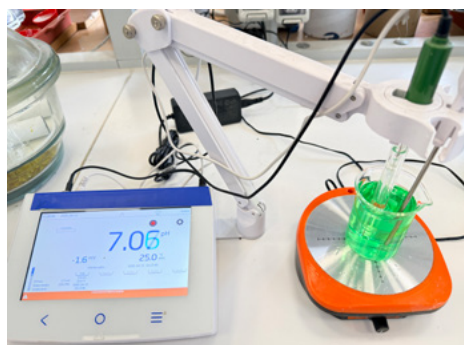
La massa volumica o densità di un adesivo si esprime dal rapporto tra il peso e il volume di una certa quantità di prodotto e dipende in modo determinante dalle eventuali cariche minerali aggiunte all'adesivo. La norma europea EN 542 definisce un metodo per la misura di questa caratteristica essendo basato sulla determinazione del peso di un volume noto di adesivo.

Tabella 34 • Parametri critici per l'incollaggio – Tempo aperto

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Massa volumica	EN 542	Vedi scheda tecnica del fornitore

pH

Il pH indica il grado di acidità o basicità di un adesivo a base acquosa. Il pH, che dipende dalla formulazione specifica del prodotto, può essere un dato rilevante quando, ad esempio, si debbano incollare piallacci di specie legnose particolarmente sensibili all'eventuale contatto con sostanze acide o basiche. Valori di pH al di fuori dell'intervallo specificato nella scheda tecnica indicano, inoltre, che l'adesivo è probabilmente scaduto o comunque deteriorato. La misura del pH, descritta dalla norma EN 1245, viene effettuata con strumenti detti piaccametri che forniscono un valore numerico su una scala che va da 1 (sostanza molto acida) a 14 (sostanza molto basica). Un valore di pH nell'intorno di 7 è considerato "neutro".



■ Figura 20 – Piaccametro

Tabella 35 • Parametri critici per l'incollaggio – pH

Parametro	Metodo di prova	Requisito
pH	EN 1245	Vedi scheda tecnica del fornitore

TMF

Come verrà di seguito descritto (vedi par. 2.3.2.1) un adesivo in dispersione acquosa indurisce tramite un particolare processo fisico chiamato “coalescenza” che può tuttavia avvenire in modo adeguato solamente al di sopra di una certa temperatura detta “temperatura minima di filmazione” (TMF). Se l'applicazione e il successivo indurimento dell'adesivo vengono effettuati a temperature inferiori alla TMF, lo strato di adesivo solidificato può risultare non omogeneo assumendo addirittura una consistenza gelatinosa che non è pertanto in grado di garantire adeguate proprietà adesive e coesive.

La conoscenza della temperatura minima di filmazione, misurabile secondo la norma ISO 2115, è pertanto determinante soprattutto per applicazioni che devono essere eseguite nei periodi freddi dell'anno.

Tabella 36 • Parametri critici per l'incollaggio – Temperatura minima di filmazione

Parametro	Metodo di prova	Requisito
TMF	ISO 2115	Vedi scheda tecnica del fornitore

Classi di durabilità

Gli adesivi in dispersione acquosa sono classificati sulla base della loro adeguatezza all'impiego in diverse condizioni climatiche. L'idoneità a tali condizioni è verificata tramite le norme EN 204 e EN 205 che prevedono il trattamento di provini di legno incollato, appositamente preparati a diverse condizioni (temperatura, umidità, ecc.) secondo la classe che si desidera raggiungere verificando, infine, la tenuta dell'incollaggio.

Tabella 37 • Parametri critici per l'incollaggio – Classi di durabilità

Classe	Norma	Destinazione d'uso
D1	EN 204	incollaggi per interni, dove la temperatura solo occasionalmente supera i 50 °C per brevi periodi e il contenuto di umidità del legno può raggiungere al massimo il 15 %
D2	EN 204	incollaggi per interni, dove sono possibili esposizioni brevi e occasionali all'acqua corrente e di condensa come pure esposizioni sempre brevi e occasionali a elevate umidità ambientali. Le parti esterne vanno protette in questo caso dall'azione diretta degli agenti atmosferici
D3	EN 204	strutture interne soggette a frequenti esposizioni all'acqua corrente o di condensa, esposizioni a elevate umidità ambientali per lungo tempo. Anche in questo caso le parti esterne vanno protette dall'azione diretta degli agenti atmosferici
D4	EN 204	Strutture interne soggette a frequenti esposizioni all'acqua corrente, all'acqua di condensa o a elevate umidità ambientali. Le strutture esterne esposte all'azione degli agenti atmosferici devono avere un'adeguata protezione mediante stesura in superficie di film protettivi

Di recente è stata emanata una nuova norma (EN 17619) che classifica gli adesivi non strutturali per legno per utilizzi esterni. Il nuovo standard fornisce tre classi di durabilità: XT 5, XT6 e XT7. Gli adesivi appartenenti alle classi XT devono avere una classe di durabilità minima D4 secondo EN 204.

Tempo aperto

Per gli adesivi in dispersione acquosa esiste un metodo di prova per la valutazione del tempo aperto: EN 16556 - “Determinazione del massimo tempo aperto per adesivi termoplastici per legno per applicazioni non strutturali”.

Tabella 38 • Parametri critici per l'incollaggio – Tempo aperto

Parametro	Metodo di prova	Requisito
Tempo aperto	EN 16556	Vedi scheda tecnica del fornitore

2.3.2.2 Adesivi polivinilici in dispersione acquosa

Gli adesivi polivinilici, chiamati spesso semplicemente “vinilici” rappresentano la classe di adesivi più diffusa nel settore del legno e dell’arredo e sono conosciuti con il nome di “colla bianca”.

Gli adesivi polivinilici in dispersione sono costituiti principalmente dal polivinilacetato (PVAc) ottenuto dalla polimerizzazione dell’acetato di vinile. Oltre agli omopolimeri, sono comunemente impiegati anche dei co-polimeri e in particolare il polivinilacetato etilene (VAE), i cui costituenti sono due monomeri differenti, l’acetato di vinile e l’etilene, quest’ultimo in quantità variabile tra il 5% e il 40% (valore teorico). Nella pratica tale valore normalmente non supera il 20%.

Gli adesivi realizzati con copolimeri VAE sono caratterizzati da minore tensione superficiale rispetto agli omopolimeri e sono, pertanto, più adatti all’incollaggio di materiali difficilmente bagnabili da sistemi idrofilici. Per tale ragione sono impiegati nel rivestimento del legno e suoi derivati, con materie decorative caratterizzate da basse energie superficiali (rivestimenti polimerici e derivati da carte decorative, ad es.: PVC, carte melamminiche, poliolefine).

Gli adesivi in dispersione sono normalmente prodotti monocomponenti pronti all’uso, la cui presa avviene in conseguenza della semplice evaporazione o dell’assorbimento dell’acqua da parte del supporto (vedi Figura 21). Nel caso delle dispersioni la perdita dell’acqua durante l’asciugatura dell’adesivo fa sì che le particelle del polimero disperse nel mezzo acquoso si avvicinino reciprocamente fino a fondersi insieme. Questo processo è chiamato coalescenza richiamando per l’appunto la “coalizzazione” (unione) delle particelle disperse.

Il processo di coalescenza avviene in modo adeguato solamente al di sopra di una certa temperatura alla quale le particelle di resina sono sufficientemente “soffici” per

potersi aggregare e fondere insieme. Questo valore, detto “temperatura minima di filmazione” (TMF), è la temperatura al di sotto della quale il film collante non riesce a formarsi correttamente. Se l’applicazione dell’adesivo avviene a temperature inferiori alla TMF, dopo l’indurimento il film risulta non omogeneo, può assumere un aspetto gessoso e non garantisce adeguate proprietà adesive e coesive.

Gli ingredienti impiegati nella formulazione degli adesivi polivinilici sono: cariche inorganiche, modificanti reologici, disperdenti di carica, biocidi, antischiuma, coalescenti e plastificanti.

La viscosità delle dispersioni dipende da vari fattori che includono sia il contenuto di sostanze solide, che per questi adesivi è tipicamente compreso tra il 40% e l’80% in peso, sia da altri parametri legati alle dimensioni delle particelle disperse, nonché alla tipologia e alla quantità degli altri ingredienti impiegati nella formulazione.

L’incollaggio con adesivi vinilici può essere realizzato a temperatura ambiente anche se, in alcuni casi, il processo di indurimento viene velocizzato mediante riscaldamento. Il riscaldamento, che sostanzialmente accelera l’allontanamento dell’acqua, può essere ottenuto con metodi tradizionali (piani di presse riscaldati), oppure con i sistemi ad alta frequenza.



Figura 21 – Processo di filmazione di un adesivo in dispersione acquosa

Tabella 39 • Caratteristiche tipiche degli adesivi polivinilici

Viscosità	da 5.000 a 30.000 mPa·s a 23°C
Residuo secco	40-80%
Temperatura di processo	da 15 a 120°C
Quantità di adesivo utilizzata	50-150 g/m ² per superfici piane (vedi scheda tecnica produttore adesivo)

In generale gli adesivi vinilici sono apprezzati per:

- la facilità di utilizzo (monocomponenti)
- la versatilità reologica che consente di applicarli con processi differenti
- la facilità di pulizia in macchina
- la facilità di stoccaggio che non richiede indicazioni particolarmente restrittive
- l'assenza di etichettatura in termini di sicurezza dei prodotti
- la versatilità di caratteristiche adesive su differenti materiali (dal legno alle materie plastiche)

Il processo di adesione non richiede apporto energetico supplementare, poiché non è necessaria una temperatura minima di attivazione: la formazione del legame adesivo avviene semplicemente per evaporazione dell'acqua.

Tabella 40 • Differenze principali tra PVAc e VAE

Caratteristica	PVAc	VAE
Facilità d'uso	Vantaggio: pronti all'uso, non richiedono miscelazione accurata prima dell'uso	Vantaggio: pronti all'uso, non richiedono miscelazione accurata prima dell'uso
Resistenza meccanica	Vantaggio: resistenza meccanica superiore rispetto a VAE	Svantaggio: minore resistenza meccanica rispetto a PVAc
Versatilità reologica	Vantaggio: facilità di applicazione e adattabilità dell'adesivo a differenti linee di produzione	Vantaggio: facilità di applicazione e adattabilità dell'adesivo a differenti linee di produzione
Adesione	Vantaggio: buona adesione su una vasta gamma di materiali legnosi	Vantaggio: buona adesione su vari substrati
Stabilità	Vantaggio: non richiedono specifici investimenti per garantire condizioni di stoccaggio che allungano il tempo entro cui utilizzarli	Vantaggio: non richiedono specifici investimenti per garantire condizioni di stoccaggio che allungano il tempo entro cui utilizzarli
Resistenza all'acqua	Vantaggio: da buona a ottima	Vantaggio: da discreta a buona
Etichettature in SDS o protocolli di formazione specifica a operatori	Vantaggio: nessuno	Vantaggio: nessuno
Pulizia in macchina	Vantaggio: facilità di pulizia	Vantaggio: facilità di pulizia
Costi operativi	Vantaggio: non richiedono somministrazione di calore o fonti energetiche	Vantaggio: non richiedono somministrazione di calore o fonti energetiche

Destinazione d'uso

La scelta dell'adesivo vinilico dipende anche dalla destinazione d'uso del manufatto rivestito. In generale le varie tipologie di adesivo possono influenzare le caratteristiche richieste dal manufatto in termini ad esempio di resistenza all'acqua, al calore e al freddo o ai solventi. Non bisogna dimenticarsi ad esempio che una buona resistenza all'acqua e al calore risulta determinante nel caso di prodotti finiti destinati ad ambienti quali bagni e cucine. La resistenza al freddo invece può rappresentare un criterio di scelta, soprattutto laddove si prevedano delle lavorazioni su manufatti rivestiti, effettuate in climi rigidi.

Nel capitolo 6 sono riportate delle metodologie impiegate per la valutazione di adesivi vinilici in dispersione acquosa impiegati per il rivestimento di pannelli con ma-

teriali polimerici e/o derivati di carte decorative, utili per la determinazione della resistenza al carico statico (creep), al calore e al freddo.

Si suggerisce in ogni caso di riferirsi al produttore di adesivo per la migliore selezione, in base alla destinazione finale del prodotto rivestito da realizzare.

2.3.2.3 Adesivi Poliuretanici in dispersione acquosa per processo 3D

Gli adesivi poliuretanici in dispersione acquosa sono fundamentalmente utilizzati nel settore legno arredo per il rivestimento di elementi 3D con presse a membrana, quali ad esempio antine per mobili. La sagomatura del substrato conferisce rilevanti sollecitazioni al rivestimento che costringono alla selezione di adesivi particolarmente resistenti agli stress meccanici non solo nella fase di produzione del manufatto, ma anche durante il suo impiego nella destinazione finale.



■ *Figura 22 – Antine per mobili*

Questi adesivi possono essere formulati sia come monocomponenti (1K), contenenti cioè in formulazione reticolanti isocianici bloccati, sia come bicomponenti (2K), dove alla dispersione poliuretanica vengono aggiunti induritori isocianici, ciascuno con caratteristiche e meccanismi di azione specifici.

Sono preparati tramite reazione di policondensazione di isocianati alifatici con poliesteri e polioli. Il polimero che ne deriva ha una natura idrofila che ne permette una efficace e stabile dispersione in acqua.

La caratteristica, inoltre, parzialmente cristallina del polimero ne permette l'utilizzo tramite processi di riattivazione termica che saranno descritti successivamente.

Dal punto di vista chimico-fisico gli adesivi poliuretanici sono caratterizzati da bassa viscosità che ne permette un utilizzo, ad esempio, in applicazioni a spruzzo.

Gli adesivi poliuretanici in dispersione possono essere utilizzati anche senza induritore; in tal caso, l'adesivo indurisce principalmente per evaporazione dell'acqua, formando un film continuo che avrà buone proprietà adesive, ma limitate prestazioni in termini di resistenza a umidità, calore e solventi.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'uso di adesivi poliuretanici in dispersione acquosa e delle presse 3D presenta problemi di stabilità della dispersione acquosa, che può essere influenzata da vari fattori ambientali.

Tabella 41 • Caratteristiche tipiche degli adesivi poliuretanici in dispersione acquosa

Viscosità	da 300 a 3000 mPa·s 23°C
Residuo secco	40-60%
Temperatura di riattivazione	50-60°C
Quantità di adesivo utilizzata	40-80 g/m ² per superfici piane, 100-120 g/m ² per bordi o superfici arrotondate

Adesivi Monocomponente

Caratteristiche

Gli adesivi poliuretanici monocomponente in dispersione acquosa (1K) sono prepolimeri che contengono in formulazione componenti isocianato bloccati che vengono riattivati termicamente a temperature superiori ai 60°C. Questi adesivi sono pronti all'uso e non richiedono miscelazione prima dell'applicazione. Le principali caratteristiche includono:

- **Facilità d'uso:** non necessitano di miscelazione, riducendo i tempi di preparazione e il rischio di errori.
- **Basso impatto ambientale:** essendo a base acquosa, emettono basse quantità di composti organici volatili (VOC).
- **Adesione adeguata:** adeguata adesione su una vasta gamma di materiali legnosi.
- **Buona resistenza all'umidità e al calore.**

Meccanismo di Azione

1. **Applicazione:** l'adesivo viene applicato sul substrato mediante spruzzatura, spalmatura o laminazione.
2. **Evaporazione dell'acqua:** l'acqua evapora, concentrando le particelle di prepolimero sulla superficie.
3. **Attivazione termica:** il calore applicato durante il processo di pressatura riattiva l'adesivo e sblocca i gruppi isocianato. La riattivazione e lo sblocco avvengono a temperature piuttosto basse, intorno a 50-70 °C.
4. **Reazione dei gruppi isocianato:** gli isocianati sbloccati reagiscono con l'umidità o con gruppi funzionali presenti nel substrato, formando legami uretanici.
5. **Polimerizzazione e indurimento:** la polimerizzazione completa avviene dopo 7 giorni a temperatura ambiente e porta alla formazione di un film adesivo resistente e duraturo.

Adesivi Bicomponenti

Caratteristiche

Gli adesivi poliuretanici bicomponente in dispersione acquosa (2K) sono costituiti da due componenti separati: la dispersione poliuretanica, che comprende generalmente dei gruppi reattivi ossidrilici in catena, e un induritore, costituito da un prepolimero idrofilico contenente gruppi isocianici reattivi che viene addizionato alla dispersione prima dell'uso. I due componenti devono essere accuratamente miscelati. Le quantità di induritore necessarie si aggirano generalmente intorno al 5-7% w/w. Dopo l'aggiunta dell'induritore, l'adesivo deve essere utilizzato entro 4-8 ore a seconda delle condizioni ambientali e della tipologia di induritore utilizzato.

Le principali caratteristiche includono:

1. **Elevata resistenza meccanica del giunto incollato** rispetto ai sistemi monocomponente;
2. **Versatilità di formulazione**: consente di variare le proprietà adesive in base alla tipologia e alla quantità di induritore della formulazione bicomponente;
3. **Resistenza chimica e all'umidità** del manufatto finale;
4. **Durabilità**: garantisce una lunga durata e stabilità nel tempo delle prestazioni del manufatto finale.

Meccanismo di Azione

1. **Miscelazione**: i due componenti (dispersione poliuretanica e induritore isocianico) vengono miscelati prima dell'applicazione;
2. **Applicazione**: l'adesivo formulato viene applicato sul substrato;
3. **Evaporazione dell'acqua**: l'acqua evapora e determina un aumento della viscosità dell'adesivo applicato;
4. **Reazione dei gruppi isocianato**: i gruppi isocianato dell'induritore reagiscono con acqua/ gruppi idrossilici presenti sul prepolimero, formando legami uretanici;
5. **Polimerizzazione e indurimento**: la polimerizzazione completa avviene dopo 7 giorni a temperatura ambiente e porta alla formazione di una matrice polimerica ad elevate prestazioni meccaniche.

Tabella 42 • Differenze tra adesivi poliuretatici in dispersione acquosa mono e bicomponenti

Caratteristica	Monocomponente (1K)	Bicomponente (2K)
Facilità d'uso	Vantaggio: Pronti all'uso, non richiedono miscelazione accurata prima dell'uso	Svantaggio: Richiedono miscelazione
Resistenza meccanica	Svantaggio: Resistenza meccanica inferiore rispetto ai bicomponenti	Vantaggio: Elevata resistenza meccanica
Versatilità	Vantaggio: Buona per applicazioni generali	Vantaggio: Alta, permette personalizzazione delle proprietà adesive
Adesione	Vantaggio: Buona adesione su una vasta gamma di materiali legnosi	Vantaggio: Eccellente adesione su vari substrati, anche in condizioni difficili
Stabilità	Vantaggio: maggiore durata	Svantaggio: scadenza inferiore rispetto ai monocomponenti
Resistenza chimica	Svantaggio: Resistenza chimica moderata	Vantaggio: Eccellente resistenza chimica
Sostenibilità ambientale	Vantaggio: Bassi VOC, rispettosi dell'ambiente	Vantaggio: Bassi VOC, rispettosi dell'ambiente
Costi operativi	Vantaggio: Minori, grazie alla semplicità d'uso	Svantaggio: Maggiori, dovuti alla necessità di miscelazione e attrezzature specifiche
Durabilità	Svantaggio: Durabilità inferiore rispetto ai bicomponenti	Vantaggio: Elevata durabilità e stabilità nel tempo
Applicazioni specifiche	Svantaggio: Limitati in applicazioni ad alte prestazioni	Vantaggio: Ideali per applicazioni strutturali e di alta resistenza

2.3.2.4 Trasporto e stoccaggio degli adesivi in dispersione acquosa

Tabella 43 • Trasporto e stoccaggio degli adesivi in dispersione acquosa

Tipo	Trasporto	Data di scadenza	Stoccaggio	Controlli prima di utilizzo
PVAc	• +5 ÷ +40°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare	Riferirsi a Scheda Tecnica fornitore	• +5 ÷ +40°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare • Conservare all'interno • Se non si consuma tutto l'adesivo dopo apertura confezione, aggiungere sistemi per evitare crescite di organismi microbiologiche durante prolungati stoccaggi	• <i>Reologia</i> • <i>Microbiologia</i> prestare attenzione a odore e macchie gialle o muffe superficiali • <i>Aspetto</i>: evitare presenza di surnatante e sedimento o agglomerati/coaguli; prevedere eventuali filtrazioni prima dell'applicazione; Verificare eventuale presenza di pelli sulla superficie e rimuovere prima dell'uso • <i>Variazioni termiche</i>: prestare attenzione ad addensamento per basse temperature
VAE	• +5 ÷ +40°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare	Riferirsi a Scheda Tecnica fornitore	• +5 ÷ +40°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare • Conservare all'interno • Se non si consuma tutto l'adesivo dopo apertura confezione, aggiungere sistemi per evitare crescite di organismi microbiologici durante prolungati stoccaggi	• <i>Reologia</i> • <i>Microbiologia</i> prestare attenzione a odore e macchie gialle o muffe superficiali • <i>Aspetto</i>: evitare presenza di surnatante e sedimento o agglomerati/coaguli; prevedere eventuali filtrazioni prima dell'applicazione; Verificare eventuale presenza di pelli sulla superficie e rimuovere prima dell'uso • <i>Variazioni termiche</i>: prestare attenzione ad addensamento per basse temperature

Tipo	Trasporto	Data di scadenza	Stoccaggio	Controlli prima di utilizzo
PU	• +5 ÷ +30°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare	Riferirsi a Scheda Tecnica fornitore	• +5 ÷ +30°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare • Conservare all'interno • Se non si consuma tutto l'adesivo dopo apertura confezione, aggiungere sistemi per evitare crescite di organismi microbiologiche durante prolungati stoccaggi	• <i>Reologia</i> • <i>Microbiologia</i> prestare attenzione a odore e macchie gialle o muffe superficiali • <i>Aspetto</i>: evitare presenza di surnatante e sedimento o agglomerati/coaguli; prevedere eventuali filtrazioni prima dell'applicazione; Verificare eventuale presenza di pelli sulla superficie e rimuovere prima dell'uso • <i>Variazioni termiche</i>: prestare attenzione ad addensamento per basse temperature

2.3.3 Adesivi Urea-Formaldeide

Gli adesivi urea-formaldeide sono costituiti da polimeri termoindurenti che si ottengono attraverso una reazione di condensazione di queste due sostanze. Il processo avviene in due stadi: il primo in condizioni basiche, il secondo in condizioni acide.

I prepolimeri prodotti sono utilizzati come adesivi dopo l'aggiunta di ingredienti e additivi (come cariche e addensanti) e sono disponibili sia in soluzioni acquose che allo stato solido come polveri. Gli adesivi urea-formaldeide in polvere devono essere disciolti in acqua prima dell'applicazione, secondo le raccomandazioni riportate sulla scheda tecnica del fornitore.

Nel caso si parta da soluzioni acquose, per ottenere la reticolazione e l'indurimento dell'adesivo, è necessario completare la reazione di condensazione aggiungendo un induritore acido e fornendo calore applicando al giunto incollato una temperatura di circa 100°C. L'adesivo reticolato è infusibile e insolubile.

Nel caso degli adesivi in polvere, l'acido è generalmente già presente nella formulazione ed è sufficiente scaldare in pressa a circa 100°C.

Gli adesivi in polvere hanno il vantaggio di una maggiore stabilità e un tempo di stoccaggio più lungo rispetto a quelli liquidi.

Poiché la reazione di reticolazione forma linee collanti rigide, gli adesivi ureici vengono talvolta addizionati con adesivi vinilici (PVAc) per renderli più flessibili e plastici. Gli adesivi urea-formaldeide sono tra i più economici disponibili sul mercato per le operazioni di impiallacciatura, laminazione con decorativi rigidi (HLP e CPL) e rivestimento con carta. Sono inoltre facili da utilizzare, conferiscono al pannello una cer-

ta rigidità e resistenza termica, non sono soggetti a creep e sono resistenti ai solventi. D'altro canto, sono sensibili all'umidità e non possono essere utilizzati per la produzione di pannelli destinati all'esterno o ad ambienti umidi. Gli adesivi urea-formaldeide liquidi hanno un'altra limitazione, ossia un tempo di stoccaggio molto breve, di solito 3 mesi. La principale limitazione di questa tipologia di adesivi è il rilascio di formaldeide nel tempo, che si forma a causa dell'idrolisi del polimero (reazione inversa alla condensazione). La formaldeide è considerata pericolosa per l'apparato respiratorio umano e potenzialmente cancerogena. Per questo motivo, molti paesi hanno imposto limitazioni molto restrittive sull'emissione di questa sostanza. Questa è la principale ragione della riduzione dell'utilizzo di questi adesivi e la loro sostituzione, ove possibile, con adesivi vinilici.

Tabella 44 • Parametri tipici per gli adesivi urea-formaldeide

Viscosità adesivi urea-formaldeide liquidi	da 3.000 a 12.000 mPa·s a 23 °C
Residuo secco	60-65% (adesivo liquido)
Temperatura di processo	A 80 – 100 °C
Tempo di pressa	A 100 °C è calcolata a 1 minuto per mm
Quantità di adesivo utilizzata	80-180 g/m ² (umido) per superfici piane (vedi scheda tecnica produttore adesivo)

Residuo secco Vedi par. 2.3.2.1

Viscosità Vedi par. 2.3.2.1

Tempo di vita (pot life)

Il tempo di utilizzo dopo la miscelazione è di qualche ora e dipende dal tipo di induritore utilizzato.

Pot life e Applicazione

Gli adesivi urea-formaldeide sono comunemente applicati a rullo o tramite applicatori manuali per produzioni di piccole dimensioni.

Come già riportato nell'introduzione, gli adesivi urea-formaldeide liquidi reagiscono con l'aggiunta di un induritore acido. Pur necessitando di calore di attivazione per la reticolazione, la variazione del pH innesca comunque la reazione anche a temperatura ambiente. La reazione provoca un lento ma continuo aumento della viscosità e un cambiamento della reologia, fino a rendere impossibile l'utilizzo dell'adesivo. Il tempo entro il quale è possibile utilizzare l'adesivo è detto "tempo di vita" o "pot life".

Per quanto riguarda gli adesivi urea-formaldeide liquidi, esistono due modalità di utilizzo:

- **Aggiunta dell'induritore prima dell'applicazione** mediante miscelazione esterna o in linea. La miscela di adesivo (adesivo + induritore) viene applicata sulla superficie da rivestire entro il tempo di vita dell'adesivo.
- **Applicazione separata dell'adesivo e dell'induritore** sulla superficie da rivestire. Prima si applica l'adesivo e successivamente si applica l'induritore, che può essere applicato direttamente sull'adesivo stesso o sul rivestimento da incollare. In questo caso non dobbiamo tenere conto del tempo di vita.

Dopo l'accoppiamento dei materiali da incollare, i giunti sono normalmente pressati ad almeno 100 °C, per un tempo compreso tra i 2 ed i 5 minuti, in funzione della reattività dell'adesivo. Normalmente si calcola il tempo di pressatura a 100 °C riferito a 1 minuto per ogni mm di spessore del materiale, più il tempo di indurimento dell'adesivo.

2.3.3.1 Trasporto e stoccaggio adesivi urea-formaldeide

Tabella 45 • Parametri tipici per gli adesivi urea-formaldeide

Tipologia	Trasporto	Data di scadenza	Stoccaggio	Controlli prima di utilizzo
Urea-formaldeide liquida	• +10 ÷ +20°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare	Riferirsi a Scheda Tecnica fornitore Di norma massimo 3 mesi se conservato a 20°C, già a 30°C il tempo di vita si riduce a 3 settimane	• +10 ÷ +20°C • Evitare gelo • Evitare esposizione diretta a luce solare • Conservare all'interno	• <i>Reologia</i> • <i>Aspetto</i>: evitare presenza di surnatante e sedimento o agglomerati/coaguli; prevedere eventuali filtrazioni prima dell'applicazione • <i>Variazioni termiche</i>: evitare forte addensamento per elevate temperature.
Urea-formaldeide in polvere	• +5 ÷ +30°C • Evitare esposizione diretta a luce solare e umidità	Riferirsi a Scheda Tecnica fornitore Di norma 9-12 mesi	• +10 ÷ +30°C • Evitare esposizione diretta a luce solare e umidità. • Conservare all'interno.	• <i>Aspetto</i>: prestare attenzione a possibili formazioni di blocchi/agglomerati ad elevate temperature ed umidità. • Dopo la preparazione della miscela, prevedere eventuali filtrazioni prima dell'applicazione

3 Le basi teoriche dell'adesione

Si chiama incollaggio l'operazione di giunzione di due materiali ottenuta tramite un adesivo. In base alla norma UNI EN 923 l'adesivo viene definito come: *sostanza non metallica in grado di congiungere materiali mediante fissaggio superficiale (adesione), e in modo tale che il legame ottenuto possieda adeguata forza interna (coesione).*

3.1 L'adesione e la coesione

La coesione è la forza interna che tiene unite le molecole di uno stesso materiale, mentre l'adesione è la forza di attrazione che si sviluppa tra due materiali differenti (adesivo e substrato).

Le interazioni adesive tra l'adesivo e il substrato riguardano non soltanto l'effettiva zona di contatto (zona di adesione) tra i due materiali, ma anche lo strato dell'adesivo prossimo alla superficie del substrato (zona di transizione) (Figura 23). Queste due zone costituiscono lo "strato limite" ovvero la zona dell'adesivo dove le sue proprietà variano in funzione delle interazioni con il supporto.

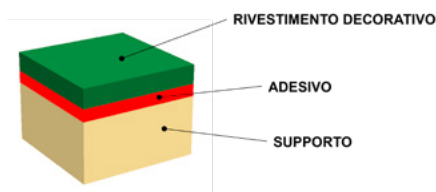


Figura 23 – Sezione di un giunto

Considerando pertanto un giunto incollato è possibile derivare le seguenti considerazioni relative ai concetti di adesione e coesione precedentemente definiti:

- nelle zone di coesione dei due substrati le forze che agiscono sono quelle attrattive tra le molecole di cui sono composti i relativi materiali;
- analogamente, nella zona di coesione dell'adesivo le forze che agiscono sono quelle attrattive tra le molecole che costituiscono l'adesivo stesso;
- nella zona di adesione invece, l'adesivo ha una struttura e una composizione differenti a causa dell'adesione alle superfici dei substrati. Di conseguenza, anche le caratteristiche macroscopiche dell'adesivo nella zona di adesione saranno diverse.
- nella zona di transizione, compresa tra la zona di adesione e quella di coesione, la struttura, la composizione e le proprietà macroscopiche dell'adesivo cambiano progressivamente.
- Nella zona di transizione potrebbe verificarsi, ad esempio, una separazione dei componenti dell'adesivo, in dipendenza della loro composizione e delle dimensioni molecolari. Questa separazione potrebbe verificarsi per effetto della diffusione di alcune delle sostanze che costituiscono l'adesivo all'interno della porosità superficiali del substrato con possibili ripercussioni negative sulle caratteristiche dell'adesivo e sulla sua coesione in particolare.

3.2 Le interazioni adesive e coesive

3.2.1 La zona di adesione

Come sopra indicato, l'adesivo ha una struttura molecolare modificata nella zona di adesione a causa del contatto con la superficie del substrato. Il fenomeno dell'adesione è causato dalle interazioni molecolari tra la superficie del substrato e l'adesivo. A tal proposito, nei meccanismi di adesione si possono distinguere due principali tipologie di interazioni tra le molecole del substrato e quelle dell'adesivo. Le prime sono le interazioni intermolecolari deboli (rappresentate da forze di Wan der Waals, legami idrogeno, ecc.), mentre le seconde sono rappresentate dai legami chimici forti prevalentemente di tipo covalente (Tabella 46). I legami chimici di tipo covalente si formano, tuttavia, soltanto in presenza di pochissime combinazioni di substrato/adesivo, come ad esempio nel caso di silicone e vetro, poliuretano e vetro o resine epossidiche e alluminio. Per alcuni di questi giunti incollati è stato dimostrato che i legami chimici primari rappresentano fino al 50% di tutte le interazioni adesive. Oltre alle forze di adesione chimiche e intermolecolari, anche il meccanismo chiamato "adesione micromeccanica" può sortire degli effetti positivi sull'incollaggio, a seconda della morfologia della superficie del substrato. Questa definizione è dovuta al fatto che un adesivo, può effettivamente "ancorarsi meccanicamente" alla superficie porosa del substrato penetrando e fissandosi al suo interno. In genere, l'adesione micromeccanica è considerata di secondaria importanza, eppure, se sono presenti degli opportuni interstizi sul substrato – anche appositamente creati – nei quali può penetrare l'adesivo, la forza del giunto incollato può risultare sensibilmente accresciuta.

Tabella 46 • Forza dei legami chimici

Tipo di interazione	Lunghezza del giunto in nm	Energia in KJ/mol
Legami chimici primari: • Legami covalenti • Legami metallici • Legami ionici	0,1-0,2 0,3-0,5 0,2-0,3	150-650 100-400 400-800
Interazioni secondarie: • Forze di Wander Waal • Legami di idrogeno	0,4-0,5 0,2	2-15 20-30

3.2.2 La zona di transizione

La zona di transizione, in cui le proprietà chimiche, meccaniche e ottiche dell'adesivo risultano modificate, può presentare uno spessore variabile, da alcuni nanometri fino a qualche millimetro. Lo spessore della zona di transizione dipende infatti dalla natura della superficie del substrato, dall'adesivo e dalle sue condizioni di indurimento. Se le zone di transizione sono di ampio spessore o nel caso di giunti incollati

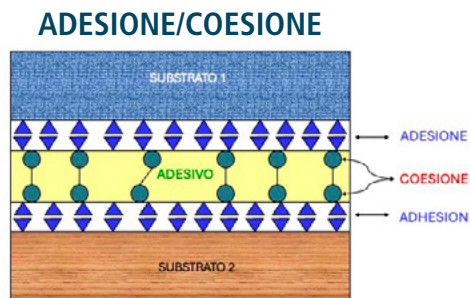
particolarmente sottili, il comportamento dell'intero giunto incollato può dipendere dalle proprietà della zona di transizione poiché in questo caso non vi è alcuna zona di coesione dell'adesivo.

3.2.3 La zona di coesione dell'adesivo

Nella zona di coesione, l'adesivo possiede le proprietà nominali normalmente riportate nella scheda tecnica fornita dal produttore. Queste proprietà dipendono sostanzialmente dalle seguenti forze molecolari (Figura 24):

- a. dai legami molecolari dei costituenti polimerici;
- b. dai legami chimici derivanti dall'eventuale reticolazione dei costituenti polimerici;
- c. dalle interazioni intermolecolari secondarie tra le molecole dell'adesivo;
- d. dall'inter-diffusione reciproca (effetto meccanico) tra le molecole polimeriche dell'adesivo.

■ Figura 24 – Influenza sulla forza di coesione dell'adesivo



Le quattro forze coesive sopra presentate influenzano anche le proprietà dell'adesivo liquido e determinano, ad esempio, la sua viscosità e la variazione di questo parametro nel corso dell'indurimento. L'indurimento dell'adesivo determina, nella maggior parte dei casi, la sua solidificazione per effetto dell'allontanamento dell'acqua o dei solventi in cui è sciolto o disperso e mediante la formazione di interazioni secondarie o di veri e propri legami chimici tra le molecole di resina che lo costituiscono. In questo secondo caso si formano nuovi legami covalenti con un processo chiamato normalmente "reticolazione dell'adesivo" che richiama propriamente la creazione di un reticolo molecolare tridimensionale.

Il ruolo dell'adesione e della coesione in un giunto incollato

Sia l'adesione (che interessa anche la zona di transizione) che i valori di coesione (adesivo e substrati) giocano un ruolo importante nella ottimizzazione della forza globale di un giunto incollato. Proprio come in una catena, l'anello più debole, in termini di forze adesive e coesive, stabilisce quali carichi può sopportare il giunto stesso. Per ciò che riguarda l'adesivo:

- *le sue proprietà coesive dopo l'indurimento derivano sostanzialmente dalla formulazione del prodotto e sono pertanto predefinite dal produttore. Il raggiungimento di tali caratteristiche dipende tuttavia, anche dall'adeguato impiego, ad esempio dalla corretta miscelazione dei componenti, e dall'indurimento dell'adesivo in condizioni adeguate;*

- la forza di adesione non dipende dal solo adesivo ma da molti altri fattori legati alla natura dei materiali, alla preparazione delle superfici, alle modalità di impiego dell'adesivo ecc.

È bene ricordare che l'efficacia di un giunto è legata anche alle condizioni di impiego finale del giunto stesso e alla capacità di mantenere le sue caratteristiche nel corso del tempo. L'efficacia di un giunto va quindi considerata non solo nella sua capacità di resistere ad un certo carico, ma anche nel mantenere le sue forze adesive e coesive nel corso del tempo alle condizioni d'uso previste.

In termini generali, la forzatura di un giunto incollato può produrre cedimenti adesivi e coesivi secondo quanto indicato precedentemente in relazione alla catena di forze citata. Nel caso di supporti a base legnosa, un cedimento coesivo del supporto nel corso di un test di tenuta, rappresenta sempre un'indicazione positiva in quanto le forze adesive e quelle coesive dell'adesivo generate nel processo di incollaggio sono evidentemente superiori a quelle coesive dei materiali giuntati.

Nelle prove che vengono eseguite per valutare l'adeguatezza di un giunto incollato nel settore legno-arredo un dato fondamentale è sempre la valutazione dell'asportato ovvero della percentuale di superficie del supporto che ha subito un cedimento coesivo.

3.3 La bagnabilità: una condizione preliminare per l'incollaggio

Un requisito imprescindibile per ottenere un'adeguata adesione è dato dalla capacità dell'adesivo liquido di bagnare la superficie del substrato in modo efficace. La bagnabilità che dipende dalla tensione superficiale dell'adesivo e dall'energia superficiale del substrato – è quindi una condizione preliminare necessaria per ottenere un adeguato incollaggio. Tuttavia, l'avvicinamento reciproco tra substrato e adesivo ad una distanza adeguata, deve poi consentire l'attivazione delle interazioni attrattive tra le loro molecole per la formazione delle forze di adesione. I fattori determinanti per ottenere un'adesione adeguata sono infatti rappresentati dal numero di interazioni fisicamente o chimicamente attivabili tra la superficie del substrato e quella dell'adesivo.

Se la superficie del substrato è incompatibile con l'adesivo – ad esempio perché l'adesivo liquido non bagna adeguatamente la superficie o perché le interazioni sviluppate sono troppo deboli – la superficie può essere opportunamente trattata applicando, ad esempio, degli adeguati promotori di adesione. Questi promotori di adesione agiscono tramite specifici gruppi chimici bifunzionali. Alcuni gruppi sono affini alla chimica della superficie del substrato mentre altri sono affini all'adesivo. I promotori di adesione più comuni sono pertanto in grado di legarsi, sviluppando forze adesive, a entrambi i materiali. I metodi di trattamento delle superfici (vedi capitolo 4) offrono altre alternative per incrementare la bagnabilità delle superfici dei substrati anche attraverso processi fisici (ad esempio con i trattamenti al plasma).

In definitiva, l'adesione contribuisce notevolmente alla resistenza del giunto incollato dipendendo dalla bagnabilità e dalla successiva formazione di adeguate interazioni tra adesivo e substrato. A livello applicativo risultano pertanto di estrema rilevanza:

- la pulizia delle superfici dei substrati;
- ove necessario, il loro pretrattamento con opportuni primer o sistemi fisici;
- l'impiego di un adesivo adeguato.

3.4 La reologia

La reologia è la branca della scienza dei materiali che studia le modalità secondo cui un corpo (solido, liquido o gassoso) si deforma se esposto a forze esterne. I fluidi come i liquidi o i gas subiscono deformazioni irreversibili dando luogo a fenomeni di scorrimento (movimento reciproco delle molecole che li costituiscono). Anche certi solidi, in funzione della loro natura, possono deformarsi in modo irreversibile se subiscono l'azione di forze sufficientemente intense anche in dipendenza della temperatura (ad esempio le materie plastiche).

Decisiva per la viscosità di un adesivo (Tabella 47) è la struttura molecolare, in special modo la lunghezza e la morfologia delle catene molecolari delle sostanze polimeriche che li costituiscono.

La viscosità e le sue variazioni, che possono essere riunite nel termine “proprietà reologiche”, sono fondamentali relativamente alla capacità di un adesivo di bagnare la superficie di un substrato. Un prerequisito fondamentale per la lavorazione e per l'applicazione di un adesivo è pertanto la conoscenza e l'eventuale possibilità di modifica di queste caratteristiche (cfr. Tabella 3 per i valori di viscosità tipici).

Tabella 47 • Esempi tipici di viscosità

Adesivo/applicazione	Viscosità dinamica espressa in mPa.s a 20°C
• Adesivo PU in dispersione applicato a spruzzo	2.000
• Adesivo UF applicato a rullo	800
• Adesivo PVAc in dispersione applicato a rullo	15.000
• Adesivo termofusibile applicato con testa piana	30.000 (a 140°C)

Una viscosità elevata è utile per evitare, ad esempio, che l'adesivo fluisca attraverso la porosità di un piallaccio, trasudando in superficie. D'altro canto, valori troppo elevati potrebbero inficiare la penetrazione nel supporto e quindi la bagnabilità. La viscosità deve essere adeguata in funzione del metodo di applicazione che si intende adottare: per esempio, è richiesta una bassa viscosità nelle applicazioni a spruzzo e una consistenza maggiore, invece, per le applicazioni a rullo. A livello formulativo, è possibile aumentare la viscosità fino a raggiungere il valore necessario per l'applicazione ag-

giungendo opportuni agenti addensanti. Se la viscosità degli adesivi a base di solventi o di acqua è invece troppo elevata, è sufficiente aggiungere un opportuno diluente o l'acqua. Un'altra strategia è quella di aumentare la temperatura di applicazione fin dove possibile, senza alterare le caratteristiche del prodotto. Questa seconda strategia è applicabile anche agli adesivi privi di solventi, come ad esempio i termofusibili. In questo caso, tuttavia, l'utilizzatore non può intervenire per variare intrinsecamente la viscosità dei prodotti che comporterebbe l'adozione di sofisticate variazioni a livello formulativo, quali ad esempio l'impiego di polimeri a peso molecolare inferiore.

*La **viscosità dinamica** indica quanto un adesivo “resiste” allo scorrimento o al flusso. Si misura di solito in **Pa·s** (Pascal-secondi), ma per gli adesivi molto fluidi si usa più spesso la scala più ridotta, i **mPa·s** (milliPascal-secondi).*

*In termini semplici, la viscosità descrive quanta forza serve per far scorrere uno strato di adesivo di una certa superficie e spessore (**1 m²** e altezza **1 m**), alla velocità di **1 metro al secondo**, lungo un'altra superficie.*

*Per misurarla si utilizzano strumenti chiamati **viscosimetri** o **reometri**, scelti in base al tipo di movimento o di flusso che si vuole analizzare.*

Esistono fluidi cosiddetti non newtoniani in cui la viscosità varia in funzione dell'intensità o del tempo di applicazione delle forze meccaniche applicate (agitazione, scuotimento, impastamento). Gli adesivi non newtoniani hanno una composizione variabile a seconda delle applicazioni e nelle formulazioni vengono a tal fine aggiunti opportuni agenti chiamati comunemente tixotropizzanti. Nel caso di adesivi con comportamento “dilatante” la viscosità aumenta in condizioni di riposo e diminuisce proporzionalmente con la velocità di agitazione o del prodotto. Questo comportamento conferisce i seguenti vantaggi:

- sulle superfici di incollaggio verticali l'adesivo non cola;
- minore assorbimento dell'adesivo nei substrati molto porosi;
- migliore applicazione e capacità di coprenza dell'adesivo;
- si possono ottenere strati di adesivo più spessi.

Liquidi Newtoniani e non Newtoniani

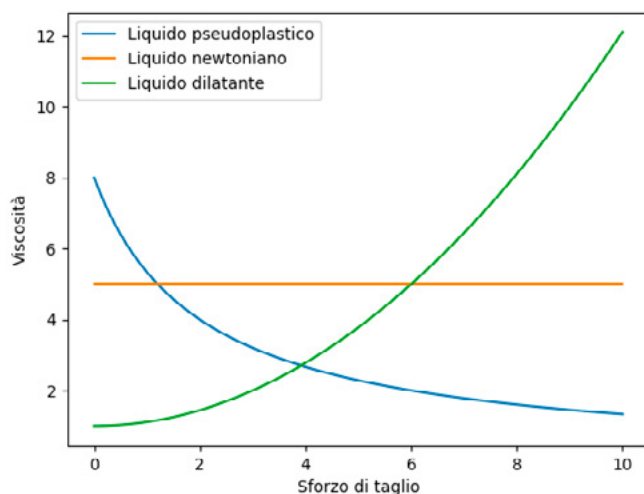


Figura 25 – Liquidi newtoniani e non newtoniani

3.5 L'influenza dei fattori esterni sull'incollaggio

Tutti i fenomeni correlati all'incollaggio sono fortemente condizionati dalle temperature: dell'ambiente di lavoro, di quelle legate al processo, dei materiali di supporto e di quelli di rivestimento.

Inoltre, anche le temperature in fase di trasporto, immagazzinamento ed impiego finale sono rilevanti per la tenuta dell'incollaggio, considerati anche i possibili fenomeni di invecchiamento che l'adesivo stesso può subire.

Le condizioni fisiche all'interfaccia tra substrato e adesivo, così come le relative energie superficiali, nonché le proprietà reologiche, variano infatti con il variare delle temperature.

Per garantire i risultati di un processo di incollaggio bisogna, quindi, adeguare i parametri di processo anche in base alla stagionalità e assicurarsi che tutti i materiali siano condizionati nell'intervallo di temperatura specifico. Le schede tecniche allegate ai prodotti sono un utile supporto in tal senso.

Anche l'umidità dei materiali e dell'ambiente è rilevante e va opportunamente considerata specie in relazione alle caratteristiche di igroscopicità tipiche dei materiali a base legnosa. La necessità di allontanamento dell'acqua dalla linea collante nel corso dei processi di indurimento degli adesivi in dispersione acquosa è un ulteriore fattore che va considerato in tal senso. Infine, l'umidità dei materiali e quella ambientale sono anche determinanti per alcune tipologie di adesivi (ad esempio i polisocianici igroindurenti) il cui indurimento è promosso proprio da una iniziale reazione chimica con l'acqua.

4 Preparazione delle superfici

In molti casi, per favorire l'adesione, i materiali impiegati nei processi di incollaggio devono essere opportunamente preparati prima di essere incollati.

I trattamenti possono essere diversi, dalla semplice pulizia, a trattamenti meccanici come la levigatura o chimici-meccanici come i trattamenti corona o plasma. Tra questi è possibile annoverare anche i trattamenti elettrostatici che servono ad eliminare le eventuali cariche elettrostatiche dai materiali.

4.1 Trattamenti meccanici

Le fasi di preparazione meccanica dei supporti nell'ambito della produzione di pannelli rivestiti nell'industria del mobile e arredamento sono sostanzialmente due:

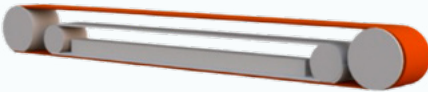
- la calibratura è la parificazione dello spessore di un pannello, con l'asportazione del materiale eccedente su tutta la sua superficie, al fine di raggiungere lo spessore richiesto. Normalmente questa operazione viene eseguita dai produttori del pannello grezzo.
- la levigatura è la fase in cui prevale la necessità di ottenere una determinata qualità della superficie in termini di planarità, omogeneità e uniformità per la successiva fase di rivestimento.

Il risultato dell'operazione di calibratura/levigatura è un connubio tra la macchina e il nastro abrasivo, motivo per cui la scelta della tipologia di calibratrice/levigatrice, diventa elemento determinante per soddisfare le esigenze produttive. Di seguito si riportano alcuni dei parametri utili per la scelta della macchina:

- Larghezza massima del pezzo lavorabile;
- Durezza e caratteristiche morfologiche del materiale da levigare;
- Quantità da asportare;
- Velocità di avanzamento richiesta;
- Esigenza finale di rugosità della superficie (tipologia di finitura.)

In successione viene elencata la tipologia di gruppi levigatori presenti nelle più comuni macchine calibratrici/levigatrici con le loro caratteristiche tecniche.

■ Figura 26 – Gruppi levigatori

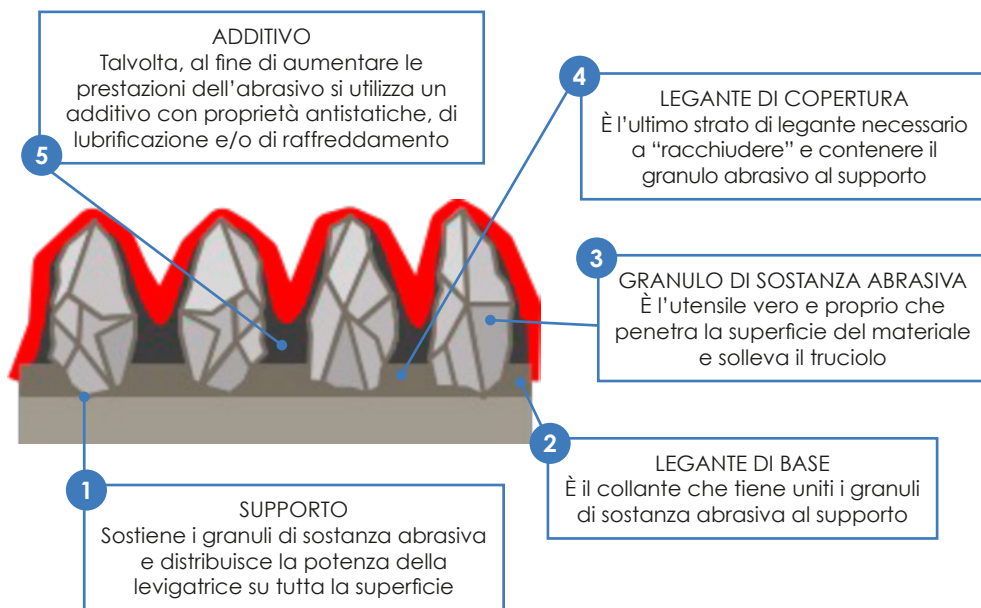
RULLO	TAMPONE
 • Viene normalmente utilizzato per l'operazione di calibratura di pannelli • Può essere in acciaio o gommato, con durezza della gomma che varia in funzione della quantità da asportare, da 18 (tenera) a 90 (dura) Shore • Deve essere dotato di scanalature elicoidali, al fine di favorire il raffreddamento del nastro abrasivo • Maggiore è il diametro del cilindro, più è adatto alla finitura, mentre un cilindro più piccolo è più efficace per asportare	 • Viene normalmente utilizzato per operazioni di finitura • È costituito da due rulli di trascinamento del nastro abrasivo e da una struttura piatta di contatto, rivestita con materiale antifrizione (feltro di lana o tela grafite) • La larghezza del tampone dipende dall'esigenza di finitura: un tampone di larghezza maggiore è più adatto a finiture di qualità elevata poiché il risultato della levigatura è migliore • La soluzione tecnologicamente più avanzata è oggi il tampone elettronico a settori, che risolve tutti i problemi di arrotondamento degli spigoli
TAMPONE SUPERFINITORE	TRASVERSALE
 • È un'evoluzione del tampone longitudinale e viene utilizzato per la levigatura di pannelli in cui sia richiesta una finitura molto fine ed accurata, in particolar modo nella levigatura finale di MDF o truciolari per successive finiture lucide o opache • È costituito da due rulli di trascinamento che muovono il nastro abrasivo e il nastro lamellare, che scorre tra il nastro abrasivo e il tampone	 • Viene normalmente utilizzato come gruppo finale di levigatura di superfici per successive finiture lucide. • La differenza rispetto al tampone longitudinale consiste nel fatto che il gruppo utilizza un nastro abrasivo stretto e di grande sviluppo, che si muove trasversalmente rispetto alla direzione di avanzamento del pezzo. • Crea un'enorme superficie di contatto tra il nastro abrasivo e il pezzo, per cui viene sempre abbinato ad un nastro lamellare

4.1.1 Carte e tele abrasive

Gli abrasivi sono costituiti da un supporto di varia natura, che poi viene cosparso di sostanze in grado di abradere la superficie da trattare. Il mercato offre le seguenti tipologie di supporto:

- Carte
- Tele
- Supporti ibridi

Gli abrasivi flessibili sono composti da cinque elementi (Figura 27)



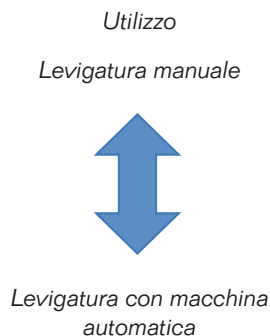
■ Figura 27 – Grane e minerali disponibili per levigatura e calibratura

Le caratteristiche tecniche dei materiali abrasivi sono le seguenti:

- **GRANA** Definisce la grandezza delle particelle di minerale abrasivo;
- **COSPARSIONE** Indica la quantità di granuli abrasivi per unità di superficie;
- **GIUNZIONE** Rappresenta l'operazione di taglio e unione delle due estremità dell'abrasivo;
- **Classificazione FEBA** (Federazione europea dei produttori di abrasivi) dei supporti.

Tabella 48 • Carta abrasiva

Tipo	Peso
Peso A	70-80 g/m ²
Peso B	95-105 g/m ²
Peso C	115-125 g/m ²
Peso D	150-180 g/m ²
Peso E	220-250 g/m ²
Peso F	270-300 g/m ²
Peso G	300-350 g/m ²



Alcuni esempi di possibili applicazioni:

- Supporti A e B: lavorazioni manuali di finitura su macchine roto-orbitali;
- Supporto C: lavorazioni manuali e a macchina;
- Supporto D: lavorazioni manuali e lavorazioni con macchine automatiche e semi-automatiche;
- Supporto E e F: lavorazioni con nastri per qualsiasi tipologia di macchina.

Tabella 49 • Tela abrasiva

Tipo	Peso	Caratteristiche
Peso Y	Poliestere	Molto rigido
Peso X	Cotone/ Poliestere	Rigido
Peso J	Cotone/ Policotton	Semi-flessibile
Peso F	Cotone/ Policotton	Flessibile
Peso E	Cotone	Molto flessibile

Alcuni esempi di possibili applicazioni:

- Supporti X e Y: calibratura in piano su macchine automatiche;
- Supporto J e F: levigatura profili e bordi su macchine automatiche;
- Supporto E: levigatura in piano su macchine a tampone manuale.

Utilizzo	Zirconio	Alluminio	Silicio	
Calibratura	• 24 • 36 • 40 • 50	<i>Legni resinosi</i> • 40 • 50 • 60 • 80 <i>Legni non resinosi, compensati</i>	40 60 <i>MDF, truciolare</i>	<i>Cosparsione tipicamente aperta, supporto tipicamente tela fino P60</i>
Levigatura legno o derivati		• 100 • 120 • 150 • 180 • 220 • 240 • 280 • 320 • 360 • 400 • 500 • 600 • 800 <i>Massiccio, impiallacciati, melamine, MDF, truciolare</i>	220 240 280 320 360 400 500 600 <i>Finitura MDF e/o truciolare</i>	

Figura 28 - Cicli di levigatura di massima

Nei paragrafi successivi sono analizzati, nello specifico, le combinazioni di levigatrici e nastri abrasivi flessibili per le varie applicazioni.

4.1.2 Calibratura dei pannelli

La calibratura viene eseguita tramite l'impiego di levigatrici automatiche e l'utilizzo di abrasivi flessibili in tela o carta.

Dalle configurazioni delle macchine levigatrici per la calibratura si può individuare il ciclo più idoneo, poiché si compie un'operazione che prevede sempre l'asportazione di una certa quantità di materiale. È necessario impiegare nastri di grana grossa, ad esempio, P36/40/60. Per queste grane il supporto utilizzato è sempre una tela con un peso medio-pesante (identificato come "peso X", tela in poli-Cotton rigida). Per queste ultime lavorazioni, i gruppi levigatori sono solitamente dei rulli contrapposti, come da immagine riportata a lato:

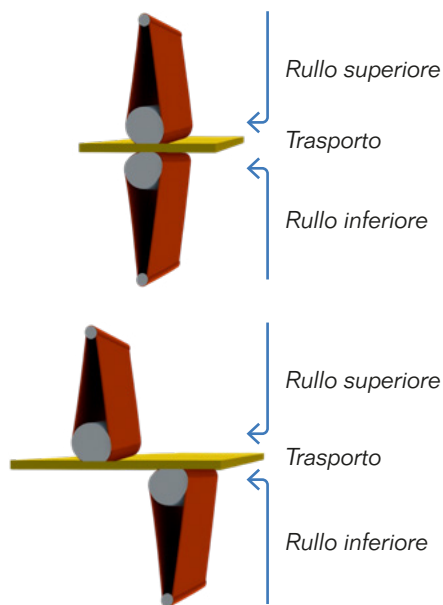


Figura 29 – Gruppi levigatori

4.1.3 Levigatura dei pannelli 1D

La levigatura viene effettuata tramite l'utilizzo di levigatrici automatiche e l'utilizzo di abrasivi flessibili in carta.

Nella fase di levigatura solitamente si utilizzano gruppi levigatori tampone o tampone super-finitore, in quanto questa fase ha come obiettivo l'ottenimento di una determinata qualità delle superfici.

Solitamente in questa fase sono impiegati nastri abrasivi flessibili in carta con peso E o F con grane medio-fini, con un range grane che va da P80 a P800.

Di seguito si riportano alcuni cicli di levigatura di massima:



Figura 30 a – Ciclo high quality "finitura opaca"

Tabella 50 • Ciclo standard "finitura opaca"

Unità	Rullo	Rullo	Tampone	Tampone	Tampone/ Superfinitore
Grana	P150	P180	P220	P280	P320

Tabella 51 • Esempio di una sequenza di nastri abrasivi per la finitura superlucida (high gloss)

Unità	Rullo	Tampone	Tampone	Tampone	Tampone/ Superfinitore	Trasversale
Grana	P150	P220	P280	P320	P400	P400/600



Figura 30 b – Ciclo high quality "finitura lucida"

4.1.4 Levigatura dei profili 2D

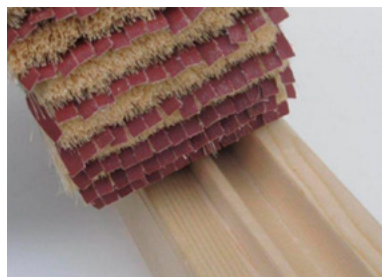
La levigatura dei profili negli ultimi anni ha avuto un notevole sviluppo, spinta dalle esigenze produttive e di qualità richieste dal mercato.

Le macchine utilizzate per la levigatura di questi supporti sono macchine particolari che si devono adattare alla superficie del supporto non regolare (ovvero non planare). Dovendo levigare materiali con geometrie diverse più o meno accentuate, le macchine si devono quindi adattare ad ogni superficie e spigolo del supporto. Per determinate esigenze vengono anche realizzate macchine personalizzate e con varie combinazioni.

Le macchine, a seconda delle caratteristiche del supporto, vengono costruite utilizzando combinazioni di mole, nastri e spazzole.

Nelle immagini che seguono sono rappresentati esempi di questi gruppi.

Gruppo spazzola: è impiegato per la levigatura di profili altamente sagomati o superfici tridimensionali. La flessibilità dell'abrasivo e delle setole, combinata con la loro lunghezza, consente un efficace adattamento alla geometria del pezzo in lavorazione, garantendo una lavorazione uniforme anche su forme complesse (Figura 31).



■ Figura 31 – Gruppo spazzola

La mola esegue una levigatura più “morbida”, il suo lavoro è superficiale; elimina rigature e il cosiddetto “pelo” del legno (Figura 32).



■ Figura 32 – Gruppi a mola

I gruppi a nastro sono unità impiegate per la spianatura del supporto grezzo. Il nastro abrasivo, mediante l'appoggio su un tampone di pressione, esegue l'operazione di livellamento superficiale. I nastri sono disponibili con differenti granulometrie, selezionabili in funzione del grado di finitura richiesto (Figura 33).



■ Figura 33 – Gruppi a nastro

Nella figura 34 è riportato un esempio di utilizzo dei gruppi citati in precedenza



Figura 34 – I vari gruppi levigatori

4.1.5 Levigatura dei pannelli 3D

Come è noto, sul mercato sono disponibili anche pannelli caratterizzati da una porzione ribassata rispetto alla superficie principale. Questa tipologia è comunemente definita “pannello 3D”.

A livello industriale, la levigatura di tali pannelli segue un processo ben definito che si può riassumere come segue:

1. La parte piana scavata viene solitamente levigata con dei robot antropomorfi che seguono precisamente il disegno della parte ribassata. Questi robot montano sul proprio braccio dei platorelli rettangolari su cui vengono applicate delle carte abrasive, solitamente in grana P150/180, per poter spianare la superficie interna per le successive lavorazioni di finitura. I platorelli sono rettangolari, per poter raggiungere gli angoli a 90°.

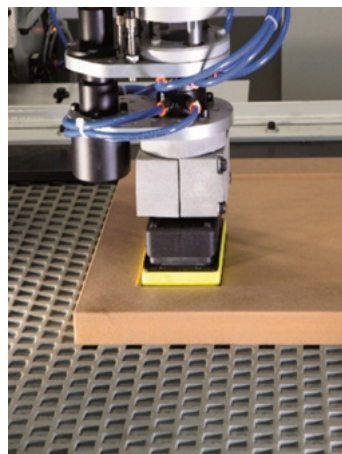


Figura 35 – Robot per levigatura parte ribassata/pantografata

2. Il pannello viene sottoposto a una prima operazione di spazzolatura mediante spazzola in Tinex a grana fine (P150/180). Questa fase ha lo scopo di uniformare la superficie piana ribassata e le aree dei quattro montanti precedentemente levigate. L'utilizzo della spazzola in Tinex consente di lavorare efficacemente anche all'interno delle gole più strette, assicurando una corretta preparazione superficiale e un adeguato aggrappaggio su tutta la geometria del pannello.



Figura 36 – Spazzola Tinex

3. Prima dell'applicazione finale del film, il pannello viene sottoposto a un'ulteriore fase di spazzolatura mediante una serie di inserti disposti in sequenza. Tali inserti sono generalmente costituiti da tele abrasive accoppiate a filamenti tampici, comunemente denominati cariche frastagliate.

Gli inserti vengono montati sia su spazzole longitudinali, sia su spazzole rotative. Questa operazione ha la funzione di migliorare la planarità della superficie, favorire il raccordo degli spigoli dei bordi interni con la superficie piana e garantire una pulizia finale del pannello, rimuovendo residui di polvere e particelle superficiali prima dell'applicazione della foglia.



Figura 37 – Spazzole rotative

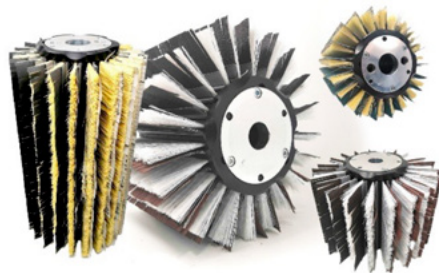


Figura 38 – Spazzole longitudinali

4.2 Trattamenti chimico-fisici

Per trattamento superficiale si intende letteralmente “alterare la superficie di un substrato in modo che acquisisca una determinata proprietà”.

Molti adesivi, infatti, non funzionano in modo efficace se la superficie dei materiali da incollare non è stata preparata in maniera adeguata. In particolare, le difficoltà di adesione che si riscontrano nell'utilizzo di film plastici sono dovute alla bassa energia superficiale di questi ultimi, che li rende difficilmente bagnabili dagli adesivi utilizzati nei processi di rivestimento.

La tensione superficiale riguarda le forze che agiscono sulla superficie di un liquido. I liquidi tendono a ridurre al minimo la loro superficie di contatto, per effetto della

forza di coesione tra le molecole che agisce sulla loro superficie. Questa forza crea una sorta di “pellicola” sulla superficie del liquido che può influenzare l’adesione con altre sostanze o materiali.

4.2.1 Energia di superficie e adesione

L’energia di superficie di un determinato materiale fornisce preziose indicazioni sul modo in cui le molecole di un materiale solido tendono ad attrarre le molecole di una sostanza liquida.

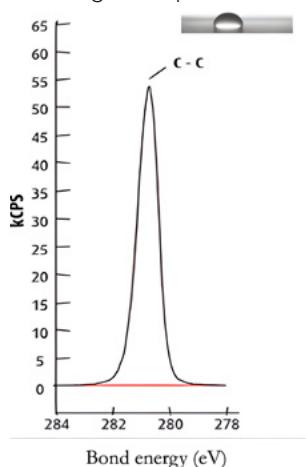
Più elevata è l’energia di superficie di un supporto, maggiore è infatti la tendenza di un liquido di diffondersi e bagnare tale superficie. Le plastiche apolari, quali ad esempio il PP o PE, non possiedono per loro natura un’elevata energia superficiale e sono quindi difficili da incollare con gli adesivi tradizionalmente utilizzati nell’industria del mobile e dell’arredamento.

Se la tensione superficiale dell’adesivo è significativamente più alta dell’energia libera di superficie del materiale da incollare, la bagnabilità risulterà verosimilmente scarsa e, di conseguenza, non permetterà all’adesivo di entrare pienamente in contatto con lo strato superficiale del substrato.

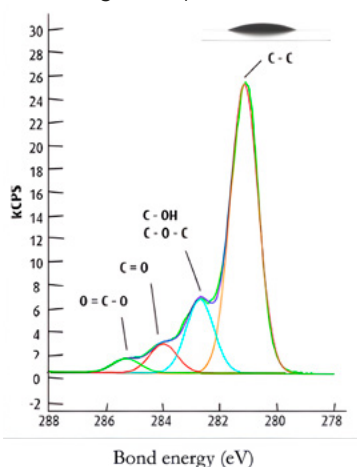
L’immagine sottostante mostra un’analisi in spettroscopia elettronica a raggi X (XPS) di un provino in PP prima e dopo trattamento. Nel riquadro di sinistra l’immagine mostra un valore di energia superficiale molto basso dovuto alla natura apolare del polipropilene.

A destra invece, a seguito del pretrattamento del polipropilene con sistemi al plasma si nota un significativo incremento della sua energia superficiale.

Polipropilene (PP): non trattato
bassa energia di superficie: 27mN/m



Polipropilene (PP): trattato plasma
alta energia di superficie: 72 mN/m



■ Figura 39 – Spettroscopia elettronica a raggi X

La presenza dei gruppi polari e, conseguentemente, l'energia libera di superficie aumentano in modo considerevole con il trattamento al plasma.

È importante sottolineare che l'energia superficiale di molte materie plastiche derivanti da riciclo risulta essere generalmente diversa rispetto a quella degli stessi materiali polimerici vergini, poiché nel processo di riciclaggio possono verificarsi fenomeni di degradazione o contaminazioni che modificano le loro proprietà originali.

La tabella che segue mostra l'energia superficiale tipica di alcuni polimeri.

Tabella 53 • Energia superficiale di alcuni polimeri

Abbreviazione	Materiale	Energia libera di superficie mN/m
ABS	Acronitrile-butadiene-stirene	38
PET	Polietilene tereftalato	41
PMMA	Polimetilmetacrilato	39
PP	Polipropilene	29
PS	Polistirene	38
PVC	Polivinilcloruro	39

Conoscere la natura del materiale da incollare in termini di caratteristiche superficiali è, quindi, importante per scongiurare potenziali problemi di adesione. Per garantire una qualità costante dell'incollaggio, il valore di energia superficiale deve essere verificato regolarmente, anche durante la produzione. Va sottolineato che la determinazione della bagnabilità di una superficie a seguito dell'applicazione del primer chimico spesso non restituisce valori attendibili.

Il metodo più comune per determinare la bagnabilità prevede infatti l'uso dei cosiddetti liquidi di prova a tensione superficiale nota oppure, in alternativa, una soluzione meno comune ma decisamente più accurata è fornita dalla misura dell'angolo di contatto.

Questo tipo di misura esprime in termini scientifici l'energia libera superficiale del materiale determinandone, in funzione della strumentazione a disposizione, anche le componenti polare e dispersa che la caratterizzano.

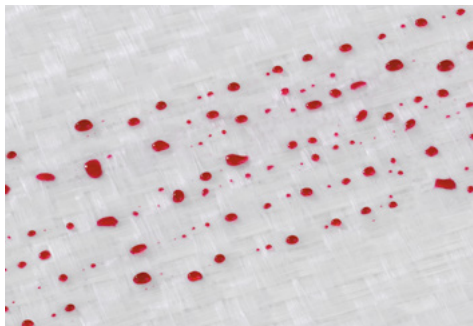
Nel caso dei liquidi di prova a tensione superficiale nota, il liquido viene applicato manualmente sulla superficie prima e dopo il trattamento. Dopo il trattamento fisico, sia esso plasma o corona, è opportuno iniziare con un valore del liquido medio alto (ad esempio 50 mN/m). Se i margini della pennellata si mantengono stabili per un minimo di tre secondi, la superficie ha una buona bagnabilità. In tal caso, l'energia libera di superficie del materiale testato è uguale o superiore al valore di tensione del liquido di prova applicato (Figura 40). Se, invece, il liquido di prova si contrae im-

mediatamente dopo l'applicazione, formando una serie di goccioline, la prova deve essere ripetuta con un liquido a valore inferiore (Figura 41). In questo modo ci si avvicina, passo dopo passo, a stimare il valore di bagnabilità. L'energia superficiale del materiale corrisponde al valore del liquido di prova applicato che è riuscito a bagnare la superficie per almeno tre secondi.

Le immagini di seguito evidenziano il comportamento del liquido di prova a contatto con la superficie. Più l'energia libera di superficie è bassa, minore sarà la capacità del liquido di “bagnare” la superficie stessa.



■ Figura 40 – Valore applicato 50 mN/m
Liquido uniforme per almeno 3 sec.
Bagnabilità ≥ 50 mN/m

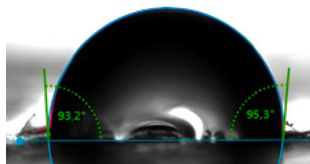


■ Figura 41 – Valore applicato 50 mN/m
Il liquido si contrae nei primi 3 sec.
Bagnabilità < 50 mN/m

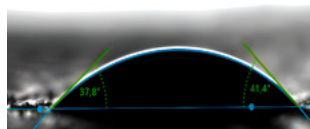
Per la misurazione della bagnabilità tramite angolo di contatto, una o più gocce di liquido vengono depositate sulla superficie, misurando l'angolo formato tra la superficie stessa e la tangente alla goccia. =



■ Figura 42 – Strumento portatile per la misurazione dell'angolo di contatto



■ Figura 43 – Superficie con scarsa bagnabilità- Angolo di contatto $> 90^\circ$



■ Figura 44 – Superficie con buona bagnabilità - Angolo di contatto $< 45^\circ$

Oltre all'energia superficiale (mN/m) che, in linea di principio per il materiale da bagnare dovrebbe essere maggiore o uguale a quella dell'agente bagnante, un ulteriore componente per ottenere un'adeguata adesione è la funzionalizzazione del substrato. La funzionalizzazione di una superficie mira a modificarne la composizione chimica

incorporando elementi in grado di produrre determinati effetti per il miglioramento delle proprietà all'interfaccia.

I problemi di adesione spesso sono dovuti non solo alla scelta dell'adesivo, ma anche all'incompatibilità con il materiale da incollare, rivestire, verniciare, ecc. Pertanto, al fine pratico dell'incollaggio, l'elevata energia di superficie o bagnabilità del materiale potrebbe non essere sempre sufficiente per ottenere una buona adesione e, affinché l'adesivo possa funzionare efficacemente, la superficie dovrà essere adeguatamente preparata.

Per affrontare i problemi di adesione, storicamente è stata una pratica comune quella di utilizzare dei promotori di adesione (primer), anche se questo metodo presenta generalmente alcuni aspetti negativi. L'applicazione del primer, che richiede comunque sempre la pulizia preliminare del substrato, è seguita dall'applicazione dell'adesivo, allungando evidentemente il tempo del ciclo di produzione e determinando, in alcuni casi, anche delle emissioni di sostanze organiche volatili (SOV) rappresentate dai solventi organici in cui sono disciolti i primer. Da un punto di vista industriale, i trattamenti superficiali cosiddetti 'a secco', come il trattamento a corona o al plasma, sono sempre più considerati come soluzioni pratiche ed efficaci per rispondere alle sfide di progettazione e produzione, garantire le prestazioni di adesione desiderate e, allo stesso tempo, limitare le emissioni di composti organici volatili (SOV).

4.2.2 Trattamento tramite promotori di adesione (Primer)

I primer sono prodotti utilizzati per preparare una superficie o il foglio di rivestimento prima dell'accoppiamento di due materiali. Nel caso dei fogli di rivestimento plastici, l'applicazione del primer è necessaria per migliorare o, in alcuni casi, ottenere l'adesione del rivestimento.

Diversi materiali plastici presentano valori di energia superficiale inferiori a 38 mN/m (dyne/cm), mentre gli adesivi utilizzati nei processi di rivestimento hanno, nella maggior parte dei casi, tensioni superficiali superiori a 40 mN/m e non sono quindi in grado di bagnare tali fogli. I primer sono quindi utilizzati per preparare la superficie del foglio da incollare, favorendo l'adesione finale dell'adesivo, favorendo un ancoraggio chimico-fisico, duraturo nel tempo. Sono specifici per i vari rivestimenti disponibili sul mercato e si dividono in primer a base solvente (i più comuni) e primer a base acqua. Sono costituiti principalmente da una soluzione di polimeri (PU, PVC, poliolefine) e con aggiunta di micro-silice in dispersione. Quest'ultima, una volta asciutto il primer, aumenta la superficie di contatto con l'adesivo migliorando così l'adesione. Alcuni primer sono reticolati con isocianato per migliorare l'ancoraggio e creare strutture tridimensionali, come nel caso dei primer idonei ai fogli di polipropilene.

La scelta del solvente deve essere idonea alla velocità di evaporazione richiesta dai sistemi di produzione e dalle possibili interazioni con i polimeri che costituiscono i fogli decorativi.



■ *Figura 45 – Interazione solvente-PET (foglio lucido)*

Per i primer a base acqua, bisogna prevedere un pretrattamento della superficie (plasma o corona) prima dell'applicazione.



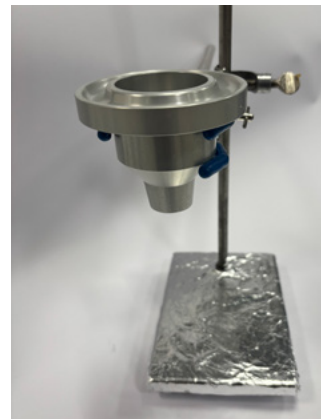
■ *Figura 46 – Scarsa bagnabilità di un primer base acqua per trattamento corona insufficiente*

Spesso i primer sono utilizzati in combinazione con il trattamento corona. L'applicazione del primer successiva al trattamento corona è la strategia migliore per prolungare l'effetto di un aumento dell'energia superficiale del supporto. Il solo trattamento fisico, infatti, tenderebbe ad affievolirsi nel tempo, mentre invece l'applicazione del primer garantisce un'efficacia per tempi più lunghi. Il trattamento corona è un processo di preparazione che utilizza scariche elettriche ad alta tensione per modificare chimicamente la superficie del materiale, aumentando l'energia superficiale e rendendo quindi il decorativo più suscettibile all'adesione.

Caratteristiche - Proprietà chimico-fisiche - Viscosità

La viscosità dei primer all'acqua è relativamente bassa, intorno ai 500-1000 mPa·s.

La viscosità dei primer a solvente è invece molto bassa, tanto che non viene utilizzato il normale viscosimetro Brookfield, ma si usano le tazze (Norma ASTM D-1200 o la norma EN ISO 2431)



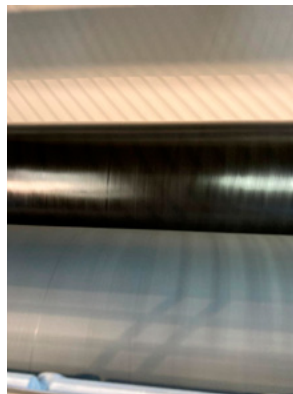
■ *Figura 47 – Tazza Ford 4*

Contenuto secco

Il residuo secco dei primer varia notevolmente tra i primer a solvente e i primer all'acqua. Quelli a solvente hanno un residuo secco tra il 10% ed il 18%, quelli all'acqua possono arrivare al 30%.

Applicazione

I primer sono applicati in piccole quantità, mediante feltri o cilindri microincisi che pescano in un serbatoio in cui il primer viene continuamente aggiunto, con un sistema di ricircolo. Per la corretta grammatura, è indispensabile controllare costantemente la viscosità del primer, aggiungendo del solvente qualora necessario.



■ Figura 48 – Esempio di applicazione del primer a rullo

La grammatura di primer applicata è compresa tra 3 e 6 g/m² di secco.

I primer rendono la superficie opaca e contengono sempre un indicatore UV per poter controllare la corretta applicazione durante la produzione.

Stoccaggio

Una volta primerizzati, i film decorativi devono essere conservati in luoghi asciutti, non polverosi e lontano dall'irraggiamento diretto della luce del sole. È consigliato, inoltre, mantenere la temperatura del magazzino al di sotto dei 30°C per evitare possibili fenomeni di blocking nei rotoli dei film e il possibile trasferimento del primer sulla superficie nobile del decorativo. Un film primerizzato, correttamente stoccato, ha una scadenza compresa tra i 18 e i 24 mesi, tenendo sempre come riferimento quanto dichiarato dal fornitore sulla scheda tecnica.

Controllo qualità

Prima di utilizzare il decorativo in produzione, è buona norma controllare che i fogli di rivestimento siano correttamente primerizzati, mediante delle semplici valutazioni visive. Una superficie correttamente primerizzata si presenta opaca e uniforme. Il confronto visivo con foglie correttamente primerizzate è normalmente suggerito come buona pratica per questi controlli.

4.2.3 Trattamento Corona

Come ricordato, i produttori di materiali plastici hanno la necessità di preparare le loro superfici per favorirne l'adesione e poter permettere lavorazioni di rivestimento, incollaggio, stampa e verniciatura.

L'obiettivo del trattamento corona è quello di aumentare l'energia superficiale, in modo da favorire la bagnabilità del materiale trattato.

Il trattamento corona è indicato per trattare le superfici di materiali flessibili, come film plastici, metallizzati, alu-foil o carta plastificata, ma anche materiali semi-rigidi, come foglie PE, PP, PVC, PET, ABS con spessori fino a 3 mm, lastre piene o alveolari, con spessori tra i 10 e 15 mm.

Un sistema di trattamento corona è formato da tre elementi principali: un generatore ad alta frequenza, un trasformatore di tensione a cui è collegato un elettrodo e un rullo rivestito da materiale isolante. Il sistema può essere dimensionato in funzione della larghezza del materiale da trattare e delle velocità di lavoro.

Il trattamento corona si ottiene a partire da una scarica elettrica ad alto voltaggio e alta frequenza che viene applicata sulla superficie di un materiale; la scarica viene prodotta in una porzione di spazio di pochissimi millimetri (air-gap) tra un elettrodo sottoposto ad alta tensione (tramite generatore di potenza collegato a trasformatore di tensione) e un contro-elettrodo rivestito da un materiale isolante (un rullo) collegato a massa.

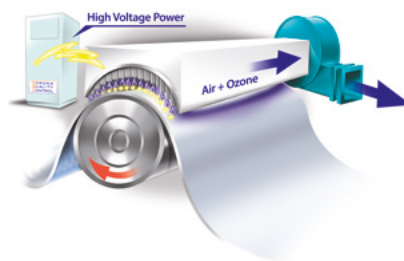


Figura 49 – Sistema trattamento corona

Il sistema di trattamento corona può essere installato sulle linee di estrusione dei materiali plastici per effettuare un trattamento primario o sulle linee di trasformazione (laminazione, coating, accoppiamento, stampa) per un trattamento di rinfresco.

Il trattamento di rinfresco è necessario perché, durante il tempo di stoccaggio dei materiali, l'energia superficiale può presentare un decadimento a causa della migrazione in superficie di additivi e scivolanti, contenuti nei materiali che si processano.

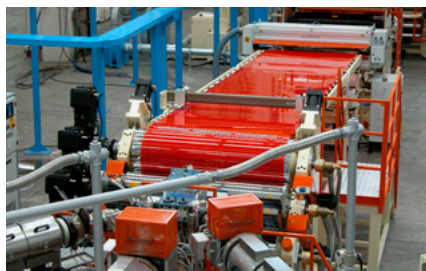


Figura 50 – Trattamento corona installato su linea di estrusione foglia in PP.
Velocità di lavoro 5-25 m/min

L'entità della perdita di trattamento dipende dal tipo di film, dal livello di trattamento, dal tipo di trattamento, dalla quantità di additivo e dal tempo trascorso.

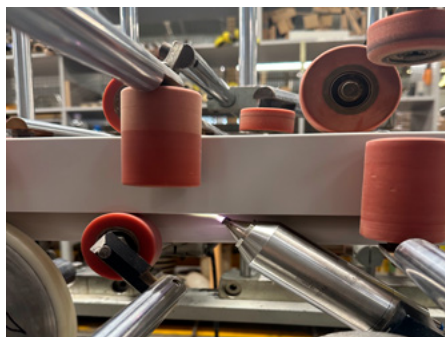
4.2.4 Trattamento con Plasma Atmosferico

Per motivi di efficienza produttiva, sicurezza e riduzione dei costi, le aziende tendono ad abbandonare l'uso dei tradizionali promotori di adesione (primer) a favore di trattamenti che, non prevedendo emissioni di SOV, possono essere considerati compatibili con determinate esigenze ambientali. La preparazione con plasma viene effettuata in linea di produzione, in modo selettivo e decisamente rapido.

Le attività di plasmatura più comuni per la produzione di componenti di mobili vanno dalla preparazione di profili in polipropilene (PP) destinati ad essere rivestiti con fogli decorativi (Figura 51), al trattamento più selettivo della sola area di sovrapposizione del rivestimento (Figura 52). Un ulteriore processo riguarda la preparazione dei profili in alluminio, da destinarsi ad operazioni di incollaggio o verniciatura (Figura 53).



■ *Figura 51 – Serie di torce plasma impiegate per la preparazione di profili in polipropilene (PP) prima della fase di rivestimento con foglia decorativa. La velocità di linea in genere varia dai 10 ai 25 metri al minuto.*



■ *Figura 52 – Preparazione dell'area di sormonto che, a seguire, entrerà in contatto con l'adesivo già applicato sul foglio decorativo. La scelta di posizionare la torcia al plasma immediatamente prima della sovrapposizione è volta a prevenire una potenziale contaminazione da parte dei rulli in gomma.*



■ *Figura 53 – Dettaglio delle torce al plasma motorizzate per il trattamento dei profili in alluminio. Per la preparazione dell'alluminio, la velocità della linea è generalmente inferiore rispetto ai processi che prevedono la preparazione di materiale polimerico.*

Principio di funzionamento del plasma atmosferico

La tecnologia al plasma sfrutta un semplice principio fisico: “gli stati della materia possono essere modificati mediante l’apporto di energia”. Un corpo solido diventa liquido, mentre un liquido passa allo stato gassoso. Somministrando energia ad una sostanza gassosa come l’aria, questa ionizza e si trasforma in plasma: uno stato di aggregazione della materia ad alto livello energetico composto da particelle altamente reattive, detto anche quarto stato della materia.

Le immagini mostrano gli stati della materia e l’aggregazione fisica delle molecole in funzione della condizione in cui si trovano.

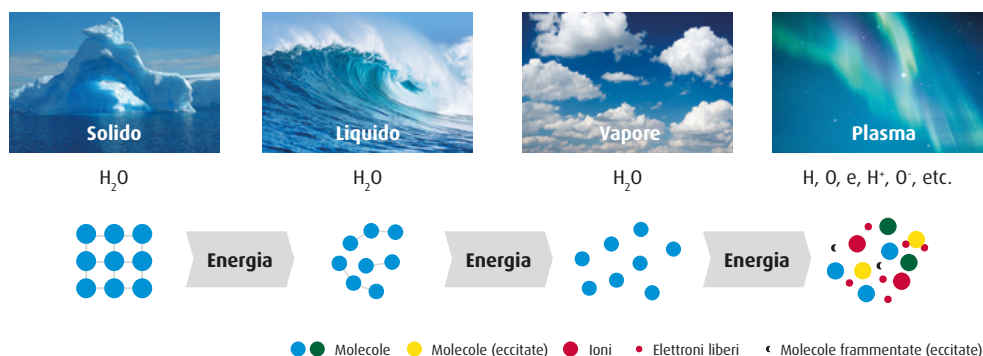


Figura 54 – Funzionamento del plasma atmosferico

Il plasma in quanto tale ha la capacità di interagire con il materiale trattato, modificandone temporaneamente le proprietà superficiali. Il flusso di elettroni, ioni e radicali (molecole frammentate) che lo compongono modifica la composizione chimica superficiale del substrato, trasformando le sue molecole relativamente inerti con funzionalità più reattive.

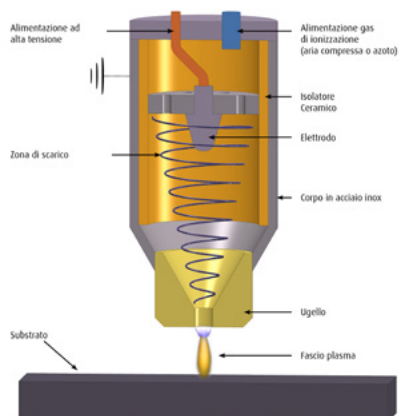


Figura 55 - Rappresentazione schematica di una sorgente plasma. Il tipo di torcia plasma, la distanza dell'ugello dalla superficie del materiale da preparare e la velocità di trattamento hanno un'influenza decisiva sul risultato della lavorazione.

Il trattamento ha lo scopo di rimuovere la contaminazione organica presente sulla superficie (mattoncini rossi), quindi di promuovere la formazione di gruppi funzionali all'interfaccia, favorendo così l'adesione.

Molecole d'aria allo stato di plasma

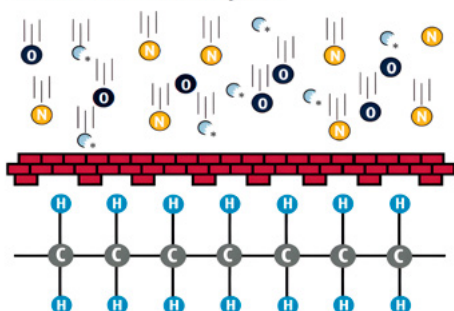


Figura 56 – Molecole d'aria allo stato di plasma

"Rimozione" dei contaminanti organici dalla superficie

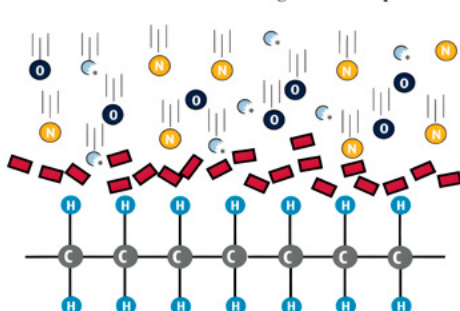


Figura 57 – Rimozione dei contaminanti organici dalla superficie

"Attivazione" della superficie

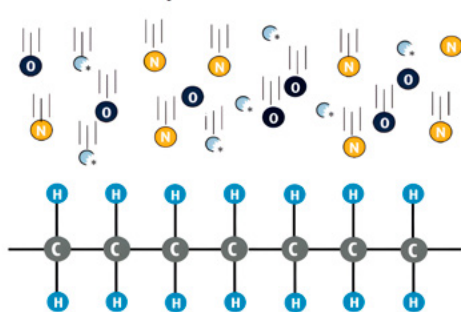


Figura 58 – Attivazione della superficie

"Creazione" dei gruppi funzionali

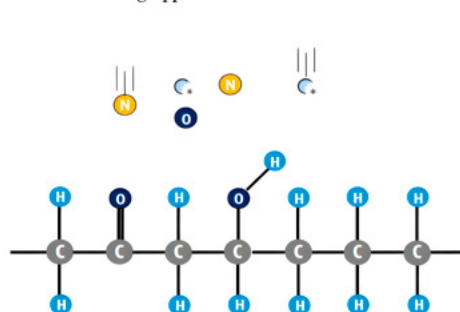


Figura 59 – Creazione dei gruppi funzionali

Di seguito è riportata un'analisi comparativa eseguita su un materiale decorativo in polipropilene dopo trattamento corona e al plasma. Il grafico mostra come la percentuale di carbonio (C), ossigeno (O) e azoto (N) possa variare a seconda del trattamento utilizzato.

Attivazione superficiale - Analisi XPS su decorativo in PP

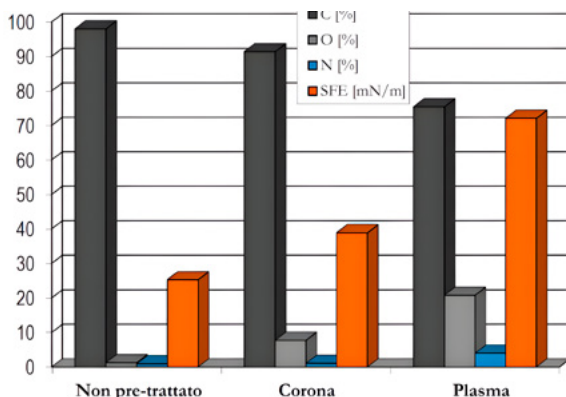


Figura 60 – Attivazione superficiale – Analisi XPS su decorativo in PP

La densità di funzionalizzazione del trattamento con plasma è maggiore rispetto a quella del processo corona, e questo contribuisce a un aumento dell'energia libera della superficie (SFE).

Dispositivi plasma a pressione atmosferica

La configurazione specifica del sistema di plasmatura, così come le relative funzioni di controllo e diagnostica, sono determinate dal processo da eseguire e dal tipo di materiale da pretrattare.

Le sorgenti al plasma più comuni si suddividono in:

- **Torcia con 'ugello puntuale'**: il fascio plasma è relativamente stretto essendo quindi adatto per la preparazione di superfici di larghezza ridotta o dove è richiesta un'alta densità di plasma, come ad esempio nella preparazione di profili in alluminio. In taluni casi la velocità di lavoro può raggiungere i 120 m/min.
- **Torcia con 'ugello rotante'**: in questo caso la larghezza della superficie trattata può raggiungere i 50 mm. Oltre alla maggiore flessibilità d'uso, il dispositivo è adatto anche a superfici polimeriche particolarmente sensibili al calore. La velocità di lavorazione può variare da 1 a 25 m/min, in funzione dell'ugello installato.



Figura 61 – Ugello puntuale



Figura 62 – Ugello rotante

- **Torcia con ‘doppio ugello rotante’:** il trattamento plasma avviene per mezzo di due ugelli che ruotano attorno ad un asse comune. Grazie ai due fasci, si crea una densità di plasma maggiore rispetto ai sistemi a ugello singolo. Questa tipologia di torcia plasma è adatta per preparare superfici piane e per velocità di processo comprese tra 5 e 35 m/min. La larghezza della superficie trattata può raggiungere i 120 mm.



■ Figura 63 – Doppio ugello rotante

- **Torcia con ‘propagazione lineare’:** viene anch’essa utilizzata per la preparazione di superfici piane; tuttavia, per questa tipologia di torcia si utilizza esclusivamente l’azoto come gas di ionizzazione. La velocità di lavorazione è generalmente compresa tra 35 e 60 m/min. La larghezza del trattamento è di 70 mm o 100 mm per ogni singola torcia.



■ Figura 64 – Torcia con propagazione lineare

L’immagine sottostante raffigura i componenti principali di un dispositivo al plasma a pressione atmosferica.



■ Figura 65 – Da sinistra a destra: il dispositivo include il generatore digitale, l’unità di controllo PCU (Plasma Control Unit) e, sulla destra, la torcia a ugello rotante singolo.

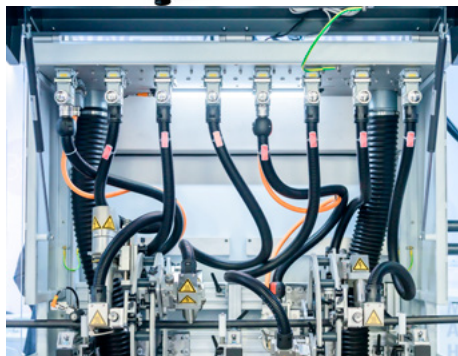
Tranne che in casi specifici, un sistema al plasma è sempre integrato nella linea di produzione. A seconda della lavorazione da eseguire, può essere dotato di più torce al plasma con funzioni indipendenti, anche differenti tra loro per tipologia.

Il sistema può contare su una propria cabina di trattamento da porre in linea con altre macchine di produzione, come mostrato nell’immagine sottostante, oppure essere installato sulle attrezzature di produzione già esistenti.

Il consumo di energia elettrica di un sistema al plasma a singola torcia è compreso tra 0,8 e 1,5 kW/ora, mentre il volume d'aria compressa varia tra 2000-5400 NL/ora, a seconda del tipo di torcia e numero di ugelli in essa installati.



■ Figura 66 - Esempio di stazione al plasma multi-torcia. L'unità è posizionata prima della linea di rivestimento dei profili.



■ Figura 67 – La macchina è dotata di torce posizionate attorno al profilo in modo che i fasci di plasma possano raggiungere le aree di interesse.



■ Figura 68 – Torce al plasma con ugello "puntuale" durante il trattamento di un profilo in polipropilene.

4.2.5 Trattamento con dispositivi antistatici

Nozioni generali

I sistemi antistatici consistono in dispositivi per la eliminazione delle correnti elettrostatiche che si formano sui materiali dielettrici nel corso delle lavorazioni. Le cause più comuni della formazione delle cariche sono gli attriti con altre superfici (anche quelle conduttive) che, a causa del contatto, determinano uno squilibrio di cariche tra i materiali, favorendo così la formazione di scariche elettriche anche di forte intensità.

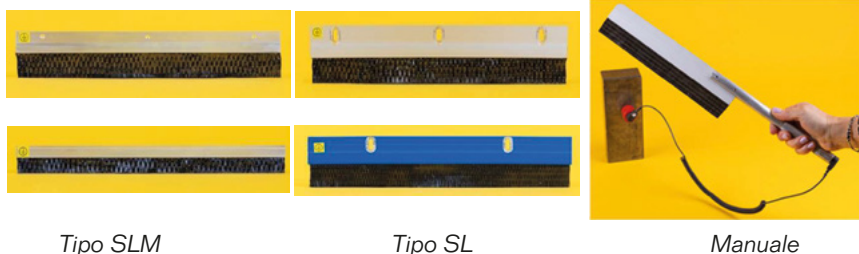
Introduzione

I materiali come il legno e i suoi derivati sono dielettrici e quindi soggetti alla possibile formazione di energia elettrostatica. Le conseguenze di questo fenomeno interessano

anche la qualità del prodotto finito. La presenza di elettrostaticità sul pannello determina infatti un effetto attrattivo della superficie, favorendo l'adesione di polvere. La sua rimozione risulta inoltre difficoltosa in quanto trattenuta dall'effetto elettrostatico.

Le soluzioni più comunemente utilizzate sono le seguenti:

1. **Impiego di spazzole antistatiche in carbonio** – Questa è una soluzione semplice ed efficace, anche in termini di rapporto risultato-costi. La barra passiva (spazzola antistatica) collocata a pochi millimetri dalla superficie del pannello, attira l'energia elettrostatica e la scarica verso massa tramite un filo di terra. Non richiede alimentatore ad alta tensione esterno e cablaggi vari. È indicata in tutti i casi di superfici lisce, planari e senza deformazioni, che scorrono linearmente su rulliera o trascinati. Nel caso di spessori elevati (> 1 cm) è opportuno trattare entrambe le facce del pannello, sopra/sotto.



■ Figura 69 – Spazzole antistatiche

2. **Barre ionizzanti in corrente alternata** – come le spazzole antistatiche, hanno la funzione di eliminare la corrente elettrostatica. La differenza rispetto alle soluzioni passive consiste nella immissione di ioni in polarità positiva/negativa che azzerano le cariche elettrostatiche a distanze comprese tra i 5 e i 30 cm, nel caso del tipo BI-1. Necessitano di un generatore di alta tensione separato al quale si collegano con un cavo alta tensione.



■ Figura 70 – Generatore alta tensione AL-1 ed utenze

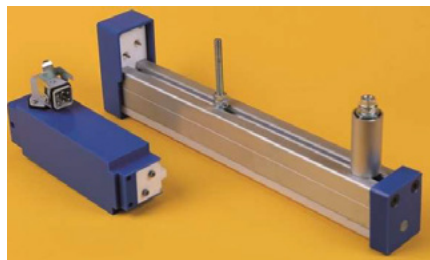


■ Figura 71 – Tipi di barre: BI-1, BT, AC

In Corrente Continua – sono barre ionizzanti di più recente evoluzione. Rispetto alle precedenti in corrente alternata, hanno caratteristica di avere l'alimentatore alta tensione inglobato nella barra stessa. Questo consente di utilizzare tensioni più elevate (10kV in cc contro 8kV in ac) e di avere un'efficacia a distanze maggiori, fino a 40-50 cm. Richiedono alimentazione a 24 Volt



■ Figura 72 – TIPO BI24-FT



■ Figura 73 – Alimentatore 10KV estraibile

3. Aria ionizzata – Quando si rende necessario eliminare sia l'elettrostaticità che eventuale polvere superficiale dal pannello, occorre combinare l'azione della barra ionizzante con un flusso d'aria. Utilizzare solo l'aria, senza l'ausilio di una barra ionizzante, farebbe sì che l'attrito superficiale dato dal passaggio dell'aria andrebbe a caricare elettrostaticamente il materiale. I prodotti ad aria ionizzata utilizzati sono:

- a. Lame d'aria** in combinazione con la barra ionizzante, garantiscono la stessa pressione su tutta la larghezza del pannello, come una vera e propria "lama". Sono disponibili in due versioni: pneumatica ed elettrica. Le prime ricevono aria dal compressore e sono consigliate in presenza di frequenti cicli di avvio/arresto e lunghezze predefinite. Il tipo elettrico invece riceve l'aria da una macchina soffiante esterna (generalmente di 2 kW max).



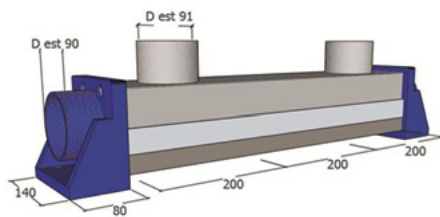
■ Figura 74 – Lame d'aria

b. Ugelli a soffio ionizzante – si tratta di piccoli ugelli di forma cilindrica, in grado di produrre autonomamente l'effetto ionizzante abbinato all'aria. Ogni ugello ha una forma d'aria a "cono" con diametro di circa 10 cm. Sono ideali per trattare superfici piccole o oggetti tridimensionali. Si installano seguendo la forma dell'oggetto da scaricare elettrostaticamente, in seguito si collegano tra loro tramite il cavo alta tensione che va al generatore esterno e singolarmente alimentati all'aria compressa di rete.



■ Figura 75 – Ugelli ionizzanti Tipo UG-S

Aspirazione polveri – L'aspirazione superficiale del pannello è più difficile se questa è trattenuta dall'effetto elettrostatico. Per migliorare il processo è opportuno, prima dell'aspirazione, eliminare la causa che provoca l'adesione, cioè l'elettrostaticità, con opportuni aspiratori che assolvono entrambe le funzioni.



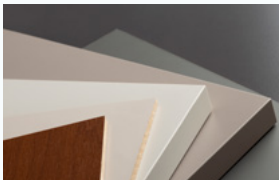
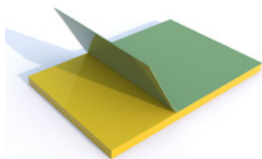
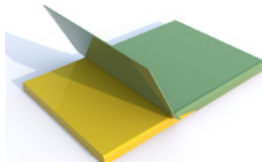
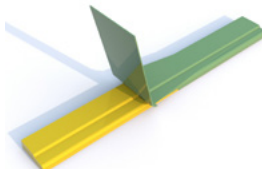
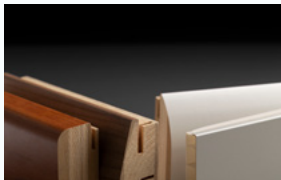
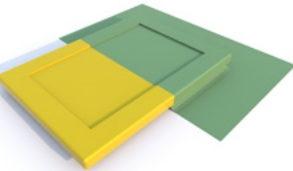
■ Figura 76 – Aspirazione delle polveri

5 PROCESSI DI INCOLLAGGIO

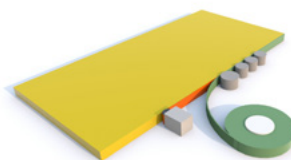
Per processo di incollaggio si intende l'insieme di tutte le fasi che portano alla nobilitazione di un supporto (preparazione delle superfici, applicazione dell'adesivo, ecc.). Nei processi di nobilitazione vengono utilizzate diverse tipologie di impianti le cui caratteristiche dipendono:

- dal tipo di prodotto finito che si vuole ottenere
- dai supporti
- dai decorativi
- dagli adesivi

I processi di rivestimento sono suddivisi, a seconda della morfologia dell'elemento che viene nobilitato, in tre tipologie: 1D, 2D e 3D.

Processo	Prodotti	Schemi produttivi
1D nobilitazione della faccia piana del supporto su uno o due lati		
2D nobilitazione sulla faccia piana e sulle superfici laterali del supporto		
2D nobilitazione di elementi lunghi e sottili sulla faccia piana o profilata e sulle superfici laterali		
3D nobilitazione della faccia piana o sagomata e delle quattro superfici laterali del supporto con deformazione plastica del rivestimento (termoformatura)		

BORDATURA: Il processo di bordatura non viene trattato in questo manuale. Per informazioni sulla bordatura, fare riferimento allo specifico lavoro pubblicato, sempre da Avis, "L'incollaggio dei bordi" <https://avis.federchimica.it/pubblicazioni/2023/10/17/manuale-l'incollaggio-dei-bordi>

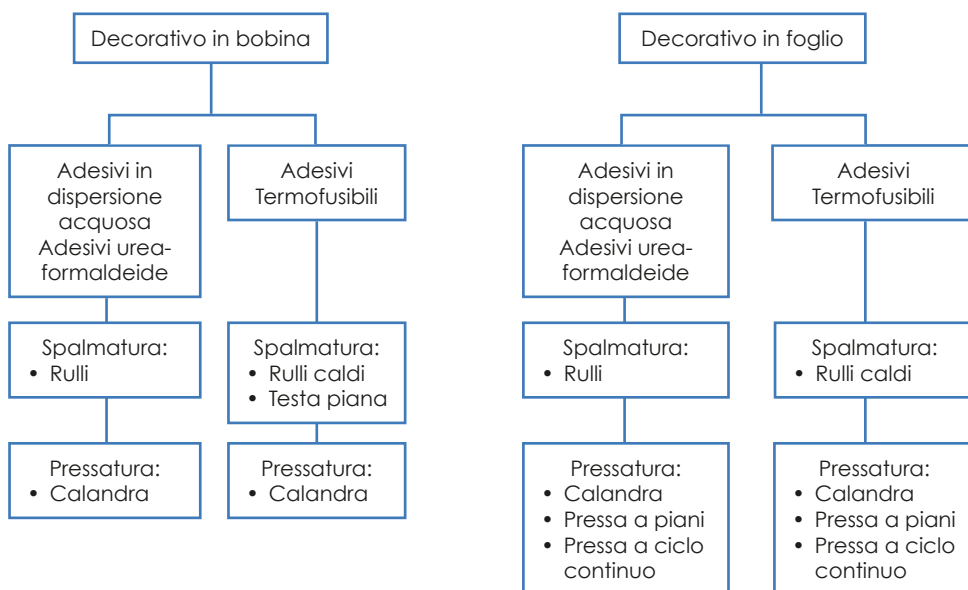


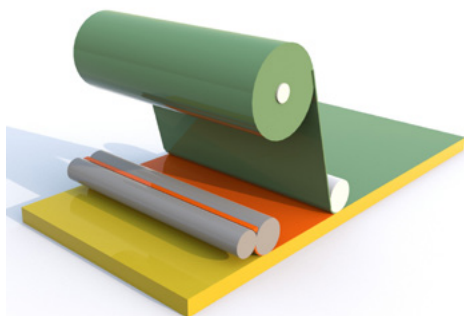
5.1 Processo 1D

Per incollaggio 1D, si intende la nobilitazione di pannelli piani (legno, MDF, truciolare ecc.) con diverse tipologie di decorativi (materiali plastici, carte di varia natura o piallacci).

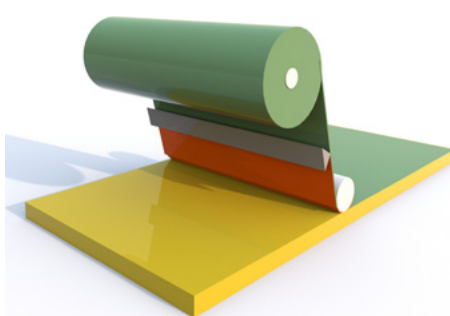
Per questa applicazione vengono utilizzati diversi tipi di adesivi, vedi Schema 5 “1D – Rivestimento Pannelli Piani” e diversi impianti, sia per la spalmatura dell’adesivo che per la pressatura dei materiali.

Schema 5 - 1D – Rivestimento pannelli piani

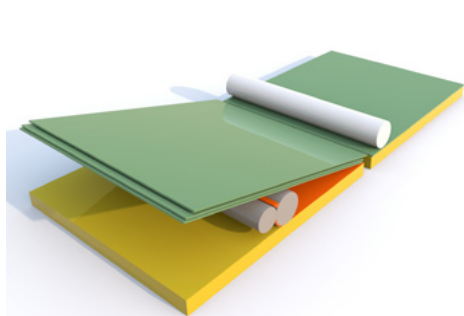




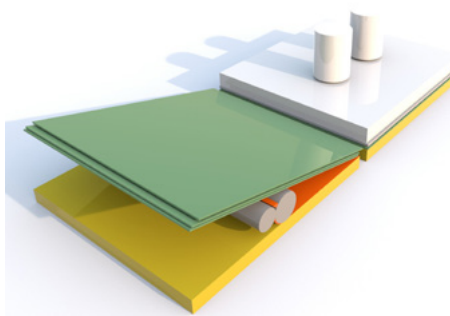
■ *Figura 77 – Calandra con spalmatura adesivo sul pannello e decorativo in bobina*



■ *Figura 78 – Calandra con spalmatura con testa piana a caldo (Slot Nozzle)*



■ *Figura 79 – Calandra con applicazione dell'adesivo con rulli direttamente sul pannello e applicazione del decorativo in fogli*



■ *Figura 80 – Pressa a piani con applicazione dell'adesivo con rulli direttamente sul pannello e applicazione del decorativo in fogli*

5.1.1 Preparazione del supporto

Prima dell'applicazione dell'adesivo, il supporto deve essere adeguatamente preparato per garantire una corretta adesione, sia che l'adesivo venga steso direttamente sul pannello, sia che venga applicato sulla foglia decorativa.

Tipologie di preparazione

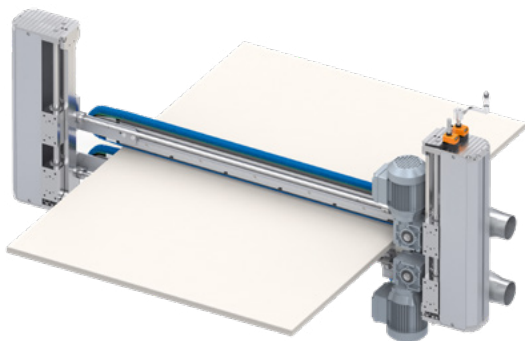
- **Pulizia meccanica:** eseguita mediante spazzole rotanti per rimuovere polveri, residui e impurità superficiali.
- **Spazzolatura dell'alluminio:** nel caso di supporti in alluminio, si utilizza una spazzolatura con spazzole metalliche per eliminare lo strato di ossido formatosi nel tempo.
- **Levigatura superficiale:** il pannello può essere sottoposto a una levigatura più o meno intensa in funzione del tipo di finitura estetica desiderata sul prodotto finito, vedi Capitolo 4 per approfondimenti.

Queste operazioni sono fondamentali per garantire l'efficacia del processo di nobilitazione, come descritto nel capitolo precedente.

Oltre alla spazzolatura, un'ulteriore fase nella preparazione del supporto è il suo riscaldamento che può risultare opportuno, specie nel caso dell'impiego di adesivi termofusibili.

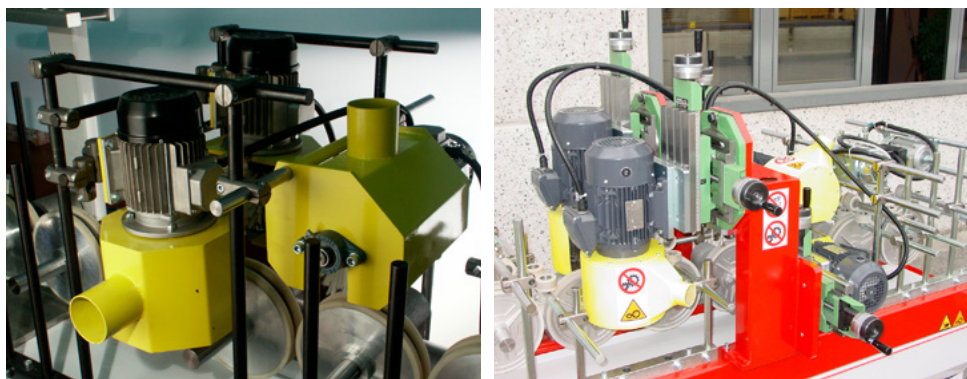
5.1.1.1 Spazzolatura

In questa fase dell'impianto, oltre alla presenza di guide che agevolano l'inserimento del profilo, possono essere integrate spazzole specifiche per la rimozione delle impurità. Garantire una pulizia accurata della superficie è essenziale per evitare che il materiale decorativo venga applicato su residui di polvere, condizione che comprometterebbe l'adesione del rivestimento al profilo, una volta uscito dall'impianto.



■ Figura 81 – Spazzola lineare per pulizia pannello

Nel caso i supporti da rivestire siano in alluminio grezzo, le spazzole sono equipaggiate con setole metalliche atte a rimuovere l'ossido di alluminio che potrebbe essersi formato in superficie. Se l'ossido di alluminio non viene rimosso, l'adesivo non può ancorarsi in maniera adeguata.



■ Figura 82 – Spazzole in metallo per pulizia di profili in alluminio grezzi

5.1.1.2 Pre-riscaldamento

Nel caso dell'impiego di adesivi termofusibili è necessario effettuare il pre-riscaldamento del supporto, in particolare durante i periodi freddi o comunque nei casi in cui vengano impiegati materiali non preventivamente condizionati. Tale operazione consente di assicurare un processo di incollaggio controllato e ripetibile nel tempo.

Il preriscaldamento del supporto è suggerito nel caso di condizioni critiche (supporti freddi) anche per gli adesivi in dispersione acquosa.

Per il preriscaldamento del pannello si impiegano principalmente lampade a raggi infrarossi (IR) che, a differenza dei riscaldatori ad aria calda, agiscono più in profondità. Questo tipo di riscaldamento non è tuttavia in grado di rimuovere l'eventuale polvere presente sulla superficie del supporto.

Il sistema di riscaldamento a mezzo lampade a infrarossi (IR) può essere manuale o automatico. Con il sistema automatico la temperatura del pannello viene mantenuta costante al valore richiesto, variando autonomamente la potenza delle lampade in funzione della lettura sul pannello rilevata con un pirometro.

Normalmente i forni di preriscaldamento hanno la possibilità di essere impostati in funzione della larghezza del pannello da riscaldare.

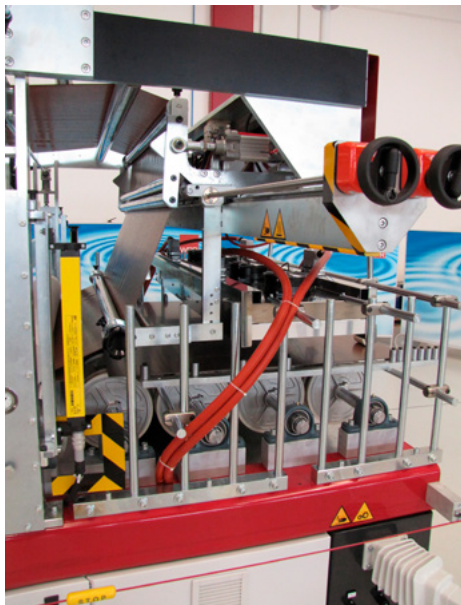


Figura 83 – Forno a raggi infrarossi (IR) per il pre-riscaldamento pannello

5.1.2 Sistemi e processi di applicazione

5.1.2.1 Applicazione con spalmatrici a rulli

La sempre più frequente richiesta del mercato di flessibilità nelle catene produttive comporta una scelta di soluzioni tecniche che possono - se necessario - adattarsi a molteplici tipi di supporti e a molteplici soluzioni per i materiali di rivestimento.

La spalmatura a rullo degli adesivi offre molteplici vantaggi:

- a. Uniformità, costanza e accuratezza nella quantità di adesivo spalmato sul pannello
- b. Facilità nel selezionare le diverse grammature di adesivo
- c. Applicazione contemporanea dell'adesivo su due lati del pannello in un singolo passaggio

- d. Rapidità del processo che può, in alcuni casi, raggiungere velocità superiori ai 100 m/min in termini di transito pannello

Tipologie di sistemi di applicazione a rullo

Rullo manuale

Questo sistema, composto da una semplice vaschetta metallica abbinata a un rullo spugnoso, consente l'applicazione di adesivi con diverse viscosità.

Vantaggi operativi

Tra i principali vantaggi è possibile citare la rapidità di installazione e la facilità di pulizia al termine dell'utilizzo.

Limiti

La quantità di adesivo applicato non è regolabile con precisione: l'operazione manuale permette solo un controllo visivo della grammatura, soggetta alla variabilità della pressione esercitata dall'operatore e al numero di passaggi effettuati che influiscono notevolmente sul risultato finale.

Un ulteriore svantaggio è la possibilità di incollare un solo lato per volta, obbligando l'operatore a ruotare manualmente il pannello, con tutte le difficoltà operative che ne derivano.

Raccomandazioni d'uso

Il sistema è consigliato principalmente per l'incollaggio di pezzi di piccole dimensioni e per utilizzi non frequenti.



■ Figura 84 – Applicatore adesivo manuale

Incollatrice a due rulli con vaschetta di distribuzione dell'adesivo

Vantaggi operativi

- Applicazione simultanea su entrambi i lati del pannello in un unico passaggio, riducendo i tempi di lavorazione rispetto al sistema manuale.
- Controllo più preciso della grammatura dell'adesivo, grazie al parallelismo tra il rullo spalmatore e la vaschetta di distribuzione.
- Ampia gamma di larghezze di lavoro, da 250 mm fino a 2000 mm, per soddisfare esigenze standard e applicazioni speciali.

Limiti

- Struttura leggera e diametro ridotto del rullo applicatore che non consentono l'utilizzo in linee produttive ad alta intensità o con pannelli di grandi dimensioni.
- Non adatta per adesivi che richiedono grammature significative ed estremamente omogenee, in quanto la macchina non è progettata per carichi elevati e precisioni elevate.

Raccomandazioni d'uso

Questa unità è consigliata per artigiani di piccola e media dimensione che effettuano operazioni di nobilitazione in modo non continuativo.

■ *Figura 85 – Incollatrice a due rulli con vaschetta di distributore dell'adesivo*



Incollatrice a 4 rulli con rullo dosatore

L'applicazione dell'adesivo può richiedere un'elevata precisione nella quantità depositata sul pannello, soprattutto nei processi di nobilitazione con rivestimenti sottili, come piallacci o carte finish particolarmente delicate. In questi casi, è indispensabile l'impiego di un'incollatrice a rullo dotata di sistema dosatore.

Caratteristiche tecniche

- Larghezze di lavoro disponibili: da 400 mm (ideale per settori come parquet e infissi) fino a 3800 mm (adatta per pannelli di grandi dimensioni come per compensati, caravan e motorhome).
- Rullo dosatore motorizzato: garantisce un'applicazione uniforme dell'adesivo su tutta la superficie del pannello, grazie al perfetto parallelismo con il contro rullo.
- Distribuzione omogenea: la frizionatura costante mantiene l'adesivo fresco e attivo, preservandone le proprietà adesive fino al momento dell'accoppiamento.
- Struttura robusta: il peso della macchina, spesso superiore alla tonnellata, assicura stabilità e assenza di vibrazioni anche durante il passaggio di pannelli pesanti.

Raccomandazioni d'uso

Questa tipologia di macchina è particolarmente indicata per operatori che effettuano incollaggi quotidiani su materiali di pregio o che richiedono finiture di alta qualità. È inoltre consigliata per l'integrazione in linee di incollaggio automatiche.

Su questa tipologia di spalmatrici, è consigliato caricare l'adesivo sia sul lato destro che sinistro dei rulli, per assicurare una miscelazione omogenea con garanzia di una spalmatura costante, evitando inoltre sia l'accumulo di contaminanti (residui di adesivo indurito) sugli spigoli dei rulli spalmatori, sia un aumento di viscosità anomalo nella parte del rullo in cui l'adesivo non viene consumato.



■ Figura 86 – Spalmatrici a rulli

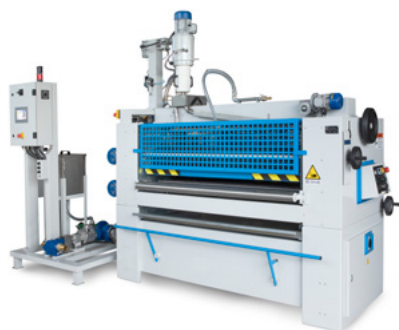
Nella maggior parte dei casi precedentemente descritti, la nobilitazione viene eseguita mediante incollaggio “a freddo” utilizzando varie tipologie di adesivi tra cui, PVAc, UF, MUF, PU 1K e 2K.

Questi adesivi richiedono quasi sempre l’impiego di sistemi di pressatura specifici, come presse a piani freddi o riscaldati, per garantire un incollaggio efficace e uniforme.

Di seguito è riportato un esempio di spalmatrice a 4 rulli con alimentatore e mixer integrato, progettata per l’applicazione di adesivi bicomponenti.

Il mixer a bordo macchina permette di utilizzare miscele di adesivi-induritori con pot life (tempo di vita) corti e conseguente rapidità di reticolazione, che permette tempi di pressatura più brevi.

Inoltre, garantisce che la miscela di adesivo sia sempre appena preparata nei rulli applicatori.



■ Figura 87 – Spalmatrice a 4 rulli con mixer

SPALMATRICI A RULLO A CALDO (ROLL COATER)

Queste unità operano esclusivamente con adesivi termofusibili.

Caratteristiche del processo

- Gli adesivi termofusibili non richiedono generalmente l’impiego di presse a piani data la rapidità nei tempi di presa.
- Il processo di pressatura si basa sull’utilizzo di una o più presse a rulli, comunemente denominate calandre, che garantiscono l’adesione del materiale decorativo al supporto
- In presenza di pannelli e/o decorativi non perfettamente planari come gli HPL, può rendersi necessario un passaggio aggiuntivo in una pressa a piani freddi per alcuni minuti, al fine di uniformare la superficie e stabilizzare il giunto

Incollatrice a 4 rulli con rullo/i riscaldati

L'incollatrice a quattro rulli riscaldati è progettata per la spalmatura di adesivi termofusibili. La superficie esterna dei rulli viene riscaldata tramite olio diatermico, all'interno del quale è immersa una resistenza elettrica a micro-impulsi. Questo sistema consente di mantenere gli adesivi alle temperature previste:

- 100–130 °C per adesivi PUR
- Fino a 175–180 °C per adesivi EVA e Poliolefinici

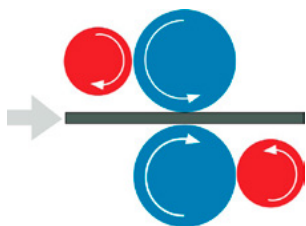
Gli adesivi, solidi a temperatura ambiente, vengono fusi e trasferiti alla spalmatrice tramite tubazioni riscaldate, garantendo continuità e ripetibilità del processo.

Vantaggi

- Eliminazione dei tempi morti: non è necessario l'uso di presse a piani, riducendo i tempi di lavorazione
- Elevata produttività: ideale per settori che richiedono alte performance in termini di superfici lavorate
- Massima flessibilità: consente l'incollaggio di materiali eterogenei, da pannelli a base legno a superfici complesse come gomma, vetro, PMMA, ABS e PVC, anche con pretrattamento
- Minori residui: il sistema genera residui minimi durante la pulizia a fine giornata, potendolo rendere, sotto questo punto di vista, una scelta maggiormente sostenibile

Limiti

- L'applicazione di adesivo su materiali da rivestimento con spessori inferiori a 0,7 mm potrebbe diventare difficile per il contatto tra i rulli superiori e inferiori o per il rischio, essendo il materiale molto sottile, che si arrotoli attorno al rullo spalmatore



■ Figura 88 – Incollatrice con 2 rulli riscaldati (dosatori)

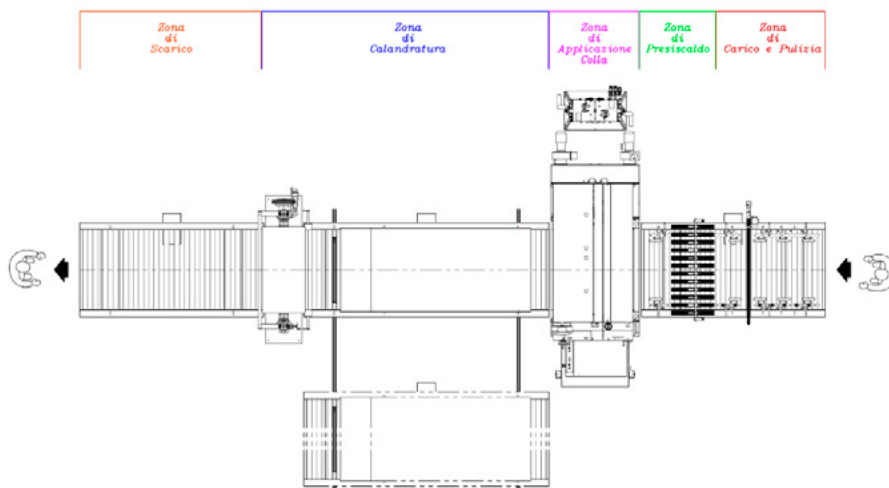


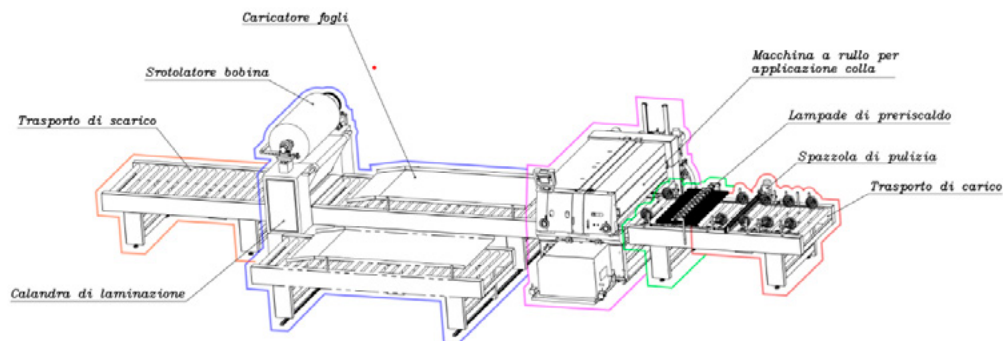
■ Figura 89 – Incollatrice con 4 rulli riscaldati



■ Figura 90 – Calandra completa di spalmatrice

Schema 6 - Processo incollaggio 1D sia per rivestimenti in fogli che in bobina





■ Figura 91 – Tipica linea di applicazione di adesivi termofusibili con calandra

Processi applicativi con sistemi a rulli

Per l'applicazione a rullo il tipo di adesivo e la quantità da spalmare sono scelti sulla base delle caratteristiche del supporto. Bagnare adeguatamente un pannello, applicando la giusta grammatura dell'adesivo, vuole dire ottenere un'adeguata adesione, e prevenire eventuali difetti di planarità del materiale di rivestimento applicato. Per questa applicazione l'adesivo viene scelto sulla base del tempo di assemblaggio del materiale; quanto più lungo è il tempo di assemblaggio, tanto maggiore dovrà essere il tempo aperto dell'adesivo selezionato.

Di seguito vengono indicate in successione alcune delle principali caratteristiche di questo tipo di impianti.

Rigatura gomma/silicone o dell'acciaio rullo spalmatore.

La rigatura del rullo spalmatore, realizzata su superfici in gomma, silicone o acciaio, riveste un ruolo fondamentale nel controllo della distribuzione dell'adesivo. La spirale incisa direttamente sulla superficie del rullo determina in gran parte la grammatura applicata. Variando parametri come profondità, larghezza e angolazione del solco, è possibile modificare significativamente il quantitativo di adesivo spalmato, passando da valori minimi di circa 40–70 g/m² fino a grammature elevate, comprese tra 300 e 400 g/m².

Oltre alla rigatura elicoidale standard, è possibile adottare geometrie particolari come:

- Rigature circolari
- Rigature orizzontali
- Rigature ultra-dense, dove anche la parte piena del profilo (detta “testa filetto”) viene sagomata

L'obiettivo di una rigatura ben progettata è generare le tipiche “onde” di adesivo che, una volta pressate, formano uno strato uniforme e privo di eccessi o sbavature ai bordi del pannello. Questo contribuisce a evitare problematiche operative sulla pressa o sulla calandra, oltre a ridurre l'usura degli utensili di finitura.



■ Figura 92 – Esempio di spalmatura ottenuta con rullo rigato a 14 filetti per pollice, accompagnato dal disegno del relativo profilo

Distanza tra vasca di distribuzione e rullo applicatore

Il rullo spalmatore aumenta il proprio diametro con l'accumulo dell'adesivo sulla sua superficie, dosato da una vaschetta di contenimento che funge da racla. La regolazione della distanza tra la vaschetta e la superficie esterna del rullo consente di modulare la quantità di adesivo applicato:

- Maggiore distanza → incremento della grammatura
- Minore distanza → riduzione della grammatura

Questa regolazione consente normalmente una variazione stimata della quantità di adesivo applicata nell'intervallo 25–35%.

Pressione del rullo superiore sul pannello

L'adesivo, mantenuto in movimento dalla rigatura elicoidale del rullo, viene trasferito al pannello tramite pressione. Per garantire un rilascio efficace dell'adesivo accumulato nella rigatura del rullo, si consiglia di agire con l'interferenza del rullo a circa 0,5 mm. Questo consente di “strizzare” la gomma profilata e rilasciare l'adesivo anche nelle zone più profonde della rigatura.

La regolazione della pressione può influenzare la grammatura applicata con una variazione massima stimata di $\pm 6\%$.

Velocità di rotazione del rullo spalmatore

La velocità di rotazione del rullo dosatore incide direttamente sulla quantità di adesivo distribuito:

- Velocità maggiore → aumento della grammatura
- Velocità minore → diminuzione della grammatura

La variazione ottenibile tramite questo parametro è stimata intorno a $\pm 4-6\%$ del totale di adesivo spalmato.

Velocità relativa tra rullo dosatore (se presente) e rullo applicatore

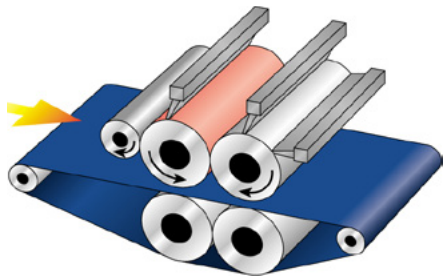
Nel caso sia presente un rullo dosatore, la sua velocità di rotazione rispetto a quella del rullo applicatore influisce direttamente sulla quantità di adesivo trasferita. A parità di distanza tra i due rulli:

- Una velocità inferiore del rullo dosatore rispetto all'applicatore ostacola il passaggio dell'adesivo, riducendo la grammatura applicata.
- Una velocità più simile tra i due rulli favorisce il trasferimento dell'adesivo, aumentando la quantità depositata sul pannello.

La regolazione della velocità relativa rappresenta, quindi, un parametro efficace per modulare la percentuale di adesivo distribuito sulla superficie.



■ Figura 93 – Macchina a rulli per l'applicazione di adesivi termofusibili PUR direttamente su pannelli



■ Figura 94 – Spalmatrice a rulli caldi con rullo lisciatore

Come si evince dall'immagine sopra riportata, la macchina è composta da un rullo dosatore per la regolazione della quantità di adesivo da applicare, da un rullo applicatore gommato e da un rullo lisciatore - con rotazione opposta all'avanzamento del pannello (reverse) - per ottenere una superficie liscia dell'adesivo applicato.

I rulli dosatore e lisciatore sono riscaldati, la macchina è completamente carenata per poter essere aspirata.

5.1.2.2 Applicazione con teste piane (Slot Nozzle)

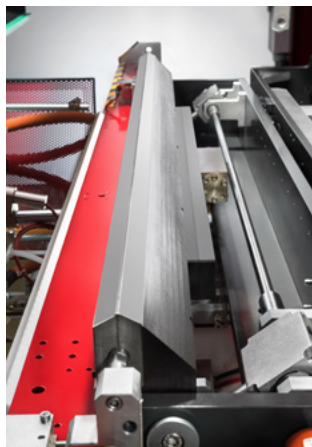
Gli impianti di spalmatura a testa piana, comunemente noti come Slot Nozzle, sono impiegati per applicazioni di adesivi termofusibili su pannelli piani ma anche nella produzione di profili, nonché di pannelli sagomati (vedi processo 2D).

L'applicatore è costituito da un sistema a pressione che introduce l'adesivo all'interno di una camera lunga e stretta, a un'estremità della quale è presente una fessura ad apertura variabile.

L'adesivo fuoriesce da questa fessura, passando direttamente alla superficie del supporto che transita sotto la testa applicatrice.

Questi sistemi operano in continuo e, pertanto, richiedono l'utilizzo di decorativi in bobina.

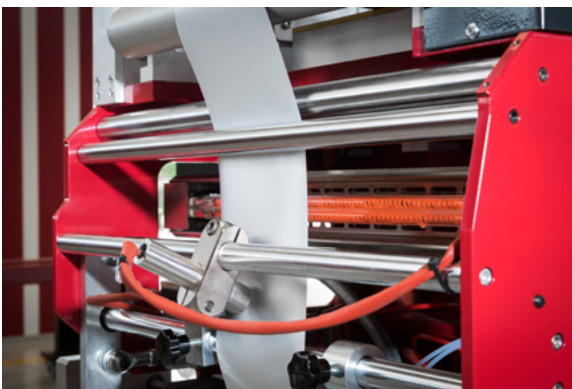
Data la crescente diffusione di decorativi a base carta e plastica, gli impianti Slot Nozzle rappresentano oggi una delle soluzioni più adottate per la nobilitazione industriale di pannelli e profili.



■ Figura 95 – Spalmatura a testa piana (Slot Nozzle)



■ Figura 96 – Rullo di pressatura



■ Figura 97 – Lampada per preriscaldamento foglia

5.1.2.3 Applicazione dell'adesivo su decorativi (foglie presalmate)

Accanto alle tecnologie tradizionali per la nobilitazione di pannelli e profili sagomati, che prevedono la spalmatura dell'adesivo direttamente sul decorativo in linea, si è recentemente affermata una nuova modalità di rivestimento.

Questa tecnologia, che attualmente è applicabile esclusivamente ai decorativi a base cellulosica per via della compatibilità termica con gli adesivi termofusibili, prevede le seguenti fasi:

- l'adesivo viene applicato sul decorativo tramite una testa piana (Slot Nozzle).
- Il decorativo con l'adesivo spalmato, viene successivamente raffreddato e ribobinato.
- Il materiale così trattato viene stoccato e utilizzato all'occorrenza.

Durante la fase di utilizzo, l'adesivo pre-spalmato viene riattivato mediante calore e immediatamente pressato sul supporto. Trattandosi di un adesivo con tempo aperto molto breve e bassa appiccicosità, è fondamentale eseguire la pressatura in modo rapido ed efficiente.

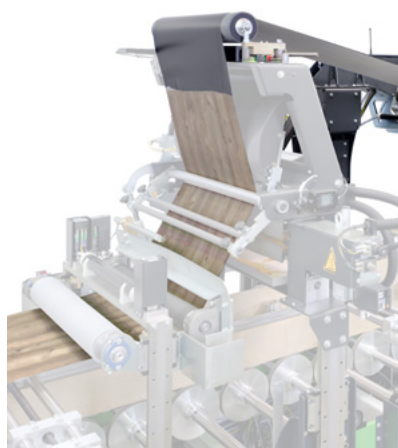
5.1.2.4 Accessori complementari e sistemi ausiliari per le linee di rivestimento 1D

Giuntafoglia

Per ottimizzare la produttività nelle lavorazioni con decorativi in bobina, è possibile integrare un sistema giuntafoglia semiautomatico. Questo accessorio è particolarmente utile nei casi in cui si lavorano lotti con lo stesso profilo e si rende necessario l'utilizzo di più bobine dello stesso colore o di colori differenti, evitando interruzioni nel processo produttivo.

Il giuntafoglia consente di:

- unire due decorativi (quello in lavorazione e quello in attesa) mediante nastro adesivo, seguendo una sequenza operativa predefinita.
- tagliare il decorativo in lavorazione tramite una lama, completando così il cambio bobina senza arrestare la linea.



■ Figura 98 – Giuntafoglia

Guidabordi

Il sistema di guidabordi è progettato per compensare la deriva laterale delle bobine riavvolte telescopicamente (fenomeno noto come sconatura), garantendo che il decorativo sia correttamente allineato e copra con precisione l'area di rivestimento prevista sul profilo.

Sistema di tensionatura automatica del decorativo

Integrato nello svolgitore, questo sistema consente di regolare automaticamente la tensione del decorativo in funzione del diametro variabile della bobina, assicurando una distribuzione costante e uniforme del materiale lungo tutta la lavorazione.

Taglio al volo in uscita

Questo impianto complementare consente di sezionare le barre rivestite in uscita anche a velocità elevate (superiori a 30 m/min). Il taglio viene eseguito tramite una lama rotante, che separa i pannelli in modo preciso e continuo, senza interrompere il flusso produttivo.

Fusori

Negli impianti di rivestimento che utilizzano adesivi termofusibili, è necessario impiegare sistemi di pre-fusione, comunemente denominati fusori, per rendere l'adesivo fluido e trasferirlo, tramite tubi riscaldati, ai dispositivi di applicazione. Questi sistemi di pre-fusione operano come unità esterne alla linea di rivestimento, fornendo adesivo già fuso per l'applicazione diretta sul decorativo.

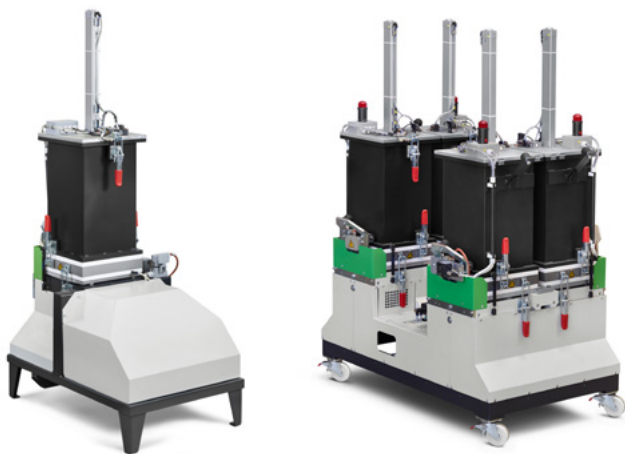
Le superfici dei fusori, in particolare quelle a contatto con adesivi PUR, sono generalmente rivestite in teflon per evitare l'adesione del collante alle parti metalliche e facilitare le operazioni di pulizia. È fondamentale mantenere integro il rivestimento in teflon, sostituendolo in caso di danneggiamento o usura. Per la pulizia è fortemente raccomandato di evitare l'uso di utensili metallici che potrebbero compromettere la teflonatura, sono invece idonei materiali come cartone, teflon, rame o ottone.

Tipologie di prefusori

Fusore a vasca

- **Vantaggi:** consente un'alimentazione continua dell'adesivo, evitando interruzioni per il caricamento del materiale.
- **Svantaggi:** l'intero volume di adesivo viene fuso, rendendo cruciale la sua stabilità termica.

Con gli adesivi termofusibili PUR, può formarsi una pelle superficiale che compromette l'uniformità dell'applicazione. Se inglobata dalla pompa ad ingranaggi, questa pelle può essere tritурata e trasferita sulla foglia, causando difetti. Per prevenire tali problemi, si utilizzano filtri a monte della pompa e sulla testa di spalmatura, con maglie da 120-150 micron.



■ Figura 99 – Fusore a vasca

Per prolungare la vita utile dell'adesivo PUR e ridurre il rischio di reticolazione prematura causata dall'umidità, è consigliabile iniettare ogni 60 secondi, per un intervallo di 5 secondi, un gas inerte (azoto) oppure aria deumidificata all'interno del fusore. A tal fine, i fusori possono essere equipaggiati con sistemi opzionali di generazione di aria secca. In assenza di tali dispositivi, è possibile utilizzare direttamente azoto tecnico come alternativa efficace.

L'adozione di queste misure di protezione consente di incrementare fino al 50% la stabilità e la durata operativa dell'adesivo PUR all'interno del sistema di fusione.



■ Figura 100 – Fusore a pistone

Vantaggi

Il fusore a pistone garantisce continuità nell'erogazione dell'adesivo, evitando interruzioni dovute al caricamento di nuovo materiale. Il funzionamento prevede l'inserimento di una cartuccia di adesivo che viene spinta da un pistone contro una griglia riscaldata, la quale provvede alla fusione del prodotto. L'erogazione dell'adesivo fuso avviene su richiesta della testa di spalmatura. Al di sotto della griglia è presente un serbatoio di riserva con capacità di circa 3 kg, contenente adesivo già fuso, sufficiente a mantenere la continuità operativa durante la sostituzione della cartuccia.

Un ulteriore vantaggio è che l'imballo protettivo della cartuccia non viene completamente rimosso, si elimina infatti solo la parte inferiore, lasciando il resto del contenitore intatto. Questo accorgimento protegge l'adesivo solido residuo dal contatto con l'umidità atmosferica, preservandone la stabilità.

Svantaggi

- Anche l'adesivo non immediatamente utilizzato viene fuso, sebbene in quantità inferiori rispetto ai fusori a vasca.
- Nel serbatoio di riserva può verificarsi la formazione di pelli superficiali, che compromettono la qualità dell'applicazione.
- Se l'adesivo fuso non viene consumato entro tre giorni, è necessario pulire i serbatoi con appositi detergenti (CLEANER) per evitare la reticolazione del prodotto all'interno del sistema.

I fusori di ultima generazione sono progettati per mantenere l'adesivo fuso sotto atmosfera controllata (azoto o aria secca), migliorandone la stabilità e riducendo il rischio di degradazione.

Fusori a piatto premente (18-20 o 180-200 kg)

Vantaggi

I fusori a piatto premente sono progettati per fondere esclusivamente l'adesivo necessario al processo, evitando sia sprechi sia l'esposizione del materiale al calore. Grazie alla loro struttura completamente sigillata, non richiedono operazioni di pulizia anche in caso di prolungate interruzioni della lavorazione, a differenza di altri sistemi di fusione. Questi fusori possono essere equipaggiati con piastre di fusione di diversa tipologia, selezionate in base alla quantità di adesivo richiesta dal processo produttivo. Tale parametro è definito come MELT RATE, ovvero la portata massima di fusione espressa in kg/ora, che indica la capacità del sistema di fondere adesivo in funzione del ritmo operativo.



■ Figura 101 – Piastra liscia e alettata

Prestazioni e applicazioni

I fusori a piatto premente offrono prestazioni variabili in base alla configurazione della piastra:

- Con piastre piane, la capacità di fusione si attesta intorno ai 35-40 kg/ora
- Con piastre alettate, si possono raggiungere portate fino a 100 kg/ora

Questi fusori possono essere equipaggiati con una o due pompe, permettendo l'alimentazione simultanea di una o due macchine. I sistemi a doppia pompa sono particolarmente indicati in contesti produttivi con elevato consumo di adesivo.

L'impiego dei fusori a piatto premente è ideale per lavorazioni che richiedono grandi quantità di adesivo, come nel caso di teste di spalmatura di ampia larghezza (fino a 2.000 mm).

Negli impianti ad alta velocità e con consumo intensivo di adesivo, è possibile installare fusori in tandem (2 o 3 unità) per garantire la portata necessaria e mantenere la continuità operativa.

Svantaggi

- Il fusore fonde l'adesivo progressivamente, in base al consumo. Al termine del fusto, è necessario interrompere la lavorazione per effettuare la sostituzione. Questa discontinuità può essere superata mediante l'utilizzo di due fusori in tandem, uno in funzione e l'altro pronto per il cambio.
- I fusori a piatto premente da 20 kg presentano diametri differenti nel mercato americano, aspetto da considerare nella scelta dei contenitori.

Fusori ad estrusione

I fusori ad estrusione, noti anche come fusori a vite, sono impiegati in contesti produttivi caratterizzati da elevati consumi di adesivo o dall'utilizzo di termofusibili con tempi di fusione più lenti, come nel caso degli adesivi a base poliolefinica.

Questi sistemi garantiscono una fusione continua ed efficiente del materiale, rendendoli particolarmente adatti per applicazioni industriali ad alta produttività.



■ Figura 102 – Fusore a vite

Vantaggi e caratteristiche operative

Vantaggi operativi

- Compatibili con tutti gli adesivi a caldo in forma granulare (base EVA e PO)
- Nessuna necessità di pulizia, anche dopo lunghi periodi di funzionamento
- Produzione continua, senza interruzioni per il rabbocco dell'adesivo

- Elevata precisione nella regolazione della temperatura di fusione
- Versatilità d'integrazione in diversi sistemi e settori applicativi
- Possibilità di alimentazione diretta da Big Bag (capacità 500–700 kg)

Prestazioni di fusione

La potenza di fusione varia in funzione del tipo di adesivo e della configurazione della vite, con portate che possono raggiungere:

- 30 kg/h
- 60 kg/h
- 120 kg/h
- 300 kg/h
- fino a 600 kg/h

Principio di funzionamento

A differenza di altri sistemi di pre-fusione, l'energia termica nell'estrusore è generata esclusivamente dal sistema di traino. I granuli di adesivo sono riscaldati fino alla viscosità desiderata tramite il calore da attrito sviluppato all'interno dell'estrusore.

Poiché i coefficienti di attrito tendenzialmente calano durante la transizione da solido a liquido, le temperature di fusione si autoregolano in base al tipo di adesivo impiegato.

Il movimento continuo tra granulato, coclea e tubo impedisce la formazione di depositi o la combustione, eliminando la necessità di interventi di pulizia anche dopo cicli prolungati.

Efficienza energetica

Grazie all'elevata efficienza del sistema, è possibile fondere l'adesivo granulare EVA fino a 120 kg/h con un consumo energetico di circa 7,5 kW/h.

Configurazione avanzata

Recenti evoluzioni nella geometria della coclea consentono una fusione omogenea anche di adesivi granulati ad alta temperatura di impiego (Highterm), come richiesto per applicazioni specifiche quali l'alimentazione di teste di spalmatura (Slot Nozzle).

5.1.3 Calandratura e pressatura

Per la nobilitazione di pannelli con decorativi di varia tipologia, si utilizzano adesivi di diversa natura, tra cui i vinilici, gli ureici e i termofusibili.

Gli adesivi in dispersione acquosa (PVAc e VAE) vengono generalmente applicati mediante spalmatrici a rulli freddi mentre i termofusibili sono applicati con rulli riscaldati o teste piane.

Dopo l'applicazione, i pannelli vengono sottoposti a pressatura a freddo o a caldo nel caso di adesivi in dispersione acquosa.

Gli adesivi a base di Urea-formaldeide richiedono esclusivamente pressatura a caldo, perché la reticolazione del prodotto avviene ad elevata temperatura.

In base alla natura dell'adesivo impiegato, il processo di pressatura può avvenire sia a caldo che a freddo, mediante una delle seguenti configurazioni:

- Calandra a rulli: con rulli riscaldati o a temperatura ambiente, utilizzata per la pre-pressatura o la laminazione continua.
- Pressa a piani: con superfici riscaldate o non riscaldate, adatta alla pressatura statica di pannelli piani.
- Sistema combinato: calandra a rulli seguita da pressatura a piani freddi, impiegato per migliorare l'adesione e la planarità del decorativo.



■ Figura 103 – Pannelli 1 D

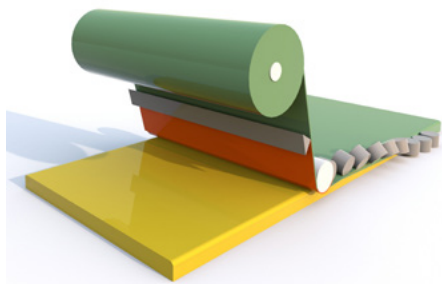
Nel caso di incollaggi con adesivi in dispersione acquosa (PVAc e VAE), è importante conoscere il tempo aperto e il tempo di presa dell'adesivo, per ottimizzare i cicli di lavoro sia per la calandra che per le presse a piani.

Per l'incollaggio con adesivi urea-formaldeide bisogna conoscere il tempo di reticolazione dell'adesivo alle diverse temperature e per gestire sulla base del tipo di pressa utilizzata, le temperature di esercizio e i tempi di pressatura.

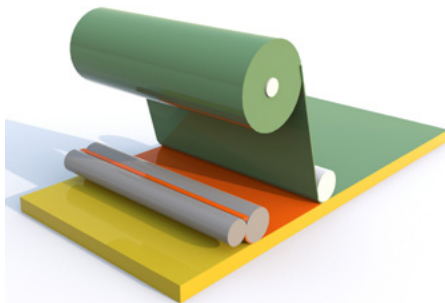
Per l'incollaggio con termofusibili, dato che incollano per raffreddamento, uno dei parametri che deve essere sempre tenuto in considerazione è la temperatura del supporto. Esso, infatti, deve essere preriscaldato con lampade IR o riscaldatori ad aria calda prima della zona di rivestimento, in modo da evitare il raffreddamento immediato dell'adesivo a contatto con il supporto freddo. La temperatura consigliata è tra i 45°C e 55°C o, comunque, secondo quanto indicato nella scheda tecnica dell'adesivo utilizzato.

5.1.3.1 Calandre per l'applicazione del decorativo1D, impianti e processi

La calandra viene utilizzata per processi in continuo, soprattutto con materiale in bobina. La pressatura a rulli (calandra) è una soluzione per molte produzioni, specialmente dove viene usato un adesivo termofusibile. Per questi adesivi non si rende necessario un lungo tempo di pressatura, ma spesso è sufficiente un veloce passaggio fra due o più rulli a temperatura ambiente.

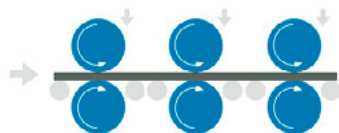


■ Figura 104 – Calandra con spalmatura con testa piana a caldo (Slot Nozzle)



■ Figura 105 – Calandra con spalmatura adesivo sul pannello e decorativo in bobina

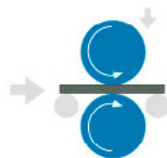
Grazie a questa unità, le linee che impiegano adesivi termofusibili possono realizzare produzioni “just in time” con velocità che raramente sono inferiori ai 5 m/min. Anche nel caso di adesivi a base di dispersioni acquose è possibile impiegare sistemi a calandra; occorre però considerare che è necessario passivare inizialmente la linea adesiva con dei forni e riscaldare i rulli della pressa per favorire l’evaporazione dell’acqua e ottenere un’adeguata asciugatura dell’adesivo.



■ Figura 106 – Calandra a più rulli



■ 107 – Calandra a due rulli riscaldata



Zona di pressatura/rivestimento:

Dopo l'applicazione dell'adesivo si procede alla pressatura. Il decorativo potrebbe essere in fogli (tagliato a misura del pannello) o in bobina. Anche la pressatura viene eseguita con impianti diversi a seconda del tipo di decorativo e adesivo utilizzato.

Nobilitazione con fogli e materiali a misura

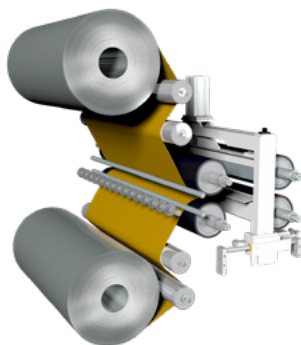
I materiali decorativi in fogli possono essere movimentati e accoppiati al pannello spalmato di adesivo con sistemi manuali o automatici in base alla linea produttiva.



■ Figura 108 – Caricatore per materiale in fogli

Nobilitazione con materiale in bobina

I decorativi in bobina, vengono applicati al supporto e tagliati prima o dopo la pressatura con sistemi manuali o automatici a seconda della linea produttiva.



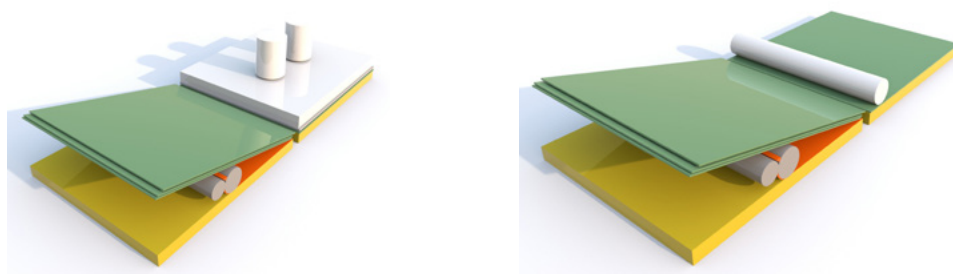
■ Figura 109 – Aspo porta bobine con svolgitore inferiore / superiore con taglio in corsa

5.1.3.2 Presse statiche

In linea generale, il processo che utilizza presse statiche prevede la seguente disposizione iniziale:

- l'adesivo è preferibilmente applicato su entrambe le facce del pannello (MDF, truciolare, ecc.). Nobilitare una sola facciata del supporto potrebbe infatti generare delle tensioni con il conseguente incurvamento del pannello.
- il rivestimento (piallaccio, laminato, foglia polimerica, ecc.) viene appoggiato sulle facce incollate.

L'azione fondamentale del processo è quella di esercitare la pressione minima necessaria affinché l'adesivo aderisca sia sul supporto, sia sul decorativo.



■ Figura 110 – Pressa a freddo o caldo a seconda del tipo di adesivo utilizzato

CALCOLO DELLA PRESSIONE

In generale, le pressioni necessarie per ottenere un semilavorato di adeguata qualità sono le seguenti:

Decorativi	Pressione [kg/cm ²]
Impiallacciatura (sp. 0,6 – 0,8 mm)	2-4
Laminati (sp. 1 mm)	1-2
CPL	2-3
HPL	1-2
PVC-PET-PMMA-ABS (sp. 1 – 1,5mm)	1-2
Tamburato (cartella esterna sp. 3 - 8 mm)	1,5*

* maggiore pressione potrebbe segnare il telaio del tamburato

Conoscendo, quindi, la pressione da applicare (P_s) e la superficie massima del pannello (S), il tonnellaggio della pressa (T_p) è:

$$T_p = P_s \cdot S$$

$$[ton] = \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \cdot [cm^2] \cdot 10^{-3}$$

Ottenuto il tonnellaggio della pressa si usa la seguente formula per determinare uno dei seguenti parametri: diametro pistoni (d); il loro numero (n) o la pressione di funzionamento della centralina idraulica (P_i).

$$P_i = \frac{T_p}{A_c}$$

$$[bar] = \left[\frac{ton}{cm^2} \right] \cdot 10^3$$

Dove A_c è l'area totale dei cilindri in cm^2 :

$$A_c = n \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Di norma, i costruttori di presse stabiliscono una pressione idraulica massima di funzionamento e degli alesaggi di pistoni standard.

Un'altra accortezza adottata è quella di ottenere un interasse il più simile possibile sulla lunghezza e sulla larghezza della pressa. Questo guida la scelta del numero di pistoni.

Dai punti precedenti, si deduce che il numero di pistoni, l'alesaggio e la pressione della centralina sono combinati tra loro per ottenere un risultato ottimale.

Esempio:

1. Si devono produrre pannelli impiallacciati di dimensione 280x120 cm esercitando una pressione $P_s = 3 \text{ kg/cm}^2$.

Allora il tonnellaggio della pressa necessario è:

$$T_p = 3 \cdot 280 \cdot 120 \cdot 10^{-3} = 100,8 \text{ ton}$$

Considerando di avere una pressa con 6 pistoni $\varnothing 85\text{mm}$, allora la pressione idraulica di funzionamento è:

$$A_c = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} = 340,30 \text{ cm}^2$$

$$P_i = \frac{T_p}{A_c} = \frac{100800 \text{ kg}}{340,30 \text{ cm}^2} = 317 \text{ bar}$$

2. Ipotizzando di avere una pressa con 6 pistoni Ø85mm ed una pressione idraulica massima $P_i = 350$ bar, allora la pressione applicabile sul pannello di dimensioni 280x120 cm (33.600 cm²) è:

$$T_p = P_i \cdot A_c = P_i \cdot n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 350 \cdot 6 \cdot \frac{\pi \cdot 8,5^2}{4} \cdot 10^{-3} = 119 \text{ ton}$$

$$P_s = \frac{T_p}{S} = \frac{119000 \text{ kg}}{33600 \text{ cm}^2} = 3,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

NB: le formule ed i calcoli sopra riportati sono adeguati solo per presse con cilindri semplice effetto (chiusura piano pressa dal basso verso l'alto).

TIPOLOGIE DI PRESSE

In funzione della tipologia del decorativo, dell'adesivo e della produttività richiesta, si adotta la tipologia di pressa più appropriata (Figura 111).

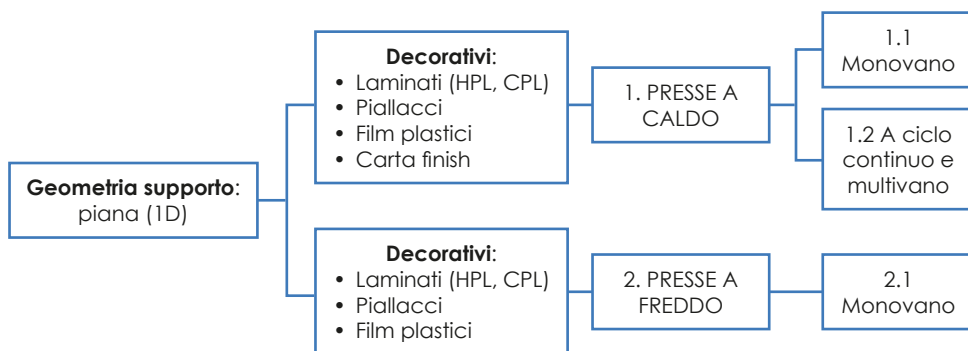


Figura 111 – Presse per nobilitazione 1D

NB: la scelta della pressa non è influenzata dalla tipologia del supporto. Si sottolinea, d'altra parte, l'importanza della qualità sia del decorativo, sia del supporto.

PRESSE A CALDO

I piani delle presse a caldo possono essere di diverse tipologie costruttive:

- Piani in acciaio assemblato a serpentina: la serpentina è realizzata in tubolari e costituisce il circuito di riscaldamento. Questa viene racchiusa tra due lamiere d'acciaio e dal lato a contatto con i pannelli viene applicato un foglio d'alluminio per migliorarne il grado di finitura e la propagazione del calore. La pressione

massima di utilizzo è 3-5 kg/cm². Oltrepassare questo limite potrebbe portare alla deformazione del piano, compromettendone il successivo utilizzo.

- Piani in acciaio massiccio forato: sono ricavati da una unica lastra in acciaio, lavorata da macchina utensile, per ottenere una planarità e finitura ottimale. La foratura di passaggio del fluido riscaldante viene realizzata al suo interno. La pressione specifica di lavoro è di massimo 30 kg/cm². Questa è, indubbiamente, la migliore tipologia di piano disponibile ed è la più idonea alla produzione anche di tamburati. Per la pressatura di laminati lucidi i piani vengono rettificati o rivestiti in acciaio inox.

Le presse possono utilizzare diversi fluidi di riscaldamento:

- Acqua: temperatura massima del fluido nel circuito 90°C; temperatura massima di lavoro sui piani circa 70°C.
- Olio diatermico: temperatura massima del fluido nel circuito 130°C; temperatura massima di lavoro sui piani circa 110°C.
- In caso di applicazioni speciali, dove le temperature di lavoro richieste sono maggiori, si possono utilizzare l'olio diatermico (con caratteristiche specifiche), oppure le resistenze elettriche. In questi casi, si possono raggiungere temperature massime di lavoro sui piani pressa intorno i 200°C – 230°C.

PRESSE A CALDO MONOVANO



Fig. 112 – Pressa a caldo monovano

Per la nobilitazione di piccole serie di pannelli, la soluzione normalmente più opportuna è la seguente:

- Pressa monovano (max. 2 o 3 vani);
- carico e scarico dei pannelli fra i piani pressa – gestione manuale;
- tipologia di piano in funzione del prodotto lavorato (piano a serpentina o forato)
- tipologia di riscaldamento in funzione del prodotto lavorato

PRESSE A CALDO MULTIVANO E A CICLO CONTINUO

Quando è necessario aumentare la resa produttiva, i parametri da considerare sono i seguenti:

- **decidere quali pistoni** sono da escludere o da utilizzare in modo parziale per effettuare il lavoro, in base alla pressione impostata dal quadro comandi
- **valutare la presenza di un gruppo di spazzolatura** interna ed esterna del tappeto di trasporto in pressa, per la rimozione di eventuali residui di polvere o residui di produzione
- **prevedere impiego di presse a ciclo continuo** (Figura 113): in tal caso, i pannelli vengono composti sul tappeto di preparazione e caricati, mentre la pressa è anch'essa provvista di un tappeto trasportatore che, terminato il ciclo di incollaggio, provvede allo scarico dei pannelli pressati e al simultaneo carico di quelli successivi. Appena il segnale di fine carico viene ricevuto, la fase di chiusura piani viene avviata e il nuovo ciclo di pressatura inizia in contemporanea alla preparazione del carico successivo.

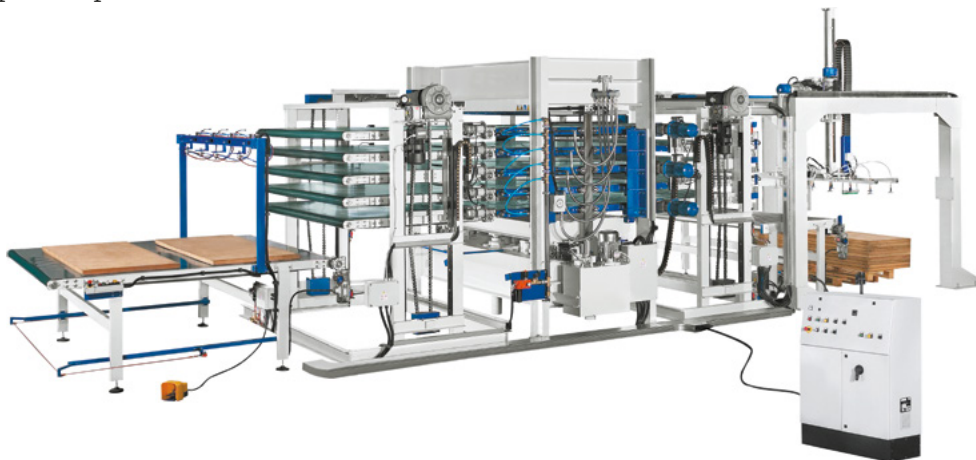
Altre caratteristiche di queste presse sono:

- dimensioni maggiori giustificate dal fatto che il carico e lo scarico è automatico;
- consentono di pressare anche più pannelli alla volta;
- sono caratterizzate da spinte massime ottenibili superiori
- sono caratterizzate dalla presenza di piani in acciaio massiccio forato
- sono munite di riscaldamento a olio ed acqua, selezionabile
- consentono di raggiungere velocità di apertura e chiusura pressa superiori
- sono munite di scanner posizionato fra tappeto di preparazione e pressa, utile all'identificazione della quantità, dimensioni e posizione dei pannelli pressati automaticamente



■ Figura 113 – Pressa a ciclo continuo

- **Prevedere impiego di presse multivano a chiusura simultanea** (Fig): il ciclo produttivo è lo stesso di quello descritto al punto precedente.
In questo caso, però, vengono preparati i pannelli in quantità pari ai vani della pressa e portati sul caricatore multivano.



■ Figura 114 – Pressa multivano a chiusura simultanea

Quando tutti i pannelli sono pronti, vengono caricati in contemporanea nella pressa, la quale si chiude e avvia il tempo ciclo.

Lo scarico avviene simultaneamente per tutti i vani pressa e prevede il carico in automatico dei pannelli successivi.

Altre caratteristiche di queste presse sono:

- Presenza di piani in acciaio massiccio forato
- Possibilità di selezionare tra le seguenti tipologie di riscaldamento: olio ed acqua.
- Prevedere impiego di Presse multivano a chiusura indipendente (Figura): in questo caso ogni pannello preparato viene caricato immediatamente nel vano pressa che, dopo chiusura prevede l'avvio del ciclo di pressatura.

Altre caratteristiche di queste presse sono:

- Presenza di piani in acciaio massiccio forato e assemblati, in funzione della pressione necessaria sul pannello.
- possibilità di selezionare la tipologia di riscaldamento: olio ed acqua



■ Figura 115 – Pressa multivano a chiusura indipendente

Le 3 tipologie di presse sopra descritte consentono una produttività sequenzialmente maggiore.

La scelta di un tipo o dell'altro è dettata da:

- Tempo di preparazione (tp): tempo necessario alla composizione del supporto incollato con il decorativo (manuale, semi automatica, completamente automatica)
- Tempo aperto dell'adesivo (ta): fare riferimento alla scheda tecnica dell'adesivo.
- Tempo chiuso dell'adesivo adesivo (tc): fare riferimento alla scheda tecnica dell'adesivo.

Qui di seguito si riportano alcune indicazioni che possono orientare l'utilizzatore nella selezione della tipologia di pressa più idonea:

Per determinare il numero di vani (Nv) necessario alla produzione specifica, è buona norma applicare la seguente regola:

$$Nv = \frac{t_c}{t_p} \geq 1$$

Invece, la scelta tra multivano a chiusura simultanea o indipendente dipende dai valori relativi di tempo aperto e tempo chiuso dell'adesivo. In generale:

- se $t_a > t_c$, la chiusura simultanea può essere sufficiente;
- se $t_a = t_c$, la chiusura a vani indipendenti è la scelta migliore.

Si riportano qui di seguito per esemplificazione alcuni casi comuni:

- Se $t_p = t_c$, allora la pressa a ciclo continuo (monovano) è sufficiente. Infatti, il tempo di preparazione sarà completamente mascherato dal tempo pressa, garantendo una produzione continua.
Ovviamente, ci si aspetta che $t_a \geq t_c$.
- Se, per ipotesi, $t_c = 4t_p$, allora servirà una pressa con $Nv = 4$.
 - Se $t_a > t_c$, allora la chiusura simultanea è sufficiente. Infatti, si ha il tempo di preparare 4 pannelli senza che l'adesivo secchi. Mentre i pannelli sono in pressa, si potrà preparare i pannelli successivi.
 - Se $t_a = t_c$, è necessaria la chiusura indipendente. Infatti, appena è pronto un pannello è necessario avere un vano pressa libero, così da poter caricare e iniziare la pressata. Così si procede a preparare i successivi 3 pannelli che si caricano di volta in volta, riempiendo così tutti i 4 vani. Il quinto pannello pronto verrà caricato nuovamente nel primo vano, perché sarà trascorso esattamente $t_c = 4t_p$.

Si deduce l'importanza dei valori dei tempi sopra descritti e la loro correlazione; la scelta della pressa è strettamente correlata a tali considerazioni.

Nel caso in cui si abbia a che fare con un adesivo che presenta caratteristiche al di fuori delle casistiche tradizionali, occorre adeguare il processo di preparazione e di pressatura e lavorare in stretto contatto con il produttore dell'adesivo.

PRESSE A FREDDO



■ Figura 116 – Presse a Freddo

È possibile lavorare anche con presse con i piani a temperatura ambiente o con impianti dedicati alla pressatura a freddo. I tempi di incollaggio variano, anche in questo caso, in funzione delle caratteristiche dell'adesivo. Utilizzando un adesivo con tempo aperto adeguato, è possibile preparare una pila di pannelli - tutti di dimensione uguale - per garantire l'uniformità della pressione. L'altezza della pila è determinata quindi dal tempo di preparazione e dal tempo aperto dell'adesivo. Con le giuste considerazioni, una pressa idraulica a freddo può essere performante produttivamente quanto o più di una pressa a caldo. È necessario però sottolineare che, producendo in pila, le presse a freddo si addicono alla pressatura di materiali sufficientemente rigidi, così da impedire eventuali grinze durante la composizione e la pressatura.

Quando si lavora con le presse a freddo è sempre buona norma lavorare con l'ausilio di un pannello così detto martire, per preservare l'integrità e la qualità dei pannelli a contatto diretto con i piani della pressa. Infatti, il piano inferiore è sempre in travi con la possibilità di alloggiare dispositivi che aiutino il carico e lo scarico (manuale o automatico) della pila. Il pannello che si trova sotto pressione a contatto con il piano inferiore, quindi, potrebbe rovinarsi; il pannello martire, invece, lo protegge. Il piano superiore è spesso ricoperto in lamiera così che la superficie risulti liscia. In caso contrario, è opportuno usare un pannello martire anche in cima alla pila.

CONSIGLI DI UTILIZZO

- Al presentarsi di eventuali difetti di pressatura, o rivestimenti non perfettamente incollati, consultare la scheda tecnica dell'adesivo e verificare:
- il tempo del ciclo di pressatura;
- la temperatura di lavoro;
- la pressione esercitata: la pressione di lavoro è influenzata anche dalla qualità dei materiali in ingresso. Per esempio, un supporto non calibrato o un piallaccio non supportato potrebbero necessitare una pressione maggiore;
- l'efficienza del circuito di riscaldamento e dei piani caldi della pressa, verificando che sui piani non si rilevino zone fredde;
- lo stato dei piani: l'eventuale deformazione di uno dei piani della pressa, dovuta ad un utilizzo improprio, può dare origine a difetti di pressatura. È necessario coprire tutti i pistoni della pressa a ogni pressatura, coprendo almeno l'80% della superficie dei piani. In caso contrario, è necessario escludere le coppie di pistoni non coperte, o aggiungere pannelli di compensazione.
- la finitura dei piani pressa e la loro pulizia, soprattutto quando il decorativo da applicare al supporto è particolarmente delicato. Per agevolare la manutenzione, i piani possono essere rivestiti con materiali antiaderenti (Mylar, vetro-teflon, ecc.) ed intercambiabili.

Di seguito si riportano due tabelle con i valori indicativi di tempo, temperatura e pressione per le diverse tipologie di decorativi.

Tabella 54 • Parametri di pressatura a caldo per i diversi decorativi

Decorativi per pressatura a caldo	Tempo di pressatura* [min]	Temperatura piani pressa* [°C]	Pressione* [kg/cm ²]
Piallaccio (0,6 – 0,8 mm)	2 – 4	80	2-4
CPL < 0,6 mm	1 – 3	50 - 80	2-3
HPL	1 – 3	50 - 80	1-2
PVC-PET-PMMA-ABS (1-1,5 mm)	1 – 3	50 - 80	1-2
Carta (≈ 0,4mm)	1 – 2	50 - 80	10
Carta (> 0,4mm)	2 – 3	50 - 80	5

**il tempo, la temperatura e la pressione riportati sono indicativi. Fare sempre riferimento alla scheda tecnica dell'adesivo.*

Tabella 55 • Parametri di pressatura a freddo per i diversi decorativi

Decorativi per pressatura a freddo	Tempo di pressatura* [min]	Pressione* [kg/cm ²]
CPL < 0,6 mm	30	1 - 2
HPL	30	1 - 2
PVC-PET-PMMA-ABS (1-1,5 mm)	30	1 - 2

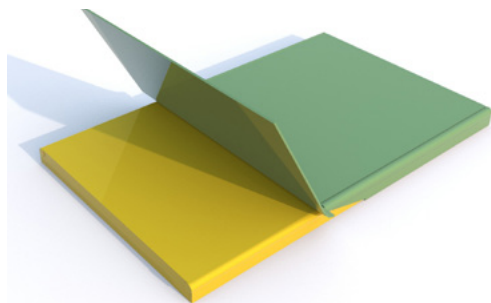
*il tempo, e la pressione riportati sono indicativi. Fare sempre riferimento alla scheda tecnica dell'adesivo.

Se dopo la fase di calandratura si manifesta la necessità di pressare ulteriormente, viene aggiunta una pressa multivano, mettendo in linea i due impianti visti sopra (Figure 115 e 116). La pressa impiegata sarà a freddo a ciclo continuo, con un vano o più vani a seconda della velocità di lavorazione

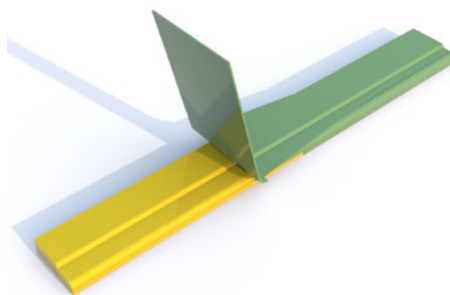
5.2 Processo 2D

Nel processo 2 D sono comprese due tipologie di manufatti con caratteristiche molto simili, ma diverse per dimensioni:

- pannelli, che vengono nobilitati sia sulla parte piana sia sul bordo
- profili di varie geometrie, come cornici, battiscopa, stipiti per porte ecc.



■ Figura 117 – Pannello 2D rivestito

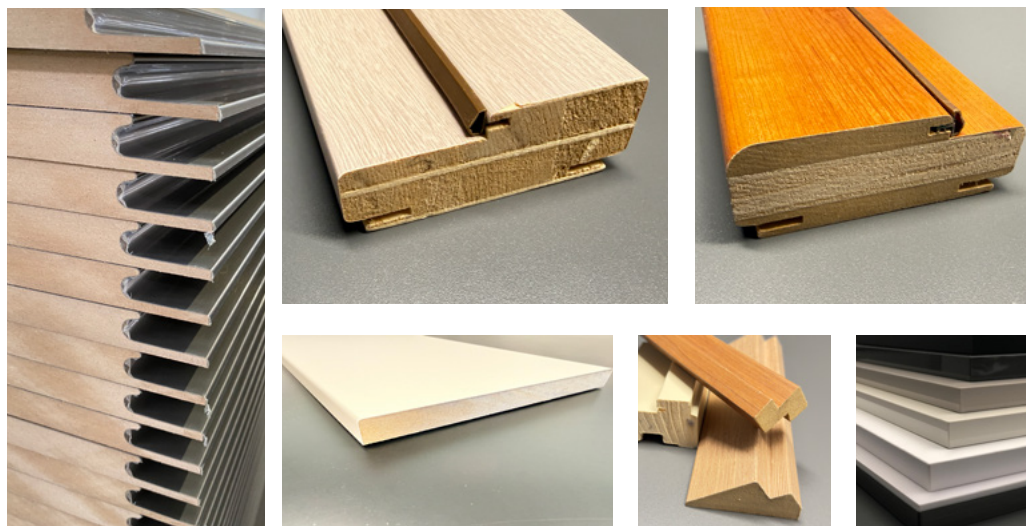


■ Figura 118 – Profilo rivestito

In questa lavorazione, la spalmatura dell'adesivo viene eseguita in diversi modi a seconda se il materiale è in fogli o in bobina.

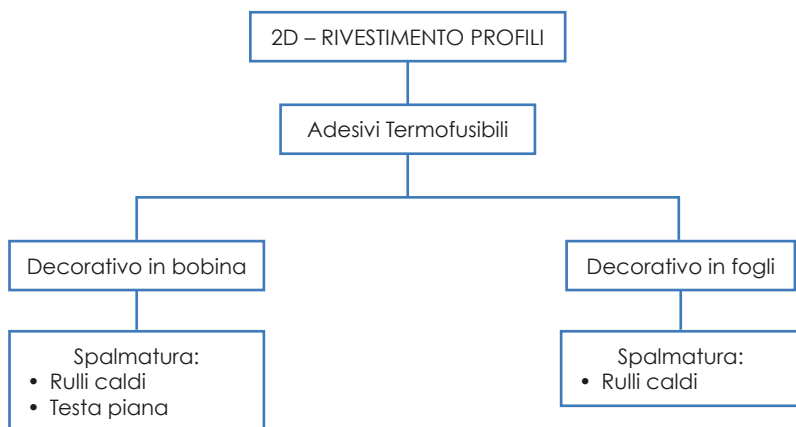
Nell'ambito di questa applicazione, il termine “materiale in fogli” identifica un piallaccio che può essere fornito in strisce – tipologia ancora utilizzata in alcune lavorazioni – oppure, più comunemente, in formato bobina.

Il processo di pressatura è articolato in più fasi: inizialmente il rivestimento è applicato mediante rulli piani sulla superficie, di seguito viene effettuata una pressatura del rivestimento sui bordi tramite rulli sagomati di dimensioni ridotte, per conformarlo al profilo del pannello.

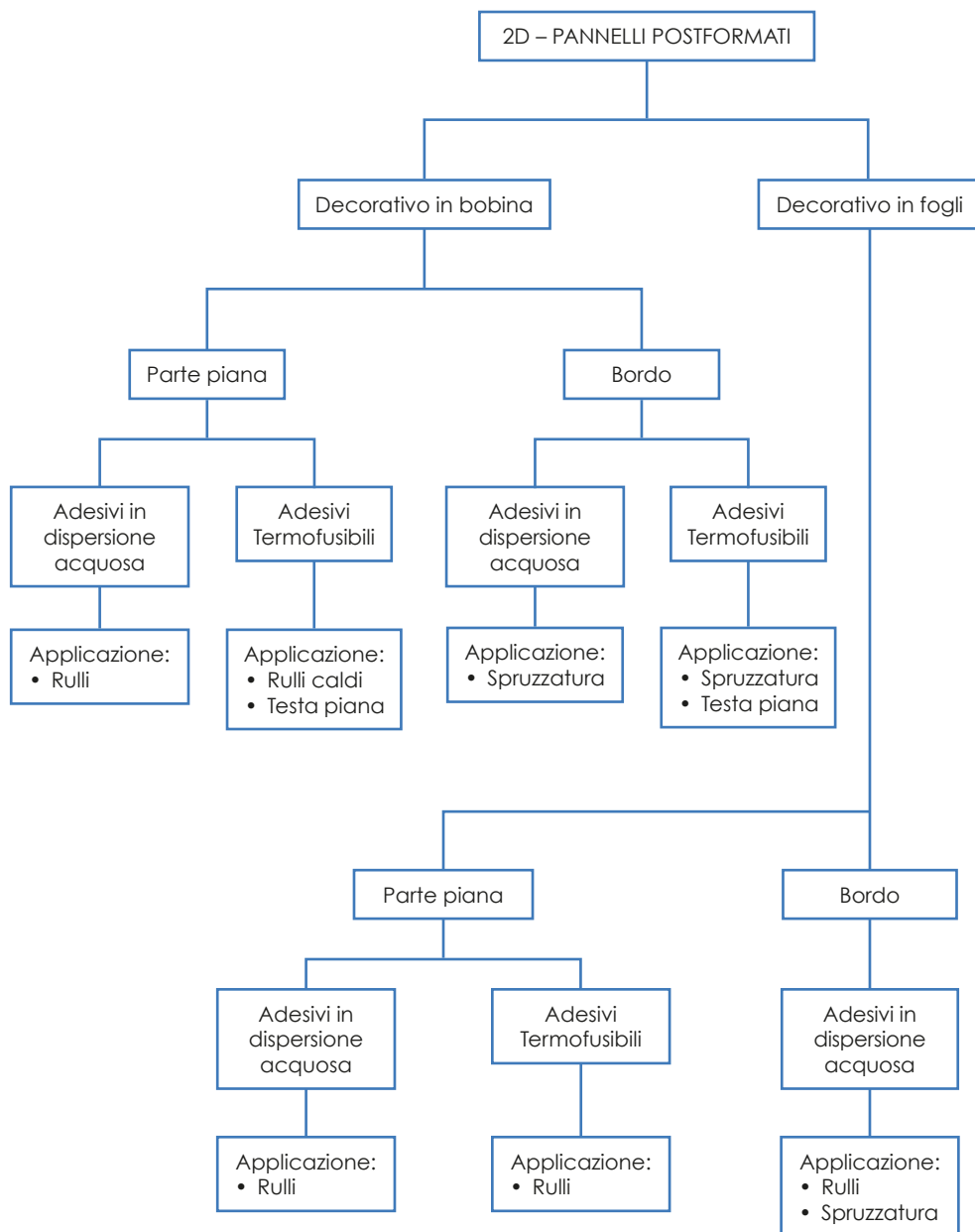


■ Figura 119 – Pannelli e profili rivestiti 2D

Schema 7 - Processo 2D – Rivestimento profili



Schema 8 Processo 2D – Pannelli postformati



L'entrata e uscita del materiale, possono essere gestite con sistemi automatici di carico e scarico, o manualmente specie nel caso di macchine per il rivestimento di profili.

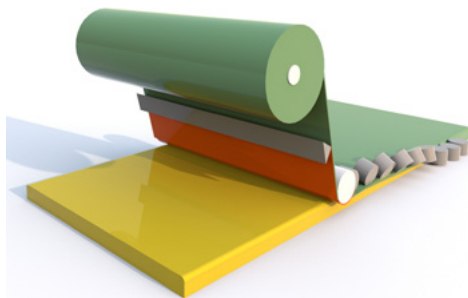


Figura 120 – Calandra con pressatura anche dei bordi

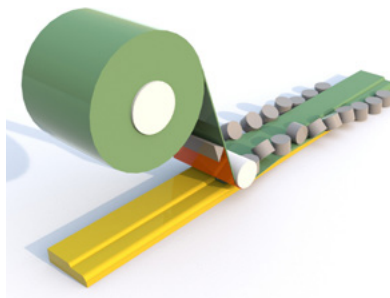


Figura 121 – Rivestimento di profili

5.2.1 Preparazione del supporto

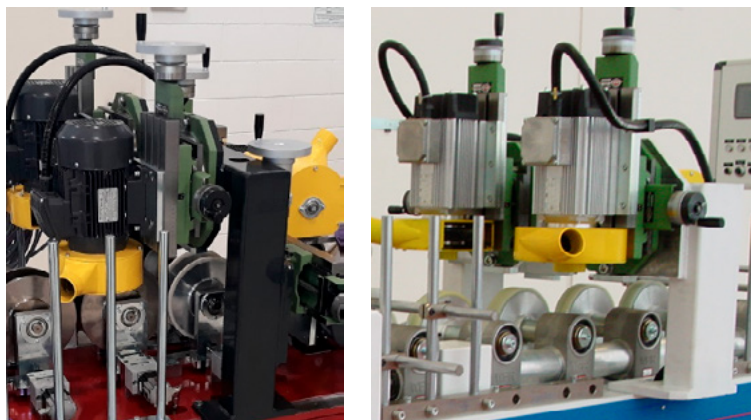
In caso di finiture lucide o di rivestimenti sottili, le superfici dei pannelli possono necessitare di una levigatura in linea con il ciclo produttivo di incollaggio. Si rimanda la trattazione allo specifico capitolo 4.1.

Come visto nel processo 1D, anche nella nobilitazione 2D il profilo deve essere inizialmente spazzolato. Inoltre, con l'utilizzo di adesivi termofusibili e in dispersione acquosa, il pannello/profilo deve essere preriscaldato con lampade IR o riscaldatori ad aria calda prima della zona di rivestimento, in modo da evitare lo shock termico dell'adesivo al contatto con il supporto. La temperatura consigliata per gli adesivi termofusibili è compresa tra i 45° e 55 °C o, comunque, secondo quanto indicato nella scheda tecnica dell'adesivo utilizzato.

Il riscaldamento del profilo deve essere mantenuto anche nella zona di rivestimento dei bordi con riscaldatori ad aria calda.

Per gli adesivi in dispersione acquosa, il trattamento termico viene generalmente effettuato durante la fase di pressatura. Tuttavia, in determinate condizioni di processo, può rendersi necessaria la passivazione dell'adesivo mediante l'impiego di lampade a infrarossi (IR) prima della pressatura.

Nel caso di impiego di supporti con una bassa energia superficiale, come le plastiche, è normalmente necessario applicare preliminarmente un promotore di adesione.



■ Figura 122 – Spazzole per alluminio

5.2.1.1 Sistemi per l'applicazione del primer

Nel caso il profilo o il pannello da rivestire siano in WPC, PVC o alluminio verniciato si rende necessario un trattamento superficiale che vada a pulire il profilo/ pannello e ad aumentarne la bagnabilità mediante l'applicazione di appositi primer. L'applicazione del primer avviene nella fase iniziale dell'impianto dopo una pulizia, e un preriscaldamento del profilo/pannello quando necessari.

I sistemi di applicazione sono diversi, da manuale ad automatico con membrane o automatico con pompe o con sistemi VACUUM. La differenza tra i sistemi manuali e quelli automatici sta nella precisione del dosaggio. In particolare, con i primer di nuova generazione chiamati low VOC, che richiedono dosaggi tra 6 e 8 g/m², si rende necessario l'utilizzo dei soli sistemi automatici.



■ Figura 123 – Applicazione automatica del primer



■ Figura 124 – Applicazione del primer manuale

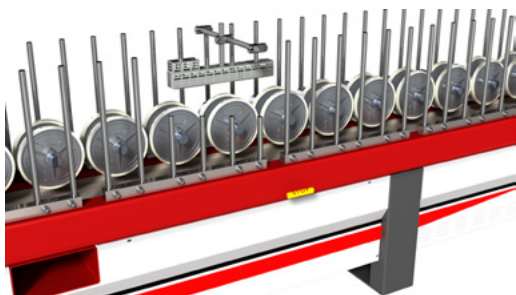
Sistemi di trattamento chimico- fisici (corona-Plasma)

In alternativa al primer possono essere utilizzati trattamenti chimico-fisici. Vedi capitolo 4.2

5.2.1.2 Preparazione dei rivestimenti

Per rendere più flessibile la foglia decorativa, specie nel caso di foglie polimeriche, ed aumentarne la bagnabilità si può installare, prima della testa piana (Slot Nozzle), una lampada IR/piastra riscaldante con sistema di regolazione automatica della temperatura con l'utilizzo di un pirometro senza contatto. In questo modo la foglia decorativa, in combinazione con l'adesivo, si riscalda divenendo più flessibile e quindi più facile da piegare, soprattutto con foglie rigide e geometrie difficili, o foglie come il CPL che sono per loro natura fragili.

Come visto precedentemente, il pannello/profilo deve essere preriscaldato con lampade IR o riscaldatori ad aria calda prima della zona di rivestimento, in modo da evitare lo shock termico dell'adesivo al contatto con il supporto



■ Figura 125 – Lampada IR preriscaldamento pannello e profilo

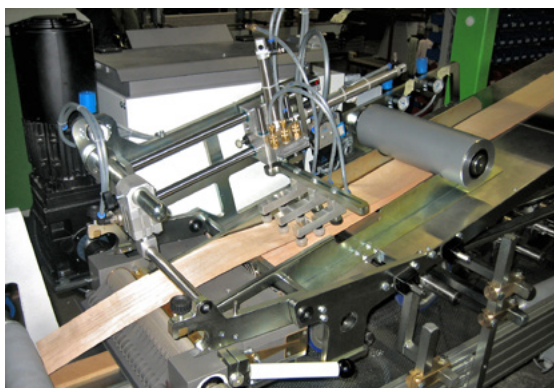
5.2.2 Sistemi e processi di applicazione degli adesivi

Per quanto riguarda l'applicazione dell'adesivo sulla parte piana, vedere paragrafi 5.1.2 in quanto il processo è simile a quello dell'1D.

Nella parte sagomata l'adesivo viene solitamente applicato sul decorativo con sistemi a testa piana o, come nel caso dei piani da cucina postformati, con sistema a spruzzo. Per casi particolari l'adesivo viene applicato con sistemi ibridi tra piano e parte sagomata. Ci sono macchine per il rivestimento dei profili dove l'adesivo viene applicato con un rullino, in quanto il decorativo è in strisce (esempio piallaccio). Alcuni di questi impianti sono stati ottimizzati nel corso degli anni per essere utilizzati anche per la spalmatura di materiale in bobina.



■ Figura 126 – Applicazione dell'adesivo con testa piana (Slot Nozzle)



■ Figura 127 – Applicazione dell'adesivo con il rullo

Per ottenere un adeguato incollaggio è necessario che la temperatura di tutto il sistema (profilo o pannello/adesivo/foglia) sia tra i 45° e i 55 °C o nell'intervallo di temperatura indicato nella scheda tecnica del produttore di adesivo. La distribuzione uniforme della temperatura adeguata evita uno shock termico e consente all'adesivo di penetrare nel supporto e favorire un incollaggio migliore.

Per rendere più flessibile la foglia decorativa ed aumentarne la bagnabilità si può installare prima dello slot di spalmatura una lampada IR/piastra riscaldante con sistema di regolazione automatica della temperatura con l'utilizzo di un pirometro senza contatto.



Figura 128 – Lampada IR preriscaldamento foglia

5.2.3 Sistemi di applicazione del decorativo

La scelta del decorativo da applicare è la parte importante del processo perché è quella che determinerà la finitura del manufatto, ma anche la scelta dell'adesivo da utilizzare. A seconda della tipologia di decorativo verrà scelto anche il tipo di adesivo e soprattutto le temperature di impiego.

Ci sono infatti dei decorativi come il PP sottile che sono molto sensibili alla temperatura; quindi, in questo caso vanno utilizzati degli adesivi con una temperatura di impiego attorno ai 100-110°C o minore.

Ci sono anche decorativi come i CPL, che a seguito del riscaldamento (80-120°C) necessario per essere piegati e non creare crepe, devono prevedere impiego di adesivi con una presa iniziale elevata ad alte temperature a fine macchina (45-55°C).

5.2.3.1 Sistemi per il rivestimento dei profili

Il rivestimento di profili (wrapping) è un procedimento mediante il quale una superficie decorativa viene laminata su un materiale portante di forma rettilinea.

La laminazione avviene con un'apposita macchina, appunto una macchina per il rivestimento di profili.

In settori diversi si usano nomi diversi, anche se, di fatto, ci si riferisce sempre allo stesso processo.

I materiali che possono essere rivestiti sono:

- Truciolari
- MDF
- Compensati
- Legno massello
- WPC
- PVC
- Alluminio

I decorativi possono essere:

- Carte finish
- Piallacci supportati
- Foglie polimeriche (PVC, PET, PP, ABS)
- CPL

Applicazione dell'adesivo termofusibile

Per il rivestimento di profili e derivati vengono utilizzati adesivi termofusibili (EVA, PO, HMPUR). Ci sono essenzialmente due tipologie di impianti per l'applicazione dell'adesivo termofusibile:

- impianti con spalmatura testa piana (Slot Nozzle)
- impianti a rullo



■ *Figura 129 – Impianti per l'applicazione di adesivi termofusibili nel rivestimento profili*

L'impianto può variare in lunghezza, in funzione della complessità dei profili da rivestire e delle foglie decorative da utilizzare. L'impianto è adatto per lavorare in continuo con decorativi in bobina. Ci sono delle macchine da rivestimento profili che hanno il rullo spalmatore per l'adesivo e in questo caso è possibile rivestire del materiale con fogli come i piallacci.

Normalmente una macchina per il rivestimento di profili è così costituita:

- caricatori automatici, se previsti
- guide ingresso profilo
- getti d'aria per la pulizia del profilo
- spazzole per la pulizia o eliminazione dell'ossido in caso di alluminio grezzo
- lampade o riscaldatori ad aria per la preparazione del profilo all'incollaggio
- gruppo fusione e spalmatura dell'adesivo termofusibile
- zona di pressatura con svariate ruote
- applicazione del protettivo
- taglierina
- scaricatori automatici, se previsti

Zona di rivestimento (se presente per il "postforming")

Dopo l'applicazione dell'adesivo si procede al rivestimento della parte sagomata attraverso una serie di ruote di varia forma, durezza, dimensione, seguite da un set up dedicato al tipo di sagoma.

I parametri rilevanti da monitorare in questa zona sono:

- la temperatura dell'adesivo: deve essere tra i 45°/55° o come consigliato dal produttore di adesivo utilizzato. In questa fase, soprattutto nel caso di setup particolarmente complessi, si utilizzano dei riscaldatori ad aria con bocchette in uscita sagomate per riscaldare la linea collante solo nella zona precedente all'incollaggio;
- assetto delle ruote pressanti: verificare che le ruote di pressatura abbiano la corretta pressione sul profilo per agevolare la penetrazione dell'adesivo.
- preparazione del decorativo: prima di iniziare il rivestimento va preparato anche il decorativo.
- valutazione reale della larghezza della bobina: per definire la larghezza del decorativo da utilizzare, si applica un pezzo di nastro adesivo di carta sulla parte da rivestire al fine di rilevare la reale larghezza della bobina di decorativo da tagliare (Figura 130).



Materiali occorrente per il calcolo larghezza decorativo



Stesura del nastro di carta sulla superficie da rivestire



Taglio delle parti eccedenti del nastro di carta (evidenziando solo parte da rivestire)

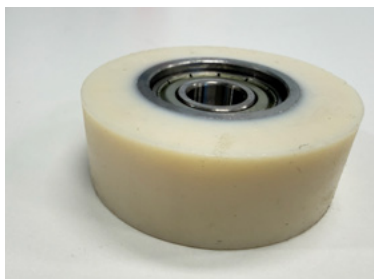


Misurazione del nastro della larghezza esatta della zona da rivestire

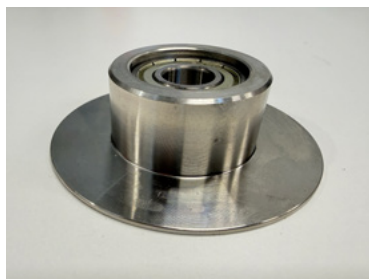
■ Figura 130 – Processo per il calcolo della larghezza del decorativo utile per il rivestimento del profilo

Tipologie di ruote di pressatura

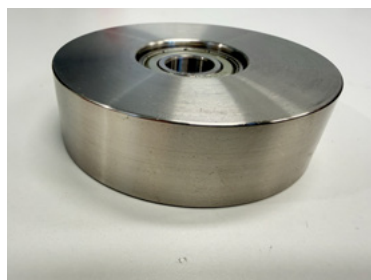
A seconda della geometria del profilo da rivestire e del decorativo, sono utilizzate diverse tipologie di ruote di pressatura. Le ruote sono diverse per geometria, durezza e natura (gomma e metallo). Di seguito sono presentate le varie tipologie di ruote sulla base della durezza Shore (scala A). In alcuni casi vengono utilizzate anche ruote in metallo.



Ruota in gomma



Ruota sagomata in metallo



Ruota in metallo



Ruota in gomma

■ Figura 131 - Tipologie di ruote di pressatura



Ruota di gomma morbida per geometrie complesse

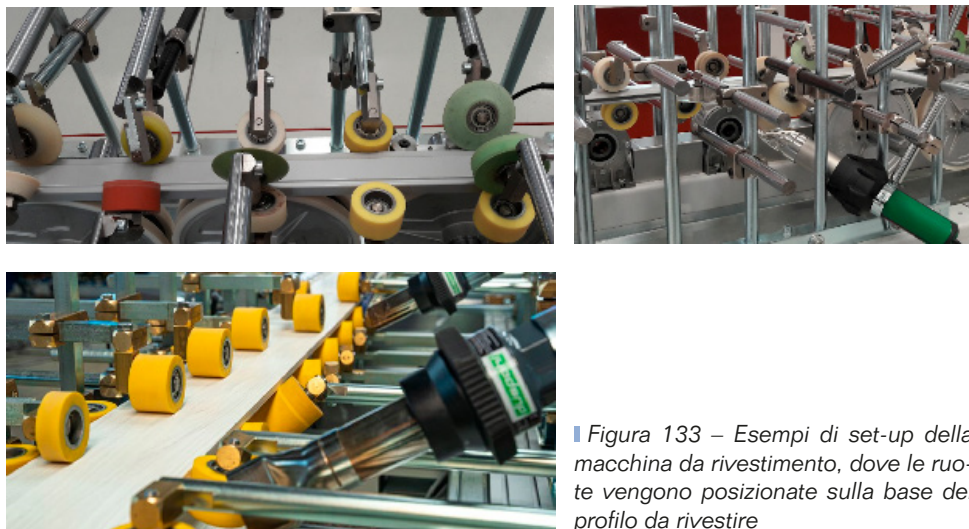


Ruota in gomma con durezza media (ruota standard)



Ruota in gomma con durezza medio alta

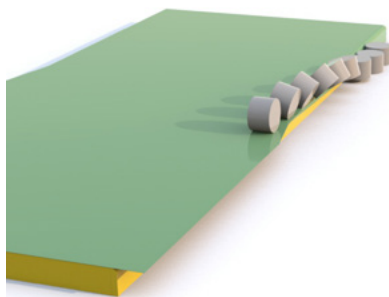
■ Figura 132 – Misura della durezza shore delle ruote di pressatura



■ Figura 133 – Esempi di set-up della macchina da rivestimento, dove le ruote vengono posizionate sulla base del profilo da rivestire

Zona uscita: in questa zona possono essere presenti delle guide di accompagnamento per facilitare l'avanzamento del profilo, oltre a sistemi di spazzolatura lineare — posizionati sia superiormente che inferiormente — equipaggiati con appositi detergenti per la rimozione delle impurità. La pulizia in uscita è molto importante in quanto la sovrapposizione dei profili nei bancali potrebbe creare delle ammaccature sugli stessi in caso di presenza di impurità, soprattutto con decorativi lucidi o super matt. Inoltre, la zona uscita è il punto importante dove l'operatore può fare il primo controllo qualità del manufatto. La presenza di eventuali scaricatori automatici consente l'ottimizzazione della produzione.

5.2.3.2 Sistemi per la postformatura (Postforming)



■ Figura 134 – Postforming

La tecnologia del postforming viene utilizzata soprattutto nella produzione di piani di lavoro come i piani di lavoro delle cucine e i piani delle scrivanie, dove viene utilizzato come materiale di rivestimento l'HPL (in virtù delle sue caratteristiche di grande resistenza all'usura).

Il processo prevede che l'HPL venga incollato sul pannello piano, facendo rimanere una parte del decorativo sporgente, sufficiente a rivestire il lato del bordo.

Gli adesivi utilizzati per l'incollaggio del decorativo sul piano sono adesivi a base di PVAc con un'ottima resistenza all'acqua come i D3 o i D4.

Dopo l'operazione di rivestimento con il decorativo, il pannello transita in una macchina denominata postformatrice. Normalmente, tra la fase di rivestimento del piano con il decorativo e quella di postformatura, è necessario che trascorra un tempo sufficiente (a volte delle ore) in modo tale che la presa dell'adesivo sia sufficiente ad evitare il distacco del decorativo durante la fase di piegatura dell'HPL sul bordo.

All'ingresso del pannello nella postformatrice, il decorativo viene riscaldato mediante lampade a infrarossi (IR) per consentirne la termoformatura. In parallelo, un adesivo vinilico viene applicato a spruzzo sia sulla superficie del pannello sia sul lato interno del foglio HPL. Segue una parziale asciugatura, tramite ulteriori lampade, dello strato di adesivo applicato e successiva formatura del decorativo sul bordo mediante rulli pressori dedicati.



■ Figura 135 – Esempio di riscaldamento HPL in post-formatrice



■ Figura 136 – Fase di piegatura del HPL con rulli di gomma

Impianti accessori

Di seguito vengono elencati alcuni impianti complementari e gruppi funzionali che possono essere integrati nella linea di rivestimento.

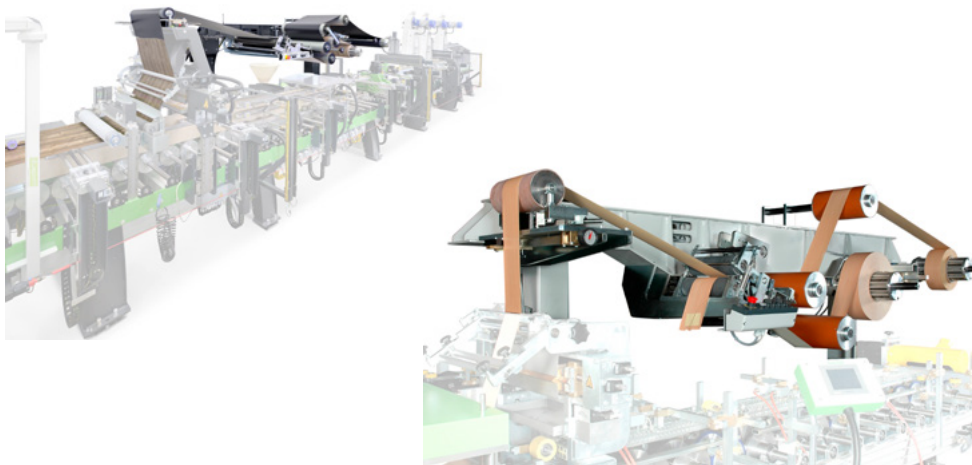


■ Figura 137 – Sistemi di pre-riscaldamento del decorativo

PRERISCALDAMENTO DEL DECORATIVO

I sistemi di riscaldamento installati sul gruppo spalmatore hanno lo scopo di preriscaldare il decorativo prima di applicare l'adesivo. In questo modo l'adesivo non avrà un decadimento della temperatura brusco e così non verrà compromesso l'incollaggio.

GIUNTAFOGLIA

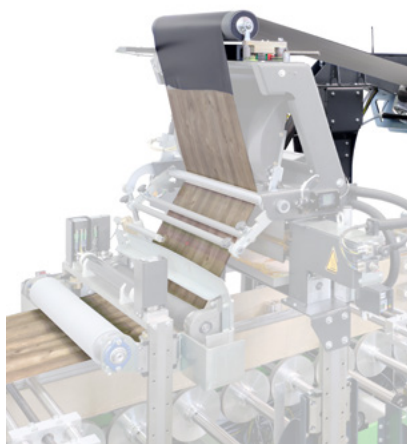


■ Figura 138 – Giuntafoglia automatico

In caso di lavorazioni di lotti con lo stesso pannello in cui vi è la necessità di utilizzare più bobine dello stesso colore o di colori diversi, si può installare un giuntafoglia semiautomatico. Tale dispositivo evita fermi produttivi anche parziali. Infatti, questo accessorio, grazie a una determinata sequenza di lavoro, permettere di unire (solitamente mediante nastro adesivo) due decorativi, quello in lavorazione con quello in stazionamento pronto per il cambio. Una volta uniti i due decorativi, una lama taglia il decorativo che era in lavorazione, permettendo così il cambio bobina, senza dover interrompere la produzione, con conseguente ottimizzazione dei tempi di produzione e dei materiali impiegati.

GUIDABORDI

Il sistema compensa la deriva delle bobine riavvolte telescopicamente (sconatura) in modo che il decorativo copra l'area di rivestimento designata sul profilo. Questo sistema permette, nel caso di decorativi a filo profilo senza rifilatura, di poter avere una finitura migliore.

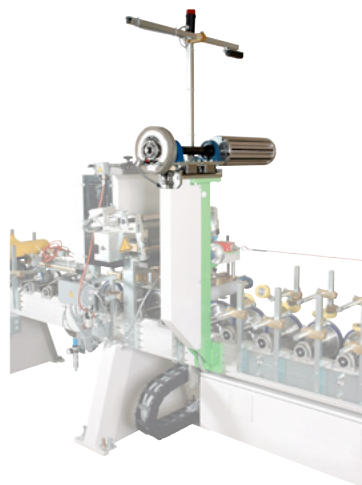


■ Figura 139 – Guidabordi

SISTEMA DI TENSIONATURA AUTOMATICA DEL DECORATIVO

Il sistema installato sullo svolgitore del decorativo permette di controllare automaticamente la tensionatura della foglia al variare del diametro della bobina, mantenendo la stessa tensione dall'inizio alla fine del rotolo.

La tensione omogenea della bobina evita il rischio di formare grinze, battute ecc. sul profilo.



■ Figura 140 – Sistema di tensionatura automatica del decorativo

TAGLIO AL VOLO IN USCITA

Questo impianto complementare consente di lavorare a velocità sostenute (maggiore di 30 m/min) in quanto divide i pannelli rivestiti in uscita. Il taglio viene effettuato tramite una lama rotante che separa i pannelli, tagliando decorativo e pannello. Normalmente questi impianti vengono utilizzati su linee con carico e scarico automatici dove diventa fondamentale separare i profili automaticamente.



■ Figura 141 – Taglio al volo

TAGLIERINE PER DECORATIVO

Per il rivestimento il decorativo viene fornito in bobine di larghezza di 670 mm o 1.440 mm. Si rende pertanto necessario tagliarlo a larghezze differenti, in particolare modo per le macchine di rivestimento dei profili.

A tal fine si utilizzano delle macchine di taglio manuali o automatiche. La differenza consiste nella tempistica di setup, nella velocità massima di lavoro, nel controllo automatico della frenatura, nella precisione della larghezza di taglio e nella tensione della foglia.

Concettualmente entrambi gli impianti prevedono le seguenti fasi di lavoro:

- Posizionamento delle lame e controlame circolari in funzione delle larghezze da tagliare (una in modo manuale e l'altra in modo automatico)
- Posizionamento della bobina madre sull'albero svolgitoro
- Posizionamento dei cartoni a misura per la foglia tagliata da riavvolgere
- Inizio del taglio con posizionamento dei lembi tagliati sui cartoni degli avvolgitori.
- Taglio completo della bobina
- Rimozione dagli avvolgitori delle bobine tagliate a misura

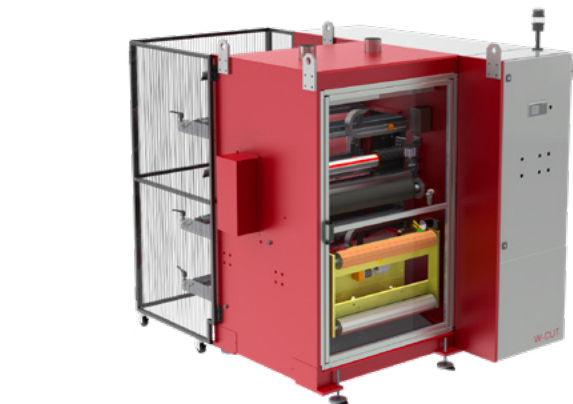


Figura 142 – Taglierina manuale



Figura 143 – Taglierina automatica

5.2.3.3 Presse a membrana per la formatura 2 D

Nella produzione di pannelli in 2D, esistono delle lavorazioni in cui non solo una parte del rivestimento viene piegata sul bordo, ma anche la parte applicata sul piano viene sagomata. In questo caso vengono utilizzate delle presse a membrana in grado di effettuare la pressatura del rivestimento su pannelli curvi, su supporti con bordi arrotondati o con sagome in rilievo.



Figura 144 – Nobilitazione 2D

La scelta della pressa dipende dai seguenti fattori:

- geometria del pannello,
- tipologia del decorativo,
- produttività richiesta,

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. 56 sono indicati i criteri di impostazione delle presse in funzione del decorativo impiegato.

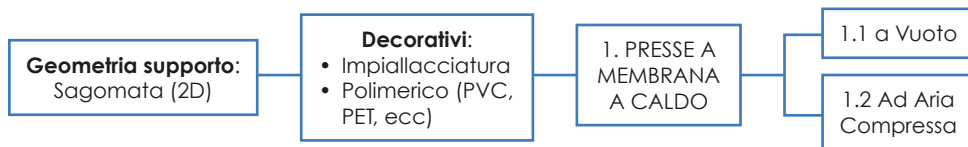


Tabella 56 • Criteri di impostazione delle presse

Decorativo	1.1 Presse a Vuoto	1.2 Presse ad Aria Compressa
Piallacci	0.8 kg/cm ²	4 – 8 kg/cm ²
Film plastici	0.8 kg/cm ²	4 – 8 kg/cm ²



Figura 145 – Presse a membrana a caldo manuali

PRESSE A MEMBRANA A CALDO A VUOTO

Il vano di lavoro di queste presse è costituito da un piano d'appoggio realizzato con materiale isolante di tipo fenolico o di alluminio.

Sulla superficie del piano di lavoro viene realizzato un reticolo di canali per consentire l'estrazione dell'aria dalla camera di lavoro quando si applica il vuoto.

Il pannello sandwich, costituito dal supporto accoppiato al decorativo, viene appoggiato al piano di lavoro con l'eventuale contro-sagoma.

Il telaio porta membrana viene chiuso sopra il pezzo, affinché la membrana copra il pannello.

Azionato il circuito del vuoto e raggiunto il valore desiderato, ossia la pressione di incollaggio desiderata, si chiude anche la cappa riscaldante.

A seconda della resa produttiva desiderata si possono scegliere presse a uno o due vani di lavoro.

Nel secondo caso, i due piani d'appoggio con relativo telaio porta membrana, sono montati specularmente ad un bancale rotante e la cappa di riscaldamento costituisce, essenzialmente, il basamento della pressa stessa. Inoltre, sono presenti due circuiti del vuoto indipendenti.

Il processo di lavorazione risulta il seguente:

- sul piano di lavoro esterno si procede allo scarico del pannello pronto ed alla preparazione del successivo;
- contemporaneamente, il pannello sul piano di lavoro all'interno della macchina viene pressato.
- al termine del ciclo di pressatura, il piano ruota (manualmente o in automatico) in modo tale da consentire lo scarico del pannello appena pressato e il contemporaneo inizio di pressatura del nuovo pannello.

Utilizzando piallacci si possono rivestire pannelli in MDF o multistrato anche curvi, solitamente di altezza massima di 500 mm, contro-sagoma inclusa.

In generale, le presse che sfruttano il vuoto sono adatte alla nobilitazione di pannelli sagomati, ma a geometria semplice. Aiutano l'operatore a svolgere un lavoro realizzabile anche manualmente.

I parametri del ciclo di lavoro (pressione, temperatura e tempo) dipendono dall'adesivo utilizzato. È quindi sempre necessario consultare la scheda tecnica dell'adesivo.

Tabella 57 • Caratteristiche delle presse a membrana a caldo a vuoto per 2D

valore di vuoto massimo	<1atm
pressione massima applicabile sul pannello	≈0.8 – 0.9 kg/cm ²
temperatura massima	100°C, sistema di riscaldamento a resistenze (trasmissione del calore per convezione)
Altezza massima processabile	≈500mm contro-sagoma inclusa

Si sottolineano inoltre i seguenti aspetti:

- **contro-sagoma:** è un supporto modellato secondo la geometria del pannello. Il suo utilizzo è fondamentale per garantire che il pannello, sotto pressione, non si deformi o si rompa.
- **geometria del supporto e della contro-sagoma:** è importante che non ci siano spigoli vivi o sottosquadri o angoli troppo netti. Per avere una buona qualità sul prodotto finito, la membrana deve essere in grado di aderire e seguire bene il profilo del pannello. Una geometria “morbida” favorisce la qualità del risultato.
- la scelta tra le due tipologie di presse, mono o a doppio vano, dipende dal tempo aperto e dal tempo chiuso dell’adesivo, oltre che dal tempo di preparazione del pannello. Se tali valori risultano sostanzialmente allineati, la pressa a doppio vano rappresenta l’opzione più adatta dal punto di vista operativo.

Per la preparazione dei materiali e l’applicazione e scelta dell’adesivo più idoneo si rimanda al capitolo successivo.

PRESSE A MEMBRANA A CALDO AD ARIA COMPRESSA

Per impianti di pressatura con produttività più elevata, quali le presse a membrana a caldo ad aria compressa, si rimanda al capitolo 5.3 Processo 3D.

5.3 Processo 3D

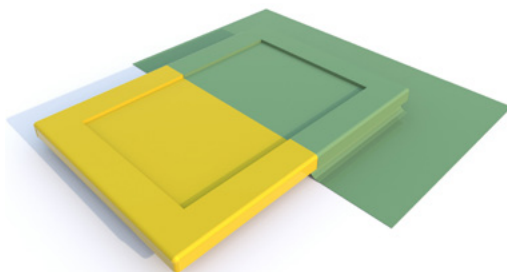


Figura 146 – Processo 3D



Figura 147 – Esempi di nobilitazione 3D

Per nobilitazione 3D si intende il processo di incollaggio del materiale decorativo sulla superficie superiore del pannello e sulle superfici laterali. In questa configurazione non è necessaria la successiva operazione di bordatura, poiché il rivestimento risulta continuo e privo di interruzioni visibili tra la parte piana, i bordi e gli angoli del pannello. Il processo di termoformatura 3D avviene attraverso le seguenti fasi:

1. preparazione del supporto: sezionatura, pantografatura e levigatura;
2. applicazione dell’adesivo tramite spruzzatura su piano e bordi, manuale o automatica;
3. asciugatura dell’adesivo all’aria o in forni di passivazione;

4. applicazione del rivestimento decorativo sul supporto tramite impianto di pressatura 3D;
5. rifilatura dei pezzi rivestiti: i pannelli appena pressati vengono ribaltati (lato non rivestito rivolto verso l'alto) e con la rifilatrice viene rimosso il rivestimento termoplastico eccedente. I manufatti vengono poi spazzolati ed accatastati.

5.3.1 Preparazione dei supporti

Il supporto è generalmente costituito da elementi di MDF ottenuti da pannelli nobilitati melamminici sul lato inferiore, tagliati su sezionatrice e a controllo numerico computerizzato (CNC). In alternativa alle sezionatrici è possibile lavorare i pannelli su macchine nesting in grado di suddividere i pannelli in modo più efficiente, riducendo conseguentemente gli sprechi di materiale. In alcuni casi, per produrre elementi quali ante a telaio, il supporto consiste di due pannelli di MDF pre-accoppiati a sandwich, quindi lavorati su centro di lavoro CNC. Nel caso di supporti nobilitati melamminici su un lato, questi devono avere un pre-imbarcamento adeguato in modo da controbilanciare l'azione contraria del rivestimento dopo termoformatura (cfr. § 2.1.4 I pannelli melamminici).

Le superfici degli elementi da rivestire dovranno poi essere trattate con adeguati cicli di levigatura in funzione della qualità e della finitura del prodotto finale.

I componenti in MDF devono essere preparati con molta attenzione. La superficie deve essere assolutamente pulita e priva di polvere. Infatti, anche le minime contaminazioni o inclusioni di particelle di polvere possono presentarsi sulla superficie del film termoplastico decorativo dopo la laminazione.

5.3.2 Sistemi e processi di applicazione degli adesivi

5.3.2.1 Spruzzatura

Il processo di applicazione dell'adesivo nell'incollaggio 3D è un passaggio molto importante nella produzione di antine ed elementi in MDF che vanno poi ricoperti con rivestimento decorativo (tipicamente una foglia termoplastica).

L'applicazione può essere fatta a mano o in automatico ma sempre a spruzzo.

I manufatti pantografati hanno diverse superfici: piane, eventuali cave e bordi. Queste superfici possono necessitare di quantità e tipologia di adesivo diversi.

Generalmente il retro di queste antine è costituito da superficie melamminica.

Per permettere di gestire le superfici ci sono due cicli di spruzzatura (e conseguentemente linee di applicazione) diversi:

1. Applicazione di adesivo a spruzzo sui bordi in catasta e passivazione all'aria; successiva spruzzatura sul piano/cave in linea o in manuale e passivazione all'aria o in tunnel prima della pressatura;
2. Applicazione dell'adesivo contemporaneamente su bordi, cave e superfici in automatico direttamente in linea e passivazione in tunnel ad aria calda subito prima della pressatura.

L'applicazione manuale

L'applicazione manuale viene fatta con spruzzatura in cabina, dove l'adesivo viene applicato sia nella parte piana che nei bordi.



Figura 148 – Spruzzatura manuale dell'adesivo

Applicazione in impianti automatici

L'applicazione automatica viene eseguita su delle linee con speciali applicatori o robot in grado di spruzzare sia sulla parte piana che sulla parte dei bordi in maniera automatica e in continuo, prima della pressatura. L'applicazione automatica garantisce la costanza di applicazione e un minimo spreco di adesivo. Lo spreco di adesivo viene normalmente ridotto rispetto all'applicazione manuale, con conseguente risparmio. La lettura delle dimensioni (lunghezza e larghezza) e della posizione dei pezzi viene eseguita da una barriera di lettura in entrata alle macchine di applicazione dell'adesivo. L'applicazione dell'adesivo può essere eseguita in due fasi (prima bordo in catasta, quindi il piano), oppure in un'unica fase (bordo e piano contemporaneamente).

Linee con applicazione piano e bordo in due fasi

Composizione di una linea in due fasi:

1. cabina di applicazione a spruzzo bordi in catasta
2. trasporto di carico
3. spazzola di pulizia
4. spruzzatrice di applicazione adesivo sul top (parte sopra)
5. trasporto intermedio coperto
6. forno essiccazione
7. trasporto verso lo scarico finale del pannello

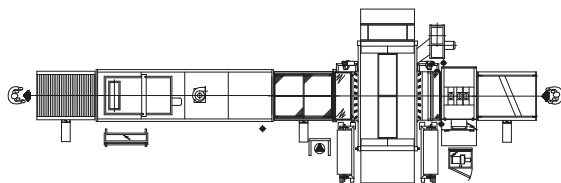


Figura 149 – Applicazione adesivo bordi

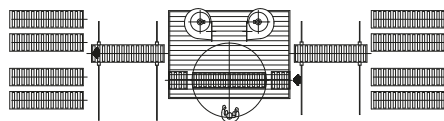
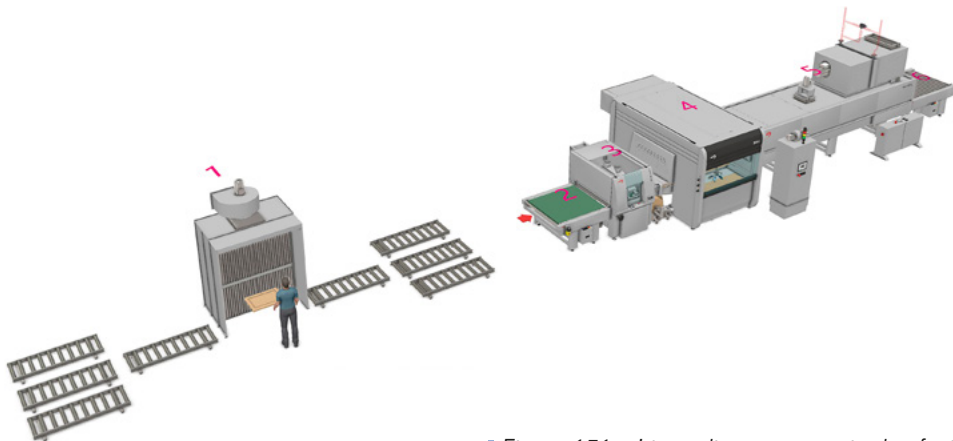


Figura 150 – Applicazione adesivo superfici/bordi

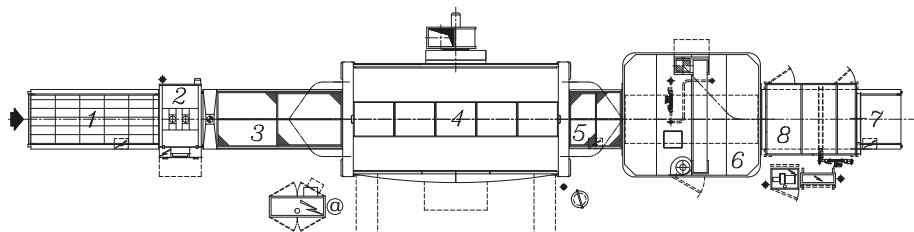


■ Figura 151 – Linea di spruzzatura in due fasi

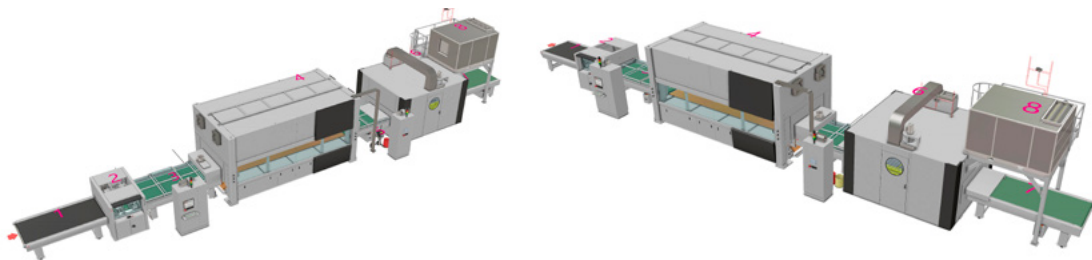
Linee con applicazione piano e bordo in una fase

Composizione di una linea automatica in una fase:

1. trasporto di carico temporizzato
2. spazzola di pulizia
3. trasporto a due velocità
4. robot di applicazione colla per il top e bordi
5. trasporto intermedio coperto
6. forno di essiccazione
7. trasporto a due velocità di scarico



■ Figura 152 – Linea di spruzzatura automatica in una fase



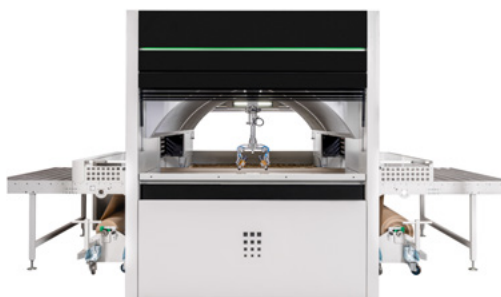
■ Figura 153 – Macchine per l'applicazione dell'adesivo



■ Figura 154 – Robot di applicazione adesivo



■ Figura 155 – Particolare di ugello di spruzzatura dell'adesivo



■ Figura 156 – Spruzzatrice oscillante per l'applicazione dell'adesivo sul piano e, parzialmente, sul bordo

L'adesivo viene solitamente spruzzato sul pannello MDF a temperatura ambiente ($>18^{\circ}\text{C}$). Dal momento che i bordi e le aree fresate sono superfici ad alto assorbimento, le dispersioni di adesivo PU possono penetrare più facilmente e essere completamente assorbite. Questo comporta che per garantire un'applicazione di un rivestimento adesivo continuo, chiuso e liscio, occorre che il supporto riceva due mani di adesivo.

La prima mano (utile al riempimento delle fessure) serve esclusivamente a chiudere i pori; dopo un intervallo di asciugatura intermedio di circa 1 minuto a temperatura ambiente, viene applicato un secondo strato con la quantità di adesivo necessaria per realizzare una tenuta permanente.

La temperatura minima dei substrati e dell'ambiente non deve scendere al di sotto dei 18°C ; si sconsigliano temperature superiori a 35°C per evitare che l'adesivo cominci a reticolare (rif. § 5.3.2.3). La quantità di adesivo necessaria dipende molto dalla qualità dell'MDF, in particolare dal suo assorbimento superficiale e deve comunque rispettare le seguenti quantità minime:

- Applicazione sulla superficie: $50 - 70 \text{ g/m}^2$ umido ($20 - 30 \text{ g/m}^2$ secco)
- Applicazione sul bordo: $80 - 130 \text{ g/m}^2$ umido ($35 - 55 \text{ g/m}^2$ secco)

Dopo l'asciugatura, la superficie spruzzata deve apparire lucida. Come ulteriore precauzione, si consiglia di eseguire controlli del peso e/o misurazioni della quantità di applicazione dopo ogni modifica ai parametri di processo.

Altre indicazioni utili:

Bordi: la quantità dell'adesivo nel bordo è normalmente più elevata rispetto al piano, in quanto occorre compensare il maggior assorbimento della sezione del bordo del pannello. Nel caso di adesivi 2 K (bi-componenti) occorre seguire scrupolosamente le indicazioni formulative del produttore (miscelazione dei due componenti, dispersione e induritore e relative quantità) per garantire prestazioni elevate al calore ed acqua del pannello rivestito

Cave: In caso di superfici con cave, la quantità di adesivo deve compensare la geometria e la porosità generate nella fase di fresatura.

Piani: Se non sono presenti cave, la quantità di adesivo applicato può essere ridotta per ottenere il miglior risultato nella finitura, soprattutto nel caso di foglie lucide.

Informazioni sulle unità di applicazione dell'adesivo

Al fine di ridurre al minimo le sollecitazioni meccaniche sugli adesivi PUD (poliuretani in dispersione acquosa), è necessario utilizzare un recipiente pressurizzato per trasportare l'adesivo dal serbatoio di alimentazione alla pistola a spruzzo. Tutte le parti esposte alla dispersione devono essere in acciaio inossidabile (secondo EN 10027 – numero di materiale 1.4571 o superiore) o ad es. Teflon®, poliammide, PP o altre materie plastiche inerti.

Occorre evitare il contatto con metalli come zinco, ottone e rame, che potrebbero provocare la coagulazione parziale dell'adesivo, causando un'applicazione irregolare dello stesso e l'intasamento di ugelli e condutture.

Qui di seguito si riportano i parametri di applicazione consigliati:

- Diametro dell'ugello: 1,5 – 2,2 mm
- Pressione dell'adesivo: 1,0 – 3,0 bar
- Pressione atomizzatore: 3,0 – 7,0 bar
- Cono di spruzzatura: 2,2 – 2,5 mm

Quando il prodotto viene pompato da un contenitore pressurizzato, si suggerisce di utilizzare un tubo flessibile lungo 4 m con un diametro interno di 8 mm e di applicare al materiale una pressione di circa 1 – 2,5 bar. Quando si utilizzano adesivi bicomponenti, il recipiente pressurizzato dovrebbe essere dotato di un agitatore.

Al termine del lavoro si può utilizzare l'acqua per pulire accuratamente tutte le apparecchiature che sono state a contatto con l'adesivo.

5.3.2.2 Asciugatura dell'adesivo

Dopo l'applicazione dell'adesivo, è necessario tenere in considerazione i seguenti fattori:

- l'adesivo viene sempre essiccato ad una temperatura moderata di 35-40°C; una temperatura più elevata anticiperebbe la reticolazione dell'adesivo alzando la sua temperatura di riattivazione e, di conseguenza, peggiorando l'adesione del decorativo durante il processo di pressatura
- l'adesivo deve essere lasciato asciugare completamente in assenza di polvere. Solo a questo punto può avvenire la termo-attivazione nella pressa.

A seconda delle condizioni ambientali (temperatura e umidità), le parti in MDF saranno sufficientemente asciutte da poter essere inserite nella pressa dopo circa 30 minuti in condizioni standard (circa 20 °C e 50 % di umidità relativa).

A seconda del processo produttivo si possono prevedere le seguenti modalità di essiccazione:

Forni di essiccazione multilivello

Il forno multilivello, soluzione per pressa in linea, adotta una bassa velocità dell'aria con un tempo di asciugatura di 10-12 minuti (anche l'adesivo applicato sui bordi viene essiccato)



Figura 157 – Forno multilivello

Forno di essiccazione (mono livello)

Il forno mono livello utilizza un'elevata velocità dell'aria con un tempo di asciugatura di 2-3 minuti (i bordi potrebbero risultare non completamente asciutti). Rappresenta pertanto una soluzione non in linea con la pressa.



Figura 158 – Forno di essiccazione in linea

5.3.3 Sistemi e processi per il rivestimento 3D

In questa fase avviene la termoformatura del decorativo sul pannello pre-adesivizzato. Le temperature in gioco sono molto importanti e devono essere adeguate in funzione della tipologia del film plastico, per garantire la termoriattivazione dell'adesivo applicato.

Per termoriattivazione si intende la fusione dello strato secco di adesivo applicato, in modo che possa adeguatamente bagnare il retro del film plastico per creare la corretta adesione film-pannello.

Mediante la termoriattivazione del film collante avviene sopra i 55°C, quindi vanno controllati i seguenti parametri:

1. tipo di adesivo (temperatura di riattivazione)
2. temperatura del pannello
3. pot life dell'adesivo (se superato si innalza la temperatura di riattivazione)
4. temperatura/tempi nei forni di essiccazione
5. temperature e tempi di pressa (esistono dei sistemi per controllare la temperatura del film collante durante la pressatura, come cartine termometriche o datalogger).

Il film viene termoformato per effetto sia dell'applicazione del vuoto tra il film stesso e la parte inferiore della camera di lavoro, sia della pressione dell'aria compressa che agisce sopra di esso.

Il film può essere separato dalla piastra sottovuoto, direttamente o ritardato, in modo da ridurre il volume d'aria prima della pressatura.

La formatura 3D è soggetta alla temperatura, al tempo di vuoto, alla pressione applicata e al tempo di pressatura.

Le impostazioni di questi parametri dipendono dal film termoplastico e dall'adesivo utilizzati, nonché dalla morfologia del supporto.

Esistono diverse tipologie di presse di termoformatura:

1. Presse oleodinamiche
2. Presse ad aria senza membrana
3. Presse ad aria con membrana a caldo

Le presse a membrana a caldo ad aria compressa sono attualmente le più utilizzate per i vantaggi tecnici e produttivi che offrono.

5.3.3.1 Presse oleodinamiche

Le prime presse a membrana utilizzavano come fluido in pressione l'olio. Il loro utilizzo primario era il rivestimento con piallacci dei pannelli bugnati su entrambi i lati. Con successivi accorgimenti sono state poi utilizzate per il PVC, anche lucido.

La criticità maggiore di queste presse è che la membrana è il coperchio stesso della vasca contenente l'olio. In caso di rottura della membrana, l'olio si disperde sulla

macchina comportando lunghi tempi di fermo macchina, anche superiori alle 4 ore, per completare la pulizia prima di riavviare la produzione.

Il vantaggio è la possibilità di raggiungere pressioni di esercizio elevate, fino ai 20 kg/cm².

5.3.3.2 Presse ad aria senza membrana

Per un certo periodo, sono state sviluppate anche le presse ad aria senza l'utilizzo della membrana. Quindi, in questo caso, era direttamente la foglia polimerica a trasmettere il calore sul pezzo con alcune complicazioni sul ciclo e, soprattutto, sulla qualità del prodotto finito, in particolar modo con rivestimento lucido.

Per questo motivo, anche questo modello è stato abbandonato a favore delle attuali presse a membrana.

5.3.3.3 Presse a membrana a caldo ad aria compressa

In generale, le presse a membrana si basano sulla combinazione del calore e della pressione esercitata dall'aria compressa.

Il calore serve sia per l'attivazione dell'adesivo, sia per modellare il decorativo sul supporto.

L'aria compressa esercita la pressione affinché il decorativo aderisca al profilo del supporto consentendo, quindi, l'incollaggio dei materiali a contatto.

La membrana è il "vettore" sia del calore sia della pressione.



Figura 159 – Presse a membrana a caldo automatiche

Quando la produttività richiesta e la pressione necessaria aumentano, allora è necessario optare per le presse a membrana a caldo automatiche.

Queste presse hanno le seguenti caratteristiche generali:

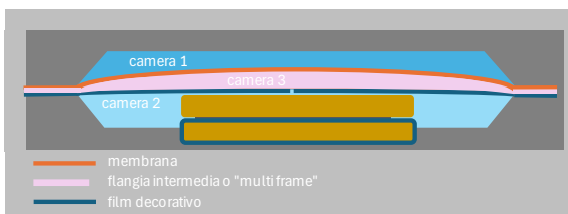
- vassoio traslante (manuale o automatico);
- piani in acciaio forato per la circolazione del fluido di riscaldamento (con temperatura massima sui piani 145°C);
- serbatoi di aria compressa di grandi portate per consentire un flusso ad alta portata e rapido di aria nella camera di lavoro;
- pressione idraulica massima = alla pressione massima realizzabile dall'aria (tra i 5 e i 10 kg/cm²). I cilindri idraulici sostanzialmente garantiscono che la camera di lavoro rimanga chiusa durante il ciclo di pressatura;
- membrana che consente la trasmissione del calore e della pressione dell'aria sui pannelli;
- applicazione del vuoto tra pannelli e membrana per garantire un adeguato contatto del decorativo sulla sagoma del supporto.

Il vassoio di preparazione e il piano superiore della pressa hanno delle flange sul perimetro. La somma dell'altezza delle due flange determina l'altezza del vano pressa e quindi lo spessore massimo del pannello processabile (da considerare sempre l'ingombro di eventuali contro-sagome e lo spazio necessario al movimento e all'allungamento di membrana e PVC).

La membrana è fissata con un sistema a pinza al piano superiore della pressa.

Flangia intermedia o “multi-frame”. Solitamente le presse a membrana a caldo ad aria compressa sono dotate di una flangia intermedia interposta tra la flangia del piano inferiore e del piano superiore creando una terza camera tra membrana e la foglia polimerica.

La flangia intermedia è interposta tra la membrana ed il film decorativo creando una terza camera nella quale si può aspirare l'aria con il vuoto o soffiare aria in pressione.



Grazie a questa flangia è possibile introdurre varianti ai cicli di pressatura in quanto consente un riscaldamento del film decorativo più graduale, aiuta il distacco della membrana dal film decorativo e permette il raffreddamento del decorativo subito dopo la pressatura. Una funzione fondamentale della flangia intermedia nella fase di accoppiamento e di riscaldamento del decorativo con la membrana è di non consentire il contatto con il supporto evitando così la riattivazione della colla in anticipo rispetto all'inizio della pressata.

Infine, la flangia intermedia tensiona il decorativo impedendone l'eccessivo allungamento causato dal calore e quindi riduce la possibilità che si creino grinze.

La flangia multi-frame è usata nella produzione di ante; non è indispensabile, invece, per la pressatura di portoncini da esterni o per il rivestimento con piallacci.

Per ottimizzare la produzione, è possibile configurare l'impianto in diversi modi:

- doppio vassoio: l'introduzione e l'estrazione dei vassoi avviene contemporaneamente.
- ricircolo di tre vassoi: mentre uno è all'interno del vano pressa, il secondo è in zona di carico. Il terzo vassoio, una volta che i pannelli sono stati scaricati, staziona al di sotto del corpo pressa in attesa che si liberi la zona di carico per l'inizio di un nuovo ciclo produttivo.
- Pin manuali: su ogni vassoio sono posizionati dei magneti (pin) che possono essere disposti manualmente e liberamente sull'intera superficie per creare il supporto al pannello o alla contro sagoma.

- Pin automatici: hanno la stessa funzione dei pin manuali. I pannelli vengono posizionati sul vassoio su cui sono presenti i pin che costituiscono una superficie piana e regolare. Uno scanner legge la posizione dei pannelli rispetto ai pin e copia le stesse geometrie sui pin magnetici all'interno della pressa (figura 160).
- quando il vassoio entra in pressa, i pin magnetici corrispondenti ai pannelli, sollevano i pin del vassoio e di conseguenza lo stesso pannello si trova sollevato di circa 15mm rispetto al piano del vassoio. Ecco, quindi, che la contro sagoma si è creata in automatico. Questa tipologia è maggiormente indicata per i pannelli sagomati ma con la superficie inferiore piana.

La configurazione della pressa a tre vassoi con pin automatici è quella che garantisce maggiore produttività, potendo arrivare anche a 30 cicli/h.



Figura 160 – Pressa a Membrana 3 vassoi e Pin automatici per la lettura del pannello



Figura 161 – Pin automatici per la lettura del pannello

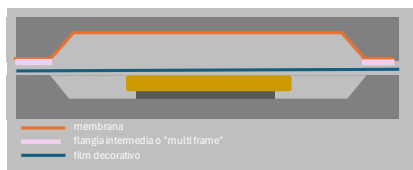
Esempi di cicli di pressatura con presse a membrana a caldo ad aria compressa

I cicli di termoformatura sono caratterizzati da diverse variabili quali tempi, pressioni e temperature nelle varie fasi di preriscaldamento, mantenimento e raffreddamento. I cicli devono essere ottimizzati in funzione della geometria del manufatto, del materiale costituente il rivestimento decorativo e della sua finitura più o meno delicata (lucido, opaco, goffrato).

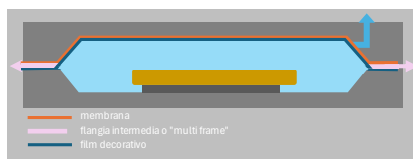
Di seguito vengono descritte le fasi di due cicli tipici:

CICLO A

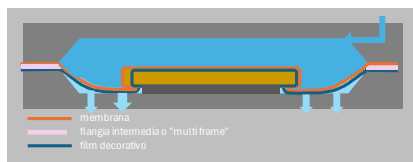
Ciclo standard per pannelli sagomati e per rivestimenti decorativi non lucidi.



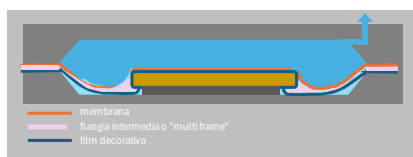
I supporti con l'adesivo già steso e le eventuali contro sagome vengono posati sul vassoio. La membrana è in riscaldamento sul piano superiore. Un foglio di decorativo viene steso sopra il vassoio. Il vassoio viene introdotto in pressa e si chiude.



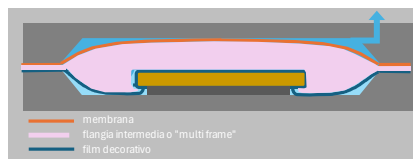
Applicazione del vuoto alla flangia intermedia per l'accoppiamento della membrana con il decorativo. Successiva applicazione del vuoto al piano superiore per preriscaldare membrana e decorativo.



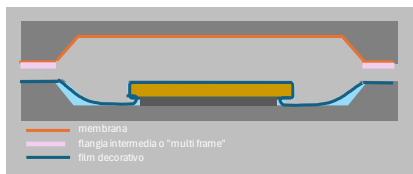
La camera di lavoro viene messa in pressione tramite aria nella parte superiore. In contemporanea, nella parte inferiore della camera viene applicato il vuoto per estrarre l'eventuale aria intrappolata tra decorativo e supporto.



Si apre la valvola di scarico dell'aria e quindi si scarica la pressione dalla membrana e dal pannello.



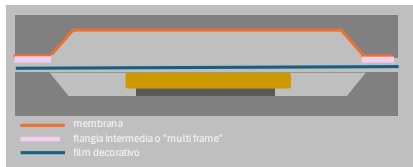
Contestualmente si soffia aria a temperatura ambiente dal multi-frame per staccare la membrana e per raffreddare il rivestimento decorativo specialmente in prossimità dei bordi dove la memoria del film tenderebbe a far ritirare il rivestimento compromettendo l'incollaggio. Si applica il vuoto dal piano superiore per riportare la membrana a contatto con il piano superiore.



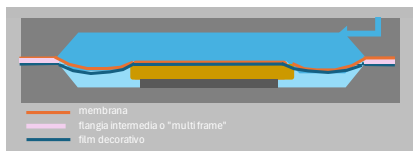
Quindi la pressa si apre e viene estratto il vassoio. La membrana accumula calore prima dell'inizio di un nuovo ciclo di pressatura.

CICLO B

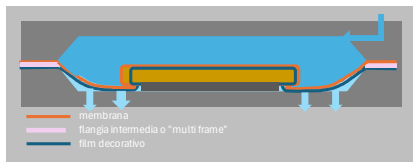
Indicato per finiture lucide, dove bisogna usare temperature più basse e preriscaldamento più graduale.



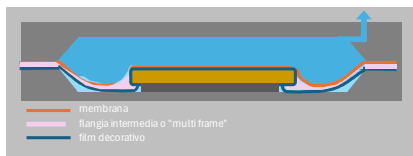
I supporti con l'adesivo già steso e le eventuali contro sagome vengono posati sul vassoio. Un foglio di decorativo poco più grande del vassoio viene steso sopra lo stesso. Il vassoio viene introdotto in pressa e si chiude. La membrana si riscalda a contatto con il piano



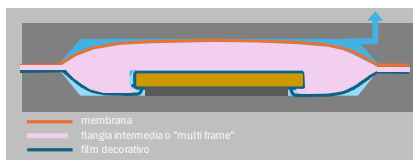
Il foglio di decorativo si ritrova adiacente alla membrana per una fase di preriscaldamento dolce con la membrana calda e una pressione minima.



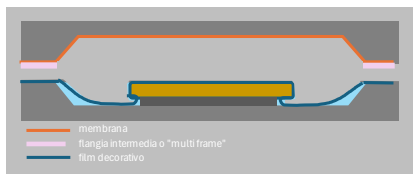
La camera di lavoro viene messa in pressione tramite aria nella parte superiore. In contemporanea, nella parte inferiore della camera viene applicato il vuoto per estrarre l'eventuale aria intrappolata tra decorativo e supporto.



Si apre la valvola di scarico dell'aria e quindi si scarica la pressione dalla membrana e dal pannello.



Contestualmente si soffia aria a temperatura ambiente dal multi-frame per staccare la membrana e per raffreddare il rivestimento decorativo specialmente in prossimità dei bordi dove la memoria del film tenderebbe a far ritirare il rivestimento compromettendo l'incollaggio. Si applica il vuoto dal piano superiore per riportare la membrana a contatto con il piano superiore.



Quindi la pressa si apre e viene estratto il vassoio. La membrana accumula calore prima dell'inizio di un nuovo ciclo di pressatura.

Tipologia di membrane: le membrane utilizzate sono solitamente in gomma naturale di spessore compreso tra 3 e 4 mm per cicli a temperature massime di 120 °C. Esistono anche membrane in silicone per alte temperature, fino ad un massimo di 150 °C. Queste ultime sono anche più flessibili e quindi aiutano la termoformatura su geometrie più complesse, ma sono anche più delicate e soggette a rottura con costi di sostituzione superiori. L'impiego di membrane siliconiche deve essere attentamente valutato quando si applicano foglie polimeriche non rivestite con film protettivi e soprattutto nel caso di foglie sovraverniciabili. Le membrane siliconiche possono, infatti, rilasciare sulla superficie del rivestimento decorativo delle sostanze che ostacolano l'adesione dei prodotti vernicianti.

ACCESSORI

Gruppo di tensionamento PVC

Quando è necessario nobilitare il supporto con PVC da esterni (spessore 0,2 mm), è consigliabile tensionare il PVC durante la traslazione del vassoio fino alla completa chiusura del piano pressa. Il gruppo di tensionatori del PVC è costituito da due barre di bloccaggio pneumatiche contrapposte, una delle quali montata su slitte pneumatiche. Dopo aver bloccato le due estremità del foglio sotto alle barre, la messa in trazione del foglio evita la formazione di grinze, che sarebbero impossibili da eliminare durante la pressatura. Il decorativo, durante la traslazione del vassoio in pressa, comincia ad acquisire calore e così si allunga, fino a quando il bordo esterno del foglio di PVC, viene chiuso tra le flange superiore ed inferiore a macchina completamente chiusa.

Camera di lavoro ad altezza maggiorata per nobilitazione di supporti curvi

La flangia perimetrale del vassoio può alloggiare alcune flange aggiuntive per aumentare l'altezza della camera di lavoro per poter pressare pannelli curvi (mediamente, l'ampiezza massima dei manufatti è 150 mm e la controsagoma ha uno spessore di circa 50 mm). In questi casi, la struttura della pressa e l'impianto pneumatico sono opportunamente dimensionati per sopportare le maggiori sollecitazioni durante il ciclo di lavoro.

5.3.4 Operazioni finali post pressatura

5.3.4.1 Ribaltatore

Dopo il completamento del processo di termopressatura, è necessario capovolgere i pannelli per poi procedere alla separazione dei pezzi e alla relativa rifilatura dell'eccedenza del decorativo



Figura 162 – Ribaltatore

5.3.4.2 Taglio e rifilatura

- L'eccesso di film termoplastico decorativo deve essere tagliato (manualmente o automaticamente) solo dopo un periodo di raffreddamento sufficiente per evitarne che l'eventuale restringimento determini delle fessurazioni sui pannelli rivestiti. Il tempo necessario dipende dalle caratteristiche del film e dell'adesivo.
- È necessario utilizzare uno strumento affilato per evitare la separazione meccanica del film termoplastico decorativo dall'adesivo durante il taglio. L'eccesso di film termoplastico decorativo deve essere eliminato con un taglio contro la linea di adesivo.
- L'adesione del film termoplastico decorativo deve essere opportunamente controllata a intervalli regolari mediante un peel test come specificato al cap.6.
- Il materiale pressato deve essere conservato per almeno 3 giorni a temperatura ambiente prima di essere spedito.

Esistono due sistemi per la separazione del decorativo, manuale ed automatico:

Manuale. Questa operazione consiste nel rifilo manuale del foglio dal lato posteriore dell'anta e richiede generalmente due operatori.



Figura 163 – Tartaruga per la rifilatura

Automatico. Esiste l'opzione di rifilo automatico, nella quale la posizione ed il formato dei pezzi pressati viene riconosciuto grazie a delle telecamere e la taglierina montata su un sistema automatico di movimentazione provvede al rifilo della parte eccedente del rivestimento plastico.



Figura 164 – Taglierina

5.3.4.3 Spazzolatura

Alcune tipologie di prodotti come le ante degli armadi necessitano di una spazzolatura, nella parte posteriore, per rimuovere piccoli residui di adesivo e/o smussare gli spigoli.

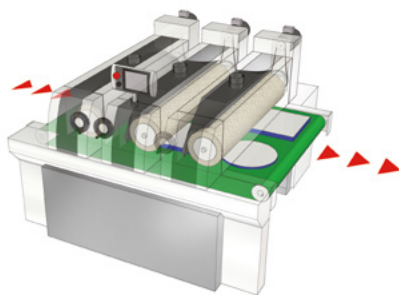


Figura 165 – Spazzolatrice per rimozione residui adesivo

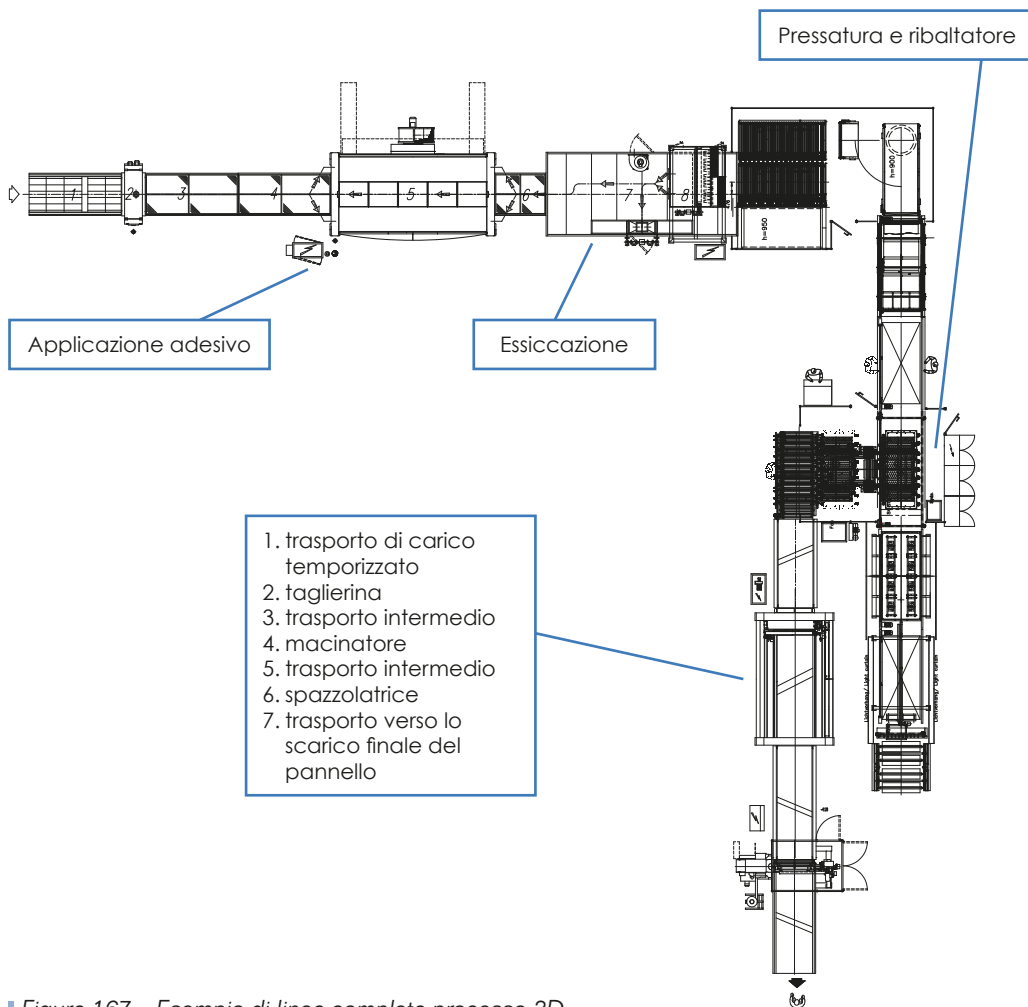
5.3.4.4 Recupero sfridi

Una volta rimossi gli sfridi in manuale o in automatico, questi devono venire compattati e mantenuti separati secondo la composizione (PVC, PET) per lo smaltimento finale.



Figura 166 – Macchina recupero sfrido

Nel lay-out sottostante viene esposto un esempio della posizione delle operazioni finali di post-pressatura dopo le fasi di applicazione dell'adesivo, di essiccazione e di pressatura:



■ Figura 167 – Esempio di linea completa processo 3D

6 Controllo qualità

Il presente paragrafo è suddiviso in cinque sottoparagrafi: i primi tre richiamano i principi generali suggeriti per il controllo delle materie prime in accettazione, il controllo dell'incollaggio a fine linea e i controlli che possono essere effettuati per la qualifica del prodotto finito a fini interni o per la proposizione del prodotto sul mercato. Il quarto sottoparagrafo specifica invece i metodi di prova che possono essere utilizzati in termini generali per il controllo qualità del prodotto finito, con i relativi valori di riferimento e, infine, il quinto descrive alcuni metodi di prova per la selezione degli adesivi.

Il controllo qualità dell'elemento rivestito contempla sia la valutazione dell'efficacia dell'incollaggio in termini dello sviluppo di adeguate forze coesive e adesive nel processo realizzato, sia una valutazione della capacità dell'incollaggio di mantenere la sua efficacia nel tempo e di resistere a sollecitazioni climatiche a cui il prodotto finito potrebbe essere soggetto durante il trasporto o l'impiego finale.

Quest'ultima tipologia di controlli viene effettuata tramite l'adozione di prove accelerate che simulano invecchiamenti o condizioni estreme a cui gli elementi rivestiti potrebbero essere esposti dopo la loro produzione.

6.1 Controllo qualità in accettazione

Il controllo qualità in accettazione riguarda le materie prime, ovvero i pannelli, gli adesivi e i materiali di rivestimento, impiegati nelle successive operazioni che portano al rivestimento dei pannelli. Nei singoli paragrafi che descrivono questi materiali sono riportate le specifiche suggerite per ciascuno di essi.

Si raccomanda pertanto un attento controllo di tali specifiche che sarebbe opportuno fossero indicate nelle schede tecniche allegate a ciascun lotto di materie prime in ingresso. Pertanto, il controllo qualità in accettazione, dovrebbe innanzitutto prendere in esame tali documenti prevedendo, eventualmente, un controllo interno preventivo per talune caratteristiche prima di impiegare i materiali stessi nei cicli di incollaggio previsti.

Nel paragrafo 6.5 sono stati inseriti tre metodi che possono essere utili nella selezione degli adesivi per determinate combinazioni di supporti/rivestimenti.

6.2 Controllo qualità a fine linea

Il controllo della qualità a fine linea è fondamentale per assicurare l'adeguatezza dei processi di incollaggio effettuati.

Queste verifiche sono opportune sia durante il set up del processo, sia all'inizio di ogni nuovo lotto di produzione o comunque dopo ogni modifica dei parametri produttivi. In funzione della possibile variabilità dei materiali, dei processi e delle condizioni a contorno (ad esempio la temperatura ambiente) l'esecuzione di queste verifiche è suggerita anche come controllo di qualità sistematico con intervalli predefiniti da opportune procedure interne.

Tutte le verifiche che contemplano un forzato distacco dal supporto, che saranno di seguito proposte, devono necessariamente tenere in debita considerazione i tempi o comunque le condizioni di indurimento dell'adesivo al momento del test.

Per questo motivo, per alcune tipologie di adesivi come i termofusibili poliuretanici o gli adesivi poliuretanici bicomponenti in dispersione, i controlli possono essere anche ripetuti dopo il periodo di indurimento normalmente indicato nelle schede tecniche.

6.2.1 Controllo qualità di processi 1D

Il controllo a fine linea di una superficie sulla quale è stato eseguito l'incollaggio di un rivestimento, si basa sostanzialmente su due tipologie di verifiche:

- a. Controllo visivo della superficie rivestita per verificare l'eventuale presenza di anomalie derivanti da un incollaggio non adeguato, quali ad esempio: scollamenti spontanei, bolle, grinze e trasudamenti. Anche effetti estetici indesiderati possono far parte di queste verifiche come, ad esempio, eventuali variazioni di brillantezza o di calo (buccia d'arancia) di superfici lucide.

- b1. Controllo dell'adesione per rivestimenti a base di carte impregnate

Nel caso di rivestimenti a base di carte impregnate aventi comunque spessore ridotto, indicativamente sotto a 0,25 mm si può eseguire una prova di quadrettatura (derivante dai test eseguiti sulle superfici verniciate) secondo le indicazioni della norma ISO 2409 utilizzando una spaziatura pari a 3 mm.

Così come nel caso dei film di vernice, anche per i rivestimenti sottili una valutazione pari o inferiore a 2 con asportazione del supporto può considerarsi adeguata. Altre tipologie di evidenze, come la delaminazione del rivestimento, possono essere oggetto di altre considerazioni sulle caratteristiche dei materiali.

- b2. Controllo dell'adesione per rivestimenti flessibili o con spessori elevati

Nei casi in cui il rivestimento applicato sia flessibile o di spessore elevato, indicativamente sopra a 0,25 mm, il controllo dell'adesione può essere eseguito effettuando sulla superficie una incisione ad X e forzando quindi il rivestimento da uno degli spigoli così ottenuti per ottenerne il distacco dal supporto.

La modalità con cui avviene il distacco, ed in particolare la presenza di asportato sul retro del rivestimento rimosso dalla superficie, rappresenta un indice positivo sull'adeguatezza dell'incollaggio effettuato. Ovviamente, a seconda delle caratteristiche del pannello (tipologia, coesione degli strati superficiali) il risultato può differire caso per caso. È quindi importante che per ogni produzione vengano eseguiti opportuni test preliminari per la messa a punto specifica del metodo qui proposto. Il controllo dell'adesione può anche essere eseguito con opportuni strumenti in grado di misurare la forza necessaria per il distacco.

6.2.2 Controllo qualità di processi 2D con piallacci o foglie polimeriche

Il controllo a fine linea di una superficie bidimensionale sulla quale è stato eseguito l'incollaggio di un rivestimento, si basa sostanzialmente sui seguenti controlli:

- a. Controllo visivo della superficie rivestita per verificare l'eventuale presenza di anomalie così come già definito nel paragrafo 6.2.1 punto A. relativamente ai processi 1D.
- b. Controllo visivo di una sezione. Tale verifica si esegue sezionando un elemento nelle zone curve/profilate ed osservando se il decorativo si solleva spontaneamente dal supporto o se si evidenziano comunque delle parti non adeguatamente incollate (vedi figura 168).

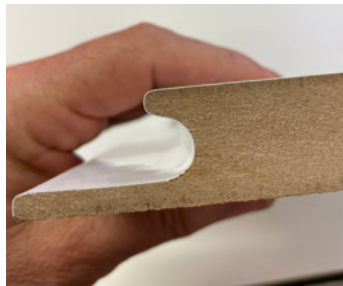


Figura 168 – Decorativo non accoppiato perfettamente

- c. Se nei controlli 1 e 2 non si evidenziano distacchi, si procede ad una prova di peeling manuale. A tal fine si esegue un'incisione sulla superficie del decorativo, dalla superficie al bordo, a forma di triangolo. Si strappa quindi il decorativo dal bordo verso la superficie dell'elemento. Questo test deve essere eseguito preferibilmente su tutti i lati del manufatto valutando le modalità con cui avviene il distacco, ed in particolare la presenza di asportato sul retro del rivestimento rimosso.

La presenza di asportato e l'omogeneità dello stesso rappresenta un indice positivo sull'adeguatezza dell'incollaggio effettuato. Ovviamente, a seconda delle caratteristiche del pannello (tipologia, coesione degli strati superficiali) e dell'adesivo, il risultato può differire caso per caso. È quindi importante che per ogni produzione vengano eseguiti opportuni test preliminari, per la messa a punto specifica del metodo qui proposto.

Il controllo dell'adesione può anche essere eseguito con opportuni strumenti (dinamometri) in grado di misurare la forza necessaria per il distacco.



Figura 169 – Peeling manuale con risultato positivo solo sulle zone laterali del profilo dove si nota il cedimento coesivo del supporto (asportato)



Figura 170 – Peeling manuale su pannelli con risultato negativo (a sinistra) e positivo (a destra)

6.2.3 Controllo qualità di processi 2D con derivati da carte decorative

Il controllo a fine linea di una superficie bidimensionale sulla quale è stato eseguito l'incollaggio di un rivestimento, si basa sostanzialmente sui seguenti controlli:

- a. Controllo visivo della superficie rivestita per verificare l'eventuale presenza di anomalie così come già definito nel paragrafo 6.2.1 punto A relativamente ai processi 1D.
- b. Controllo visivo di una sezione viene eseguito analogamente a quanto già descritto al paragrafo 6.2.2 punto B.
- c. Controllo dell'adesione

Anche in questo caso si può procedere ad una verifica dell'adesione mediante prova di quadrettatura (ISO 2409) come già indicato al paragrafo 6.2.2 punto B1.

6.2.4 Controllo qualità di processi 3D

Il controllo a fine linea di una superficie bidimensionale sulla quale è stato eseguito l'incollaggio di un rivestimento, si basa sostanzialmente sui seguenti controlli effettuabili sia a fine linea immediatamente al termine del processo di incollaggio sia successivamente per dar modo all'adesivo di completare il processo di reticolazione.

6.2.4.1 Controllo qualità a fine linea

- a. Controllo visivo della superficie rivestita per verificare l'eventuale presenza di anomalie così come già definito nel paragrafo 6.2.1 punto A. relativamente ai processi 1D.
- b. Controllo visivo di una sezione viene eseguito analogamente a quanto già descritto al paragrafo 6.2.2 punto B.
- c. Controllo dell'adesione

Se al controllo visivo (punti A e B) non si evidenziano distacchi si procede ad una prova di peeling manuale secondo quanto già descritto al paragrafo 6.2.2 punto C. Questo test deve essere eseguito preferibilmente su tutti e quattro i lati del pannello. In questo test si può osservare una rottura coesiva nel film adesivo in quanto non completamente reticolato e pertanto il test va ripetuto con tempi d'attesa maggiori. Tuttavia, questo risultato può comunque indicare un'adeguata bagnatura del retro del film plastico decorativo.

6.2.4.2 Controllo qualità dopo completamento della reticolazione dell'adesivo

La reticolazione completa dell'adesivo poliuretanico reattivo viene raggiunta dopo circa 7 giorni di stoccaggio a temperatura ambiente (a circa 20 °C). L'esecuzione di ulteriori test e la valutazione delle prestazioni dell'adesione sono pertanto utili anche dopo questo periodo.

- a. A. Prova di adesione a temperatura ambiente

Si procede ad una prova di peeling manuale secondo quanto già descritto al paragrafo 6.2.2 punto C con le stesse indicazioni già espresse per la prova a fine linea.

b. Prova di adesione a bassa temperatura

Il pezzo da testare viene mantenuto in un appropriata cella climatica ad una temperatura definita (ad es. +5 °C o -10 °C) per 24 ore e poi testato immediatamente. Il test viene eseguito come al precedente punto A.

c. Prova di adesione dopo cicli termici

Il pezzo da testare è sottoposto ad una serie di cicli termici in un'apposita cella climatica.

Ciascun ciclo è composto dalle seguenti fasi:

- 4 ore 50 °C e
- 4 ore -25 °C.

Normalmente, vengono completati 150 cicli e viene quindi eseguito un test di adesione (vedi punto A) dopo 24 ore di condizionamento a clima ambiente.

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI DAL CONTROLLO QUALITÀ A FINE LINEA

In questa sezione vengono considerate le tipologie di cedimento osservabili nel corso del controllo qualità a fine linea cercando di offrire qualche spunto utile al fine dell'interpretazione dei risultati ottenuti e delle eventuali azioni di miglioramento conseguenti.

Cedimento coesivo del supporto

In genere un cedimento coesivo del supporto, nel caso di materiali a base legnosa, rappresenta un indice positivo relativamente all'adeguatezza del processo di incollaggio eseguito. Tuttavia, nel caso si osservi un asportato non omogeneo o comunque non soddisfacente secondo le esperienze pregresse di un certo processo, è utile controllare:

- *nel caso degli adesivi termofusibili, le temperature in fase di accoppiamento, dove per "temperature si intendono quelle dei supporti e dell'adesivo nelle varie fasi del processo. Nel caso del rivestimento di profili, questo risultato può anche derivare da una pressione non adeguata o comunque non omogenea su tutto il profilo rivestito. Questo aspetto viene evidenziato soprattutto se alcune ruote di pressatura non hanno lavorato correttamente o in presenza di un mancata planarità dei profili;*
- *nel caso di adesivi in dispersione, come l'adesivo ha bagnato il supporto. Ad esempio: viscosità non idonee dell'adesivo, anche legate alla temperatura (adesivo, supporto, ambiente di lavoro), presenza di grumi, pelli.*

Cedimento coesivo dell'adesivo

Nel caso in cui si osservi un cedimento adesivo, l'attenzione va innanzitutto focalizzata sull'indurimento dell'adesivo stesso. Infatti, l'indurimento a fine linea potrebbe non essere completo sia per i tempi necessari alla reticolazione delle resine, sia per un insufficiente allontanamento dell'acqua nel caso di adesivi in dispersione. Fenomeni di

questo tipo possono essere legati anche alla formulazione dell'adesivo che risulta eccessivamente fragile dopo l'indurimento anche in relazione allo spessore applicato. Nel caso di adesivi termofusibili, ma non solo, un cedimento coesivo a fine linea può dipendere anche da una linea collante ancora calda.

Cedimento adesivo

Un cedimento di questa tipologia può manifestarsi con l'evidenza della presenza dell'adesivo alternativamente sul supporto oppure sul retro del rivestimento.

a. Adesivo sul supporto

Se l'adesivo è stato applicato sul pannello i tempi di accoppiamento vanno necessariamente controllati. Anche i parametri di pressatura (come pressione, temperatura, tempi, ecc.) devono essere controllati ed eventualmente regolati.

Le caratteristiche di bagnabilità del decorativo (ad esempio presenza del primer nel caso di foglie polimeriche o "ruvidatura" nel caso degli HPL) vanno tenute in considerazione.

b. Adesivo sul retro del decorativo

Se l'adesivo è stato applicato sul retro del decorativo (solitamente un termofusibile), e dopo la pressatura non viene trasferito sulla superficie del supporto vanno considerate innanzitutto le temperature del processo che potrebbero aver determinato un accoppiamento con l'adesivo già parzialmente raffreddato. Nel caso dei profili è opportuno effettuare anche un controllo delle ruote di pressatura per verificare che tutta la superficie sia stata sufficientemente pressata.

6.3 Controllo qualità per qualificazione del prodotto finito

Anche i controlli che possono essere effettuati per la qualifica del prodotto finito a fini interni o per la proposizione del prodotto sul mercato dipendono dal tipo di processo (1D, 2D o 3D) e dai materiali di rivestimento impiegati.

Nel paragrafo 6.4 sono riportati i metodi di prova più comunemente adottati per la valutazione dell'efficacia di un processo di rivestimento con i relativi requisiti che gli autori del presente manuale ritengono adeguati a queste finalità.

Si raccomanda, tuttavia, di considerare eventuali specifiche differenti espresse da norme o metodi di altri Paesi, da altri soggetti del mercato (capitolati) e comunque di mantenere alta l'attenzione verso l'evoluzione normativa nazionale e internazionale su queste tematiche.

A seconda delle esigenze o di eventuali specifiche ed obblighi derivanti dal mercato (ad esempio capitolati) le prove possono essere eseguite internamente o affidate a laboratori qualificati.

6.4 Metodi di prova

Di seguito vengono elencati i metodi di prova e i relativi requisiti prescritti per la valutazione dell'incollaggio del manufatto finito.

Le prove sottoindicate vanno effettuate su 3 provini e dopo almeno 7 giorni di condizionamento in atmosfera a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \% \text{ u.r.}$

6.4.1 Controllo qualità per processi di rivestimento 1D e 2D

6.4.1.1 Prova di adesione (UNI 9240)

Per verificare la tenuta del rivestimento al pannello, ovvero la forza adesiva e coesiva dell'incollaggio eseguito, viene eseguita la prova di strappo verificando la forza necessaria per scollare il rivestimento dal pannello.

La prova viene eseguita facendo inizialmente aderire dei cilindri metallici sulla superficie in prova.

Successivamente questi cilindri sono sottoposti ad uno sforzo di trazione con un dinamometro, fino al loro strappo dal supporto.

Il risultato è considerato positivo quando:

- a. Si registrano valori di carico $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$.
- b. viene rilevata la presenza di asportato sul retro del rivestimento che viene asportato nel corso della prova ($\geq 10 \%$).

6.4.1.2 Prova di adesione (UNI 9240) dopo invecchiamento artificiale (UNI 9429)

La prova di adesione, eseguita secondo le modalità precedentemente descritte è abbinata ad un preventivo ciclo d'invecchiamento effettuato secondo il metodo B della norma UNI 9429.

La prova di adesione viene effettuata al termine dei 15 cicli previsti dalla UNI 9429 previo condizionamento dei provini per almeno 24 ore in atmosfera a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \% \text{ u.r.}$

I requisiti sono quelli già espressi al punto 6.4.1.1

6.4.1.3 Prova di adesione a umido per ambienti umidi bagni o cucine (UNI CEN/TS 927-9)

Per verificare la tenuta del rivestimento al pannello, ovvero la forza adesiva e coesiva dell'incollaggio eseguito in condizioni di elevata umidità o di contatto diretto con acqua allo stato liquido, viene eseguita la prova di strappo a umido verificando la forza necessaria per scollare il rivestimento dal pannello.

La prova viene eseguita facendo inizialmente aderire dei cilindri metallici sulla superficie in prova.

Successivamente la zona fresata all'interno della quale sono stati incollati i cilindri viene opportunamente umidificata.

I cilindri, dopo il tempo di contatto previsto, sono quindi sottoposti ad uno sforzo di trazione con un dinamometro, fino al loro strappo dal supporto.

Il risultato è considerato positivo quando:

- a. Si registrano valori di carico $\geq 1,2 \text{ N/mm}^2$.
- b. viene rilevata la presenza di asportato sul retro del rivestimento che viene asportato nel corso della prova ($\geq 10 \%$).

6.4.2 Controllo qualità per processi di rivestimento 3D

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm.

In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.4.2.1 Prova di peeling (EN 28510)

Per valutare l'incollaggio del rivestimento polimerico al pannello si utilizza la prova di peeling.

Il risultato della prova di peeling è considerato positivo quando:

- a. il valore della forza misurata è di almeno 1 N/mm
- b. viene rilevata la presenza di asportato sul retro della foglia che viene strappata nel corso della prova (≥ 10 %).

6.4.2.2 Resistenza al calore (AMK MB-001)

I pannelli rivestiti, almeno tre per ogni campione provato, vanno mantenuti in una stufa ventilata alle seguenti condizioni:

- 1 ora a 50 °C
- 1 ora a 60 °C
- 4 ore a 75 °C

Durante la prova, la distanza dei campioni dalle pareti comprese quelle superiore e inferiore deve essere di almeno 200 mm. La distanza tra i provini deve essere di almeno 25 mm.

La valutazione viene effettuata al termine di ciascun livello di temperatura.

Il risultato della prova è considerato positivo quando:

- a. non si osservano distacchi del rivestimento
- b. l'eventuale apertura tra il rivestimento melamminico e il rivestimento polimerico (evidenza del pannello MDF lungo il bordo) $\leq 0,2$ mm (0.249 mm = superato $\div$ 0.250 mm = fallito)

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino, considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm. In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.4.2.3 Resistenza al vapore acqueo (AMK-MB-005 mod.1)

Si effettuano 3 cicli di 30 minuti ciascuno di esposizione al vapore intervallati da 30 minuti di condizionamento (all'esterno dell'attrezzatura). La valutazione viene effettuata dopo ogni ciclo.

Il risultato della prova è considerato positivo quando:

- a. non si osservano distacchi del rivestimento
- b. l'eventuale apertura tra il rivestimento melamminico e il rivestimento polimerico (evidenza del pannello MDF lungo il bordo) $\leq 0,2$ mm (0.249 mm = superato $\div 0.250$ mm = fallito).

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm. In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.4.2.4 Resistenza ai climi severi - simulazione di trasporti e climi estremi (AMK-MB-005 mod.2)

La prova viene effettuata condizionando tre provini per ogni campione a (40 ± 2) °C e (85 ± 5) % di umidità relativa dell'aria per 14 giorni. La valutazione viene effettuata dopo 4, 7, 10 e 14 giorni.

Il risultato della prova è considerato positivo quando:

- a. non si osservano distacchi del rivestimento
- b. l'eventuale apertura tra il rivestimento melamminico e il rivestimento polimerico (evidenza del pannello MDF lungo il bordo) $\leq 0,2$ mm (0.249 mm = superato $\div 0.250$ mm = fallito)

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm. In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.4.2.5 Resistenza a cicli di temperatura e umidità (AMK-MB-005 mod. 3)

I pannelli rivestiti, almeno 3 per ogni campione provato, vanno mantenuti in una camera climatica ripetendo il seguente ciclo igrotermico per 10 volte:

- 0,5 ore di raffreddamento fino a -20 °C
- 1 ora di temperatura costante a -20 °C

- 0,5 ore di riscaldamento fino a 20 °C
- 3 ore a 20 °C / 85 % di umidità relativa
- 0,5 ore di riscaldamento a 60 °C
- 3 ore di stoccaggio a 60 °C / 55 % di umidità relativa,
- 0,5 ore di raffreddamento a 20 °C

La valutazione viene effettuata dopo 3, 5 e 10 cicli.

Il risultato della prova è considerato positivo quando:

- a. non si osservano distacchi del rivestimento
- b. l'eventuale apertura tra il rivestimento melamminico e il rivestimento polimerico (evidenza del pannello MDF lungo il bordo) $\leq 0,2$ mm ($0,249$ mm = superato $\div 0,250$ mm = fallito)

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm. In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.4.2.6 Resistenza climatica a lungo termine (Regolamento RAL 434)

I pannelli rivestiti, almeno 3 per ogni campione provato, vanno mantenuti in una cella climatica ripetendo il seguente ciclo igrotermico per 100 giorni totali:

- 12 ore a 40 °C con il 40 % di umidità relativa
- 12 ore a 40 °C con l'80 % di umidità relativa

Vengono effettuate valutazioni intermedie dopo 33, 66 e 100 giorni

- Al termine dei 100 giorni viene effettuato il test di resistenza al calore come da metodica AMK-MB-001 (vedi paragrafo 6.4.2.2)

Il risultato della prova è considerato positivo, sia nelle valutazioni intermedie che in quella finale dopo la prova di resistenza al calore, quando:

- a. non si osservano distacchi del rivestimento
- b. l'eventuale apertura tra il rivestimento melamminico e il rivestimento polimerico (evidenza del pannello MDF lungo il bordo) $\leq 1,0$ mm ($1,049$ mm = superato $\div 1,050$ mm = fallito)

La valutazione finale deve essere effettuata visivamente su ogni provino considerando la parte del campione che evidenzia i maggiori difetti. Le misurazioni, laddove richieste, devono essere effettuate utilizzando una lente graduata (almeno 7 ingrandimenti) con una scala che consenta di apprezzare 0,1 mm. Quando il risultato non è chiaro, è consentito utilizzare un microscopio con una scala di misurazione che consenta di apprezzare 0,01 mm. In ogni caso il risultato deve essere sempre arrotondato al primo decimale dopo la virgola.

6.5 Metodi di prova per la selezione degli adesivi

6.5.1 Valutazione della resistenza al carico statico dell'incollaggio PVC/LEGNO a 23°C mediante peeling a 90°

Il metodo permette la determinazione della resistenza ad un determinato carico statico dell'incollaggio di PVC su legno, su provini standardizzati, mediante peeling a 90°.

La prova viene eseguita facendo inizialmente aderire dei provini in faggio naturale dalle dimensioni di mm (150'20'5), con una striscia di PVC* dalle dimensioni di mm (180'20). La preparazione degli accoppiati viene eseguita nella seguente modalità:

Con l'ausilio di un foglio di carta asciugamani, e dell'isopropanolo, pulire accuratamente la parte interna (superficie lucida). Lasciare asciugare per 10 minuti. Levigare la superficie del provino di legno con carta abrasiva P100 ed eliminare la polvere di legno con aria compressa. L'adesivo viene steso su legno mediante racla a spirale in grado di ottenere una grammatura ad umido di $130 \div 150 \text{ g/m}^2$. Accoppiare quindi la striscia di PVC e attraverso un rullo metallico del peso di 140 g, eseguire tre passaggi al fine di migliorare il contatto tra gli aderendi. Preparare in questo modo altri 5 provini.

Posizionare i provini in pressa applicando la pressione consigliata dal produttore di adesivi per la durata di 2 ore e condizionare gli accoppiati per 3 giorni (nel caso di mancanza d'indicazioni specifiche utilizzare una pressione di $1 \pm 0,2 \text{ Kg/cm}^2$).

Trascorso questo tempo, su ciascun provino si riportano due tacche, misurate con il righello, una a 25 mm e l'altra a 125 mm da una estremità dell'accoppiato. La distanza delimitata dalle tacche (100 mm) si suddivide in cm.

Distaccare per pelatura il lembo di PVC non incollato sino a raggiungere la prima tacca, ripiegarlo su sé stesso ed effettuare centralmente e alla distanza di circa 1 cm, un foro con un perforatore.

Gli accoppiati vengono posizionati su un supporto metallico (*Figura 172*) in condizioni standard (23°C – 50% UR) di prova e sottoposti al distacco del PVC (lunghezza massima del distacco 100 mm) mediante peeling a 90°, per effetto di un carico statico da 200 g. Il risultato viene espresso in giorni come media dei valori ottenuti.



■ *Figura 171 – Determinazione della resistenza al carico statico*

* Tipo Kalle genotherm EF 57. Bianco 10141/540. Spessore 180 mm. Esente da plastificanti. Presenza di cariche (Ceneri a 850 C = 9,0%)

6.5.2 Determinazione della tenuta a freddo dell'incollaggio PVC/truciolare mediante prova di delaminazione a temperature decrescenti (da 23°C a -20°C) – ex metodo Unichim 757:1987

Il seguente metodo permette di determinare la resistenza al freddo, a varie temperature prefissate, di incollaggi di fogli di PVC su pannello truciolare.

La prova viene eseguita facendo inizialmente aderire una tavoletta di truciolare (Caratteristiche: grana medio fine) delle dimensioni di mm (300'100'18), con un foglio di PVC* delle dimensioni di mm (170'300).

La preparazione degli accoppiati viene eseguita nella seguente modalità:

Con l'ausilio di un foglio di carta asciugamani e isopropanolo, pulire accuratamente la parte interna (superficie lucida). Lasciare asciugare per 10 minuti. Stendere l'adesivo sulla tavoletta utilizzando una spatola dentata idonea ad ottenere una grammatura ad umido di 130, 150 g/m². Sovrapporre subito il foglio di PVC (lato lucido) e attraverso un rullo metallico del peso di 140 g eseguire tre passaggi al fine di migliorare il contatto tra gli aderendi. Sull'accoppiato porre una tavoletta di truciolare applicando la pressione consigliata dal produttore di adesivi per la durata di 3 ore (nel caso di mancanza d'indicazioni specifiche utilizzare una massa da 30 Kg per esercitare una pressione di $0,10 \pm 0,02 \text{ Kg/cm}^2$). Lasciare condizionare l'accoppiato per 3 giorni. Allo scadere di questo tempo suddividere il PVC nel senso della lunghezza, in sette strisce da 40 mm di larghezza ed inciderle con l'ausilio del cutter. La valutazione inizia con lo strappo manuale, secondo un angolo di 135 °C, a temperatura ambiente 23 °C e prosegue poi a +10; 0; -5; -10; -15; -20 °C. Condizionare l'accoppiato nella cella frigorifera per un'ora ad ogni temperatura specifica di prova. Le valutazioni devono avvenire immediatamente dopo aver tolto l'accoppiato dalla cella (tra 2 e 10 secondi). Dalla temperatura di -5 °C a -20 °C, la valutazione si esegue utilizzando lo scalpello, facendo attenzione a non scalfire il truciolare.

La resistenza al freddo viene espressa dando un giudizio dell'incollaggio in base alla percentuale dell'asportato di truciolare rimasto sul PVC, con una scala di valori da 0 a 5:

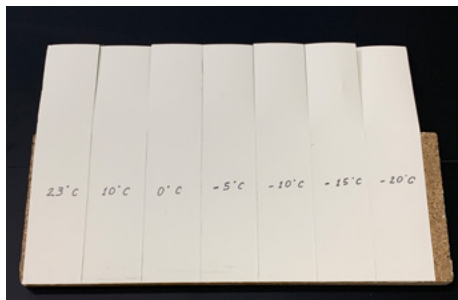
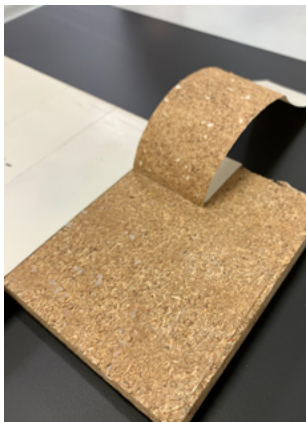


Figura 172 – Determinazione della resistenza al carico statico

0	asportato	0%
1	"	0 , 20%
2	"	20 , 40%
3	"	40 , 70%
4	"	70 , 95%
5	"	95 , 100%



Es.: Giudizio 5
Foto asportato 100%



Es.: Giudizio 3
Foto asportato 50%

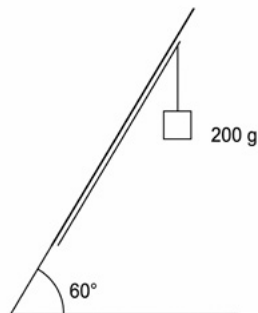


Es.: Giudizio 1
Foto asportato 20%

■ Figura 173 – Esempi di asportato

* Tipo genotherm EF 57. Bianco 10141/540. Spessore 180 mm. Esente da plastificanti. Presenza di cariche (Ceneri a 850 °C = 9,0%)

6.5.3 Valutazione della resistenza a caldo (75 – 85°C) dell'incollaggio PVC/LEGNO mediante peeling a 135°. (EX METODO UNI 9591:1990)



■ Figura 174 – Valutazione della resistenza a caldo di un adesivo

Il seguente metodo permette di determinare la resistenza a caldo di un adesivo per l'incollaggio di PVC su legno.

I provini di accoppiato PVC/faggio vengono sottoposti a caldo al distacco del PVC mediante peeling a 135 °C, per effetto di un carico statico.

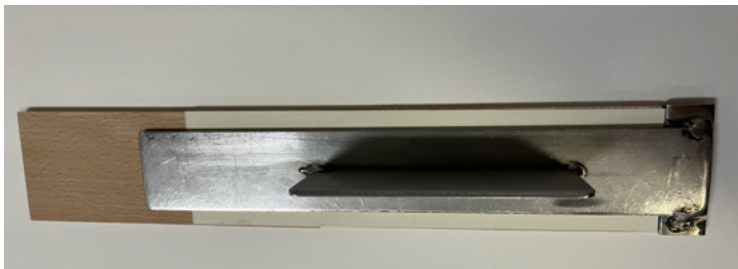
Le prove vengono condotte alla temperatura di 75 °C con carico statico di 200 g per la durata massima di 60 minuti oppure a 85 °C con un carico statico di 500 g per la durata massima di 60 minuti.

La prova viene eseguita facendo inizialmente aderire provini in faggio naturale dalle dimensioni di mm (120'60'5), con un foglio di PVC* dalle dimensioni di mm (180'60'5). La preparazione degli accoppiati viene eseguita nella seguente modalità: Con l'ausilio di un foglio di carta asciugamani e isopropanolo, pulire accuratamente la parte interna (superficie lucida). Lasciare asciugare per 10 minuti. Levigare la superficie del provino in legno con carta abrasiva P100 ed eliminare la polvere di legno con aria compressa. L'adesivo viene steso su legno mediante spatola dentata in grado di ottenere una grammatura ad umido di $130 \div 150 \text{ g/m}^2$. Accoppiare quindi la striscia di PVC longitudinalmente e attraverso un rullo metallico del peso di 140 g, eseguire tre passaggi al fine di migliorare il contatto tra gli aderendi. Preparare in questo modo altri 6 provini e sovrapporli l'uno con l'altro applicando la pressione consigliata dal produttore di adesivi per la durata di 1 ora (nel caso di mancanza di indicazioni specifiche utilizzare una pressione di 20 Kg per esercitare una pressione di $0,28 \pm 0,06 \text{ Kg/cm}^2$). Dopo tre giorni di condizionamento, incidere il foglio di PVC con un cutter in modo tale da ricavare una striscia di PVC della larghezza di 40 mm (Figura 176 in basso) esattamente al centro dell'accoppiato e rimuovere manualmente le strisce laterali. Successivamente incidere il PVC alla distanza di 20 mm dalla parte dove il legno e il foglio di plastica coincidono. Misurare e tracciare con la matita da questa incisione una linea alla distanza esatta di 50 mm e porre i provini in stufa a 75 °C per tre minuti. Dopo trattamento distaccare manualmente il PVC, con un angolo di circa 135°, fino al segno dei 50 mm.

Ripiegare su sé stesso il PVC distaccato, posizionando un triangolo reggi peso nella riga di piegatura dello stesso e fissare con la pinzatrice. Collocare i provini nell'apposito sostegno inclinato a 45°, bloccandoli nella relativa sede (Figura 175). Introdurre il sostegno e i pesi nella stufa e lasciarli condizionare per tre minuti (Figura 177). Quando la temperatura della stufa raggiunge nuovamente i $(75 \pm 1^\circ\text{C})$ iniziare il conteggio del tempo. La prova ha una durata massima di 1 ora, durante la quale occorre annotare gli eventuali tempi di distacco completo.

Occorre inoltre registrare il tipo di distacco, secondo la norma UNI EN ISO 10365.

NOTA: Se il risultato dopo 60' è compreso tra 0 e 5 mm, si consiglia di effettuare una ulteriore prova non più a 75°C ma a 85°C, con masse da 500g invece di 200g.



■ Figura 175 – Valutazione della resistenza a caldo di un adesivo

In base all'esito della prova si esamina il risultato secondo uno dei seguenti punti:

a. Distacco completo entro 60 minuti:

Il risultato viene espresso in minuti come media dei valori ottenuti.

b. Distacco non completo al termine dei 60 minuti:

Occorre misurare per ciascun provino i millimetri di distacco.

Il risultato viene espresso in millimetri come media dei valori ottenuti.



■ Figura 176 – Valutazione della resistenza a caldo di un adesivo

* Tipo genotherm EF 57. Bianco 10141/540. Spessore 180 mm. Esente da plastificanti. Presenza di cariche (Ceneri a 850°C = 9,0%)

Appendice

Gestione Strategica della Sostenibilità Ambientale

1. Introduzione

Nel panorama attuale dell'industria del mobile e dell'arredamento, la sostenibilità non è più solo un'opzione, ma una necessità imprescindibile che si intreccia strettamente con la competitività aziendale. Questa appendice esplora il ruolo cruciale di un approccio strategico alla gestione ambientale, evidenziando come esso possa diventare un vero e proprio motore di innovazione e vantaggio competitivo.

La chiave del successo risiede nella capacità di ogni impresa di contestualizzare le proprie scelte, analizzando attentamente il mercato di riferimento e i suoi fabbisogni in continua evoluzione. Solo attraverso questa comprensione approfondita è possibile selezionare e implementare gli strumenti di gestione ambientale più adatti, creando un percorso personalizzato che rispecchi le peculiarità e gli obiettivi specifici dell'azienda.

Pur nella sua unicità, questo approccio su misura non prescinde dall'utilizzo di standard riconosciuti a livello internazionale, come le norme ISO, che forniscono un quadro di riferimento solido e universalmente accettato. L'integrazione di questi strumenti all'interno di una strategia aziendale ben definita permette di coniugare l'efficacia delle best practice globali con le esigenze particolari di ogni realtà produttiva.

Nelle pagine che seguono, esploreremo come questo equilibrio tra personalizzazione e standardizzazione possa tradursi in concrete opportunità di crescita, efficienza e innovazione, posizionando le aziende del settore all'avanguardia in un mercato sempre più attento alle tematiche ambientali.

2. Il quadro normativo UE

Il rapporto tra la produzione e l'uso dei beni che consumiamo e l'ambiente è chiaro: gli impatti dei consumi continuano a spingerci oltre i cosiddetti "confini planetari" in vari modi [1]. L'estrazione e la trasformazione delle materie prime, ad esempio, sono la causa di metà delle emissioni di gas a effetto serra e del 90% della perdita di biodiversità nel mondo [2]. Inoltre, il modello economico lineare tuttora dominante comporta uno spreco significativo di risorse. Tra gli obiettivi fondamentali dell'Unione Europea vi è quello di aumentare il benessere dei cittadini: favorire un uso migliore delle risorse e il miglioramento dei prodotti stessi è la strategia identificata dall'Unione per garantire una crescita sostenibile che disaccoppi la crescita economica dall'uso delle risorse naturali e dal degrado ambientale. Affinché l'Unione possa portare a compimento la transizione verso un'economia circolare, efficiente sotto il profilo delle risorse, climaticamente neutra e più salubre, nonché ridurre la dipendenza da fonti energetiche fossili, occorre adottare nuove modalità di progettazione, produzione e utilizzo dei prodotti. Negli ultimi anni l'Unione Europea ha quindi intrapreso un percorso ambizioso per rendere i propri modelli di produzione e consu-

mo più sostenibili, in linea con gli obiettivi del Green Deal e della transizione verso un'economia circolare e climaticamente neutra. Al centro di questa trasformazione c'è la volontà di intervenire fin dalla fase di progettazione dei prodotti, influenzando il modo in cui vengono concepiti, realizzati, utilizzati e smaltiti. È in questo contesto che nascono strumenti innovativi come il Regolamento Ecodesign o Regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili (*Ecodesign for Sustainable Products Regulation* - ESPR) [3] e l'approccio *Safe and Sustainable by Design* (SSbD). Questi strumenti sono nati dalla necessità di superare le limitazioni delle normative esistenti, spesso frammentarie o focalizzate su singoli aspetti ambientali, per adottare invece un approccio olistico che integri sostenibilità, durabilità e sicurezza fin dalla fase di progettazione.

Il Regolamento ESPR [3], presentato dalla Commissione Europea ed entrato in vigore a luglio 2024, rappresenta un'estensione e un'evoluzione della precedente Direttiva sull'Ecodesign [4], limitata ai soli prodotti a consumo energetico attivo. Con il nuovo regolamento, l'Unione intende allargare l'ambito di intervento a quasi tutti i beni fisici immessi sul mercato, imponendo requisiti ambientali più stringenti. L'obiettivo è duplice: da un lato, ridurre l'impatto ambientale dei prodotti lungo tutto il ciclo di vita e dall'altro, migliorare la circolarità, durabilità, riparabilità e riciclabilità degli stessi. In altre parole, non si tratta solo di rendere i prodotti meno energivori, ma di ripensare il modo stesso in cui vengono progettati, incentivando materiali riciclati, una maggiore efficienza delle risorse e una gestione più sostenibile del fine vita. Accanto a questi principi, l'ESPR propone anche una serie di strumenti operativi. Tra i più rilevanti vi è il Passaporto Digitale del Prodotto (Digital Product Passport, DPP), che accompagnerà ogni prodotto con un insieme di informazioni ambientali, tecniche e di tracciabilità, accessibili digitalmente lungo tutta la filiera. Si tratta di uno strumento chiave per implementare trasparenza e responsabilità da parte dei produttori e la possibilità per i consumatori e le aziende di fare scelte più consapevoli.

Un altro strumento di supporto è il Green Public Procurement (GPP), gli acquisti verdi della pubblica amministrazione, ovvero dei criteri ambientali obbligatori o incentivati negli appalti pubblici, per orientare la domanda verso soluzioni più sostenibili. Parallelamente, la Commissione Europea ha sviluppato, nell'ambito del Green Deal e di Horizon Europe, l'approccio *Safe and Sustainable by Design* (SSbD), volto in particolare al mondo dei materiali e delle sostanze chimiche. Questa iniziativa nasce dalla consapevolezza che molti prodotti, fin dalla loro composizione, possono contenere sostanze pericolose o difficili da gestire a fine vita. L'SSbD propone quindi di integrare la sicurezza chimica e la sostenibilità ambientale fin dalla fase di progettazione, selezionando materiali e processi più sicuri, meno impattanti e compatibili con i principi dell'economia circolare. L'obiettivo è prevenire i rischi anziché gestirli a posteriori, promuovendo soluzioni che siano intrinsecamente sicure e sostenibili. Oltre al Regolamento ESPR e alle misure ad esso connesse, questo pacchetto di misure prevede:

- una proposta legislativa sulla responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde;
- iniziative settoriali mirate, come la strategia dell'UE per prodotti tessili sostenibili e circolari e la revisione del Regolamento sui prodotti da costruzione;
- una futura iniziativa sul "diritto alla riparazione" per consentire ai consumatori di utilizzare i prodotti più a lungo, integrando l'ESPR;
- la revisione delle norme sull'uso di sostanze pericolose nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche (direttiva RoHS);
- la valutazione delle opzioni per incentivare il ritiro e la restituzione di piccole apparecchiature elettroniche invendute/usate;
- la creazione di una nuova piattaforma europea delle imprese circolari per supportare la diffusione dei modelli imprenditoriali circolari.

ESPR, SSbD e tutte queste misure saranno fondamentali per costruire un quadro coerente e integrato per favorire la progettazione responsabile dei prodotti, necessario per raggiungere gli obiettivi del Piano per l'Economia Circolare 2020 e costruire la transizione verso un'economia più circolare, sostenibile e competitiva.

Nei seguenti paragrafi verranno descritti in dettaglio gli aspetti fondamentali di questi due pilastri dell'approccio dell'Unione Europea alla sostenibilità dei prodotti.

2.1 Il Regolamento sulla progettazione ecocompatibile di prodotti sostenibili (ESPR)

Il 27 maggio 2024 il Consiglio europeo ha adottato il Regolamento Ecodesign o Regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili (*Ecodesign for Sustainable Products Regulation* - ESPR) [3], approvato dal Parlamento europeo il 23 aprile 2024 con risoluzione COM/2022/0142. Il Regolamento è poi entrato in vigore il 18 luglio 2024.

L'obiettivo principale del Regolamento è stabilire un quadro normativo per migliorare la sostenibilità ambientale dei prodotti e fare in modo che i prodotti sostenibili diventino la norma nell'UE. In particolare, l'ESPR ambisce a ridefinire i prodotti disponibili sul mercato dell'Unione migliorandone la circolarità, le prestazioni energetiche, la riciclabilità e la durata.

Come descritto in precedenza, il Regolamento sostituisce la precedente Direttiva sull'ecodesign e stabilisce un quadro normativo di riferimento per la definizione di requisiti per la progettazione ecocompatibile di categorie di prodotti specifiche. Rispetto alla precedente Direttiva, limitata ai soli prodotti connessi all'energia, l'ESPR ne amplia il campo di applicazione a tutti i prodotti fisici, ad esclusione:

- degli alimenti;
- dei mangimi;
- dei medicinali;
- delle piante, degli animali e dei microrganismi, vivi;
- dei prodotti di origine umana;

- dei prodotti di piante e animali collegati direttamente alla loro futura riproduzione. Inoltre, il Regolamento istituisce nuove misure come il Passaporto Digitale di Prodotto (DPP), il Green Public Procurement (GPP) e delle regole per affrontare la distruzione dei prodotti di consumo invenduti.

2.1.1 I requisiti di progettazione ecocompatibile

ESPR, rispetto alla precedente Direttiva, rafforza anche la gamma di requisiti di progettazione ecocompatibile che possono essere stabiliti per i prodotti. I requisiti di progettazione ecocompatibile saranno tali da migliorare i seguenti aspetti del prodotto, qualora siano pertinenti per il gruppo di prodotti interessato:

1. durabilità;
2. affidabilità;
3. riutilizzabilità;
4. possibilità di miglioramento;
5. riparabilità;
6. possibilità di manutenzione e ricondizionamento;
7. presenza di sostanze che destano preoccupazione;
8. consumo di energia ed efficienza energetica;
9. uso dell'acqua ed efficienza idrica;
10. uso di risorse ed efficienza delle risorse;
11. contenuto di riciclato;
12. possibilità di rifabbricazione;
13. riciclabilità;
14. possibilità di recupero dei materiali;
15. impatti ambientali, comprese l'impronta di carbonio e l'impronta ambientale;
16. produzione prevista di rifiuti.

I requisiti di progettazione ecocompatibile assicurano inoltre che i prodotti non diventino precocemente obsoleti “per motivi che includono le scelte di progettazione da parte dei fabbricanti, l'uso di componenti notevolmente meno robusti di altri, gli ostacoli allo smontaggio di componenti chiave, l'indisponibilità di informazioni utili alla riparazione o di pezzi di ricambio” [5].

I requisiti, a cui i prodotti immessi nel mercato dell'Unione dovranno essere conformi, possono consistere in requisiti di prestazione o obblighi di informazione, o entrambi.

I requisiti di prestazione si basano sugli aspetti (parametri) dei prodotti descritti in precedenza e includono livelli minimi o massimi rispetto a uno specifico parametro o a una combinazione di parametri e/o requisiti non quantitativi.

Gli obblighi di informazione includono almeno i requisiti relativi al passaporto digitale di prodotto (vedi paragrafo 2.1.2) e i requisiti relativi alle sostanze che destano preoccupazione. A seconda dei casi, gli obblighi di informazione prevedono anche che i prodotti siano accompagnati da:

1. informazioni sulle prestazioni del prodotto rispetto a uno o più dei parametri di prodotto, tra cui un punteggio relativo alla riparabilità, alla durabilità, un'impronta di carbonio o un'impronta ambientale;
2. informazioni ai clienti e ad altri soggetti sulle modalità di installazione, uso, manutenzione e riparazione del prodotto, sulla raccolta a fini di ricondizionamento o rifabbricazione, e sulle modalità di restituzione o di trattamento del prodotto a fine vita;
3. informazioni per gli impianti di trattamento in merito allo smontaggio, al riutilizzo, al ricondizionamento, al riciclaggio o allo smaltimento a fine vita.

Può essere definito un obbligo di informazione per uno specifico parametro di prodotto indipendentemente dal fatto che per tale specifico parametro di prodotto sia definito un requisito di prestazione.

Per conseguire nel modo più efficiente possibile gli obiettivi del Green Deal europeo e trattare in primo luogo i prodotti con l'impatto maggiore, la Commissione ha dovuto e dovrà stabilire un ordine di priorità per i prodotti e i relativi requisiti. Per farlo la Commissione "analizza il potenziale contributo dei prodotti al conseguimento degli obiettivi dell'Unione in materia di clima, ambiente ed efficienza energetica" [5]. Definito l'ordine di priorità, la Commissione adotta un piano di lavoro pluriennale, della durata di almeno tre anni e aggiornato periodicamente. Il piano di lavoro stabilisce l'elenco dei gruppi di prodotti che devono avere la priorità nella definizione dei requisiti e il calendario stimato per la loro definizione.

Il primo piano di lavoro è stato adottato il 16 aprile 2025 ed è denominato Piano di lavoro per la progettazione ecocompatibile di prodotti sostenibili e l'etichettatura energetica 2025-2030 [6]. Le priorità definite dal piano sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 1 • Priorità dei prodotti sottoposti al Regolamento ESPR

Prodotto/misura	Ranking	Timeline indicativa per l'adozione
Prodotti finiti		
Prodotti tessili, indumenti e calzature	1	2027
Mobilio	2	2028
Pneumatici	3	2027
Materassi	4	2029
Prodotti intermedi		
Ferro e acciaio	1	2026
Alluminio	4	2027

In particolare, per il mobilio la Commissione identifica un alto potenziale di miglioramento degli aspetti relativi all'uso delle risorse e alla produzione di rifiuti, dato che spesso la produzione e la fornitura di materiali rappresentano i maggiori impatti in diverse categorie di impatto ambientale (ad es. cambiamento climatico, acidificazione, eutrofizzazione). Vengono identificati inoltre potenziali impatti positivi su altre categorie come l'aria, il suolo e la biodiversità.

Come descritto in precedenza, il regolamento ESPR è un atto legislativo che funziona da quadro di riferimento e getta le basi per la successiva adozione di regole concrete. La versione pratica dei requisiti sarà poi pubblicata tramite atti delegati per ogni gruppo di prodotti, secondo gli orizzonti temporali definiti nel piano di lavoro.

Per l'elaborazione e la definizione dei requisiti di progettazione ecocompatibile specifici per gruppo di prodotti (o orizzontali per più gruppi), la Commissione ha istituito un forum sulla progettazione ecocompatibile "come gruppo di esperti con una partecipazione equilibrata ed efficace di esperti designati dagli Stati membri e di tutte le parti interessate al prodotto o al gruppo di prodotti in questione." Questo forum sarà tenuto a effettuare una valutazione d'impatto basata sui migliori dati e analisi disponibili e, se del caso, su studi e risultati di ricerca supplementari prodotti nell'ambito dei programmi di finanziamento dell'Unione. La valutazione dovrà, tra le altre cose:

1. analizzare tutti gli aspetti del prodotto con una profondità proporzionata alla loro importanza per il prodotto in questione e analizzare eventuali interdipendenze tra i diversi aspetti;
2. indicare i cambiamenti previsti in termini di impatti ambientali, anche quantificati come impronta di carbonio e impronta ambientale ogniqualevolta possibile;
3. analizzare gli eventuali impatti rilevanti sulla salute umana.

Per quanto riguarda il settore del mobile, dunque, i requisiti di progettazione ecocompatibile declinati per la categoria di prodotto "mobilio" saranno definiti e adottati dalla Commissione entro il 2028. Da quel momento in avanti, il settore dovrà adattarsi e innovare e ri-progettare i propri prodotti secondo i criteri di progettazione ecocompatibile.

2.1.2 Il Passaporto Digitale del Prodotto

IL DPP sarà di fatto un documento d'identità digitale per prodotti, componenti e materiali, che conterrà le informazioni rilevanti per valutare la sostenibilità dei prodotti, promuoverne la circolarità e rafforzarne la conformità legale. Gli atti delegati definiranno i dati da inserire nel passaporto digitale e i supporti specifici da utilizzare. I dati includeranno:

- prestazioni tecniche del prodotto;
- i materiali e la loro origine;
- potenziali attività di riparazione;
- capacità di riciclo;
- impatti ambientali del ciclo di vita.

I prodotti per cui saranno disponibili degli atti delegati dedicati, dovranno essere quindi corredati di passaporto digitale per poter essere immessi sul mercato dell'Unione. Queste informazioni saranno accessibili elettronicamente, rendendo più facile per i consumatori, i produttori e le autorità prendere decisioni più informate in materia di sostenibilità, circolarità e conformità normativa. Consentirà anche alle autorità doganali di effettuare controlli automatici sull'esistenza e l'autenticità dei DPP dei prodotti importati. Per garantire questa capacità di informare tutte le potenziali parti interessate, il DPP inoltre dovrà restare disponibile per un periodo che corrisponde almeno alla durata attesa del prodotto specifico.

2.1.3 Le regole sulla distruzione dei prodotti invenduti

Il Regolamento definisce delle nuove regole sulla distruzione dei prodotti invenduti con l'obiettivo di far adottare agli operatori economici le "misure necessarie che ci si può ragionevolmente attendere per evitare la necessità di distruggere i prodotti di consumo invenduti" [5].

Dal 19 luglio 2026 sarà vietata la distruzione degli articoli e degli accessori di abbigliamento e delle calzature. Altrettanto sarà valido per le medie imprese dal luglio 2030, mentre sono esenti le microimprese e le piccole imprese. Il divieto di distruzione al momento è previsto solo per queste categorie di prodotto, ma nuovi gruppi di prodotti potranno essere aggiunti con atti delegati.

A differenza del divieto di distruzione, il Regolamento prevede per tutti i gruppi di prodotti che gli operatori economici che si disfano di prodotti invenduti siano tenuti a divulgare:

1. il numero e il peso dei prodotti invenduti di cui si è disfatto all'anno, suddivisi per tipo o categoria;
2. i motivi per cui si è disfatto dei prodotti;
3. la percentuale dei prodotti di cui si è disfatto consegnati a ciascuna delle seguenti attività: preparazione per il riutilizzo, compresi ricondizionamento e rifabbricazione, riciclaggio, recupero di altro tipo, incluso il recupero di energia, e operazioni di smaltimento;
4. le misure adottate e le misure pianificate per prevenire la distruzione dei prodotti di consumo invenduti.

Anche questo obbligo seguirà le eccezioni previste per il divieto di distruzione.

2.1.4 Green Public Procurement

L'obiettivo del Regolamento ESPR, per quanto riguarda gli appalti pubblici, è orientare l'enorme quantità di denaro spesa ogni anno dalle autorità pubbliche dell'Unione per l'acquisto di beni. L'ESPR contribuirà a orientare questi fondi in una direzione più sostenibile, consentendo la definizione di norme obbligatorie in materia di appalti pubblici verdi per prodotti specifici. Gli atti delegati per i gruppi di prodotto definiranno, infatti, anche le prescrizioni minime sotto forma di specifiche tecni-

che, criteri di aggiudicazione o obiettivi. Tali prescrizioni minime saranno stabilite in relazione agli aspetti del prodotto trattati nell'atto delegato adottato (gli stessi dei requisiti di progettazione). In base a tali norme, le autorità pubbliche che acquistano i prodotti in questione saranno tenute ad acquistare prodotti che soddisfano i più elevati livelli di prestazione in termini di sostenibilità e circolarità.

In conclusione, l'obiettivo del GPP è stimolare la domanda di prodotti sostenibili e, a sua volta, incentivare ulteriormente le imprese a investire in questo settore.

2.2 Safe and Sustainable by Design

A differenza del Regolamento ESPR che definisce degli obblighi per i prodotti venduti nell'Unione, l'approccio *Safe and sustainable by design* (SSbD) è un approccio volontario il cui obiettivo è orientare l'innovazione verso sostanze chimiche e materiali sicuri e sostenibili lungo l'intero ciclo di vita. L'SSbD combina approcci consolidati di valutazione dei pericoli e dei rischi per le sostanze chimiche e i materiali, con tecniche di valutazione della sostenibilità, come il metodo di valutazione del ciclo di vita (LCA). Il framework è inteso per chi si occupa di progettazione di ricerca e innovazione (R&I) per sviluppare nuove sostanze chimiche, materiali e/o prodotti o per rivalutarne di esistenti. Data la natura volontaria del framework, inoltre, le organizzazioni sono libere di integrare i principi di progettazione interni con quelli dell'SSbD.

L'approccio è composto di due componenti principali:

- una fase di riprogettazione, basata su strategie e principi generali di progettazione SSbD che derivano da concetti esistenti, come chimica verde, ingegneria verde, chimica sostenibile e circolarità;
- una fase di valutazione in 4 fasi: (i) caratteristiche intrinseche di pericolo della sostanza/materiale, (ii) salute umana e sicurezza nel processo di produzione, (iii) rischio ambientale e per la salute umana nella fase d'uso, (iv) impatti ambientali lungo il ciclo di vita, con una fase socio-economica opzionale.

La fase di valutazione è preceduta da una fase di analisi del campo di applicazione che prevede: la definizione del sistema oggetto di studio, la definizione/identificazione della (ri)progettazione, l'identificazione dell'intera *value chain* e la definizione dei confini della valutazione e infine l'identificazione e il coinvolgimento degli attori presenti lungo il ciclo di vita del sistema. La definizione del sistema oggetto di studio include la definizione della sostanza/materiale in valutazione, la sua funzione (prodotto finale/applicazione) e le considerazioni sul ciclo di vita, inclusi i processi e i prodotti pertinenti. La definizione del sistema include quindi il prodotto finale o l'applicazione per cui la sostanza o il materiale sarà usato. L'applicazione del framework SSbD nel contesto dell'innovazione avviene infatti avendo quasi sempre in mente un prodotto finale/applicazione.

La valutazione procede poi in 4 step:

1. *Valutazione del pericolo*: identificazione delle caratteristiche intrinseche di pericolo della sostanza/materiale e caratterizzazione e classificazione delle stesse;
2. *Valutazione degli aspetti di sicurezza e salute umana nella produzione e nella lavorazione della sostanza/materiale*: valutazione del pericolo (identificazione delle proprietà intrinseche e dei loro effetti), valutazione dell'esposizione (identificazione dell'uso e previsione dell'esposizione) e caratterizzazione del rischio (stima della probabilità e della gravità degli effetti);
3. *Valutazione degli aspetti ambientali e di salute umana nella fase di applicazione finale della sostanza/materiale*: valutazione dello stesso tipo di quella che avviene nello step 2;
4. *Valutazione della sostenibilità ambientale*: stima dei potenziali impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita della sostanza/materiale con la metodologia LCA (Life Cycle Assessment).

Si tratta di un processo iterativo che tiene conto della quantità gradualmente crescente di dati generati e raccolti man mano che il processo di riprogettazione e innovazione procede. Le valutazioni descritte in precedenza sono eseguite a ogni iterazione con il livello di dettaglio che può essere raggiunto con i dati disponibili in quel momento. Nel caso del settore del mobile, l'approccio SSbD potrebbe essere applicato dagli attori della value chain che partecipano alla progettazione e alla produzione di tutte quelle sostanze che poi interessano la costruzione del prodotto finale come adesivi, vernici o altre sostanze per trattamenti superficiali. È, inoltre, importante sottolineare che l'approccio SSbD prevede valutazioni lungo l'intero ciclo di vita della sostanza/materiale, comprese le fasi di applicazione finale e fine vita, che quindi richiedono il coinvolgimento di tutte le parti interessate nel ciclo di vita stesso.

2.3 Misurare e comunicare la sostenibilità ambientale

A seguito della grande crescita del settore industriale e del conseguente aumento dei prodotti circolanti è stata sempre più attenzionata negli anni la questione relativa alla determinazione delle conseguenze ambientali di sistemi, processi, prodotti e servizi. Una volta identificata tale problematica i ricercatori si sono interrogati sulle possibili metriche per quantificare le conseguenze ambientali derivanti da prodotti ed attività umane. Già a partire dalla fine degli anni '60 è stato sviluppato un approccio di tipo ciclo di vita relativo ai problemi ambientali e definibile come *Life Cycle Thinking*. Con tale approccio si intendeva guardare ai prodotti ed alle organizzazioni da una prospettiva del ciclo di vita, seguendo il cammino percorso dall'estrazione delle materie prime, attraverso tutti i processi di trasformazione e di trasporto, fino alla condizione di rifiuti. Dall'inizio degli anni '70 è possibile trovare i primi esempi di applicazione del *Life Cycle Thinking*, tra cui uno studio commissionato dalla Coca Cola Company e condotto sotto il nome di REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*). L'intento di tale ricerca era quello di determinare le conseguenze ambientali della produzione di differenti tipologie di contenitori per bevande, in modo da

identificare quale materiale e quale strategia di impiego a fine vita del contenitore fosse migliore da un punto di vista energetico ed ambientale. Questi studi, con opportuni miglioramenti ed integrazioni, sono stati d'impulso al concepimento della cosiddetta metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) o valutazione del ciclo di vita. Il termine LCA è stato coniato nel 1990 durante un congresso della Società di Tossicologia e Chimica Ambientale (SETAC) per caratterizzare chiaramente ed univocamente le analisi fino ad allora svolte sotto altri nomi. Nel corso degli anni la LCA è stata impiegata sempre più come metodologia di analisi dell'efficienza ambientale produttiva ed è stata accettata dalla comunità scientifica internazionale. L'impiego sempre maggiore della metodologia LCA ha portato, negli anni 2000, il Comitato ISO a sviluppare un riferimento standardizzato per l'esecuzione di analisi del ciclo di vita. Una volta identificata la metrica più idonea per la valutazione dei potenziali impatti ambientali (la LCA) un altro aspetto di fondamentale rilevanza, soprattutto nel contesto delle organizzazioni private, riguarda la comunicazione della sostenibilità. A tal proposito, negli ultimi anni, soprattutto nei paesi dell'Unione Europea, è cresciuta l'attenzione verso strumenti che permettano una comunicazione accurata, trasparente e verificabile di informazioni relative agli aspetti ambientali di prodotti e servizi. Tra questi strumenti i più importanti sono le etichette e le dichiarazioni di prodotto, soprattutto di natura volontaria. Queste etichettature possono avere il principale scopo di veicolare un'informazione dal produttore al consumatore (*Business to Consumer*; noto anche con la sigla B2C) oppure anche dal produttore all'intermediario professionista (*Business to Business*; noto anche con la sigla B2B). Al fine di incentivare gli attori economici e sociali a migliorare le prestazioni ambientali dei prodotti attraverso strumenti volontari è stata sviluppata la norma ISO 14020 [7], che stabilisce principi e linee guida per lo sviluppo e l'utilizzo di etichette e dichiarazioni ambientali; tra queste, uno degli esempi più significativi è l'Ecolabel, un marchio di qualità ecologica.

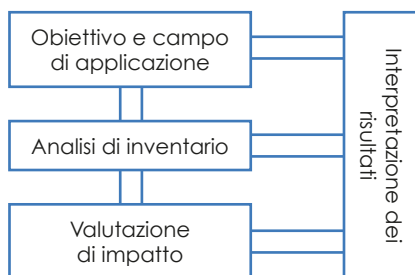
2.3.1 Life Cycle Thinking e Life Cycle Assessment

Il *Life Cycle Thinking* è un approccio che guarda ai prodotti ed alle organizzazioni in una prospettiva di ciclo di vita (dalla culla alla tomba) al fine di evitare lo spostamento dei potenziali impatti ambientali tra fasi del ciclo di vita. L'analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment*, LCA) si basa proprio sul *Life Cycle Thinking* ed è regolamentata dalle norme ISO 14040:2006 [8] e ISO 14044:2006 [9]. All'interno della ISO 14040:2006 viene proposta la seguente definizione di LCA: "*compilazione e valutazione degli input, degli output e dei potenziali impatti ambientali di un sistema prodotto durante il suo ciclo di vita*". Da notare come si parli di potenziali impatti ambientali e di sistema prodotto. La LCA non valuta, infatti, gli impatti effettivi, ma quantifica, precauzionalmente solo gli impatti potenziali, basandosi su modelli causa-effetto. L'approccio di sistema ed il principio di completezza (*Comprehensiveness*) sono necessari per evitare lo spostamento di problemi da una fase all'altra del ciclo di vita

oppure da una categoria di impatto all'altra. L'approccio sistemico permette, inoltre, di considerare le condizioni attuali e potenziali sotto le quali viene effettivamente utilizzato e gestito il prodotto.

Come si può vedere dalla *Figura 1* la LCA è un processo iterativo che si sviluppa in quattro fasi:

1. *Goal and Scope definition* (definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione);
2. *Inventory analysis* (analisi di inventario);
3. *Impact assessment* (valutazione di impatto);
4. *Interpretation* (interpretazione).



■ *Figura 1 - Fasi del processo iterativo LCA*

La prima fase di definizione dell'obiettivo dello studio e del campo di applicazione è piuttosto articolata e critica, poiché comprende una serie di attività che implicano eventuali assunzioni e l'effettuazione di scelte che potrebbero influenzare notevolmente le fasi successive dell'analisi e quindi i suoi risultati finali. L'obiettivo e l'ambito di una LCA devono essere definiti in modo chiaro e coerentemente con l'applicazione prevista. Vista la natura iterativa della LCA, l'ambito potrebbe dovere essere ridefinito durante lo studio. Nella definizione dell'obiettivo si devono indicare chiaramente l'applicazione prevista dello studio, i motivi per cui si esegue lo studio, il pubblico di riferimento a cui si intende divulgare i risultati e se lo studio viene eseguito per comparare diversi prodotti. Il campo di applicazione di una LCA si riferisce principalmente ai confini del sistema ed al grado di dettaglio dell'analisi e può variare notevolmente a seconda dell'obiettivo e dell'applicazione prevista. Nella definizione del campo di applicazione bisogna per prima cosa identificare il sistema prodotto da studiare. Una volta identificato tale sistema potrebbe essere opportuno realizzare un diagramma di flusso semplificato che permetta una visualizzazione grafica semplice ed immediata del sistema oggetto di analisi. Risulta fondamentale anche scomporre il sistema in varie unità di processo, determinando i flussi elementari in input e output a ciascuna unità. Con flussi in input si intendono, ad esempio, flussi di materia ed energia sottratti all'ambiente mentre con output ci si riferisce a flussi materici o energetici rilasciati nell'ambiente (generalmente inquinanti).

Chiarito il sistema analizzato, è essenziale identificare la funzione del sistema prodotto e la cosiddetta unità funzionale. Nel caso di sistemi con più di una funzione è fondamentale scegliere quella che meglio si adatta all'obiettivo dello studio ed al suo campo di applicazione, tenendo conto che tale funzione dovrà essere espressa quantitativamente. Per la quantificazione della funzione considerata si definisce un'unità funzionale a cui andranno riferiti i flussi elementari individuati ed i relativi potenziali impatti ambientali. Quindi con l'unità funzionale si fornisce un riferimento rispetto al quale vengono normalizzati, in senso matematico, i dati di input e output. Si può dunque definire l'unità funzionale come la prestazione quantificata di un sistema prodotto da utilizzare come unità di riferimento. Dopo la definizione dell'unità funzionale, occorre identificare il flusso di riferimento, inteso come la quantità di prodotto richiesta per fornire la prestazione definita dall'unità funzionale. Visto che in uno studio LCA il sistema reale studiato viene rappresentato da un modello (il sistema prodotto) è necessario identificare l'interazione con altri sistemi prodotti e con l'ambiente, ovvero i confini del sistema. La definizione dei confini del sistema consiste nell'individuazione delle unità di processo da considerare nel sistema, a seconda degli obiettivi dell'analisi. All'interno dei confini del sistema sono normalmente incluse varie fasi consecutive ed interconnesse del ciclo di vita, a partire dall'estrazione delle materie prime necessarie alla gestione dei rifiuti derivanti dal prodotto al termine della vita utile. Alcune tipiche fasi del ciclo di vita di un prodotto sono: approvvigionamento delle materie prime, trasporto in ingresso al sistema studiato, realizzazione del prodotto, distribuzione del prodotto ai clienti, uso e manutenzione del prodotto e fine vita dello stesso. Nel caso in cui alcuni flussi siano scarsamente influenti da un punto di vista quantitativo sui risultati, oppure la loro quantificazione sia particolarmente onerosa rispetto al beneficio che si otterrebbe in termini di maggior attendibilità dei risultati, è possibile non considerarli. L'esclusione dai confini del sistema di alcuni processi o di intere fasi del ciclo di vita di un prodotto deve comunque essere opportunamente giustificata e documentata, evidenziandone le motivazioni e le conseguenze. Un altro aspetto fondamentale di questa fase dello studio riguarda l'eventuale presenza di processi multifunzione le cui funzioni non sono tutte di pertinenza del sistema prodotto esaminato. Uno dei metodi più diffusi per gestire la multifunzionalità è la cosiddetta allocazione, che consiste nel ripartire gli aspetti e gli impatti ambientali di un processo tra i suoi vari prodotti in base a determinati criteri. In tal senso la norma ISO 14044:2006 [9] definisce una gerarchia dell'allocazione. Per prima cosa, se possibile, l'allocazione deve essere evitata, ricorrendo ad una suddivisione in sottoprocessi (ognuno dei quali genera un singolo prodotto) oppure ad un'espansione dei confini del sistema, includendo anche le funzioni relative ai co-prodotti. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, non è possibile evitare l'allocazione, e quindi è possibile applicare criteri di ripartizione basati su relazioni di tipo fisico, oppure altre tipologie di relazioni (ad es. economiche) tra prodotti. La gestione della multifunzionalità è comunque ritenuto uno degli aspetti metodologi-

ci più critici e controversi della LCA. Nella definizione del campo di applicazione è fondamentale anche individuare il metodo di valutazione degli impatti che si applicherà nella terza fase (valutazione di impatto), selezionando le categorie di impatto scelte. Inoltre, all'interno del campo di applicazione occorre identificare le categorie di dati da raccogliere, nonché i loro requisiti di qualità, le assunzioni effettuate e le limitazioni oltre che definire un'appropriata strategia informativa per comunicare i risultati dello studio, in modo imparziale completo e preciso (ad es. redigendo un'opportuna relazione LCA in cui, oltre ai risultati, vengano esplicitati in maniera trasparente e dettagliata i dati, i metodi, le ipotesi e le limitazioni dello studio).

L'analisi di inventario è la fase della LCA che comprende la raccolta dati, la loro analisi e la definizione dei procedimenti di calcolo che consentono di quantificare gli elementi in ingresso ed in uscita relativi ad un sistema prodotto. I dati di input e output comprendono tra gli altri: utilizzo di risorse, rilasci in aria, nel suolo e nell'acqua. Per semplificare la raccolta dati, torna utile lo schema definito nella precedente fase in cui il sistema prodotto viene rappresentato come l'insieme di varie unità di processo tra loro interconnesse (diagramma di flusso). Si dovrà dunque studiare, per ogni unità d'analisi, il flusso in entrata ed in uscita di materia, energia, ecc. I dati di inventario da raccogliere per caratterizzare i flussi del sistema esaminato possono derivare da varie fonti:

- Dati primari: misurati direttamente e raccolti sul campo (tipicamente all'interno di un'azienda) tramite utilizzo di questionari, interviste o la predisposizione di schede di raccolta dati sottoposte agli operatori. Esempi di dati primari sono bollette di energia, acqua, MUD per i rifiuti e distinta base (documento in cui si elencano le quantità di materiali necessari per produrre una singola unità di prodotto finito);
- Dati secondari: dati medi di settore ricavabili da banche dati riconosciute, da studi di letteratura o altre pubblicazioni di carattere scientifico rappresentative del sistema esaminato. Tra le fonti di dati secondari vi sono: banche dati ambientali riconosciute a livello internazionale (come ad es. Ecoinvent), dichiarazioni ambientali di prodotto, banche dati scientifiche (come Scopus e Web of Science).
- Dati proxy (o terziari): dati da valutazioni di esperti o derivanti da stime oppure dati primari e secondari di un processo simile a quello dell'inventario, ma non rappresentativo, nel caso non siano disponibili dati più rappresentativi.

Nella conduzione di uno studio LCA sono da privilegiare i dati primari o, se non disponibili, quelli secondari rappresentativi per avere una buona robustezza ed affidabilità dello studio. Nel caso non siano disponibili né dati primari né secondari è possibile utilizzare dati proxy. Dunque, una volta raccolti i dati e specificata la tipologia, si procede con la validazione degli stessi, effettuando opportuni bilanci di massa ed energia, ed infine alla relazione di ogni dato all'unità funzionale scelta.

Una volta rapportati tutti i dati all'unità funzionale, si procede con la fase di valutazione di impatto. Tale fase, tipicamente svolta da un software, consiste nella valutazione dei potenziali impatti ambientali del ciclo di vita di un prodotto. La fase di valutazione comprende i seguenti quattro step (i primi due obbligatori mentre i secondi due facoltativi):

1. **Classificazione:** una volta selezionate le categorie di impatto, si classificano i risultati di inventario alle categorie selezionate. Esempi di categorie d'impatto sono: cambiamento climatico, acidificazione, eutrofizzazione delle acque, esaurimento delle risorse abiotiche, ecc. Uno stesso flusso può anche essere associato a due o più categorie d'impatto (ad es. NH_3 contribuisce sia all'acidificazione che all'eutrofizzazione delle acque dolci). Tale fase della valutazione di impatto è obbligatoria;
2. **Caratterizzazione:** consiste nel calcolo dei valori degli indicatori di ciascuna categoria di impatto (in pratica le categorie di impatto si traducono in potenziali impatti ambientali attraverso un indicatore). Il più famoso esempio di indicatore di categoria è il potenziale di riscaldamento globale, relativo alla categoria cambiamento climatico, che si esprime in CO_{2e} (CO_2 equivalente). Anche tale fase è obbligatoria;
3. **Normalizzazione:** si esegue rispetto a valori di riferimento che di solito rappresentano l'impatto totale in una zona geografica di riferimento (come ad es. provincia, regione, nazione o mondo). La scelta e la grandezza di tale regione influenzano i risultati, ma consente la comparazione, poiché porta a numeri adimensionali e permette di passare alla successiva fase facoltativa di pesatura. Nella scelta del riferimento, tuttavia, devono essere introdotte delle ipotesi e per tale motivo si introduce incertezza addizionale. Tale fase è facoltativa;
4. **Pesatura:** consiste nel raggruppamento dei vari risultati in un unico punteggio. Un punto fondamentale di tale step è relativo alla definizione di fattori di pesatura per i singoli impatti ambientali. La pesatura può avvenire in vari modi e richiede comunque di adottare altre assunzioni tenendo conto anche di aspetti sociali ed etici. Per tale motivo si aggiunge ulteriore incertezza agli studi ed inoltre un unico punteggio di sostenibilità non è in grado di illustrare tutti gli aspetti più importanti del profilo ambientale del sistema analizzato. Tra i metodi di pesatura più utilizzati si ricordano quelli basati su giudizi di esperti, su distanza dall'obiettivo prefissato e quelli basati sulla monetizzazione del contributo apportato a ciascuna categoria di impatto. Anche tale step di pesatura, come la precedente normalizzazione, è facoltativo.

Negli studi LCA, solitamente, la fase di valutazione di impatto si limita ai due step obbligatori di classificazione e caratterizzazione e come output fornisce un profilo ambientale del prodotto esaminato.

La fase di interpretazione rappresenta lo step conclusivo di uno studio LCA, e ha lo scopo principale di valutare il raggiungimento degli obiettivi prefissati. A partire dai risultati di valutazione degli impatti, si identificano i fattori significativi che maggiormente contribuiscono all'impatto complessivo del sistema prodotto analizzato, in termini di categorie di impatto, fasi del ciclo di vita e risorse (materiali ed energetiche) impiegate. A partire da tali fattori analizzati, viene condotta tipicamente un'analisi dei contributi che ha la finalità di mettere in luce i processi ed i flussi di materia ed energia che influenzano significativamente i risultati finali delle fasi di analisi dell'inventario e di valutazione dell'impatto del ciclo di vita. Successivamente si procede con

la conduzione di controlli di completezza, di analisi di sensitività e di incertezza, ed infine con il controllo di coerenza in modo da trarre conclusioni, raccomandazioni e limitazioni dello studio, oltre che le future prospettive d'indagine. Il controllo di completezza consiste nell'analisi di lacune presenti nei dati e nelle informazioni ed i loro effetti sui risultati dello studio, in modo da trarne le conclusioni. L'analisi di sensitività viene condotta per indagare l'effetto che le variazioni sulle principali assunzioni effettuate hanno sui risultati finali dello studio. Un'altra analisi fondamentale negli studi LCA è quella relativa all'incertezza dei dati, del metodo, delle scelte di valore e della mancanza di conoscenza. L'ultimo livello dell'analisi dei risultati è quello relativo al controllo di coerenza di dati e metodi che ha l'obiettivo di verificare se le assunzioni ed i modelli scelti siano stati applicati in modo coerente in tutte le fasi dello studio LCA. Nel caso in cui i risultati dell'identificazione degli aspetti significativi ed i successivi controlli rivelino adeguatezza e completezza dei risultati sarà possibile, tratte le conclusioni, evidenziare le limitazioni e le raccomandazioni dello studio.

2.3.1.1 Casi studio LCA

A titolo di esempio si presenta un caso studio relativo al settore arredamento, dove si valutano le prestazioni ambientali di un mobile da ufficio durante il suo ciclo di vita [10]. La LCA è condotta considerando tutte le fasi del ciclo di vita del mobile a partire dalla preproduzione (approvvigionamento delle materie prime), passando per la produzione, l'utilizzo ed il post-utilizzo (gestione dei rifiuti), con tutti i relativi trasporti. L'unità funzionale a cui sono riferiti i potenziali impatti ambientali è un armadio da ufficio in legno con anta scorrevole (dimensioni: 900 mm larghezza, 480 mm profondità e 1600 mm altezza). I componenti principali sono pannelli truciolari a media densità che vengono inizialmente tagliati ed equipaggiati con nastro in PVC e successivamente lavorati e sottoposti a pulizia. Il mobile viene poi assemblato, aggiungendo anche eventuali accessori, imballato ed inviato al cliente finale. La fase di produzione ed assemblaggio del prodotto finito comporta consumo di energia elettrica, materiali ed ausiliari (tra cui adesivo a caldo, nastro in PVC, piedini, pezzi in metallo, viti, guide per cassetti, elementi di fissaggio e prodotti per la pulizia), oltre che la generazione di scarti ed il loro trattamento come rifiuti. L'utilizzo si riferisce solo ad una stima del trasporto del prodotto dallo stabilimento di produzione al cliente finale. La fase di post-utilizzo comprende, infine, la raccolta dei rifiuti urbani derivanti dal prodotto studiato ed il loro trattamento in un impianto di incenerimento. Per il calcolo dei potenziali impatti ambientali è stato utilizzato il metodo ILCD (*European International Reference Life Cycle Data System*) 2011 Midpoint versione 1.09 (Commissione Europea), che comprende sedici categorie d'impatto: *Global Warming (GW)*, *Ozone Depletion (OD)*, *Human Toxicity non-cancer effect (HT-n)*, *Human Toxicity cancer effects (HT-c)*, *Particulate Matter (PM)*, *Ionising radiation human health (IR-h)*, *Ionising radiation ecosystems (IR-e)*, *Photochemical Ozone formation (PO)*, *Acidification (AC)*, *Terrestrial eutrophication (EU-t)*, *Freshwater eutrophication (EU-f)*, *Marine*

eutrophication (EU-m), Freshwater ecotoxicity (ET-f), Land use (LU), Water resource depletion (WD) e Mineral, Fossil and Renewable resource depletion (RD).

Nella Figura vengono riportati i contributi relativi delle varie fasi del ciclo di vita per ognuna delle categorie d'impatto del metodo scelto (eco-profilo). Il gruppo "Elettricità" fa riferimento al consumo di energia elettrica di ogni step del processo produttivo, mentre all'interno dei "Trasporti" sono compresi i trasporti di materiali e componenti in input, la consegna del prodotto al cliente finale e il trasporto ad impianto di smaltimento dei rifiuti urbani generati dal prodotto a fine vita. L'"Assemblaggio" comprende le emissioni dirette dell'impianto di assemblaggio mentre "Trattamento rifiuti" si riferisce ai vari processi di trattamento dei rifiuti. Come si può vedere dall'eco-profilo le fasi di produzione dei pannelli truciolari a media densità, di produzione degli altri materiali e dei trasporti sono quelle che presentano i più elevati contributi nella quasi totalità delle categorie. Anche il trattamento dei rifiuti ed il consumo di elettricità per il processo produttivo presentano degli impatti significativi in quasi tutte le categorie. Infine, le emissioni dirette dell'impianto di assemblaggio risultano trascurabili in tutte le categorie tranne che in *Particulate Matter (PM)*.

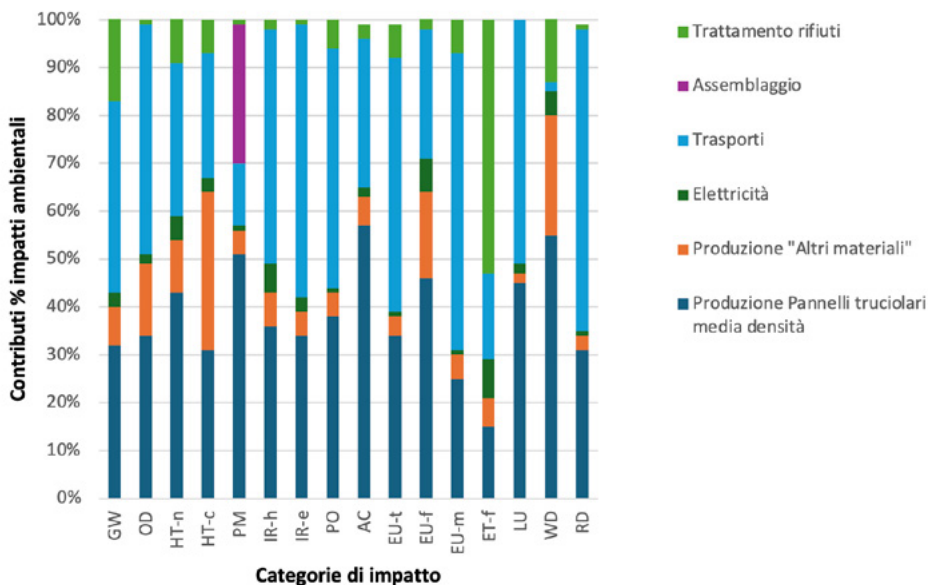


Figura 2 – Eco-profilo di un armadio da ufficio (elaborazione da [10])

Focalizzando l'attenzione sempre nel settore degli arredi, un componente comune a tutte le tipologie di arredi è quello degli adesivi. Tra gli adesivi più utilizzati in tale settore vi sono:

- Adesivi vinilici (es. vinil acetato di etilene, EVA);
- Resina urea-formaldeide;
- Adesivi poliuretanicici a base acquosa.

In uno studio del 2022 [11] sono stati indagati i potenziali impatti ambientali di una resina urea-formaldeide con confini del sistema “dalla culla al cancello” (from cradle-to-gate), cioè, limitato alla sola fase di produzione della resina. Le fasi incluse del ciclo di vita sono: estrazione e produzione delle sostanze chimiche e degli additivi, trasporto di tutte le sostanze allo stabilimento produttivo e processo produttivo. L'unità funzionale scelta è 1 kg di resina ed i risultati di potenziale impatto ambientale vengono mostrati selezionando le seguenti categorie d'impatto: Global Warming (GW), Ozone Depletion (OD), Smog Formation (SF), Acidification (AC), Eutrophication (EP), Abiotic depletion, elements (AD-e) e Abiotic depletion fossil fuels (AD-f). Le resine urea-formaldeide si formano dalla reazione di urea con formaldeide ed altre sostanze chimiche minori (metanolo, solfato di ammonio, acido formico, idrossido di sodio ed altri additivi), attraverso processi di idrossimetilazione e condensazione. Il processo di produzione della resina comporta consumo di energia elettrica, gas naturale ed acqua oltre che una generazione di rifiuti solidi e liquidi (acque reflue) e provoca emissioni in aria ed in acqua. Nella Figura si riportano i contributi percentuali delle fasi del ciclo di vita della resina sui potenziali impatti ambientali, nelle categorie selezionate.

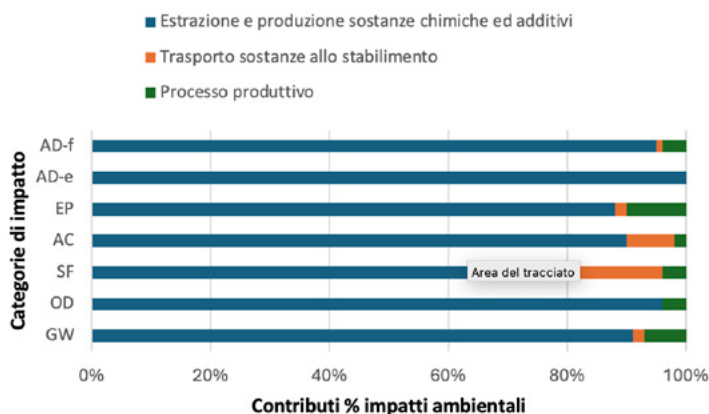


Figura 3 – Eco-profilo di una resina urea formaldeide (elaborazione da [11])

Come si può vedere dalla figura, in tutte le categorie d'impatto la fase di estrazione e produzione delle sostanze chimiche e degli additivi è dominante. In particolare, la produzione di formaldeide ed urea contribuisce maggiormente all'impatto della fase di estrazione e produzione di sostanze chimiche ed additivi; nel caso della formaldeide l'ingrediente più impattante nella reazione di formazione è il metanolo, mentre nel caso dell'urea l'ingrediente più impattante è l'ammoniaca. Dunque, i prodotti chimici di origine fossile impiegati negli adesivi per l'arredamento rappresentano un elemento critico in termini di potenziali impatti ambientali. Una possibile strategia di riduzione efficace di tali impatti consiste nella loro sostituzione con alternative a base biologica.

2.3.2 Metriche di circolarità

Nel corso dei precedenti decenni il sistema economico si è basato esclusivamente su un modello lineare a partire dall'estrazione delle materie prime da utilizzare come input, trasformate in prodotti finali, grazie alle varie tecnologie, e vendute ai consumatori. Tali prodotti saranno utilizzati fino a quando non avranno terminato la propria funzione oppure fino a che non verranno sostituiti. Nel sistema lineare, una volta divenuti obsoleti, i prodotti vengono conferiti in discarica oppure sottoposti ad incenerimento, danneggiando così l'ambiente non solo per l'inquinamento provocato ma anche per la necessità, da parte delle imprese, di acquistare nuove materie prime per la produzione di nuovi beni. La cosiddetta economia circolare promuove, invece, il passaggio da un modello di flusso lineare ad uno circolare, migliorando anche la sostenibilità ambientale dei sistemi industriali. Due aspetti fondamentali dell'economia circolare riguardano la gestione più efficiente di risorse naturali (cioè, aumento di produttività nei processi produttivi e di consumo) e la minimizzazione dello smaltimento in discarica di tutto ciò che ha ancora un'utilità, al fine di recuperarlo e reintrodurlo nel sistema economico. Per il passaggio ad un'economia circolare è necessario, dunque, concentrarsi sui rifiuti e sui prodotti alla fine del proprio ciclo di vita. La definizione di economia circolare non è ancora condivisa ma un gruppo di ricercatori [12] dopo aver esaminato numerose definizioni, ha proposto la seguente: *“un sistema economico che sostituisce il concetto di fine vita con la riduzione, il riutilizzo alternativo, il riciclo ed il recupero dei materiali nei processi di produzione e di consumo. Opera a livello micro, meso e macro, con l'obiettivo di realizzare uno sviluppo sostenibile”*. Come indicato nella definizione la misurazione della circolarità può essere condotta a livello micro (prodotti o imprese), a livello meso (reti industriali, parchi eco-industriali e collaborazioni regionali) oppure a livello macro (città, regioni, nazioni). Per la quantificazione a livello micro della circolarità, nel corso degli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi indicatori ed in un lavoro del 2022 [13] è stata condotta un'analisi di letteratura da cui è risultato un incremento particolarmente marcato a partire dalla pubblicazione dell'Indice di Circolarità dei Materiali (*Material Circularity Indicator*, MCI) da parte della fondazione Ellen MacArthur [14]. Tale indicatore sembra essere ad oggi il più utilizzato ed è uno strumento per misurare il grado di

circularità dei flussi di materiali di un prodotto a partire dalla sua composizione e dalla provenienza dei componenti fino a ciò che accade alla fine del ciclo di vita del prodotto stesso. Lo strumento MCI può anche essere impiegato per confrontare i “punteggi di circolarità” di prodotti e portafogli di prodotti. Tuttavia, dato che tale indicatore copre molti aspetti (tra cui durata di vita, tasso di riciclaggio, intensità d’uso, ecc.) sono necessari numerosi dati per arrivare a dei risultati e ciò lo potrebbe rendere di difficile utilizzo pratico. Un altro esempio di indicatore per valutare la circolarità di prodotti è il Punteggio di Riutilizzo dei Materiali (*Material Reutilization Score*, MRS) [15], che è il rapporto tra il contenuto di materiale secondario ed il contenuto riciclabile o biodegradabile all’interno di un prodotto.

Come risultato di uno sforzo condiviso tra vari stakeholder, nel 2024 è stata pubblicata la norma ISO 59020:2024 [16] relativa alla misurazione dell’economia circolare ed alla valutazione delle performance di circolarità. Tale documento è applicabile a vari livelli di un sistema economico a partire da quello regionale, passando per quello inter-organizzativo ed organizzativo, fino a quello produttivo. Questa norma mira alla standardizzazione del processo attraverso cui le organizzazioni raccolgono e calcolano dati usando indicatori di circolarità obbligatori e facoltativi, in modo da garantire risultati coerenti e verificabili sulle proprie prestazioni di circolarità. Il framework sviluppato può dunque essere utilizzato per determinare l’efficacia degli obiettivi e delle azioni circolari intraprese da organizzazioni sia di carattere pubblico che privato. Nello standard ISO 59020:2024 [16] viene, inoltre, proposta la seguente definizione di economia circolare: “*sistema economico che usa un approccio sistemico per mantenere un flusso circolare di risorse, recuperando, conservando, oppure accrescendo il loro valore contribuendo al contempo allo sviluppo sostenibile*”.

La circolarità può essere misurata attraverso indicatori di prestazione (*Key Performance Indicators*, KPIs), che permettono di valutare un intero processo in termini di performance. All’interno della ISO 59020:2024 [16] vengono riportati esempi di indicatori di circolarità, per prodotti ed organizzazioni, suddivisi in categorie. Esempi di categorie di indicatori sono: flussi in entrata e flussi in uscita di risorse, energia ed acqua. Considerando la categoria flusso in entrata di risorse, un esempio di indicatore è la percentuale di riutilizzo in input definita come rapporto tra la massa dei componenti/prodotti riutilizzati di un flusso in entrata e la massa totale del materiale in input. Tale indicatore di input di risorse tiene conto solamente della fonte della risorsa e non rileva la recuperabilità a fine vita. Ad esempio, un’azienda produttrice di bibite che si occupa anche di imbottigliamento, potrebbe acquistare da un’organizzazione A una quantità di 200 kg di bottiglie di vetro riutilizzate e da un’organizzazione B una quantità pari a 800 kg di bottiglie in vetro realizzate a partire da materiale vergine. In tal caso la percentuale di riutilizzo in input sarà pari a:

$$\%Reu_{in} = \frac{kg_{\text{vetro riutilizzato, in}}}{kg_{TOT \text{ vetro, in}}} \cdot 100 = \frac{200 \text{ kg}}{(200 + 800) \text{ kg}} \cdot 100 = 20\%$$

Relativamente alla risorsa idrica un esempio di indicatore è dato dal rapporto tra l'acqua consumata in tutti i processi e le operazioni in un determinato anno ed il totale di acqua prelevata da fonti esterne nello stesso anno. Per come è definito tale indicatore risulta adimensionale ed è maggiore di 1 nel caso in cui vi sia riutilizzo o ricircolo nella struttura.

In generale la selezione di un indicatore adatto da utilizzare in uno specifico contesto può essere molto difficoltosa a causa dell'ampia varietà di indicatori disponibili con scopi a volte poco chiari.

2.3.3 Gli strumenti di comunicazione ambientale

Considerando la crescente consapevolezza della rilevanza ambientale dei prodotti industriali, si è assistito negli ultimi anni alla nascita di meccanismi volontari mirati al coinvolgimento di tutti gli attori nel miglioramento delle prestazioni ambientali di prodotti con strumenti volontari come l'Ecolabel e la predisposizione di norme quali le ISO della serie 14020. Proprio la norma ISO 14020:2000 [7] stabilisce le linee guida ed i principi per lo sviluppo e l'applicazione di etichette e dichiarazioni ambientali volontarie. Sempre in tale standard vengono definiti:

- Scopo della norma;
- Principali termini di interesse;
- Obiettivo delle etichette ambientali;
- I 9 principi generali.

Un'etichetta ambientale viene definita dalla ISO 14020:2000 [7] come: *“asserzione che indica gli aspetti ambientali di un prodotto o servizio”*. Un'etichetta o dichiarazione ambientale si può presentare in varie forme, tra cui una dichiarazione, un simbolo oppure un elemento grafico sull'etichetta di un prodotto o imballaggio, nelle pubblicazioni o nelle pubblicità. L'obiettivo di tale etichettatura è la promozione della domanda e dell'offerta di prodotti e servizi con minor impatto ambientale attraverso la comunicazione di informazioni dettagliate e verificabili, e non fuorvianti su aspetti ambientali di prodotti e servizi. In tale maniera si stimola il potenziale miglioramento ambientale continuo, attraverso l'uso di strumenti di mercato. Per quanto riguarda i nove principi generali di seguito si propone una loro breve descrizione:

- **Principio 1:** *le etichette e le dichiarazioni ambientali devono essere accurate, verificabili, pertinenti e non fuorvianti.* Deve quindi esistere un fondamento tecnico-scientifico che ne garantisca la comprensibilità e verificabilità, e deve esserne garantito l'aggiornamento periodico, in modo da garantire l'adeguato grado di innovazione;
- **Principio 2:** *le procedure ed i requisiti per etichette e dichiarazioni non devono essere preparati, adottati o applicati con l'intenzione, o con l'effetto, di creare ostacoli inutili al commercio internazionale.* Relativamente a questo secondo principio dovrebbero essere considerate le interpretazioni dell'Organizzazione Mondiale del Commercio (WTO);

- **Principio 3:** *le etichette e dichiarazioni ambientali devono essere basate su una metodologia scientifica sufficientemente esauriente e completa da supportare l'asserzione e produrre risultati accurati e riproducibili.* Il concetto espresso da tale principio rende necessario fare riferimento a standard riconosciuti a livello internazionale, nonché procedure tecniche sottoposte a revisione;
- **Principio 4:** *le informazioni riguardanti la procedura, la metodologia e tutti i criteri utilizzati a supporto di etichette e dichiarazioni devono essere disponibili e fornite su richiesta a tutte le parti interessate.* Nel caso di informazioni commerciali riservate, diritti di proprietà intellettuale o restrizioni legali è possibile che vi siano dei limiti alla disponibilità di specifiche informazioni;
- **Principio 5:** *lo sviluppo di etichette o dichiarazioni ambientali deve tenere in considerazione tutti gli aspetti pertinenti al ciclo di vita.* Questo principio non richiede di condurre necessariamente uno studio LCA, ma è necessario comprendere i potenziali aumenti o riduzioni di impatto, ed è importante fornire informazioni utili a far capire la significatività della dichiarazione;
- **Principio 6:** *le etichette e dichiarazioni ambientali non devono inibire l'innovazione che permette il mantenimento o il miglioramento della prestazione ambientale.* Questo approccio lascia la massima flessibilità per l'innovazione tecnica o di altro tipo;
- **Principio 7:** *tutti i requisiti amministrativi o le richieste di informazioni relative a etichette e dichiarazioni ambientali devono essere limitati a quanto necessario a determinare la conformità a criteri e norme applicabili per le etichette e le dichiarazioni.* Ciò implica che le procedure di richiesta siano semplici, non ingannevoli e non vi siano restrizioni di tipo amministrativo;
- **Principio 8:** *il processo di sviluppo di etichette e dichiarazioni ambientali dovrebbe includere una consultazione aperta e di partecipazione con le parti interessate ed ottenere il consenso durante tutto il processo.* Per la comunicazione ed il coinvolgimento delle parti si tendono a favorire mezzi elettronici;
- **Principio 9:** *le informazioni sugli aspetti ambientali di prodotti e servizi, pertinenti ad una etichetta e dichiarazione ambientale, devono essere rese disponibili ad acquirenti e potenziali acquirenti dall'autore dell'etichetta o dichiarazione ambientale.* Ciò implica che i soggetti che utilizzano le etichette e dichiarazioni ambientali hanno responsabilità su quello che stanno comunicando agli acquirenti.

Partendo da tali principi enunciati nella ISO 14020:2000 [7] sono stati identificati tre principali diversi tipi di marchi/dichiarazioni ambientali:

- Tipo I: etichette ambientali sottoposte a certificazione di parte terza, regolamentate dalla norma ISO 14024:2018 [17];
- Tipo II: autodichiarazioni ambientali, regolamentate dalla ISO 14021:2016 [18];
- Tipo III: dichiarazioni ambientali di prodotto, regolamentate dalla ISO 14025:2006 [19].

Le etichette ambientali di Tipo I sono basate su criteri di eccellenza sviluppati da una parte terza. Tali criteri fissano valori di soglia più stringenti dei limiti di legge e pre-

vedono verifica di terza parte; la conformità legislativa (ambientale e non) è quindi un prerequisito. Tali etichette possono essere sia di matrice pubblica (es. Ecolabel o Made Green in Italy) che privata e prevedono la definizione di criteri ambientali relativi al prodotto/servizio, di metodi di misura e verifica usati per valutare il prodotto (compresi i livelli di accuratezza). Una volta definiti i criteri, tutti quei prodotti/servizi che li rispettano sono eleggibili per l'uso dell'etichetta. Gli indicatori ambientali per la caratterizzazione dei criteri ambientali devono derivare da considerazioni di ciclo di vita. Oltre ai criteri ambientali, il prodotto deve comunque garantire livelli di performance e conformità a standard di carattere regionale, nazionale o internazionale. I criteri ambientali e funzionali hanno un periodo di validità che implica il loro riesame periodico in funzione di nuove tecnologie, nuove informazioni ambientali ed eventuali variazioni del mercato. L'obiettivo delle etichette di Tipo I è quindi quello di identificare prodotti con performance ambientali eccellenti, attraverso la comunicazione (B2C) di soddisfacimento di requisiti minimi, dopo adeguata verifica di terza parte.

Le etichette ambientali di Tipo II vengono definite come asserzioni ambientali auto-dichiarate. In tal caso, quindi, non è necessaria alcuna certificazione di terza parte, e chiunque possa trarne beneficio (ad esempio i produttori) può effettuare tale asserzione. In generale, comunque, le asserzioni ambientali devono essere accurate, verificabili e non fuorvianti e non devono riferirsi a generici benefici ambientali oppure allo sviluppo sostenibile. Le etichette di Tipo II aiutano a ridurre la confusione nel mercato, a facilitare il commercio internazionale ed offrono maggiori opportunità di fare scelte più informate ai potenziali acquirenti ed utilizzatori del prodotto. Un'altra caratteristica fondamentale delle asserzioni ambientali è quella della trasparenza e della verificabilità; quindi, le informazioni relative alla procedura, alla metodologia ed a qualsiasi criterio usato per comprovare le asserzioni, devono essere disponibili e fornite su richiesta alle parti interessate. Per tale motivo le informazioni a sostegno di un'asserzione devono essere conservate almeno per tutto il periodo durante cui il prodotto è nel mercato ed anche oltre, in base alla durata di vita dello stesso. Tra i numerosi esempi, il più noto è l'autodichiarazione della percentuale di materiale riciclato utilizzato (Ciclo di Mobius con indicazione della percentuale di riciclato).

Le etichette ambientali di Tipo III presentano informazioni quantificate sul ciclo di vita di un prodotto, per consentire confronti tra prodotti con la medesima funzione, calcolate attraverso la metodologia LCA. Sono sottoposte a verifica da parte di organismo indipendente e non certificano l'eccellenza ambientale ma garantiscono che le informazioni contenute corrispondano alla realtà secondo le specifiche norme di riferimento. Tali etichette vengono chiamate EPD (*Environmental Product Declaration*) e seguono un particolare schema per la certificazione e registrazione. Uno degli schemi più attivi a livello internazionale è il cosiddetto *International EPD® System*, implementato a partire dal 1997, che mette in pratica le indicazioni contenute all'interno della norma ISO 14025:2006 [19] e coinvolge diversi attori. Tra i diversi attori è bene ricordare:

- il *Programme Operator (EPD® International AB per L'International EPD® System)* o gestore dello schema che ha il compito di formare e gestire il Comitato tecnico che affronta tutte le questioni relative al sistema, aggiornare il registro con i documenti approvati, amministrare gli aspetti finanziari del sistema, ecc.
- le organizzazioni (imprese, associazioni di categoria) che decidono di investire varie risorse in un'attività finalizzata al miglioramento delle prestazioni ambientali dei propri prodotti ed a comunicarle in modo appropriato;
- gli organismi di certificazione che verificano le informazioni contenute all'interno della dichiarazione ambientale, programmando anche visite agli impianti dell'azienda coinvolta.

Le principali caratteristiche delle tre tipologie di etichette ambientali vengono riportate nella Tabella 2.

Tabella 2 • Principali caratteristiche delle etichette ambientali di Tipo I, Tipo II e Tipo III

	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Obiettivo	Identificare prodotti con performance ambientali eccellenti	Informare su specifiche performance ambientali in modo accurato, verificabile e non fuorviante	Benchmarking ed informare su performance ambientali complessive
Destinatari principali	B2C	B2B o B2C	B2B o B2C
Approccio	Ciclo di vita	Ciclo di vita o singola fase	Ciclo di vita
Procedura di verifica	Verifica di terza parte indipendente	Non necessaria verifica di terza parte	Verifica di terza parte indipendente
Approccio di valutazione	Solitamente test di laboratorio	Bilanci di massa, test di laboratorio	LCA completa
Risultati comunicabili	Soddisfacimento di requisiti minimi	Specifiche performance ambientali	Risultati di valutazione dei potenziali impatti ambientali

Nel successivo paragrafo verranno approfonditi due dei più importanti metodi di comunicazione ambientale: Ecolabel ed EPD.

2.3.4 Ecolabel e EPD

L'Ecolabel è il marchio di qualità ecologica introdotto dall'Unione Europea nei primi anni '90 e si inserisce nella politica comunitaria relativa al consumo ed alla produzione sostenibili, il cui obiettivo è ridurre gli impatti negativi di consumo e produzione su

ambiente, salute, clima e risorse naturali. I criteri del marchio Ecolabel UE sono basati sulla prestazione ambientale dei prodotti e definiscono i requisiti ambientali che devono essere rispettati da un prodotto affinché si possa dotare del marchio. Tali criteri sono determinati su base scientifica, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dei prodotti, degli impatti ambientali più significativi, della sostituzione di sostanze pericolose, della riduzione degli impatti, oltre che di aspetti di carattere etico e sociale. Un'organizzazione interessata all'ottenimento del marchio Ecolabel per un suo prodotto o servizio deve presentare una domanda, corredata da opportuna documentazione tecnica, al Comitato Ecolabel-Ecoaudit, che, avvalendosi dell'ISPRA, istituisce un'istruttoria tecnico-amministrativa per verificare che il prodotto in questione sia conforme ai criteri stabiliti. Entro sessanta giorni viene espresso parere positivo o negativo e nel primo caso il Comitato rilascia il marchio, entro trenta giorni, e notifica l'assegnazione alla Commissione Europea. Il marchio Ecolabel presenta una serie di vantaggi, tra cui:

- Certificazione da parte di organismo indipendente;
- Facilità di riconoscimento. Su ogni prodotto Ecolabel UE viene apposto un logo facilmente riconoscibile;
- Garanzia di qualità ambientale e prestazionale. I prodotti Ecolabel UE oltre ad essere compatibili con l'ambiente soddisfano anche varie esigenze del consumatore, garantendo effettiva qualità del prodotto;
- Base scientifica dei dati;
- Controllo da parte di autorità pubbliche. Per verificare il rispetto dei criteri Ecolabel l'azienda che vuole ottenere relativo marchio, viene sottoposta a controlli tecnico-amministrativi (istruttoria).

Le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD) consistono in una quantificazione dei potenziali impatti ambientali associati al ciclo di vita di un prodotto. Tali impatti devono essere valutati in conformità con le specifiche di prodotto e presentati in una forma che faciliti il confronto tra prodotti appartenenti allo stesso gruppo, attraverso la standardizzazione di alcuni parametri. Per quanto riguarda la documentazione di riferimento per la redazione di EPD, oltre alle linee guida che ne regolano il funzionamento ed agli standard ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 che regolamentano la valutazione del ciclo di vita (LCA), è necessario tener conto anche delle cosiddette Regole di Categoria di Prodotto (*Product Category Rules*, PCR) pubblicate dal *Programme Operator*. All'interno di queste PCR vengono definiti i parametri tecnici e funzionali di un gruppo di prodotti, il campo di applicazione dello studio LCA correlato e gli aspetti ambientali rilevanti per lo specifico gruppo. Nel caso in cui un'azienda abbia l'intenzione di ottenere una EPD deve per prima cosa ricercare nel sito del *Programme Operator* se sono state pubblicate delle PCR inerenti al prodotto oggetto di analisi. Successivamente deve essere condotto uno studio LCA, seguendo i requisiti di una PCR se applicabile, e redatto un report oltre alla vera e propria EPD. A questo punto lo studio viene sottoposto a verifica da parte di ente accreditato, che

condurre visite agli impianti, controllo dei dati e dei modelli impiegati. In caso di esito positivo della verifica la EPD viene pubblicata sul registro online del Programme Operator. Tuttavia, non esistono solamente EPD di un prodotto singolo, ma possono anche essere condotte EPD di un prodotto medio (ogni *Programme Operator* ha delle proprie regole per il raggruppamento di prodotti simili) oppure EPD di settore, che contengono dichiarazioni di impatti ambientali associati ad un prodotto medio, realizzato da varie organizzazioni nell'ambito di un settore e di una zona geografica ben specificata.

Bibliografia

- [1] S. Sala, E. Crenna, M. Secchi, and E. Sanyé-Mengual, “Environmental sustainability of European production and consumption assessed against planetary boundaries,” *J Environ Manage*, vol. 269, p. 110686, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JEN-VMAN.2020.110686.
- [2] IRP, “Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want,” United Nations, Nairobi, Kenya, 2019.
- [3] Regulation 2024/1781, *Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC*. European Commission (EC). [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>
- [4] Directive 2009/125, *Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (recast)*. European Commission (EC). [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>
- [5] Commissione Europea, “Regolamento (UE) 2024/1781- Regolamento sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti sostenibili,” Bruxelles, Belgium, 2024. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj>
- [6] COM/2025/187, *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION Ecodesign for Sustainable Products and Energy Labelling Working Plan 2025-2030*. European Commission (EC). [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52025DC0187&qid=1748597346652>
- [7] ISO, *ISO 14020:2000. Environmental labels and declarations – General principles*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- [8] ISO, *ISO 14040:2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2006.
- [9] ISO, *ISO 14044:2006. Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2006.
- [10] D. L. Medeiros, A. O. do C. Tavares, Á. L. Q. R. e. S. Rapôso, and A. Kiperstok, “Life cycle assessment in the furniture industry: the case study of an office cabinet,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 22, no. 11, pp. 1823–1836, Nov. 2017, doi: 10.1007/S11367-017-1370-3/FIGURES/9.
- [11] L. Bushi, J. Meil, and G. Finlayson, “A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of North American Wood Product Resin Systems,” 2022. Accessed: May 30, 2025. [Online]. Available: https://www.compositepanel.org/wp-content/uploads/Wood-Resins-LCA-Report_Final_Athena-With-CRS_Feb-2022-1.pdf
- [12] J. Kirchherr, D. Reike, and M. Hekkert, “Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 127, pp. 221–232, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2017.09.005.

- [13] F. S. Syu *et al.*, “Usability and Usefulness of Circularity Indicators for Manufacturing Performance Management,” *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 835–840, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.PROCIR.2022.02.138.
- [14] Ellen MacArthur Foundation, “Circularity Indicators – An approach to measuring circularity – project overview,” 2015.
- [15] Cradle to Cradle Products Innovation Institute, “Material reutilization Cradle to Cradle Product Standard. Version 3.1,” 2018.
- [16] ISO, *ISO 59020:2024. Circular economy – Measuring and assessing circularity performance*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2024.
- [17] ISO, *ISO 14024:2018. Environmental labels and declarations – Type I environmental labelling – Principles and procedures*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2018.
- [18] ISO, *ISO 14021:2016. Environmental labels and declarations – Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2016.
- [19] ISO, *ISO 14025:2006. Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures*. International Organization for Standardization, Switzerland, 2006.

Ringraziamo per la partecipazione alla stesura del Manuale

Edoardo AZZI	PANGUANETA S.P.A.
Alberto BARBINA	FANTONI S.P.A.
Fabrizio BERNARDINI	VINAVIL S.P.A.
Gianluca BROCCIERI	PANGUANETA S.P.A.
Franco BULIAN	CATAS
Maurizio CARRER	TAKA S.R.L.
Fabio CHIOZZA	VINAVIL S.P.A.
Carlo CORALLI	CEFLA S.C. /DUESPOHL MASCHINENBAU GMBH
Giorgio CRISTOFORI	ALPI S.P.A.
Sandro DAL CAROBBO	TAKA S.R.L.
Claudio FABBRI	RENOLIT ITALIA S.R.L.
Omar FALCONELLI	PLASMATREAT ITALIA S.R.L.
Massimo FONTANA	ORMAMACCHINE S.P.A.
Luca GEROLIN	LBA S.R.L.
Massimiliano GIULIOTTO	WPR S.R.L. UNIPERSONALE
Davide GORNI	PANGUANETA S.P.A.
Dino MENEGHIN	SURTECO ITALIA S.R.L.
Stefano MONTI	BONLEX EUROPE S.R.L.
Roberto ORIZIO	RPO ELECTRONIC S.R.L.
Marco PAGANI	FERRARINI & BENELLI S.R.L.
Beatrice PICCININI	ORMAMACCHINE S.P.A.
Massimiliano REDAELLI	SCHATTDECOR S.R.L.
Edoardo RIVA	CLEAF S.P.A.
Stefano ROMAGNANO	DURANTE ADESIVI S.P.A.
Matteo SIMONETTA	ACIMALL
Massimo TARGA	DAINESE S.R.L.
Marco TINTI	OSAMA TECHNOLOGIES S.R.L.
Paolo TIRELLI	CATAS S.P.A.
Ezio VALENTE	VINAVIL S.P.A.

Hanno collaborato:

Assunta Tralongo	Federchimica Avisà
Roberta Lusiardi	Federchimica Avisà

Per l'archivio fotografico si ringraziano le aziende:

ALPI S.P.A.

BONLEX EUROPE S.R.L.

CATAS S.P.A

CEFLA S.C. /DUESPOHL MASCHINENBAU GMBH

CLEAF S.P.A.

DAINESE S.R.L.

DURANTE ADESIVI S.P.A.

FERRARINI & BENELLI S.R.L.

LBA S.R.L.

ORMAMACCHINE S.P.A.

OSAMA TECHNOLOGIES S.R.L.

PLASMATREAT ITALIA S.R.L.

RPO ELECTRONIC S.R.L.

TAKA S.R.L.

WPR S.R.L. UNIPERSONALE

È vietata la copia e la riproduzione non espressamente autorizzata dall'autore

Febbraio 2026